



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

Utilidad de agregar Ultrasonido Transfontanelar y Pulmonar a la  
Valoración Hemodinámica del Recién Nacido.

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN:

NEONATOLOGÍA

P R E S E N T A:

Drá. Laura Mariela León Vallejo

TUTORES:

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dr. Horacio Márquez González

CIUDAD DE MÉXICO

FEBRERO 2023





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.



## DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mi familia: Eduardo, Manuela y Cecilia, a mi novio Omar; y a todas aquellas personas amigos y familiares, quienes han estado siempre junto a mí dándome su apoyo incondicional en este largo camino a través de la medicina.

A mi tutor, Dr. Daniel Ibarra, quien tiene mi más profunda admiración y quien fue la mejor guía durante este proyecto.

A cada uno de los recién nacidos incluidos en esta tesis y a sus familias, por permitirme aprender de ellos y por luchar cada uno de los días de su estancia en el HIMFG, dándonos la mayor satisfacción al darlos de alta y verlos irse junto con su familia.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

# ÍNDICE

ANTECEDENTES .....	5
MARCO TEORICO.....	6
Ecocardiografía funcional .....	7
Ecocardiografía en inestabilidad hemodinámica .....	9
Ecocardiografía en evaluación de conducto arterioso permeable .....	9
Ecografía funcional pulmonar.....	10
Ultrasonido transfontanelar .....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
HIPÓTESIS .....	15
OBJETIVOS .....	15
DISEÑO DEL ESTUDIO .....	16
Población en estudio .....	16
Criterios de inclusión, exclusión y eliminación .....	16
METODOLOGÍA.....	17
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	18
CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	18
DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	19
RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	22
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIÓN.....	32
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	32
LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	34

## **ANTECEDENTES**

La incorporación del ultrasonido neonatal en el punto de atención (POCUS Neo) por sus siglas en inglés, ha cambiado a lo largo de los años el abordaje de pacientes en Unidades de Terapia Intensiva Neonatal. El uso de POCUS comenzó en las salas de urgencias para adultos y a lo largo de los años ha aumentado su uso y adaptación en población pediátrica.

En cuanto a nuestra área de interés: la Unidad de Terapia Intensiva neonatal, las publicaciones se remontan al 2011 en Reino Unido en donde se publicó por primera vez una declaración de expertos sobre ecocardiografía realizada por neonatólogos, la cual se acordó actualizar cada 3 años de acuerdo a los avances en la capacitación de personal en neonatología.

<sup>1</sup>En 2020, la sociedad europea de Cuidados Intensivos Neonatales y Pediátricos (ESPNIC) reunió a un grupo de líderes de opinión clave en POCUS pediátricos para crear las pautas basadas en evidencia para el uso de POCUS en unidades de cuidados intensivos neonatales las cuales representan las guías más actuales en el uso de POCUS Neo. <sup>2</sup>

En la última década, se ha incrementado el uso del ultrasonido pulmonar (UP) en la unidad de cuidados intensivos neonatales (UCIN) por la utilidad en la toma de decisiones clínicas y escenarios de emergencia. Tras la incorporación rutinaria del ultrasonido pulmonar y cerebral aunado a la EfN se denominó al programa Examen Neonatal Asistido por Ultrasonido en el Punto de Atención o POCUS NEO por sus siglas en inglés (Point Of Care Ultrasound).

El programa de ecocardiografía neonatal dirigida comenzó en la Ciudad de México en 2017.<sup>3</sup> La ecografía pulmonar (UP) es una herramienta útil en neonatología y se utiliza cada vez más en la práctica clínica. Una ecografía parcial de cabeza (UTF) se realiza normalmente durante las consultas de ecocardiografía neonatal dirigida. El ultrasonido integrado en el punto de atención agrega información que ayuda a comprender la fisiopatología del paciente.

## MARCO TEÓRICO

La ecografía funcional es una herramienta no invasiva en tiempo real, junto a la cama del paciente para evaluar la función cerebral, pulmonar y cardíaca, lo cual proporciona información sobre la fisiología que causa inestabilidad en el paciente gravemente enfermo y proporciona intervenciones terapéuticas específicas oportunas y precisas. La Tabla 1 enlista las principales aplicaciones de la ecografía funcional.

**Tabla 1.** Principales aplicaciones de la ecografía funcional

Diagnósticos	Procedimientos
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Pulmonar</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Neumotórax</li><li>- Derrame pleural</li><li>- Síndrome de Dificultad Respiratoria</li><li>- Taquipnea Transitoria del RN</li><li>- Síndrome de aspiración de meconio</li><li>- Neumonía</li><li>- Hemorragia Pulmonar</li><li>- Alteraciones diafragmáticas</li><li>- Atelectasias</li></ul></li> <li>• <b>Cardíaco</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Evaluación hemodinámica</li><li>- Conducto arterioso persistente</li><li>- Hipertensión pulmonar persistente del recién nacido</li></ul></li> <li>• <b>Abdominal</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Enterocolitis necrosante</li><li>- Dismotilidad intestinal</li><li>- Anuria</li></ul></li> <li>• <b>Neurología</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Hemorragia intraventricular</li><li>- Encefalopatía hipóxico isquémica</li><li>- Perfusión cerebral</li><li>- Hidrocefalia</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Acceso vascular</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Líneas intravenosas periféricas</li><li>- Catéteres centrales de inserción periférica</li><li>- Catéteres venosos y arteriales umbilicales</li><li>- Catéteres venosos centrales</li><li>- Catéteres arteriales periféricos</li></ul></li> <li>• <b>Localización de tubo endotraqueal</b></li> <li>• <b>Punción lumbar</b></li> <li>• <b>Drenaje de fluidos</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Toracocentesis</li><li>- Paracentesis</li><li>- Pericardiocentesis</li><li>- Aspiración vesical suprapúbica</li></ul></li></ul>

Modificado de Miller LE, Stoller JZ, Fraga MV. Point-of-care ultrasound in the neonatal ICU. Curr Opin Pediatr. 2020 Apr;32(2):216-227. doi 10.1097/MOP.0000000000000863. PMID 31851056.

## ECOCARDIOGRAFÍA FUNCIONAL

Los neonatólogos realizan cada vez más ecocardiografía funcional en muchas unidades de cuidados intensivos neonatales (UCIN) que tratan a bebés con shock neonatal, conducto arterioso permeable hemodinámicamente significativo e hipertensión pulmonar aguda. Se utiliza cada vez más para evaluar precarga, poscarga y contractilidad cardíaca al elegir terapia inotrópica o de líquidos.<sup>4</sup>

El concepto más importante es que la ecocardiografía funcional neonatal no pretende reemplazar un examen completo realizado por un cardiólogo pediátrico o por un médico capacitado en ecocardiografía estructural.

Los equipos de ultrasonido utilizados deben incluir capacidades bidimensionales, en modo M y Doppler. Debe estar disponible una gama de sondas multifrecuencia (6–12 MHz). Debe mostrarse un trazado de electrocardiograma simultáneo. Idealmente, los estudios deben almacenarse en una base de datos para que otras personas puedan revisarlos fácilmente.<sup>4</sup>

Las principales causas de valoración ecocardiográfica funcional son:

1. Valoración de la hemodinámica y función cardíaca en hipotensión y choque neonatal.

2. Sospecha de conducto arterioso permeable (CAP).

3. Asfixia perinatal o encefalopatía hipóxicoisquémica.

4. Sospecha de hipertensión pulmonar del recién nacido (HPPRN) o hipertensión pulmonar aguda.

5. Hernia diafragmática congénita.

6. Sospecha de derrame pericárdico o pleural.

7. Evaluación de la línea central.

8. Canulación de oxigenación por membrana extracorpórea.

En la Tabla 2 se resumen los parámetros y recomendaciones para la valoración ecocardiográfica funcional neonatal.

**TABLA 2. Recomendaciones para la ecografía funcional neonatal**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>RECOMENDACIONES PARA LA EVALUACIÓN</b>
<b>Función sistólica del ventrículo izquierdo</b>	<p>Evaluación cualitativa</p> <p>Requiere mediciones en modo M de volumen del VI al final de la diástole y volumen del VI al final de la sístole con grosor de la pared septal y posterior</p> <p>La fracción de acortamiento se puede medir mediante el modo M si no hay anomalías en el movimiento de la pared regional o movimiento septal anormal</p> <p>La fracción de eyección debe calcularse utilizando la medición volumétrica biplana de Simpson.</p>
<b>Estado del volumen</b>	<p>El tamaño y la colapsabilidad de la vena cava inferior se pueden usar para estimar la presión de llenado del corazón derecho, pero no hay datos precisos disponibles en el RN</p>
<b>Función sistólica del ventrículo derecho</b>	<p>Evaluación visual cualitativa</p> <p>TAPSE y área de cambio fraccional se pueden utilizar para la evaluación cuantitativa</p>
<b>Foramen Oval Permeable</b>	<p>Debe evaluarse sistemáticamente</p> <p>Dirección del shunt y gradiente de presión entre la AD y la AI</p>
<b>Conducto Arterioso Permeable (CAP)</b>	<p>Dirección del shunt y gradiente de presión entre la aorta y las arterias pulmonares</p> <p>Importancia hemodinámica en caso de shunt de Izq a Der al estudiar el grado de sobrecarga de volumen y la dimension del VI.</p>
<b>PSVD y PAP</b>	<p>La estimación de PSVD y PAP se basa en la medición Doppler de regurgitación tricúspidea y flujo de regurgitación pulmonar</p> <p>También se puede utilizar el gradiente de presión derivado de Doppler a través del CAP</p>
<b>Conducto Arterioso Permeable (CAP)</b>	<p>Dirección del shunt y gradiente de presión entre la aorta y las arterias pulmonares</p> <p>Importancia hemodinámica en caso de shunt de Izq a Der al estudiar el grado de sobrecarga de volumen y la dimension del VI.</p>
<b>PSVD y PAP</b>	<p>La estimación de PSVD y PAP se basa en la medición Doppler de regurgitación tricúspidea y flujo de regurgitación pulmonar</p> <p>También se puede utilizar el gradiente de presión derivado de Doppler a través del CAP</p>
<b>Flujo sanguíneo sistémico</b>	<p>La medición del gasto cardíaco se puede realizar utilizando el método de gasto del ventrículo izquierdo.</p> <p>En presencia de un CAP, el método de salida del ventrículo izquierdo no refleja el flujo sanguíneo sistémico y el flujo Doppler de la vena cava superior se puede usar para estimar los cambios en el gasto cardíaco.</p>
<b>Derrame pericárdico</b>	<p>La medición debe realizarse al final de la diástole.</p>

VI: Ventrículo izquierdo; AD: Aurícula derecha; AI: Aurícula izquierda; PSVD Presión sistólica del ventrículo derecho; PAP: Presión de la arteria pulmonar.

## **ECOCARDIOGRAFÍA EN INESTABILIDAD HEMODINÁMICA**

Los componentes ecocardiográficos importantes en la evaluación de la hipotensión son evaluar la precarga, la función cardíaca y la poscarga, la función biventricular cualitativa y cuantitativa, lo que puede ayudar a comprender la fisiopatología subyacente de la inestabilidad hemodinámica o el bajo gasto cardíaco. Esta información fisiológica, junto con otros parámetros clínicos y herramientas de monitorización, se puede utilizar para elegir la terapia de reanimación con líquidos o la terapia inotrópica o vasopresora/vasodilatadora adecuada.<sup>5</sup>

Las mediciones adicionales, como el flujo de la vena cava superior, se han mostrado prometedoras como sustitutos del flujo sanguíneo sistémico, y se correlacionan tanto con los resultados neurológicos como con la supervivencia. Juntos, estos índices ecocardiográficos en tiempo real pueden proporcionar un perfil hemodinámico completo e individual que se utiliza para orientar las terapias y monitorear la respuesta a lo largo del tiempo.

## **ECOCARDIOGRAFÍA EN EVALUACIÓN DEL CONDUCTO ARTERIOSO PERMEABLE**

El conducto arterioso permeable se ha sugerido como un factor de riesgo independiente para el aumento del riesgo de hemorragia intraventricular, enterocolitis necrosante, displasia broncopulmonar (DBP), hemorragia pulmonar aguda y conlleva un aumento de 4 a 8 veces en la mortalidad.<sup>6 7</sup>

El manejo del CAP es uno de los temas más controvertidos en neonatología. Aunque no está claro qué pacientes se benefician del cierre ductal, la monitorización seriada de la permeabilidad ductal, el tamaño ductal y los parámetros hemodinámicos asociados proporciona datos importantes a medida que se considera o emprende la intervención.<sup>5</sup>

La evaluación ecocardiográfica incluye la confirmación anatómica del conducto, la evaluación hemodinámica doppler que incluye el grado de corto circuito de la arteria pulmonar. El ratio del flujo pulmonar a sistémico se estima ecocardiográficamente usando el área del tracto de salida del ventrículo izquierdo y derecho y los datos de velocidad y flujo derivados del Doppler (integrales de velocidad – tiempo) así como la frecuencia cardíaca.<sup>8</sup>

La ecografía funcional puede monitorear posteriormente la importancia hemodinámica del conducto a lo largo del tiempo utilizando tres componentes: diámetro ductal, marcadores de aumento del flujo pulmonar y evidencia de robo diastólico.<sup>5</sup> La ecocardiografía funcional puede ayudar a evaluar la repercusión hemodinámica de la derivación ductal sobre la hiperfusión pulmonar y la hipoperfusión sistémica.

El significado de conducto arterioso permeable hemodinámicamente significativo no está directamente relacionado con el tamaño del conducto, sino que depende de la magnitud del shunt y de la capacidad del miocardio prematuro para adaptarse a este shunt de izquierda a derecha.<sup>4</sup>

La Tabla 3 muestra los parámetros ecocardiográficos para determinar si se trata de un conducto arterioso permeable hemodinámicamente significativo.

**Tabla 3.** Parámetros ecocardiográficos sugestivos de conducto arterioso permeable hemodinámicamente significativo. (CAPHS)

<b>Evaluación ecográfica</b>	<b>Criterios sugestivos de CAPHS</b>
<b>Tamaño de CAP</b>	> 2 mm
<b>Dilatación de aurícula izquierda</b>	Relación aurícula izquierda: aorta > 2:1
<b>Dilatación del ventrículo izquierdo</b>	Volumen del VI al final de la diástole > Z score +2
<b>Flujo de la arteria pulmonar</b>	Flujo continuo izquierda a derecha desde el conducto con aumento de la velocidad en sístole Flujo turbulento
<b>Flujo de la arteria pulmonar izquierda</b>	Flujo anterógrado continuo en diástole
<b>Flujo de la aorta descendente</b>	Flujo diastólico retrógrado > 30%
<b>Flujo de la arteria cerebral media y celiaca</b>	Flujo diastólico retrógrado
<b>Gasto ventricular izquierdo</b>	>300 ml/min/m <sup>2</sup>
<b>Flujo Transductal</b>	Velocidad sistólica pico < 1.5 m/s Gradiente de velocidad sistólica-diastrólica > 4m/s

Modificado de Tissot C, Singh Y. Neonatal functional echocardiography. Curr Opin Pediatr. 2020 Apr;32(2)235-244. doi 10.1097/MOP.0000000000000887. PMID 32068595.

## **ECOGRAFIA PULMONAR FUNCIONAL**

La ecografía pulmonar funcional, al igual que cada uno de los componentes de la ecografía funcional fue previamente evaluada en pacientes adultos, posteriormente en el campo pediátrico en el servicio de urgencias y terapia intensiva; y posteriormente se realizaron protocolos establecidos para su uso en la unidad de terapia intensiva neonatal. En un metaanálisis reciente (10 estudios) realizado por el Dr. Jianfeng Wu y colaboradores se encontró al UP como herramienta diagnóstica para el Síndrome de Dificultad Respiratoria Neonatal (SDR) con una sensibilidad del 0.92 (IC 95 %, 0.89–0.94), especificidad de 0.95 (IC 95 %, 0.93–0.97), razón de verosimilitud positiva 20.23 (IC 95 %, 8.54–47.92)

y razón de verosimilitud negativa de 0.07 (IC 95 %, 0.03–0.14), con un Área Bajo la Curva (ABC) de 0.9811 (que lo sitúa como prueba diagnóstica muy buena).<sup>9</sup> El Dr. Iuri Corsini y colaboradores en Italia estudiaron en 124 neonatos a las primeras 24 horas el papel del UP como prueba diagnóstica contra la radiografía de tórax. La concordancia global fue de 91 % con un índice Kappa de 0.88 (IC 95 %, 0.81-0.94). El tiempo al diagnóstico fue significativamente menor con el UP (9.5 vs. 50 min,  $p < 0.0001$ ); compararon además neonatos contra expertos y encontraron un tiempo medio para el diagnóstico menor en los expertos [9 min, rango intercuartílico (RIC) 5-15 vs. 15 min RIC 10-20,  $p < 0.0002$ ]. Se encontró sensibilidad y especificidad para déficit de surfactante, retención de líquido pulmonar fetal, neumonía, neumotórax y derrame pleural de 96.7/100 %, 100/97.8 %, 100/100 %, 80/100 %, 100/95.9 %, respectivamente.<sup>10</sup>

## COMPONENTES DEL ULTRASONIDO PULMONAR

**Signo del murciélago.** Se utiliza para identificar la línea pleural y las costillas. Las alas representarían el borde de las costillas y el cuerpo, la línea pleural.

**Línea pleural.** Es un reflejo hiperecoico que se forma por la diferencia en la impedancia entre la pleura y el pulmón. Se ve como una línea suave, regular y relativamente derecha. Irregularidades, interrupción o ausencia de la continuidad indican anormalidad. En general en recién nacidos de término y prematuros una línea pleural normal mide menos de 1 mm (se considera engrosada cuando es  $\geq 0.5$  mm). Valores mayores de 1 mm se observan en aspiración de meconio, déficit de surfactante y es un importante signo en displasia broncopulmonar.

En el tórax anterior y sobre todo en prematuros no se va a observar sombra acústica de las costillas por la impedancia de los tejidos (corte longitudinal).

**Líneas B.** Artefacto de reverberación por el efecto anular descendente que genera imágenes hiperecoicas verticales que parten de la línea pleural, se extienden al fondo de la pantalla sin desaparecer y se mueven en conjunto con el deslizamiento pleural (respiración). Diagnostican una pérdida de la aireación (sin consolidación del tejido) por involucro intersticial. Cuando las Líneas B están coalescentes, se habla de Líneas B compactas.

**Líneas Z.** Es común observar pequeños artefactos “cola de cometa” que parten de la línea pleural, pero al contrario de las Líneas B no se extienden a lo largo de la pantalla, no borran Líneas A y no son perfectamente sincrónicos con el deslizamiento pleural. Estas se generan debido a que la pleura parietal y visceral que se encuentran estrechamente interpuestas “atrapan” la onda acústica que viaja repetidamente de ida y vuelta entre ambas superficies. Para fines prácticos no tienen significancia clínica.<sup>11</sup>

En 2020, la Sociedad Europea de Terapia Intensiva Pediátrica y Neonatal desarrollo guías clínicas para la realización de POCUS en el cual se reunieron a expertos en el tema llegando a recomendaciones específicas para la valoración de cada uno de los componentes de la valoración por POCUS; en el caso de la valoración pulmonar dentro de las recomendaciones principales se encuentran:<sup>2</sup>

- El ultrasonido pulmonar (UP) es útil para distinguir entre el síndrome de dificultad respiratoria (SDR) y la taquipnea transitoria del recién nacido (TTN): El SDR se caracteriza por un pulmón poco aireado con ausencia de líneas A, presencia de pequeñas consolidaciones “subpleurales” y pulmón blanco difuso (líneas B confluentes). Por el contrario, en TTN, el patrón intersticial alterna con áreas de pulmón casi normal (con líneas A).<sup>12, 13</sup>
- El engrosamiento de la línea pleural se puede observar en bebés prematuros tardíos y a término.
- El punto pulmonar doble ha sido propuesto como hallazgo patognomónico, pero se debate, ya que no parece necesario para el diagnóstico de TTN si se evidencian áreas pulmonares normales. En recién nacidos prematuros con SDR, varios estudios demostraron que una evaluación ecográfica semicuantitativa de la aireación pulmonar es muy predictiva de la necesidad de surfactante y por lo tanto, esta herramienta POCUS es útil para decidir sobre el reemplazo del surfactante.
- POCUS es útil para detectar neumonía en recién nacidos y niños (calidad de la evidencia B). Los signos de UP de neumonía son la presencia de consolidaciones y broncogramas aéreos dinámicos, líneas B y derrame pleural. Se puede observar una línea pleural anormal y disminución del deslizamiento pulmonar
- Se ha informado que el UP tiene una mayor precisión diagnóstica en comparación con las radiografías de tórax para el diagnóstico de neumonía. Sin embargo, no existe un umbral definido para el tamaño de la consolidación o un método de medición consensuado.
- POCUS es útil para evaluar semicuantitativamente la aireación pulmonar y ayudar en el manejo de la intervención respiratoria en el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) en recién nacidos y niños (calidad de la evidencia B).
- El UP en SDRA neonatal y pediátrico muestra áreas difusas bilaterales de aireación pulmonar reducida con áreas de síndrome intersticial y consolidaciones, anomalías de la línea pleural y derrame pleural. Aunque los criterios diagnósticos actuales para SDRA aún no incluyen UP.<sup>14</sup>
- Se utilizan varios puntajes de aireación en UP para medir semicuantitativamente el efecto de la restricción de líquidos, el reclutamiento alveolar y la administración de surfactante. Las puntuaciones basadas en la semiología ecográfica pulmonar principal

(incluidas las líneas A, el patrón alvéolo-intersticial y la presencia de consolidaciones) deben preferirse al simple recuento de líneas B, ya que describen mejor la aireación pulmonar y han sido validadas con diversas técnicas.<sup>15</sup>

- POCUS es útil para reconocer el síndrome de aspiración de meconio (SAM) (calidad de la evidencia C). SAM ahora se reconoce como una causa de SDRA neonatal y comparte los mismos hallazgos de UP. Sin embargo, este patrón UP es dinámico y cambia con la propagación de los tapones de meconio durante la ventilación mecánica.
- POCUS es útil para detectar con precisión el neumotórax en recién nacidos y niños (calidad de la evidencia B).<sup>16</sup>
- POCUS es útil para insertar un tubo torácico o realizar una aspiración con aguja en el neumotórax a tensión neonatal (calidad de la evidencia B). UP no solo debe usarse para diagnosticar neumotórax, sino también para proporcionar una guía estática para la pleurocentesis para identificar el margen pulmonar, el hemidiafragma y los órganos subdiafragmáticos a lo largo del ciclo respiratorio antes de la inserción de la aguja o el tubo para evitarlos de manera segura.<sup>16</sup>
- POCUS es útil para detectar derrames pleurales en recién nacidos y niños (calidad de la evidencia B). En niños, el UP muestra una alta precisión en el diagnóstico de derrame pleural relacionado con neumonía.
- POCUS es útil para guiar la toracocentesis en recién nacidos y niños (calidad de la evidencia B), reduce el riesgo de complicaciones y aumenta las tasas de éxito. Debe utilizarse para identificar el margen pulmonar, el hemidiafragma y los órganos subdiafragmáticos durante todo el ciclo respiratorio antes de la inserción de la aguja o el tubo para evitarlos de forma segura.
- POCUS es útil para evaluar el edema pulmonar en recién nacidos y niños (calidad de la evidencia C). Aunque el UP es preciso para detectar líquido pulmonar extravascular, no puede distinguir entre edema cardiogénico y no cardiogénico.

## **ULTRASONIDO TRANSFONTANELAR**

Una de las patologías de mayor importancia que hablan acerca de morbilidad y mortalidad en el neonato pretérmino es la hemorragia intraventricular siendo la lesión cerebral más frecuente en el recién nacido prematuro, alcanzando hasta un 20 a 30% en menores de 1500 gr. La mayoría de estas lesiones tienen origen en la matriz germinal subependimaria en el núcleo caudado.

La hemorragia intraventricular fue descrita por Abraham Towbin en 1968. En 1978 Papile et al. Desarrolló una clasificación para la hemorragia intra y periventricular basada en los hallazgos en la tomografía de cráneo. Esta clasificación fue adaptada posteriormente en 1984 para los hallazgos ultrasonográficos.<sup>17</sup>

El grado de hemorragia es determinado del I a IV:

Grado I. Hemorragia limitada a la matriz germinal

Grado II. Hemorragia intraventricular sin dilatación

Grado III. Hemorragia intraventricular con dilatación que ocupa >50% de los ventrículos

Grado IV. Hemorragia intraventricular con hemorragia intraparenquimatosa

El grado III y IV se determinan como hemorragia intraventricular severa.<sup>17</sup>

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A pesar del desarrollo desde hace varias décadas del uso del ultrasonido como método diagnóstico en tiempo real en la cama del paciente, aún se carece de guías clínicas específicas para el uso de la ecografía funcional, así como la inclusión de criterios ultrasonográficos como criterios diagnósticos de patologías. Desde el año 2017 en nuestra institución el Hospital Infantil de México Federico Gómez se instauro como parte de las valoraciones médicas de los pacientes en la Unidad de Terapia Intensiva el ultrasonido en el punto de atención (POCUS) posterior al entrenamiento de uno de los médicos adscritos a la unidad.

Durante este tiempo de trabajo se ha medido la efectividad del programa en diversos estudios tanto para la valoración en pacientes con persistencia de conducto arterioso; así mismo, al iniciar la pandemia de COVID 19 se evaluaron en tiempo real los cambios en ultrasonido pulmonar y hemodinámicos de los pacientes a cargo de esta unidad.

Sin embargo, no contamos con un protocolo instaurado en nuestra unidad para la valoración de los pacientes, así mismo los criterios de necesidad de valoración por POCUS no están del todo claros y están sujetos a la solicitud del médico tratante.

Así mismo, no se ha evaluado la utilidad de agregar una valoración pulmonar y cerebral a la valoración hemodinámica realizada a los pacientes neonatos de la unidad de cuidados intensivos.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Es útil agregar de manera rutinaria una valoración ultrasonográfica pulmonar y cerebral a los pacientes con valoración hemodinámica por ecocardiografía funcional?

## **JUSTIFICACIÓN**

Gracias a los avances médicos y tecnológicos la sobrevivencia de los pacientes recién nacidos prematuros y con patologías quirúrgicas críticas ha aumentado considerablemente, lo que representa un reto diagnóstico y terapéutico para los neonatólogos, debido a las múltiples comorbilidades derivadas de la prematuridad.

En el Hospital Infantil De México desde el 2017 se inició el programa de ecocardiografía funcional y el 2019 se amplió formalmente a un Examen Neonatal Asistido por Ultrasonido en el Punto de Atención incluyendo sistemáticamente ultrasonido transfontanelar y pulmonar.

Por lo que la realización de esta tesis está encaminada a evidenciar la utilidad del Examen Neonatal Asistido por Ultrasonido en el Punto de Atención (POCUS) de manera sistemática y rutinaria en los pacientes ingresados en nuestra unidad de terapia intensiva neonatal con diversas patologías médicas y quirúrgicas, con el fin de prevenir complicaciones médicas derivadas de las diversas patologías tratadas en la UCIN, evidenciar en tiempo real el efecto de acciones terapéuticas realizadas en los pacientes gravemente enfermos y seguimiento a mediano plazo de pacientes con patologías crónicas pulmonares, cerebrales y cardíacas.

## **HIPÓTESIS**

- Habrá una correlación clínica (fisiopatológica) y ultrasonográfica en los hallazgos de la valoración por POCUS en los pacientes de la UCIN.
- La valoración ultrasonográfica cerebral y pulmonar arrojará datos relevantes y complementarios a la valoración ecocardiográfica.
- El seguimiento por ultrasonido en pacientes de la UCIN a lo largo de su estancia intrahospitalaria será útil para evaluar la evolución de la patología de base y sus complicaciones.

## **OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL:** Evaluar la utilidad de realizar una valoración integral que incluya ultrasonografía cerebral, pulmonar y hemodinámica los pacientes neonatos en la unidad de cuidados intensivos en quienes la valoración haya sido solicitada por su médico adscrito.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Documentar los hallazgos ultrasonográficos cerebrales, cardíacos y pulmonares de los pacientes neonatos en la unidad de cuidados intensivos en quienes la valoración haya sido solicitada por su médico adscrito.
- Correlacionar los hallazgos del ultrasonido pulmonar, cerebral y cardíaco en las distintas patologías tratadas en la unidad de cuidados intensivos neonatales.
- Documentar el desarrollo de complicaciones y secuelas con la ayuda de los hallazgos por ultrasonido realizados a lo largo de la estancia de los pacientes en la terapia intensiva neonatal.
- Cuantificar las valoraciones POCUS realizadas durante los años 2019- 2021 en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales del Hospital Infantil de México Federico Gómez.

## **DISEÑO DEL ESTUDIO**

Se realizó un estudio transversal, retrospectivo, observacional, descriptivo y retrolectivo, en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales del Hospital Infantil de México Federico Gómez en un periodo de 3 años (2019 al 2021).

## **POBLACIÓN EN ESTUDIO**

Todos los recién nacidos que cuenten con una evaluación POCUS (Valoración hemodinámica, Ultrasonido Pulmonar, Ultrasonido Cerebral) en la UCIN del HIMFG durante los años 2019-2021.

## **CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

-Pacientes neonatos ingresados a la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales del HIMFG durante el periodo estudiado a quienes se les realizó un Examen Neonatal Asistido por Ultrasonido en el Punto de Atención (POCUS).

## **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Pacientes neonatos que no contaron con al menos una valoración completa incluyendo ecocardiograma, ultrasonido pulmonar y transfontanelar.
- Pacientes con expediente incompleto.

## **CRITERIOS DE ELIMINACIÓN**

- Pacientes neonatos con diagnóstico de cardiopatía congénita compleja.
- Pacientes neonatos con tumoración cardíaca.

## METODOLOGÍA

Se revisaron los expedientes de todos los recién nacidos que contaron con una evaluación POCUS durante el 2019 al 2021.

De donde se obtuvo el motivo de la valoración el cual se clasificó en 4 grupos de acuerdo a una sospecha diagnóstica de carácter hemodinámico: Sospecha de conducto arterioso permeable, hipertensión arterial pulmonar aguda, inestabilidad hemodinámica y valoración de hemodinamia pulmonar.

Además de los resultados del protocolo del estudio el cual consistió en tres valoraciones ecocardiográficas, pulmonar y transfontanelar.

La obtención de imágenes cardíacas se realizó en 6 planos: apical, ventrículo derecho, 3 cámaras, eje largo paraesternal, eje corto paraesternal, supraesternal y subcostal en modo B, modo M, Doppler color, Doppler pulsado y continuo.

La función ventricular izquierda fue evaluada con el método Simpson, la fracción de acortamiento y el gasto ventricular izquierdo. La función del ventrículo derecho fue evaluada con la determinación de la excursión sistólica del anillo tricúspide (TAPSE), el cambio fraccional de área y el gasto ventricular derecho.<sup>18</sup>

19 20 21

La evaluación de la poscarga del ventrículo derecho y de la hipertensión pulmonar, así como del conducto arterioso permeable se realizó de acuerdo con el Grupo Europeo de Interés Especial NPE para afirmar o descartar el motivo de valoración.

Continuando con la valoración ultrasonográfica pulmonar se obtuvieron clips de 6 segundos de cada una de las 6 áreas: apical, basal y lateral de lado derecho e izquierdo, en modo B. El modo M fue utilizado en casos que se necesitará confirmar un deslizamiento pleural normal, neumotórax o derrame pleural. Y de acuerdo a los datos obtenidos los diagnósticos ultrasonográfico pulmonares se clasificaron en los siguientes patrones: déficit de surfactante, intersticial neumogénico, intersticial cardiogénico, malformación pulmonar, displasia broncopulmonar, atelectasia, neumonía, derrame pleural y neumonía con derrame pleural.

Se concluyó el estudio con la realización de un ultrasonido transfontanelar los siguientes cortes: coronales, sagitales, parasagitales y temporales. Se determinó la presencia de hemorragia intraventricular y su grado de acuerdo a la clasificación de Papile y se evaluaron los hallazgos durante su seguimiento.

Posterior a la valoración se realizó un reporte escrito en el expediente clínico, en los pacientes que lo ameritaban, se incluyó una recomendación terapéutica a nivel hemodinámica y /o ventilatoria.

Todos los datos obtenidos se registraron en una base de Excel ®.

## **EQUIPO**

Las valoraciones ultrasonográficas cardíacas, pulmonares y cerebrales se realizaron con un equipo Acuson x300 ® (Siemens Healthcare, Munich, Alemania) utilizando un transductor convexo de 9 Mz para las valoraciones cerebrales y cardíacas y un transductor “palo de hockey” 12 Mz para la valoración pulmonar durante el 2019 y 2020-2021 con un equipo Vivid™ E90, GE Medical Systems, Milwaukee, WI, Estados Unidos), utilizando un transductor convexo de 12 Mz para las valoraciones cerebrales y cardíacas y un transductor “palo de hockey” 8–18 MHz para los ultrasonidos pulmonares.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Las variables cualitativas fueron expresadas en frecuencias y porcentajes. Para las cuantitativas, se realizaron pruebas de normalidad, expresando aquellas con distribución paramétrica en promedios y desviación estándar y las no paramétricas en medianas y rangos intercuartilares (p25-p75).

## **CONSIDERACIONES ÉTICAS.**

De acuerdo con la ley interna para proyectos de investigación del Hospital Infantil de México Dr. Federico Gómez, Instituto Nacional de Salud.

El presente trabajo de investigación se realizó con estricto apego a la ley general de salud de los Estados Unidos Mexicanos en su Título Quinto: Investigación para la Salud (Capítulo Único), tomando en cuenta los artículos 100 y 101.

Y de acuerdo con lo establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; Artículo 4to, publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 6 de abril de 1990 y a la declaración de Helsinki (1964) y sus modificaciones en Tokio (1995), Venecia (1983) y Hong Kong (1989). Citaré solo un apartado el cual resalta que el propósito principal de la investigación médica en seres humanos es comprender las causas, evolución y efectos de las enfermedades y mejorar las intervenciones preventivas, diagnósticas y terapéuticas (métodos, procedimientos y tratamientos). Incluso, las mejores intervenciones actuales deben ser evaluadas continuamente a través de la investigación para que sean seguras, eficaces, efectivas, accesibles y de calidad.

## DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

**TABLA 4. Descripción de variables**

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
<b>Edad</b>	Tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta la fecha de valoración	Se obtendrá mediante los datos del expediente clínico	Días Meses Años	Cuantitativa Numérica
<b>Edad corregida</b>	Edad gestacional + edad cronológica – 40 semanas	Se obtendrá mediante los datos del expediente clínico	Semanas y días completos.	Cuantitativa numérica
<b>Edad gestacional</b>	Duración del embarazo calculada desde el primer día de la última menstruación normal hasta el nacimiento o hasta el evento gestacional en estudio.	Se obtendrá mediante los datos del expediente clínico	Semanas y días completos.	Cuantitativa numérica
<b>Sexo</b>	Conjunto de características biológicas que definen al espectro de humanos como hombre o mujer	Se obtendrá mediante los datos del expediente clínico	Hombre Mujer	Cualitativa nominal
<b>Peso al nacimiento</b>	Fuerza que genera la gravedad sobre el cuerpo humano medida en gramos al momento del nacimiento	Se obtendrá mediante los datos del expediente clínico	Gramos	Cuantitativa continua
<b>Apgar</b>	Método de evaluación de adaptación y vitalidad del recién nacido tras el nacimiento	Se obtendrá mediante los datos del expediente clínico	Puntuación	Cuantitativa discreta
<b>Persistencia del conducto arterioso</b>	Permeabilidad del conducto la estructura vascular, que conecta la arteria pulmonar con la aorta descendente medido por ecografía.	Se obtendrá mediante los datos obtenidos por ecografía.	Si/ No	Cualitativa dicotómica.
<b>Hipertensión arterial pulmonar aguda</b>	Evento agudo con incremento en resistencias vasculares pulmonares y poscarga del VD en pacientes sin enfermedad pulmonar crónica que presentan el evento por primera vez.	Se obtendrá mediante los datos obtenidos por ecografía.	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Hipertensión pulmonar crónica</b>	Evento crónico con incremento en resistencias vasculares pulmonares y poscarga del VD en pacientes con enfermedad pulmonar crónica.	Se obtendrá mediante los datos obtenidos por ecografía.	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Hipertensión pulmonar</b>	Elevación sostenida de las resistencias vasculares pulmonares.	Septo plano al final de la sístole indica presión sistólica del ventrículo derecho (PSVD) > 50% de la presión sistémica	Si/ No	Cualitativa dicotómica

<b>Inestabilidad hemodinámica</b>	Presencia de signos clínicos sugestivos de hipoperfusión tisular como alteración en el estado de consciencia, llenado capilar prolongado, taqui/bradicardia con o sin hipotensión arterial.	Presencia de datos clínicos sugerentes indicados en las notas de valoración por POCUS.	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Ultrasonido pulmonar normal</b>	Que cumple con las características establecidas.	Presencia de líneas A y ausencia de líneas B	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Patrón de déficit de surfactante</b>	Incremento clínicamente y por imagen en el volumen de líquido intersticial	3 o más líneas B y por lo menos 2 de los siguientes: - Líneas B coalescentes - Sin áreas respetadas - Con broncograma de colapso	Si/ No	Cualitativa dicotómica
<b>Neumotórax</b>	Entrada de aire en el espacio interpleural.	Líneas B ausentes con deslizamiento pleural ausente y con presencia del signo del código de barras en la valoración en modo M.	Si/ No	Cualitativa dicotómica
<b>Patrón de displasia bronco-pulmonar</b>	Enfermedad pulmonar parenquimatosa persistente a las 36 semanas corregidas en pacientes prematuros menores a 32 semanas	Presencia de más de 3 líneas B más pleura engrosada > 0.5 mm, patrón heterogéneo con áreas respetadas y puede haber presencia de broncograma de colapso.	Si/ No	Cualitativa dicotómica
<b>Patrón intersticial cardiogénico</b>	Presencia de datos ultrasonográficos de retención hídrica por componente cardíaco.	Presencia de 3 o más líneas B con patrón homogéneo sin broncograma de colapso	Si/ No	Cualitativa dicotómica
<b>Patrón intersticial neumónico</b>	Constructo clínico y por imagen de infección pulmonar debida a diversos agentes etiológicos.	Líneas B coalescentes con broncograma, con signo de interrupción de la línea pleural, pulso de pulmón y broncograma fluido.	Si/ No	Cualitativa dicotómica
<b>Atelectasia</b>	Alteración patológica de la estructura pulmonar donde se colapsa el espacio aéreo provocando la reducción del volumen parenquimatoso.	Líneas B ausentes, hepatización sin broncograma dinámico, pulso del pulmón.	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Derrame pleural</b>	Acumulación anormal de líquido en la cavidad pleural debido a una producción excesiva de éste o a una incapacidad para su depuración	Área anecoica dentro de la cavidad pleural que separa el parietal (línea continua) del prospecto visceral (línea discontinua) con compresión del pulmón.	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Hemorragia intraventricular</b>	Sangrado de la matriz germinal que se extiende a los ventrículos laterales y	Imagen hiperecogénica más o menos intensa según el componente	Presente/ ausente	Cualitativa dicotómica

	espacio subaracnoideo en diversa magnitud	hemorrágico y tiempo de evolución de la lesión en el área de la matriz germinal con extensión intraventricular y espacio subaracnoideo		
<b>Hemorragia intraventricular Grado 1-2</b>	Grado I. Hemorragia limitada a la matriz germinal Grado II. Hemorragia intraventricular sin dilatación	Imagen hiperecogénica más o menos intensa según el componente hemorrágico y tiempo de evolución de la lesión en el área de la matriz germinal con extensión intraventricular y espacio subaracnoideo	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Hemorragia intraventricular Grado 3-4</b>	Grado III. Hemorragia intraventricular con dilatación que ocupa >50% de los ventrículos Grado IV. Hemorragia intraventricular con hemorragia intraparenquimatosa	Imagen hiperecogénica más o menos intensa según el componente hemorrágico y tiempo de evolución de la lesión en el área de la matriz germinal con extensión intraventricular y espacio subaracnoideo	Si/No	Cualitativa dicotómica
<b>Leucomalacia periventricular</b>	Necrosis de la sustancia blanca periventricular dorsal y lateral a los ángulo externos de los ventrículos laterales	Presencia de hiperecogenicidad bilateral adyacente a los ángulos externos de los ventrículos laterales o con presencia de imágenes anecoicas que corresponden a lesiones quísticas.	Grado 1 Grado 2 Grado 3 Grado 4	Cualitativa ordinal
<b>Dilatación post-hemorragica</b>	Complicación por hemorragia intraventricular con dilatación de ventrículos objetivada mediante la obtención de índice ventricular, la anchura del asta frontal y la distancia tálamo occipital	Redondeamiento de las cavidades ventriculares	Presente/ ausente	Cualitativa dicotómica
<b>Dilatación no hemorrágica</b>	Dilatación ventricular, no secundaria a hemorragia intraventricular	Redondeamiento de cavidades ventricular no secundario a hemorragia intraventricular	Presente/ ausente	Cualitativa dicotómica

## RESULTADOS DEL ESTUDIO

En el servicio de UCIN del HIMFG durante el período de estudio comprendido en el presente trabajo se realizaron 781 valoraciones durante los 3 años; de los cuales se incluyeron en nuestro estudio 484 valoraciones. Se excluyeron a 267 estudios por no contar con al menos 1 valoración completa y se eliminaron 30 estudios, correspondiendo a 29 pacientes por tener diagnóstico de cardiopatía congénita compleja y 1 paciente con tumoración cardiaca.

Las 484 valoraciones POCUS incluidas correspondieron a 209 pacientes con una mediana de 2 estudios por paciente.

Dentro de las principales características demográficas se encontró que el 67% de los pacientes nacieron vía abdominal con una mediana para la edad gestacional de 33 semanas de gestación. (Tabla 5).

<b>Tabla 5 .-Características demográficas</b>	
<b>Característica</b>	<b>N 209</b>
Fem n ,(%)	96 (46)
Cesárea	141 (67)
Número Gesta mediana (rango)	G2 (1, 3)
Valoración edad gestacional	33 (29,38)
Apgar 5min	8 (7,9)
Peso	1635 (1031,2687)
Edad corregida	36 (31,40)
Num de Valoraciones	2 (1,3)

El principal diagnóstico de ingreso a la Unidad de Cuidados Intensivos neonatales de los pacientes estudiados, fue la prematurez con el 51.2% seguido de la patología quirúrgica abdominal en un 15.3%. (Tabla 6).

<b>Tabla 6.- Diagnóstico de ingreso</b>	
<b>Diagnóstico, n (%)</b>	<b>N 209</b>
Prematurez	107 (51.2)
Quirúrgico abdominal	32 ( 15.3)
Hernia Diafragmática	13 (6.2)
Atresia esofágica	10 (4.8)
Deshidratación hipernatrémica	9 (4.3)
Neumonía	7 (3.3)
Malformaciones pulmonares	5 (2.4)
Otros	26 (12.5)

A lo largo de los 3 años del estudio ocurrieron 38 defunciones con una mortalidad del 18.1% de los pacientes evaluados por ultrasonido.

De las 484 valoraciones el principal motivo de valoración fue por hemodinamia pulmonar en 217 valoraciones (44.8%) seguido de sospecha de conducto arterioso permeable con 159 valoraciones (32.8%), inestabilidad hemodinámica con 88 estudios (18.1%) y sospecha de hipertensión arterial pulmonar aguda en 20 casos (4.1%).

En el 36.5 % de los casos la sospecha clínica, tuvo una correlación ultrasonográfica, en el resto de los pacientes se encontró un diagnóstico hemodinámico diferente o una valoración normal, de tal forma que el diagnóstico final hemodinámico se encontró de la siguiente manera: en un 34% de los casos la valoración por ultrasonido resulto normal, un 29.7% se confirmó la presencia de un conducto arterioso permeable, en 20% de los casos se diagnosticó una hipertensión arterial pulmonar aguda y en 5.9% de los casos se encontraron datos de hipertensión arterial pulmonar crónica.

Dentro de las evaluaciones ante la sospecha de PCA, se descartó la presencia de PCA en el 31.4%. Durante la valoración por otro motivo que no fuera la presencia de PCA, se encontró la presencia de PCA en el 24.3%.

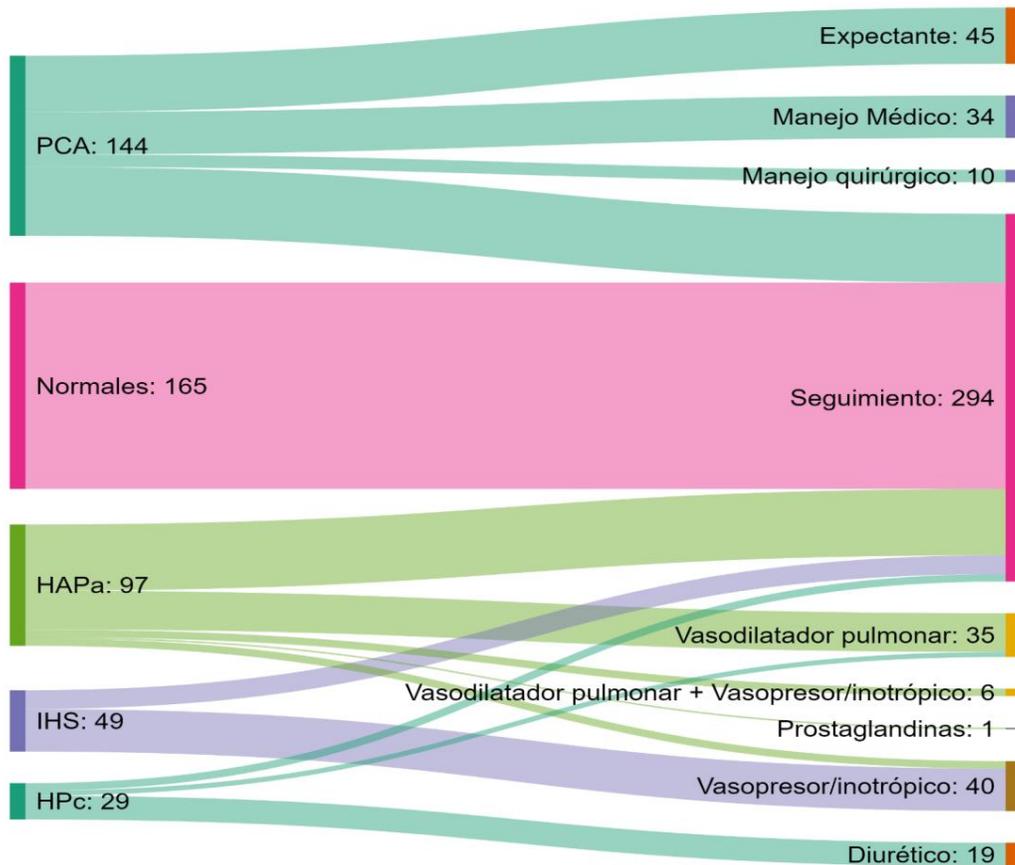
De las valoraciones realizadas se dio una recomendación médica en el 41% de los pacientes según el diagnóstico final encontrado. En el caso de las valoraciones por persistencia de conducto arterioso (PCA), (144 valoraciones) las recomendaciones fueron en un 31% manejo expectante, 23% cierre farmacológico del conducto y en 6.9% cierre quirúrgico.

En el caso de las valoraciones por hipertensión arterial pulmonar aguda se dio una recomendación médica en el 43% de los casos, de los cuales en la mayoría se trató de un vasodilatador pulmonar en un 36% de los casos, vasodilatador pulmonar + vasopresor/inotrópico en 6.1% de los pacientes y solo en 1 paciente se recomendó el manejo con prostaglandinas en el contexto de un paciente con hernia diafragmática congénita.

En cuanto a los pacientes con inestabilidad hemodinámica se dio una recomendación de tratamiento con vasopresor o inotrópico en un 81.6% de los valoraciones totales, sin embargo, refiriéndose a la primera evaluación en la que se detectó inestabilidad hemodinámica se dio una recomendación en el 100% de las valoraciones. Y en las valoraciones por hipertensión arterial pulmonar crónica se recomendó diurético en el 65% de los casos.

El 34% de los estudios solicitados por sospecha de alguna alteración hemodinámica se encontraron sin alteraciones. La figura 1 muestra los resultados por diagnóstico hemodinámico y el manejo recomendado en cada caso.

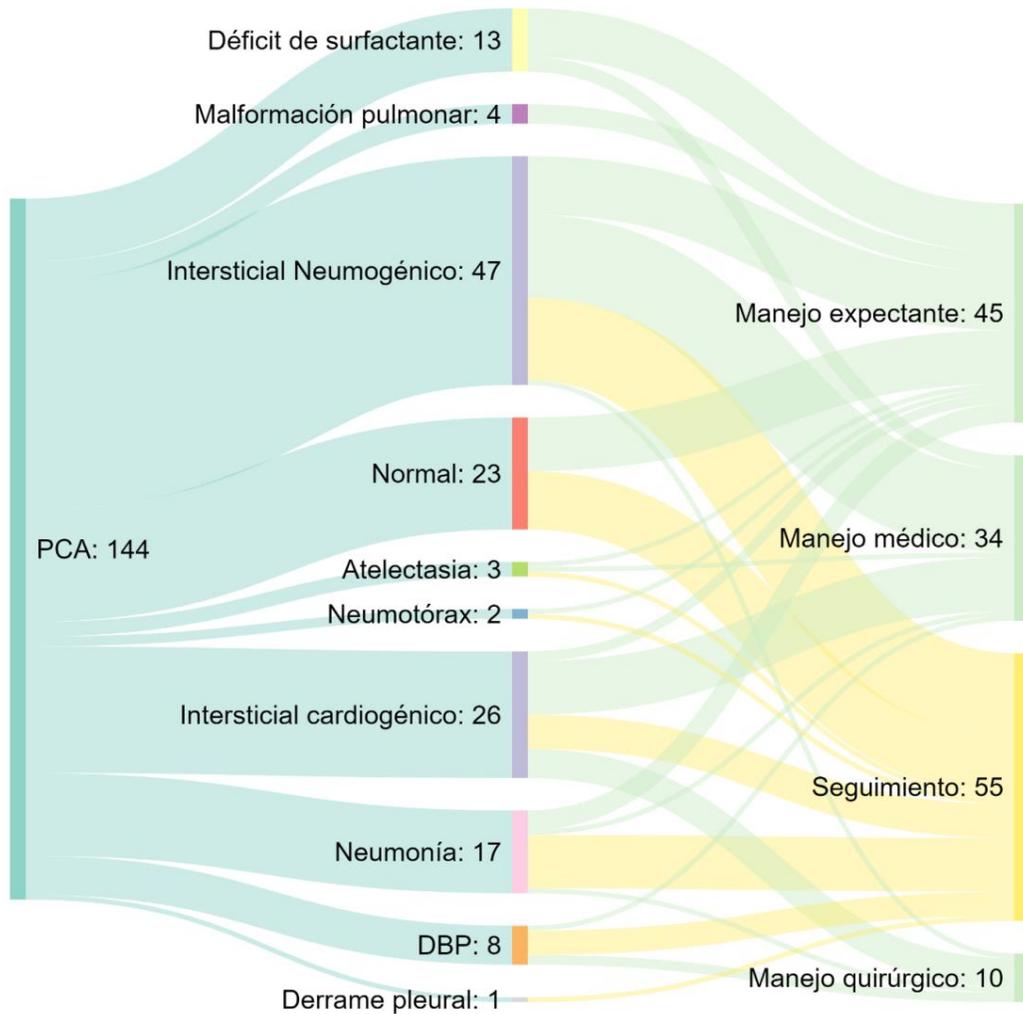
**FIGURA 1. Diagnóstico en valoraciones hemodinámicas y recomendaciones médicas.**



En los pacientes con diagnóstico de conducto arterioso permeable se analizaron los hallazgos en el ultrasonido pulmonar se encontró en la mitad de los casos (50.1%) un patrón intersticial el cual se diferenció en intersticial neumogénico y cardiaco según el contexto clínico del paciente. En un 9% de los pacientes se encontró un patrón sugerente de déficit de surfactante, dichos pacientes eran prematuros.

Así mismo se encontraron pacientes con patrón pulmonar de displasia broncopulmonar en un 5.5% llama la atención que estas valoraciones eran parte de un seguimiento posterior a un conducto arterioso permeable previamente diagnosticado. De los 27 pacientes con algún tipo de malformación pulmonar incluida la hernia diafragmática se encontró conducto arterioso permeable en 4 pacientes (14.8%). El resto de los hallazgos y las recomendaciones diagnosticas se indican en la figura 2.

**Figura 2. Hallazgos en el ultrasonido pulmonar en pacientes con conducto arterioso permeable.**

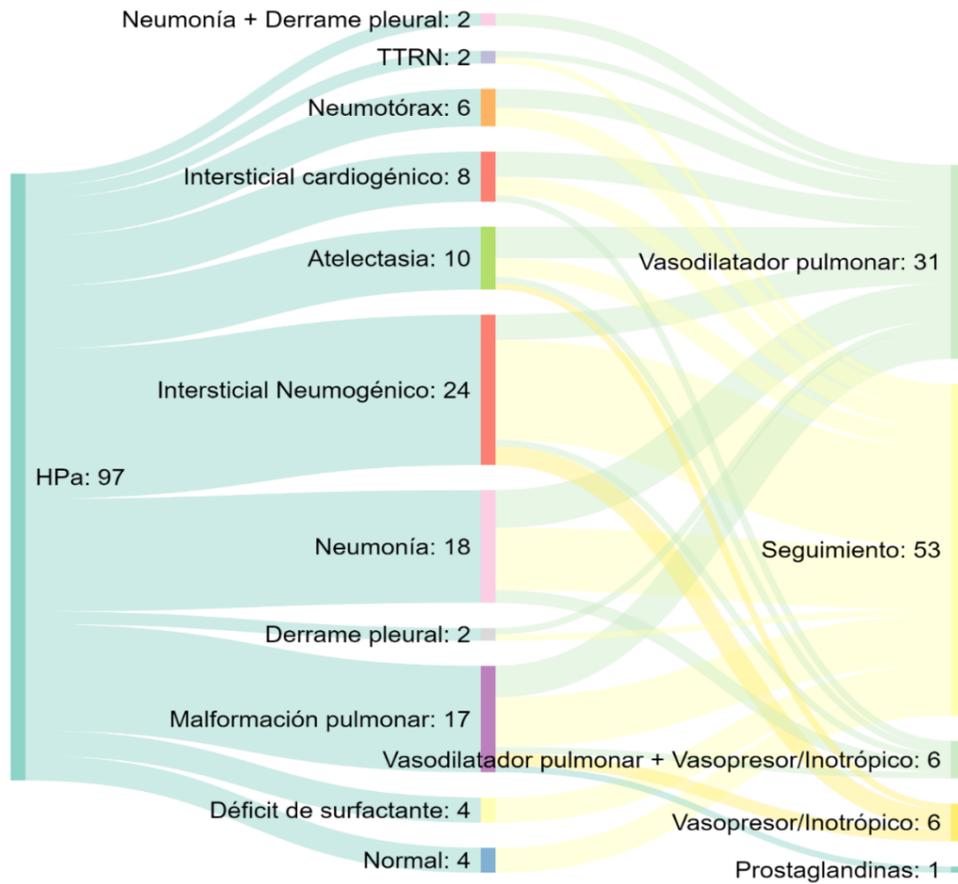


En los pacientes con hipertensión arterial pulmonar aguda, se evaluó el patrón presente en el ultrasonido pulmonar, encontrando 33% con patrón intersticial de ya sea cardiogénico o neumogénico. Como asociación clínica importante se encontró un porcentaje importante de los pacientes con neumonía (20.6%) de los cuales 2 pacientes se encontró un patrón ultrasonográfico sugerente de neumonía más una complicación propia de esta entidad como es el derrame pleural.

Así mismo en estos pacientes con hipertensión arterial pulmonar se dio una recomendación médica en el 45% de los casos, de los cuales en un 70.4% se recomendó el uso de algún tipo de vasodilatador pulmonar, en algunos casos en donde la hipertensión arterial pulmonar aguda se asoció a algún dato clínico o ultrasonográfico de descompensación hemodinámica se sugirió el tratamiento con algún inotrópico o vasopresor según el contexto clínico del paciente (27.2%).

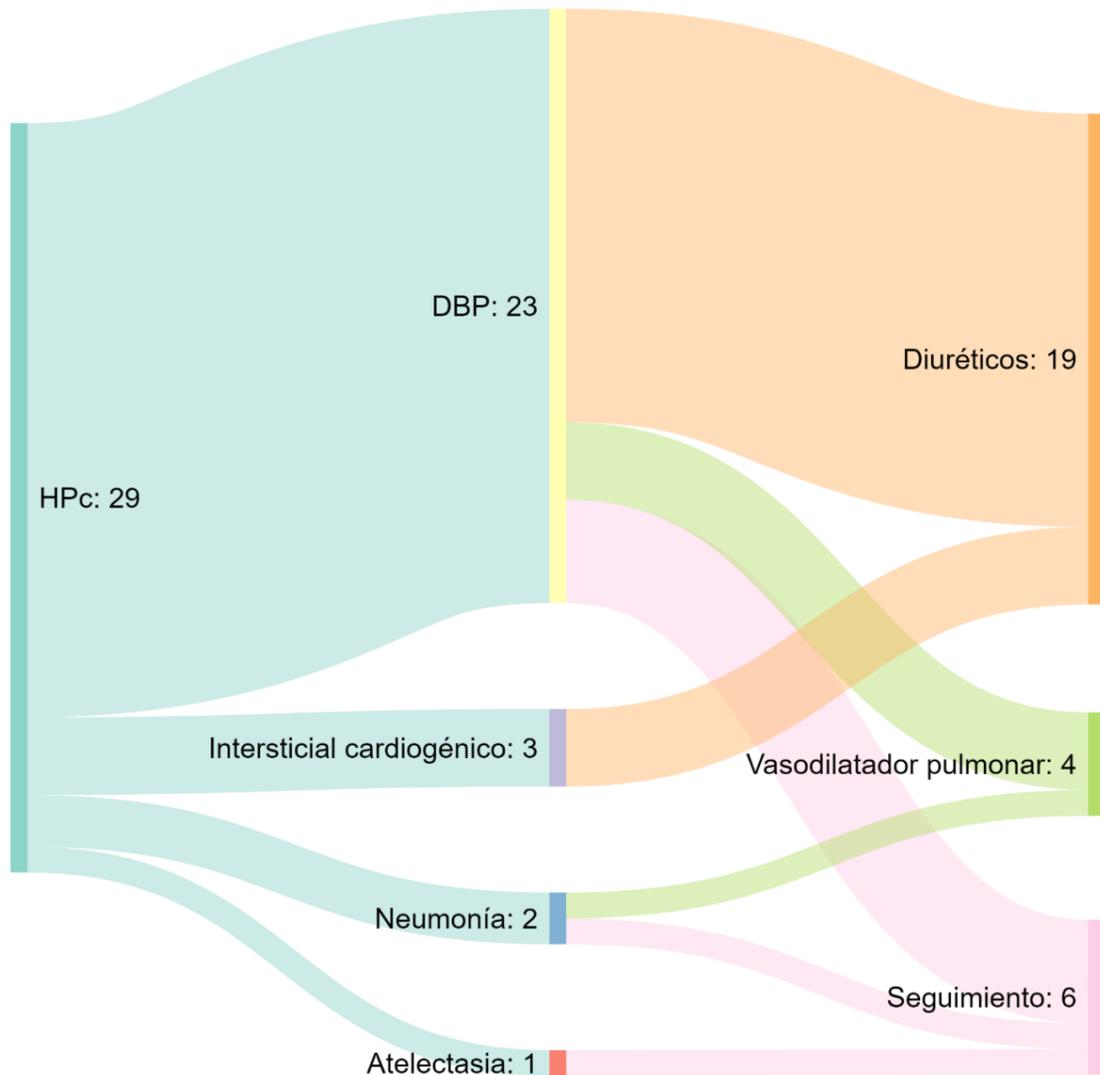
El resto de los hallazgos pulmonares en pacientes con patrón hemodinámico de hipertensión arterial pulmonar aguda, así como las recomendaciones dadas se muestran en la figura 3.

**FIGURA 3. Hallazgos pulmonares y recomendaciones médicas en pacientes con hipertensión arterial pulmonar aguda.**



En los estudios en los que se encontró la presencia de Hipertensión arterial pulmonar crónica, se encontró un patrón de displasia broncopulmonar en la mayoría de los pacientes (79%), de los cuales en su mayoría se dio una recomendación de uso de diuréticos (65.5%) y en una proporción menor el uso de vasodilatador pulmonar (13.7%). La figura 4 muestra el resto de los hallazgos en el ultrasonido pulmonar en los pacientes con valoración de la hemodinamia pulmonar.

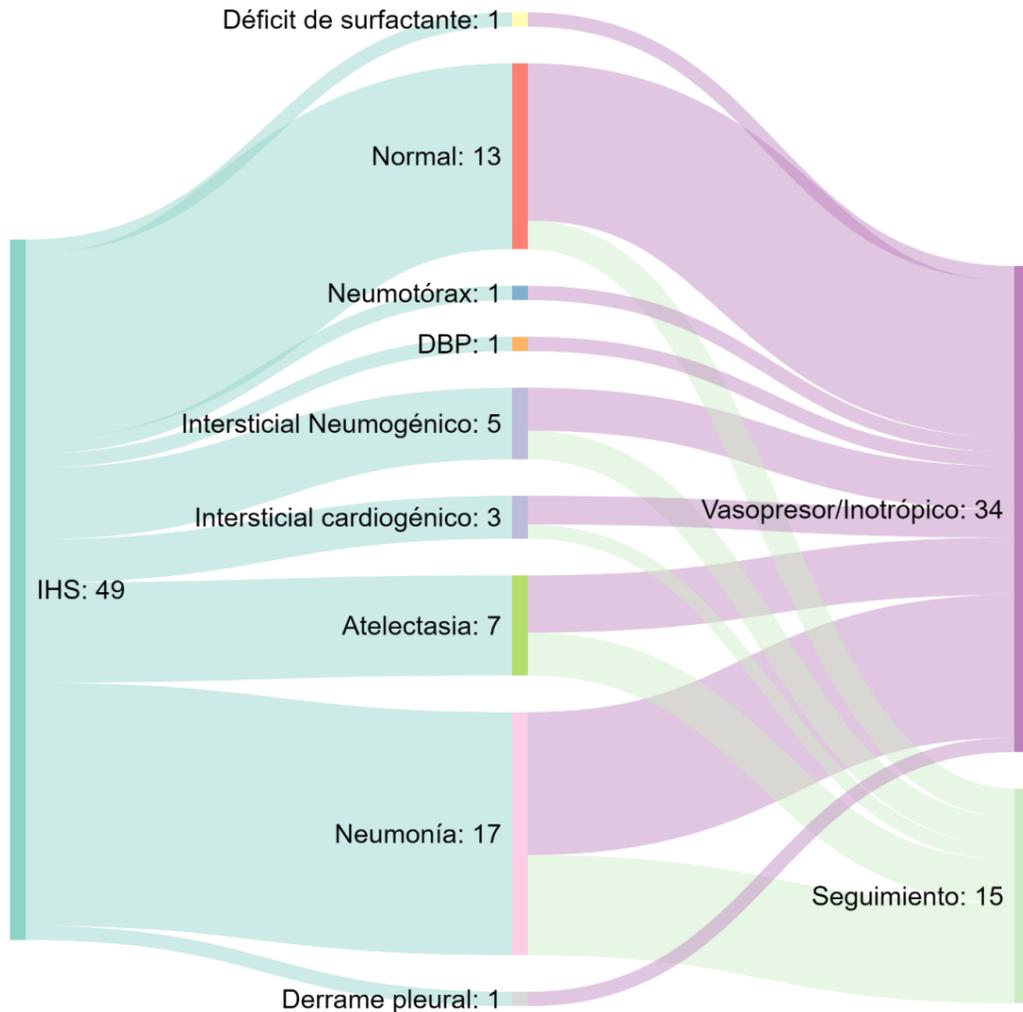
**FIGURA 4. Hallazgos en el ultrasonido pulmonar y recomendaciones médicas en lo pacientes con valoración de hemodinamia pulmonar.**



Las valoraciones por inestabilidad hemodinámica arrojaron una mayor variedad de patrones pulmonares en el ultrasonido, la mayoría de ellos (34.6%) se asociaron a un patrón sugerente de neumonía, un solo paciente se encontró derrame pleural; en 13 valoraciones (26.5%) no se encontraron cambios en el ultrasonido pulmonar.

La figura 5 muestra el resto de los hallazgos pulmonares en los pacientes con inestabilidad hemodinámica.

**FIGURA 5. Patrón de ultrasonido pulmonar en pacientes con inestabilidad hemodinámica y recomendaciones médicas.**



En cuanto a la adición de un ultrasonido cerebral a la valoración hemodinámica se observó que en el 79.5% se encontraron estructuralmente sin alteraciones y en los estudios que presentaron alguna alteración se observó la presencia de hemorragia intraventricular de cualquier grado en un 6.8% siendo de predominio Grado 1-2 en el 72.7% , correspondiendo en base al diagnóstico hemodinámico de la siguiente forma: los pacientes con PCA en 33 % siendo grado 1-2 en un 27 % y grado 3-4 en 6%, HAPa en 9% siendo grado 1-2 en 3% y grado 3-4 en 6 %; en contraste con los pacientes con HAPc en donde no se presentó hemorragia grado 1-2 solo progresión a grado 3-4 en 3 %.

En los pacientes con IH se presentó en 27.7% siendo grado 1-2 en un 12.2% y grado 3-4 en 6.1 % y en los pacientes sin alteraciones en el estudio hemodinámico se encontró un 27.2% siendo grado 1-2 en el 88%.

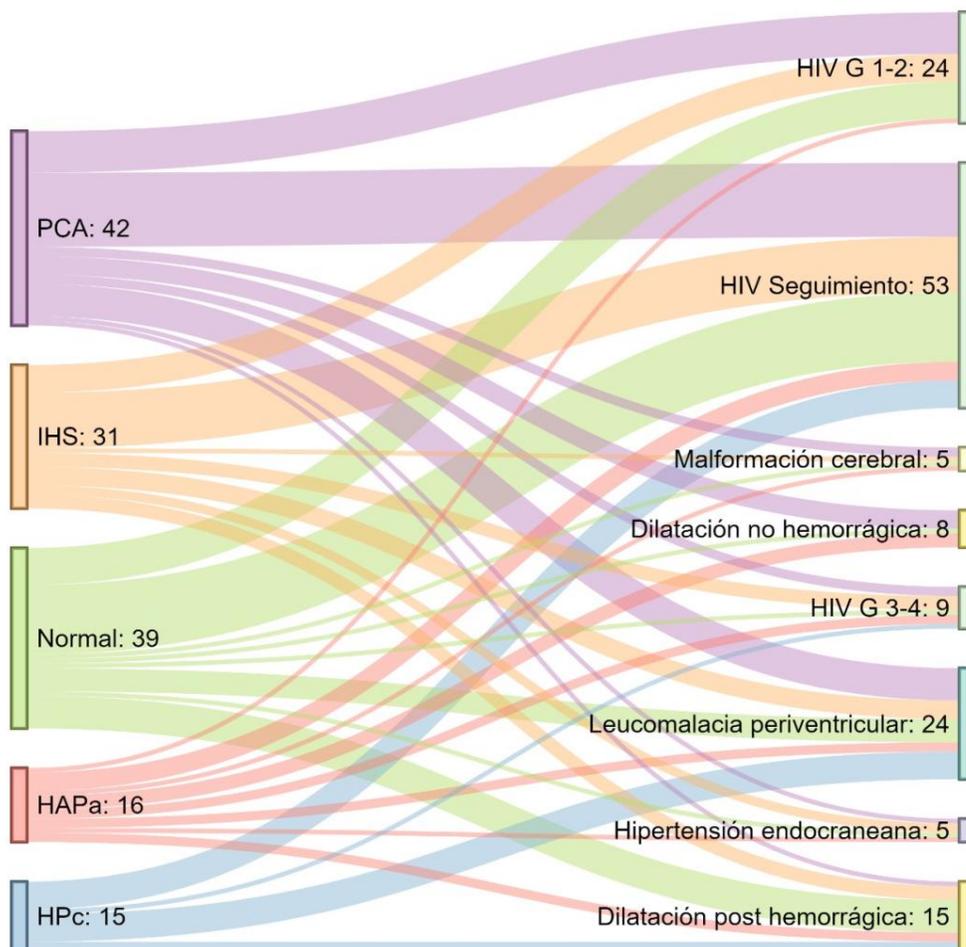
Durante la valoración del seguimiento se observó hemorragia intraventricular en un 10.7% de los estudios realizados correspondiendo a PCA en 30%, HAPa 7 %, HAPc11%, IH 23% y sin alteración hemodinámica 29%. Se observó que la dilatación hemorrágica se presentó un 25% principalmente en los pacientes sin alteraciones hemodinámicas en 53 %. En cuanto a la leucomalacia periventricular se presentó en un 42% principalmente en los pacientes con PCA en el 32%.

En menor frecuencia se observó hipertensión endocraneana en un 7.7% sin predominio de alteración hemodinámica en la valoración.

Dentro de los estudios sin hemorragia intraventricular se encontró dilatación no hemorrágica en un 57%, malformaciones cerebrales en el 1% de los estudios, e hipertensión endocraneana en el 7%.

La figura 6 muestra el resto de las alteraciones encontradas en el ultrasonido transfontanelar durante la valoración hemodinámica.

**FIGURA 6. Patrón de ultrasonido cerebral en de acuerdo a diagnósticos hemodinámicos.**



## DISCUSIÓN

Los métodos tradicionales para evaluar el bienestar cardiovascular en la UCIN son limitados.<sup>22</sup> Eso ha llevado a una expansión de los programas guiados por ultrasonido en todo el mundo. Canadá ha desarrollado un modelo consultivo mediante el cual la mayoría de las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales de tercer nivel cuentan con un profesional capacitado formalmente capaz de realizar una evaluación hemodinámica integral clínica y ecocardiográfica. Una encuesta reciente indica que el establecimiento de programas de ecocardiografía realizada por neonatólogos es una alta prioridad de los líderes norteamericanos en neonatología.<sup>23</sup>

El programa de consulta de hemodinámica se inició en nuestra institución en 2017 luego de un entrenamiento avanzado de uno de los integrantes del equipo<sup>3</sup>. Con la expansión de la valoración por ultrasonido pulmonar con evidencia creciente en la literatura de su utilidad y el potencial para reducir la radiación y mejorar la precisión diagnóstica por lo que después de un año de entrenamiento se incluyó formalmente en la valoración hemodinámica.

Los centros que ofrecen adiestramiento en ecocardiografía funcional neonatal han publicado los resultados de sus estudios. En Toronto, El-Khuffash, et al.<sup>24</sup> (512 ecocardiogramas en 199 neonatos por 4 años) y Papadhima, et al. (553 ecocardiogramas en 268 neonatos por 4 años y 8 meses)<sup>25</sup>, realizaron cambios justificados en la EfN en el 41% y el 48% de los neonatos, respectivamente. En España, Corredera, et al.<sup>26</sup> (168 ecocardiogramas en 50 neonatos por 1 año) ajustaron el manejo farmacológico en el 48% de los neonatos. En Calgary, Harabor y Soraisham<sup>27</sup> (303 ecocardiogramas en 129 neonatos, 18 de meses seguimiento) cambiaron el tratamiento en el 45% de los pacientes. En todos estos centros, la evaluación del PCA representó más del 50% de los motivos de la EfN (centros perinatales y de concentración de manejo quirúrgico de PCA). Lo cual difiere en cierta medida con lo encontrado en nuestro estudio y en estudios previos de nuestro propio centro en donde la valoración principal fue hipertensión arterial pulmonar aguda<sup>3</sup>; en nuestra evaluación actual a lo largo del período evaluado se realizaron 484 estudios que contaban con las tres evaluaciones (ecocardiográfica, pulmonar y transfontanelar ) durante los 3 años incluidos, de los cuales el motivo más frecuente de estudio fue valoración de la hemodinamia pulmonar en el 44.1% de los casos . De manera general acorde a los 4 motivos de valoración se dio una recomendación de tratamiento en el 57.6% de los casos, lo cual es similar a lo reportado por otros centros de evaluación; en cuanto a la valoración por PCA se encontró en el 29.7%, de los cuales se dio una recomendación del tratamiento en un 61.5% lo cual se encuentra en rangos similares a lo reportado por la literatura.

En el 2016, se reportó un estudio en México de valoración funcional,<sup>28</sup> en el cual se analizaron 30 valoraciones en 15 pacientes con inestabilidad hemodinámica y se revaloraron a las 24 horas posterior al cambio de manejo en 11 de ellos (73%), en nuestra población se realizó una valoración funcional por inestabilidad hemodinámica en el 18.1% confirmando el diagnóstico en el 55.6%, de los cuales se realizó una intervención en el 100% de los pacientes y se revaloró a un 30.6% de los cuales no fue necesaria una segunda recomendación.

En contraste, también encontramos que la valoración funcional es útil para limitar acciones terapéuticas en nuestro caso en los pacientes con PCA también medimos la no intervención o tratamiento expectante en un 31% de los pacientes, porcentaje similar a lo reportando en la literatura, en 2013 El-Khuffash<sup>24</sup>, reportó un 22% de evaluaciones en las cuales se evitó alguna intervención. Este es un resultado relevante ya que previamente en nuestro centro se había reportado un 7% en un análisis publicado en el 2020 de las valoraciones realizadas en los años 2017 y 2018<sup>3</sup>, lo que representa un beneficio importante en nuestro centro ante la oportunidad de realizar la valoración funcional en tiempo real.

Como la vigilancia con ultrasonido cerebral, especialmente entre los recién nacidos prematuros, se realiza rutinariamente por el neonatólogo y la valoración de la Arteria Cerebral Media (ACM) era parte del protocolo, se incluyó un estudio formal en el protocolo de adquisición de imágenes para obtener la información en el entorno agudo y disminuir la manipulación del paciente.

Agregar ultrasonido pulmonar y ultrasonido cerebral a nuestro protocolo resultó especialmente útil ya que el 67.5% tenía un ultrasonido pulmonar anormal y el 20.5% tenía un ultrasonido cerebral anormal. Los hallazgos de ultrasonido pulmonar y cerebral fueron concordantes con la fisiología del paciente, ya que se espera un patrón intersticial a alvéolo-intersticial generalizado entre la circulación de transición y un conducto permeable y las complicaciones hemorrágicas (pulmonares y cerebrales) están asociadas con grandes cortocircuitos.<sup>29</sup>

Se sabe que la mayoría de los casos de hipertensión pulmonar aguda en recién nacidos son secundarios a afectación parenquimatosa. Como muestra nuestro estudio, el 67.5% de las consultas mostró un ultrasonido pulmonar anormal que incluye malformaciones pulmonares y complicaciones como neumonía, derrames, hemorragia y atelectasia. Hurtado de Mendoza y colaboradores estudiaron a 17 pacientes con hipertensión arterial pulmonar persistente del recién nacido admitidos para tratamiento con ECMO en los que se compararon el ultrasonido pulmonar y la radiografía tradicional. El ultrasonido mostró una mejor sensibilidad (88,9%) y especificidad (85%) que la radiografía tradicional

(55,6 y 77,5%, respectivamente) en la identificación de pacientes con enfermedad pulmonar no parenquimatosa.<sup>30</sup>

En el caso de la inestabilidad hemodinámica se encontró un patrón de neumonía en el ultrasonido pulmonar posiblemente asociado a la causa de descompensación hemodinámica y en el ultrasonido cerebral sin encontrarse algún patrón específico observando distintos grados de hemorragia intraventricular y leucomalacia periventricular.

Finalmente, los pacientes con hipertensión pulmonar crónica mostraron varios grados de patrón neumónico intersticial que puede persistir en los ex bebés prematuros y ayuda a predecir el desarrollo de displasia broncopulmonar moderada a severa.<sup>31</sup> También fue útil para diagnosticar complicaciones como neumonía y atelectasias asociadas a la atención médica.

Nuestro estudio representa el análisis del número más grande de pacientes reportados en la literatura mexicana y nuestros resultados coinciden con lo reportado en la literatura internacional.

Actualmente en nuestro centro se ofrece un entrenamiento a personal neonatólogo durante 1 año en la realización de valoración funcional hemodinámica lo cual permitirá realizar en un futuro un análisis más completo de los beneficios para los pacientes.

### CONCLUSIÓN

Debido a que en el 67.5% se encontró alguna alteración en el ultrasonido pulmonar y 20.5 % en el transfontanelar, la realización de ultrasonido pulmonar y cerebral además de las consultas de ecocardiograma realizado por neonatología proporciona información valiosa para abordar de forma integral al paciente permitiendo realizar un diagnóstico y tratamiento oportuno disminuyendo la morbimortalidad.

### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	2021					2022				
	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M
Elección del tema										
Desarrollo de protocolo y marco teórico										
Revisión de expedientes y creación de la base de datos										
Organización y análisis de resultados										
Elaboración de reporte final										

## **LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

Dentro de las limitaciones consideradas en el estudio se encontró la falta de lineamientos para identificar a aquellos pacientes quienes ameritaban valoración POCUS, ya que en situaciones en donde su médico adscrito no considero necesaria la valoración no fueron incluidos en este estudio. Así como la falta de un protocolo estandarizado para la obtención de las imágenes incluyendo la valoración hemodinámica, el ultrasonido pulmonar y transfontanelar.

Por otra parte, a pesar de ser un centro de referencia para cuidados neonatales intensivos a nivel nacional se presentó un tamaño de muestra menor al esperado para el período de tiempo del estudio, posiblemente secundario al periodo estudiado en donde se presentó la pandemia por Covid19.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- <sup>1</sup> de Boode WP, Singh Y, Gupta S, Austin T, Bohlin K, Dempsey E, Groves A, Eriksen BH, van Laere D, Molnar Z, Nestaas E, Rogerson S, Schubert U, Tissot C, van der Lee R, van Overmeire B, El-Khuffash A. Recommendations for neonatologist performed echocardiography in Europe: Consensus Statement endorsed by European Society for Paediatric Research (ESPR) and European Society for Neonatology (ESN). *Pediatr Res*. 2016 Oct;80(4):465-71. doi: 10.1038/pr.2016.126. Epub 2016 Jun 8. PMID: 27384404; PMCID: PMC5510288.
- <sup>2</sup> Singh Y, Tissot C, Fraga MV, Yousef N, Cortes RG, Lopez J, Sanchez-de-Toledo J, Brierley J, Colunga JM, Raffaj D, Da Cruz E, Durand P, Kenderessy P, Lang HJ, Nishisaki A, Kneyber MC, Tissieres P, Conlon TW, De Luca D. International evidence-based guidelines on Point of Care Ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Crit Care*. 2020 Feb 24;24(1):65. doi: 10.1186/s13054-020-2787-9. PMID: 32093763; PMCID: PMC7041196.
- <sup>3</sup> Ibarra-Ríos D, Márquez-González H, Quiroga-Valdés A, Guzmán-Arce AE, Villanueva-García D, Villegas-Silva R. Analysis of the results of the neonatal functional echocardiography program in a third-level pediatric hospital. *Bol Med Hosp Infant Mex*. 2020;77(4):178-185. English. doi: 10.24875/BMHIM.20000036. PMID: 32713948.
- <sup>4</sup> Tissot C, Singh Y. Neonatal functional echocardiography. *Curr Opin Pediatr*. 2020 Apr;32(2):235-244. doi 10.1097/MOP.0000000000000887. PMID 32068595.
- <sup>5</sup> Miller LE, Stoller JZ, Fraga MV. Point-of-care ultrasound in the neonatal ICU. *Curr Opin Pediatr*. 2020 Apr;32(2):216-227. doi 10.1097/MOP.0000000000000863. PMID 31851056.
- <sup>6</sup> Noori S. Patent ductus arteriosus in the preterm infant: to treat or not to treat? *J Perinatol* 2010; 30: S31–S37.
- <sup>7</sup> Noori S, McCoy M, Friedlich P, et al. Failure of ductus arteriosus closure is associated with increased mortality in preterm infants. *Pediatrics* 2009; 123: e138–e144.
- <sup>8</sup> Hallazgos clínicos y ultrasonográficos en neonatos con conducto arterioso permeable durante un año mediante un programa de examen neonatal asistido por ultrasonido en el punto de atención, características de las variables ultrasonográficas tras el manejo farmacológico / tesis que para obtener el grado de Especialista en Medicina (Pediatria), presenta Laura Mariela León Vallejo; tutor principal de tesis Daniel Ibarra Ríos, 2021.
- <sup>9</sup> Wu J, Wang Y, Zhao A, Wang Z. Lung Ultrasound for the Diagnosis of Neonatal Respiratory Distress Syndrome: A Metaanalysis. *Ultrasound Q*. 2020;36(2):102-110. doi:10.1097/ RUQ.0000000000000490.
- <sup>10</sup> Corsini I, Parri N, Gozzini E, et al. Lung Ultrasound for the Differential Diagnosis of Respiratory Distress in Neonates. *Neonatology*. 2019;115(1):77-84. doi:10.1159/000493001

- 
- <sup>11</sup> PAC Neonatología 5. Libro 6. Ultrasonografía pulmonar neonatal. Capítulo 1. El ABCD del ultrasonido pulmonar.
- <sup>12</sup> Elsayed YN. Lung Ultrasound as a New Technique for Diagnosis of Neonatal Respiratory Diseases. *Neonatal Netw.* 2018;37(4):224-232. doi:10.1891/0730-0832.37.4.224
- <sup>13</sup> Vergine M, Copetti R, Brusa G, Cattarossi L. Lung ultrasound accuracy in respiratory distress syndrome and transient tachypnea of the newborn. *Neonatology.* 2014;106:87–93.
- <sup>14</sup> Raimondi F, Migliaro F, De Luca D, Yousef N, Rodriguez FJ. Clinical Data Are Essential to Validate Lung Ultrasound. *Chest.* 2016;149:1575.
- <sup>15</sup> Brusa G, Savoia M, Vergine M, Bon A, Copetti R, Cattarossi L. Neonatal lung sonography: interobserver agreement between physician interpreters with varying levels of experience. *J Ultrasound Med.* 2015; 34:1549–54.
- <sup>16</sup> Raimondi F, Rodriguez Fanjul J, Aversa S, Chirico G, Yousef N, De Luca D, et al. Lung Ultrasound for Diagnosing Pneumothorax in the Critically Ill Neonate. *J Pediatr.* 2016;175:748 e1.
- <sup>17</sup> Starr R, De Jesus O, Shah SD, et al. Periventricular And Intraventricular Hemorrhage. [Updated 2022 Feb 5]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538310/>
- <sup>18</sup> Jain A, El-Khuffash AF, Kuipers BCW, Mohamed A, Connelly KA, McNamara PJ, Jankov RP, Mertens L. Left Ventricular Function in Healthy Term Neonates During the Transitional Period. *J Pediatr.* 2017 Mar;182:197-203.e2. doi: 10.1016/j.jpeds.2016.11.003.
- <sup>19</sup> James AT, Corcoran JD, Jain A, McNamara PJ, Mertens L, Franklin O, El-Khuffash AF. Assessment of myocardial performance in preterm infants less than 29 weeks gestation during the transitional period. *Early Hum Dev.* 2014 Dec;90(12):829-35. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2014.09.004.
- <sup>20</sup> Walther FJ, Siassi B, King J, Wu PY. Echocardiographic measurements in normal preterm and term neonates. *Acta Paediatr Scand.* 1986 Jul;75(4):563-8. DOI: 10.1111/j.1651-2227.1986.tb10251.x
- <sup>21</sup> de Boode WP, van der Lee R, Horsberg Eriksen B, Nestaas E, Dempsey E, Singh Y, Austin T, El-Khuffash A; European Special Interest Group Neonatologist Performed Echocardiography' (NPE). The role of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of neonatal shock. *Pediatr Res.* 2018 Jul;84(Suppl 1):57-67. doi: 10.1038/s41390-018-0081-1
- <sup>22</sup> 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

- 
- <sup>23</sup> Groves, A.M., Singh, Y., Dempsey, E. et al. Introduction to neonatologist-performed echocardiography. *Pediatr Res* 84, 1–12 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41390-018-0076-y>
- <sup>24</sup> 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; 33:687-90
- <sup>25</sup> Papadhima I, Louis D, Purna J, Deshpande P, Diambomba Y, Lee S, et al. Targeted neonatal echocardiography (TNE) consult service in a large tertiary perinatal center in Canada. *J Perinatol*. 2018; 38:1039-45.
- <sup>26</sup> Corredera A, Rodriguez MJ, Arevalo P, Llorente B, Moro M, Arruza L. [Functional echocardiography in neonatal intensive care: 1-year experience in a unit in Spain]. *An Pediatr (Barc)*. 2014;81:167-73.
- <sup>27</sup> Harabor A, Soraisham AS. Utility of targeted neonatal echocardiography in the management of neonatal illness. *J Ultrasound Med*. 2015; 34:1259-63.
- <sup>28</sup> Hernandez-Benitez R, Becerra-Becerra R. Functional echocardiography in the neonatal intensive care unit; experience in a tertiary level hospital. *Bol Med Hosp Infant Mex*. 2016;73:325-30.
- <sup>29</sup> Camfferman FA, de Goederen R, Govaert P, Dudink J, van Bel F, Pellicer A, Cools F; eurUS.brain group. Diagnostic and predictive value of Doppler ultrasound for evaluation of the brain circulation in preterm infants: a systematic review. *Pediatr Res*. 2020 Mar;87(Suppl 1):50-58. doi: 10.1038/s41390-020-0777-x.
- <sup>30</sup> Del Rey Hurtado de Mendoza B, Sánchez-de-Toledo J, Bobillo Perez S, Girona M, Balaguer Gargallo M, Rodríguez-Fanjul J. Lung Ultrasound to Assess the Etiology of Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn (LUPPHYN Study): A Pilot Study. *Neonatology*. 2019;116(2):140-146. doi:10.1159/000499047
- <sup>31</sup> Alonso-Ojembarrena A, Serna-Guerediaga I, Aldecoa-Bilbao V, Gregorio-Hernández R, Alonso-Quintela P, Concheiro-Guisán A, Ramos-Rodríguez A, Heras-Martín ML, Rodeño-Fernández L, Oulego-Erroz I. The Predictive Value of Lung Ultrasound Scores in Developing Bronchopulmonary Dysplasia: A Prospective Multicenter Diagnostic Accuracy Study. *Chest*. 2021 Mar 6:S0012-3692(21)00468-2. doi: 10.1016/j.chest.2021.02.066.