



FEDERACIÓN NACIONAL DE  
NEONATOLOGÍA DE MÉXICO, A.C.  
*El neonato, nuestro compromiso*

**PAC**<sup>®</sup>

# NEONATOLOGÍA

# 5

PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN CONTINUA EN NEONATOLOGÍA

Libro 6

## Ultrasonografía pulmonar neonatal

**COORDINADOR**

Dr. Javier Mancilla Ramírez

**AUTORES**

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dra. Alejandra Sánchez Cruz



World Association  
of Perinatal Medicine



FEDERACIÓN NACIONAL DE  
NEONATOLOGÍA DE MÉXICO, A.C.  
*El neonato, nuestro compromiso*

**PAC**<sup>®</sup>

# NEONATOLOGÍA

# 5

PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN CONTINUA EN NEONATOLOGÍA

Libro 6

## Ultrasonografía pulmonar neonatal

**COORDINADOR GENERAL Y COMPILADOR**

Dr. Javier Mancilla Ramírez

**COORDINADORES ADJUNTOS**

Dr. José Alfonso Gutiérrez Padilla

Dr. Isaac Estrada Ruelas

**AUTORES**

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dra. Alejandra Sánchez Cruz

**COAUTORES**

Dra. Adriana Apolonio Martínez

Dr. Adrián Ceballos Bocanegra

Dra. Irma Viridiana Cruz Rodríguez

Dr. Daniele De Luca

Dr. Yasser N Elsayed

Dr. Ricardo Gil Guevara

Dr. Horacio Márquez González

Dr. Alfonso de Jesús Martínez García.

Dra. Carolina Michel Macías

Dra. Deneb Algedi Morales Barquet

Dr. Alejandro Alberto Peñarrieta Daher

Dra. María Teresa Valadez Reyes

Dra. Dina Villanueva García

Dr. Cristian Rubén Zalles Vidal

Inter sistemas  
Inter sistemas  
Inter sistemas  
EDITORES

Copyright © 2021 / Intersistemas S.A. de C.V.

Diseñado y producido por:



**Intersistemas, S.A. de C.V.**

Aguiar y Seijas 75  
Lomas de Chapultepec  
11000, Ciudad de México  
Tel. (5255) 5520 2073  
intersistemas@intersistemas.com.mx  
www.intersistemas.com.mx

## PAC® Neonatología 5 / Libro 6 / Ultrasonografía pulmonar neonatal

Derechos reservados © 2021 Intersistemas, S.A. de C.V.

Todos los derechos reservados. Esta publicación está protegida por los derechos de autor. Ninguna parte de la misma puede reproducirse, almacenarse en ningún sistema de recuperación, inventado o por inventarse, ni transmitirse de ninguna forma ni por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidas fotocopias, sin autorización escrita del editor.

ISBN 978-607-443-979-3 PAC® Neonatología 5 / Obra completa

ISBN 978-607-443-980-9 PAC® Neonatología 5 / Libro 6 / Ultrasonografía pulmonar neonatal

### Advertencia

Debido a los rápidos avances en las ciencias médicas, el diagnóstico, el tratamiento, el tipo de fármaco, la dosis, etc., deben verificarse en forma individual. El (los) autor(es) y los editores no se responsabilizan de ningún efecto adverso derivado de la aplicación de los conceptos vertidos en esta publicación, la cual queda a criterio exclusivo del lector.



Reproducir esta obra en cualquier formato es ilegal. Infórmate en:

[info@cempro.org.mx](mailto:info@cempro.org.mx)

Cuidado de la edición: Dra. María del Carmen Ruíz Alcocer, Dr. Nilson Agustín Contreras Carreto

Coordinación de producción: LDG. Edgar Romero Escobar

Formación: LDG. Marcela Solís Mendoza

Diseño de portada: LDG. Edgar Romero Escobar, Prof. CT Luis David Soriano Zavala

Editado en México



FEDERACIÓN NACIONAL DE  
NEONATOLOGÍA DE MÉXICO, A.C.  
*El neonato, nuestro compromiso*

**MESA DIRECTIVA  
2019-2021**

**PRESIDENTE**

**Dr. Isaac Estrada Ruelas**

**VICEPRESIDENTE**

**Dr. Moisés Quiles Corona**

**SECRETARIO**

**Dr. Lorenzo Osorno Covarrubias**

**TESORERO**

**Dr. Luis Manuel González Gómez**

**PROTESORERO**

**Dr. Marco Antonio Hernández  
Pérez**



World Association  
of Perinatal Medicine

## Autor

### Dr. Daniel Ibarra Ríos

- Médico Pediatra, Neonatólogo
- Curso de Alta Especialidad en Calidad en la Atención Integral Pediátrica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Hospital Infantil de México Federico Gómez (HIMFG)
- Jefe de Médicos Residentes, HIMFG
- *Fellow* Clínico en Ecocardiografía Funcional, Universidad de Toronto
- Miembro del Colaborativo Panamericano de Hemodinamia Neonatal
- Miembro de la American Society of Echocardiography
- Académico numerario, Academia Mexicana de Pediatría
- Adscrito al Departamento de Neonatología, HIMFG
- Socio activo de la Federación Nacional de Neonatología de México
- Certificación vigente en Pediatría y Neonatología

### Dra. Alejandra Sánchez Cruz

- Maestra en Ciencias Médicas, UNAM
- Médico Pediatra y Neonatóloga, UNAM
- Adscrita al Servicio de Terapia Intermedia Neonatal en UMAE 4 Hospital de Ginecoobstetricia No. 4, IMSS "Luis Castelazo Ayala"
- Profesora adjunta de Neonatología en UMAE 4 Hospital de Ginecoobstetricia No. 4, IMSS "Luis Castelazo Ayala", UNAM
- Socio activo de la Sociedad Iberoamericana de Neonatología,
- Sociedad de Pediatras de la Ciudad de México,
- Sociedad Médica del Hospital Ángeles Metropolitano
- Certificación vigente en Pediatría y Neonatología

## Coautores

### Dra. Adriana Apolonio Martínez

- Médico Pediatra, Cardiólogo Pediatra
- Curso de Alta Especialidad en Ecocardiografía Pediátrica
- Adscrita al Departamento de Pediatría del HGO No. 4 IMSS
- Socio activo de la Sociedad Nacional de Ecocardiografía de México SONECOM
- Socio activo de la Asociación Mexicana para el Estudio de las Cardiopatías Congénitas AMECC
- Certificación vigente en Pediatría y Cardiología Pediátrica

### **Dr. Adrián Ceballos Bocanegra**

- Licenciatura, Médico Cirujano, Facultad de Medicina de San Luis Potosí
- Médico Pediatra, Neonatólogo
- Curso de Alta Especialidad en Calidad en la Atención Integral Pediátrica, UNAM, HIMFG
- Jefe de Médicos Residentes, HIMFG
- Maestría en Administración en Organizaciones de Salud, Universidad La Salle
- Diplomado de Gestión de Instituciones de Salud, Instituto Tecnológico Autónomo de México
- Ex Presidente de la Asociación de Médicos Neonatólogos del Distrito Federal y Valle de México (2015-2017)
- Ex Vocal del Consejo de Certificación en Pediatría, sección Neonatología (2017-2019)
- Director Médico, Unidad Materno Infantil, Centro Médico Dalinde, CDMX

### **Dra. Irma Viridiana Cruz Rodríguez**

- Médico Cirujano, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Ginecología y Obstetricia y Especialidad en Medicina Materno Fetal, Hospital de Ginecología y Obstetricia No. 4 del IMSS "Luis Castelazo Ayala"
- Adscrita al Servicio de Medicina Materno Fetal del Hospital de Ginecología y Obstetricia No. 4 del IMSS "Luis Castelazo Ayala"
- Certificada por la Fetal Medicine Foundation
- Certificada por Consejo Mexicano de Ginecología y Obstetricia y Medicina Materno Fetal
- Profesor adjunto del curso de pregrado en Ginecología y Obstetricia de la Universidad Panamericana

### **Dr. Daniele De Luca**

- Associate Professor of Pediatrics, Paris Saclay University
- Chief, Division of Pediatrics and Neonatal Critical Care, APHP, Paris Saclay University Hospitals, "A.Beclere" Medical Center
- President - Elect of the European Society for Pediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC)
- Editor - European Journal of Pediatrics

### **Dr. Yasser N. Elsayed**

- Associate Professor of Pediatrics, University of Manitoba
- Staff neonatologist, and researcher, Children's Hospital Research Institute of Manitoba
- Founder and director of the Integrated Hemodynamics Program and Point of Care Ultrasound in Winnipeg
- Co-chair of POCUNEO group
- Co-chair of the Canadian National Perinatal research Meeting 2020

### **Dr. Ricardo Gil Guevara**

- Especialidad en Pediatría y Subespecialidad en Urgencias Pediátricas, UNAM, HIMFG
- Instructor de BLS y ACLS, American Heart Association
- Certificado por el Consejo Mexicano de Medicina de Urgencias
- Certificado por el Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría
- Diplomado en ecografía en el paciente crítico: Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez

### **Dr. Horacio Márquez González**

- Médico Pediatra, Especialista en Cardiología Pediátrica, UNAM
- Doctor en Ciencias, UNAM
- Candidato al Sistema Nacional de Investigadores
- Investigador en Ciencias C, Sistema Institucional de Investigadores en Ciencias Médicas de la Secretaría de Salud
- Investigador titular C del IMSS
- Departamento de Investigación Clínica, Hospital Infantil de México Federico Gómez
- Servicio de Cardiopatías Congénitas. UMAE Hospital de Cardiología Centro Médico Nacional Siglo XXI

### **Dr. Alfonso de Jesús Martínez García**

- Médico Pediatra, HIMFG, UNAM
- Cardiólogo Pediatra, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez
- Especialidad en Cardiología Fetal Royal Brompton Hospital y St. George's University Hospital
- Adscrito al Instituto Nacional de Perinatología
- Profesor titular de la especialidad de Cardiología Fetal, UNAM
- Coordinador del Capítulo de Eco-Pediatría de la Sociedad Nacional de Ecocardiografía de México (SONECOM)

### **Dra. Carolina Michel Macías**

- Médico Pediatra, Neonatóloga
- Curso de Alta Especialidad en Cuidados Intensivos Neonatales, Instituto Nacional de Perinatología Isidro Espinoza de los Reyes, UNAM
- Socio activo de la Federación Nacional de Neonatología de México
- Certificación vigente en Pediatría y Neonatología

### **Dra. Deneb Algedi Morales Barquet**

- Médico Pediatra, Neonatólogo.
- Curso de Alta Especialidad en Cuidados intensivos Neonatales. Instituto Nacional de Perinatología Isidro Espinoza de los Reyes, UNAM
- Vicepresidente del Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría-Sección Neonatología
- Socio activo de la Federación Nacional de Neonatología de México
- Certificación vigente en Pediatría y Neonatología

### **Dr. Alejandro Alberto Peñarrieta Daher**

- Pediatra, Cirujano Pediatra, Curso de Alta Especialidad en Cirugía Neonatal, Hospital Infantil de México Federico Gómez, Universidad nacional Autónoma de México
- Médico Adscrito al Departamento de Cirugía Pediátrica, HIMFG, UNAM
- Socio activo del Colegio y Sociedad Mexicana de Cirugía Pediátrica

### **Dra. María Teresa Valadez Reyes**

- Radiología, UNAM, HIMFG
- Médico Radiólogo, encargada del área de Ultrasonido del HIMFG
- Profesor Adjunto al curso de posgrado de Alta Especialidad en Imagenología Pediátrica del HIMFG
- Profesor Adjunto al curso de Alta Especialidad en Nefrología Pediátrica del HIMFG
- Profesor Asociado al curso de Alta Especialidad en Trasplantes del HIMFG
- Certificada por el Consejo Mexicano de Radiología e Imagen

### **Dra. Dina Villanueva García**

- Médica Pediatra, Neonatóloga, HIMFG, UNAM
- Jefa de Servicio. Departamento de Neonatología, HIMFG
- Profesor Adjunto de la Especialización de Neonatología, HIMFG, UNAM
- Académica Titular y Coordinadora de Educación a Distancia por la Academia Mexicana de Pediatría en CEMESATEL
- *Fellowship* en Investigación Neonatal. Boston Massachusetts General Hospital, USA
- Socia activa de la Federación Nacional de Neonatología de México
- Certificación vigente en Pediatría y Neonatología

### **Dr. Cristian Rubén Zalles Vidal**

- Médico Pediatra, Cirujano Pediatra, HIMFG, UNAM
- Jefe de Cirugía Neonatal, Hospital Infantil de México Federico Gómez
- Profesor titular de Cirugía Neonatal, HIMFG, UNAM
- Profesor Adjunto de Cirugía Endoscópica, HIMFG, UNAM

## Coordinador general y compilador

### **Dr. Javier Mancilla Ramírez**

- Médico Pediatra, Neonatólogo, Infectólogo
- Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas
- Director General de Calidad y Educación en Salud, Secretaría de Salud
- Investigador Nacional nivel 2 del Sistema Nacional de Investigadores
- Profesor Investigador Titular C, Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional
- Profesor de Posgrado de Pediatría y Neonatología, Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México
- Académico Titular de la Academia Nacional de Medicina
- Académico Honorario de la Academia Mexiquense de Medicina, A. C.
- Académico correspondiente de la Academia de Farmacia de Castilla y León, España (desde 2013)
- Académico correspondiente de la Real Academia de Medicina de Salamanca, España (desde 2006)
- Académico correspondiente extranjero de la Real Academia de Doctores de España (desde 2005)
- Presidente de la Academia Mexicana de Pediatría (2017-2019)
- Presidente de la Federación Nacional de Neonatología de México (2011-2013)
- Presidente del Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría, Sección Neonatología (2007-2009)

- Secretario Adjunto (2012-15) y Vocal del Comité de Educación de la *World Association of Perinatal Medicine* (2015-2020)
- Premio Doctor Miguel Otero Arce 2013, del Consejo de Salubridad General, México
- Premio Jalisco en Ciencias de la Salud, 2004

## Coordinadores adjuntos

### **Dr. José Alfonso Gutiérrez Padilla**

- Pediatra Neonatólogo
- Maestro en Salud Pública con especialidad en epidemiología
- Investigador Nivel I, CONACYT
- Director de Investigación, Secretaría de Salud, Jalisco
- Presidente del Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría, sección Neonatología
- Miembro de la Academia Mexicana de Pediatría
- Academia Americana de Pediatría
- Sociedad Española de Neonatología
- Sociedad de Neonatología de California

### **Dr. Isaac Estrada Ruelas**

- Médico Pediatra - Neonatólogo
- Diplomado en Neurología Neonatal II, INPer; en Gerencia de Salud, ITAM; en Calidad como Sistema de Gestión, Universidad de Monterrey
- Maestría en Administración con Especialidad en Alta Dirección, Centro de Estudios de Posgrado, CETYS, Tijuana
- Coordinador Médico de Neonatología y Profesor Titular de Pediatría Médica. Hospital de Gineco-Obstetricia y Unidad de Medicina Familiar No. 7, IMSS, Tijuana, BC
- Profesor de la Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Baja California
- Instructor Nacional de los Programas de Reanimación Neonatal y de Apoyo Ventilatorio Neonatal, CPAP
- Expresidente del Colegio de Pediatría de Baja California, Capítulo Tijuana y de la Asociación de Neonatología del Estado de Baja California
- Expresidente del Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría, Sección Neonatología
- Presidente de la Federación Nacional de Neonatología de México, A.C.
- Certificación vigente en Pediatría y Neonatología



# Contenido

Prólogo .....	17
<b>CAPÍTULO 1. El A, B, C, D del ultrasonido pulmonar .....</b>	<b>19</b>
Introducción .....	19
Historia .....	20
Guías en Neonatología .....	21
Física simplificada .....	21
Anatomía .....	25
Artefactos que interpretar en el ultrasonido pulmonar (A y B del ultrasonido pulmonar) .....	26
Líneas A .....	26
Efecto anular descendente (ring-down effect) .....	27
Líneas B .....	27
Líneas Z .....	28
Escala semicuantitativa .....	28
Consolidación (C) .....	29
Reconocimiento del timo .....	29
Derrame pleural (D) .....	31
Algoritmo general .....	32
Recursos educativos .....	32
Simulación .....	32
Conclusiones .....	33
<b>CAPÍTULO 2. Transición y retención de líquido pulmonar fetal (Taquipnea transitoria del recién nacido) .....</b>	<b>37</b>
Introducción .....	37
La fisiología de la transición .....	37
Ultrasonido pulmonar en la transición .....	38
Retención de líquido pulmonar fetal (Taquipnea transitoria del recién nacido) .....	38
Introducción .....	38
Epidemiología .....	39
Factores de riesgo .....	39
Fisiopatología .....	39
Presentación clínica .....	40
Diagnóstico .....	40
Ultrasonido pulmonar en taquipnea transitoria del recién nacido .....	41
Tratamiento .....	43
Pronóstico .....	44

Conclusiones .....	44
<b>CAPÍTULO 3. Síndrome de dificultad respiratoria del recién nacido (déficit de surfactante) .....</b>	<b>46</b>
Introducción .....	46
Fisiopatología.....	46
Diagnóstico .....	46
Ultrasonido pulmonar para el diagnóstico de SDR .....	47
Medición de cuerpos lamelares.....	47
Tratamiento.....	48
Surfactante pulmonar exógeno .....	49
Ultrasonido pulmonar para predecir la necesidad de surfactante .....	49
Técnicas de administración de surfactante exógeno .....	52
Ultrasonido pulmonar en modelo animal de SDR .....	54
Conclusiones .....	54
<b>CAPÍTULO 4. Consolidación .....</b>	<b>57</b>
Introducción .....	57
Neumonía neonatal .....	57
Introducción .....	57
Epidemiología y etiología .....	57
Neumonía congénita .....	57
Neumonía de inicio temprano .....	57
Neumonía de aparición tardía .....	58
Neumonía viral .....	58
Factores de riesgo .....	58
Fisiopatología .....	59
Manifestaciones clínicas .....	59
Métodos diagnósticos .....	59
Diagnóstico microbiológico .....	59
Diagnóstico radiológico .....	60
Ultrasonido pulmonar en neumonía neonatal .....	60
Exámenes de laboratorio .....	62
Tratamiento.....	62
Prevención .....	63
Ultrasonido en paciente pediátrico con neumonía .....	63
Epidemiología: .....	63
Criterios de hospitalización.....	63
Abordaje del paciente pediátrico por UP .....	63
Bronquiolitis .....	64
<b>SARS- CoV 2 en Neonatología y Pediatría .....</b>	<b>65</b>
Generalidades .....	65
Radiografía y TAC .....	65

Ultrasonido pulmonar y neumonía por SARS-COV2 en Neonatología y Pediatría .....	66
Protección .....	67
<b>Síndrome de aspiración de meconio .....</b>	<b>68</b>
Generalidades .....	68
Epidemiología .....	68
Fisiopatología .....	68
Manifestaciones radiológicas .....	69
Ultrasonido pulmonar en SAM .....	69
Tratamiento .....	70
<b>Hemorragia pulmonar .....</b>	<b>70</b>
Generalidades y epidemiología .....	70
<b>Factores de riesgo .....</b>	<b>70</b>
Fisiopatología .....	70
Radiografía de tórax .....	71
UP y hemorragia pulmonar .....	71
Tratamiento .....	71
<b>Atelectasias .....</b>	<b>71</b>
Introducción .....	71
Características del ultrasonido pulmonar en atelectasia.....	72
<b>Conclusiones .....</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO 5. Neumotórax y derrame pleural .....</b>	<b>78</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>78</b>
<b>Neumotórax .....</b>	<b>78</b>
Introducción .....	78
Características del ultrasonido pulmonar .....	79
Signos del ultrasonido pulmonar en neumotórax .....	80
Minisello y sello pleural .....	81
<b>Derrame pleural .....</b>	<b>81</b>
Introducción .....	81
Características del ultrasonido pulmonar .....	82
Toracocentesis .....	84
<b>Conclusiones .....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO 6. Ultrasonido pulmonar en ventilación mecánica y displasia broncopulmonar .....</b>	<b>87</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>87</b>
<b>UP en ventilación mecánica .....</b>	<b>87</b>
<b>Diagnóstico radiológico de DBP .....</b>	<b>89</b>
<b>Radiología .....</b>	<b>89</b>
<b>Ultrasonido pulmonar:.....</b>	<b>89</b>
UP para predecir el desarrollo de DBP .....	89
UP para ayudar al tratamiento de la DBP .....	92

Enfermedades pulmonares intersticiales con presentación temprana y UP .....	93
Conclusiones .....	95
<b>CAPÍTULO 7. Malformaciones pulmonares .....</b>	<b>97</b>
Introducción .....	97
Ecografía pulmonar fetal normal .....	97
Malformaciones pulmonares que requieren seguimiento .....	98
Diagnóstico posnatal .....	98
<b>Malformación Congénita Pulmonar y de la Vía Aérea (MCPVA), Secuestro Broncopulmonar (SBP) y lesiones híbridas .....</b>	<b>98</b>
Introducción .....	98
MCPVA .....	99
Secuestro Broncopulmonar (SBP) .....	100
Lesiones híbridas .....	101
Índices ecográficos .....	102
Índice ecográfico CVR (Relación de volumen de la malformación congénita) .....	102
Relación masa-tórax (MTR) .....	103
Nacimiento y reanimación .....	103
Características del ultrasonido pulmonar .....	103
Manejo quirúrgico .....	105
<b>Hernia diafragmática congénita .....</b>	<b>105</b>
Introducción y epidemiología .....	105
Embriogénesis y fisiopatología .....	106
Diagnóstico prenatal .....	106
Índices ecográficos .....	107
Diagnóstico posnatal y UP .....	108
Manejo protocolizado .....	109
Presentación por Medicina Materno Fetal y/o Cirugía Fetal .....	109
Atención en el quirófano .....	109
Ventilatorio .....	110
Hemodinámico .....	110
Manejo quirúrgico .....	111
<b>Eventración diafragmática .....</b>	<b>111</b>
Introducción y epidemiología .....	111
Diagnóstico .....	111
Tratamiento .....	112
<b>Conclusiones .....</b>	<b>113</b>
<b>CAPÍTULO 8. Conducto arterioso permeable relacionado con la prematuridad, hipertensión arterial pulmonar y otras cardiopatías congénitas con flujo pulmonar aumentado .....</b>	<b>116</b>
Introducción .....	116
Valoración del conducto arterioso permeable relacionado con la prematuridad .....	116

Diagnóstico .....	118
Ultrasonido pulmonar en CAP .....	124
Hipertensión arterial pulmonar en el recién nacido .....	125
Diagnóstico .....	126
UP en hipertensión arterial pulmonar .....	128
Cardiopatías congénitas que generan hiperflujo pulmonar .....	128
UP en cardiopatías congénitas que generan hiperflujo pulmonar .....	128
Conclusiones .....	132
CAPÍTULO 9. Método de adquisición de imágenes y algoritmos .....	137
Introducción .....	137
Adquisición de imágenes .....	137
Línea pleural .....	140
Algoritmo por Líneas B .....	140
Intubación .....	140
Timo .....	140
Excursión diafragmática .....	141
Ultrasonido en la reanimación neonatal y el neonato con descompensación súbita .....	147
Conclusiones .....	147
Evaluación .....	149

## Videos

### Capítulo 1.

- ▶ **Video 1.** Corte longitudinal (transductor perpendicular a las costillas) y corte transversal (transductor paralelo al espacio intercostal).
- ▶ **Video 2.** Deslizamiento pleural en vaivén (se señalan algunas Líneas Z) y posteriormente un pulmón donde no hay deslizamiento pleural.
- ▶ **Video 3.** Deslizamiento pleural en una línea pleural discontinua con múltiples líneas B.
- ▶ **Video 4.** Modelo para estudio con un costillar para simular la pared torácica. Una esponja seca representa el pulmón bien aireado. Al hacer un movimiento en vaivén se puede simular el signo de la playa y al no hacerlo se simula el código de barras en Modo M. Con la esponja mojada se representan diversos grados de edema. Con una interfase de agua o gel entre el costillar y la esponja se simula un derrame pleural.

### Capítulo 2.

- ▶ **Video 5.** Transición durante una cesárea en un neonato de término temprano con contraindicación para pinzamiento tardío documentado desde que llega a la cuna de calor radiante comparado con un parto de término durante las primeras respiraciones con cordón abierto. Se comparan a los 5 y 15 minutos. Ninguno de los dos tuvo complicaciones en la transición.
- ▶ **Video 6.** Paciente con TTRN manejado con CPAP. En este caso se muestra doble punto pulmonar.

### Capítulo 3.

- ▶ **Video 7.** SDR demostrando: anormalidades de la línea pleural (engrosada e irregular), pulmón blanco, ausencia de áreas ventiladas en todas las regiones del pulmón y broncograma de colapso.
- ▶ **Video 8.** Ejemplos del uso de la escala semicuantitativa para decidir administrar surfactante.
- ▶ **Video 9.** Modelo porcino neonatal de SDR. Se puede observar en el pulmón normal con deslizamiento de la línea pleural y Líneas A y el modelo de SDR tras realizar lavado broncoalveolar con solución salina isotónica (3 alicuotas a 10 ml/kg). También se observa la mejoría al reclutar con ventilación de alta frecuencia con volumen garantizado. Finalmente se observa el modelo de neumotórax al inyectar aire en la cavidad pleural y observar ausencia de deslizamiento pleural y signo del código de barras.

### Capítulo 4.

- ▶ **Video 10.** Ex prematura de 29 semanas de gestación con 34 corregidas. Neumonía asociada a los cuidados de la salud. Pérdida de reverberaciones (artefactos) características de un pulmón aireado. Se observa realmente el parénquima pulmonar como una región similar al tejido hepático (en escala de grises) con márgenes desiguales en forma de cuña. La línea pleural se rompe y aparece el signo de la "disrupción" (del inglés "shred sign"). Se transmite el latido cardíaco y se observa "pulso de pulmón". Al mejorar reaparecen los artefactos.
- ▶ **Video 11.** Prematuro de 28 semanas con neumonía por *E. coli* productora de beta lactamasas de espectro extendido. Se muestra el broncograma fluido o dinámico implica que aparecen elementos hiperecóticos lineales que representan aire en los bronquiolos que presentan movimiento centrífugo con respecto a la respiración.

- ▶ **Video 12.** Uso del UP en la pandemia por SARS-CoV-2.
- ▶ **Video 13.** Hemorragia pulmonar. Se observa el “signo de interrupción” de la línea pleural, consolidación con broncograma y pulso de pulmón.
- ▶ **Video 14.** Atelectasia en el postquirúrgico de atresia esofágica tras la extubación. Con instilación de alfa dornasa y aspiración selectiva se dio tratamiento guiado por UP sin necesidad de intubación. Se documenta la mejoría en el UP (retorno de los artefactos) al resolverse.

## Capítulo 5.

- ▶ **Video 15.** Neumotórax. Observe la desaparición del deslizamiento pleural, la ausencia de Líneas B y el signo de “código de barras o de la estratosfera”. Se observa el punto pulmonar que representa la zona de transición entre el pulmón normal (pulmón deslizante) y anormal (pulmón no deslizante).
- ▶ **Video 16.** Derrame pleural. Observe el signo de cuatro paredes estático y el signo sinusoidal en el modo M.

## Capítulo 6.

- ▶ **Video 17.** Ex prematuro de 33 semanas con 41 semanas corregidas estudiado por enfermedad meconial y atelectasias de repetición. Se muestran los cambios antes y después de nebulizaciones con acetilcisteína y maniobras de reclutamiento resolviendo atelectasia izquierda.
- ▶ **Video 18.** Ejemplos de maniobras de reclutamiento guiadas por UP.
- ▶ **Video 19.** Ejemplos de DBP leve a moderada y severa (con hipertensión arterial pulmonar y disfunción del ventrículo derecho).
- ▶ **Video 20.** Lactante menor con taquipnea prolongada y dependencia de oxígeno que se estudió por Enfermedad Pulmonar Intersticial con biopsia pulmonar compatible con Deficiencia de Proteína B de surfactante. El UP documentó una progresión del Síndrome Intersticial a Intersticial/Alveolar severo.

## Capítulo 7.

- ▶ **Video 21.** Malformación Congénita Pulmonar y de la Vía Aérea (MCPVA). Observar los macroquistes.
- ▶ **Video 22.** Lesión híbrida con componente quístico e irrigación sistémica.
- ▶ **Video 23.** MCPVA mostrando el UP del lado sano y del lado afectado. Se corrobora estabilidad hemodinámica y ausencia de obstrucción y la correlación con la TAC. Finalmente se observa el control post quirúrgico.
- ▶ **Video 24.** Hernia Diafragmática Congénita. Observar la ausencia parcial de la línea hiperecogénica que representa el borde diafragmático normal, ausencia parcial de la Línea Pleural en el hemitórax afectado, ausencia de Líneas A en el área afectada y la presencia de imágenes multicapa con contenido hiperecogénico y órganos de consistencia parenquimatosa.

## Capítulo 8.

- ▶ **Video 25.** CAP relacionado a la prematuridad que requirió cierre quirúrgico documentándose el empeoramiento en el UP.
- ▶ **Video 26.** Ejemplos de cardiopatías con flujo pulmonar aumentado y repercusión en el UP.

## Capítulo 9.

- ▶ **Video 27.** Vista trans diafragmática. Poniendo el transductor bajo la región xifoidea con la escotadura viendo hacia la derecha y barrer de abajo hacia arriba para ver los pulmones a través del hígado como ventana acústica.
- ▶ **Video 28.** Protocolo de adquisición de imágenes en tórax anterior.
- ▶ **Video 29.** Protocolo de adquisición de imágenes en tórax posterior.
- ▶ **Video 30.** Utilidad del UP para verificar la intubación en pacientes con vía aérea difícil.
- ▶ **Video 31.** Técnica para obtener excursión diafragmática.
- ▶ **Video 32.** Abordaje del neonato con descompensación súbita adaptado del protocolo SAFE, así como los pasos centrales del Cuidado Agudo del Neonato en Riesgo (Acute Care Of at Risk Newborn). Se muestra alteración de la contractilidad, neumotórax, tamponade, derrame pleural y asistencia al paro cardiorespiratorio.

## Prólogo

# Ultrasonografía pulmonar neonatal

Para la conformación de este libro 6 del PAC Neonatología-5, la Federación Nacional de Neonatología de México y la Sección de Neonatología del Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría conjuntaron esfuerzos y capacidades para esta gran obra académica donde se muestran los avances científicos en el tema de **Ultrasonografía Pulmonar Neonatal**.

Bajo el liderazgo de los neonatólogos Daniel Ibarra Ríos y Alejandra Sánchez Cruz, se plasman en forma amplia los avances científicos y su aplicación en la atención cotidiana de las unidades de cuidados neonatales, resumiendo de manera muy profesional la experiencia de autores y coautores nacionales e internacionales y la de sus instituciones en la utilidad clínica de esta valiosa herramienta diagnóstica.

El lector podrá encontrar información de la Ultrasonografía Pulmonar en los aspectos de ciencias básicas, clínicas, prevención, diagnóstico y aplicación para las diferentes unidades de neonatología de nuestro país y países con desarrollo e infraestructura médica y tecnológica similares al nuestro. Además, como característica de innovación y vanguardia, esta obra pone a disposición del neonatólogo y pediatra una cantidad importante y muy útil de videos educativos que, sin duda, fortalecerá sus conocimientos científicos con el pragmatismo de su inmediata aplicación a la clínica.

Algo muy valioso a destacar es la participación de autores internacionales que son reconocidos como líderes mundiales en esta materia y las aportaciones de sus instituciones, como Daniele De Luca, Jefe de la División de Pediatría y Neonatología del Hospital Universitario "A. Beclere" de la República de Francia. Así mismo, es muy grato encontrar en este selecto grupo de colaboradores a Yasser N. Elsayed, profesor de Pediatría en la Universidad de Manitoba y médico investigador del Hospital de Manitoba, Canadá, quien también es fundador del Programa de Hemodinamia y de Cuidados y Ultrasonido en Winnipeg, Canadá.

Las aportaciones de los autores nacionales representan un motivo de orgullo para nuestra FNNM, con la valiosa participación de Dina Villanueva García, líder de la Neonatología en México y Latinoamérica, actualmente decana de Neonatología del Hospital Infantil de México Federico Gómez. En su colaboración se aplican los principios de "aprender haciendo" para mejorar la calidad del cuidado y la atención neonatal, así como la formación de excelencia de sus residentes y alumnos de posgrado. Otros distinguidos neonatólogos expertos de la Neonatología nacional que colaboran en esta obra con aportaciones de vanguardia en el tema, merecen el reconocimiento y gratitud de los Coordinadores del PAC Neonatología-5.

Agradecemos la invaluable colaboración de todos los autores y, sin ánimo de excluir a ninguno, nos permitimos mencionar a algunos, como Deneb Algedi Morales Barquet, quien actualmente preside la Sección Neonatología del Consejo Mexicano de Certificación en Pediatría por el periodo 2021-2023; Adrián Ceballos Bocanegra, Director Médico de la Unidad Materno Infantil del Centro Médico Dalinde en la Ciudad de México; Irma Viridiana Cruz Rodríguez, quien se desempeña profesionalmente en la Unidad Materno Fetal del Hospital de Ginecología y Obstetricia No. 4 del IMSS "Luis Castelazo Ayala" y, de esta misma institución IMSS, Adriana Apolonio Martínez y Horacio Márquez González; así como Carolina Michel Macías, del Instituto Nacional de Perinatología.

Con los conocimientos que el lector adquiera y fortalezca en la consulta del material bibliográfico de referencia, tenemos la certeza de que miles de neonatos serán beneficiados por un diagnóstico correcto y oportuno, a la par de un tratamiento adecuado en tiempo y forma, con lo que seguramente disminuirán los tiempos de estancia hospitalaria y otros riesgos inherentes a la atención neonatal.

A nombre de la FNNM agradecemos a nuestros colegas autores por su generosa aportación a la buena práctica de la Neonatología y a quienes la usen como referencia por su interés profesional y les conminamos a difundir esta obra **Ultrasonografía Pulmonar Neonatal** entre sus estudiantes, residentes, colegas y colaboradores para mayor beneficio de: **El neonato, nuestro compromiso.**

**Dr. Javier Mancilla Ramírez**

Coordinador General

**Dr. José Alfonso Gutiérrez Padilla**

**Dr. Isaac Estrada Ruelas**

Coordinadores Adjuntos

# Capítulo 1. El A, B, C, D del ultrasonido pulmonar

*Dr. Daniel Ibarra Ríos*

*Dra. Alejandra Sánchez Cruz*

*Dra. María Teresa Valadez Reyes*

*Dr. Daniele De Luca*

## INTRODUCCIÓN

El ultrasonido es una herramienta que permite una valoración inmediata en la cama del paciente, sin tener que movilizarlo, puede ser repetida, es simple, económica, precisa y no emite radiaciones ionizantes. Se ha utilizado de manera creciente por médicos de urgencias,<sup>1</sup> anestesiólogos<sup>2</sup> e intensivistas<sup>3</sup> para obtener imágenes anatómicas y funcionales a la cama del paciente. Es una herramienta práctica considerada por algunos autores como el quinto pilar de la exploración física al ser una extensión de los sentidos<sup>4</sup> (inspección, palpación, percusión, auscultación e insonación).<sup>5</sup>

Considerando el número de estudios que señalan la superioridad de agregar el ultrasonido a la exploración física es conveniente que la enseñanza en la técnica sea parte del currículo en Neonatología y se enseñe desde la escuela de medicina, como un componente básico en las competencias del médico.<sup>6</sup> Se han incluido desde la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México, nociones básicas de ultrasonido a la cabecera del paciente, así como su uso para entender anatomía y fisiología aplicadas.<sup>7,8</sup>

En el pasado, las enfermedades pulmonares neonatales eran diagnosticadas usando radiografía simple de tórax o tomografía axial computarizada (TAC). Debido a que al utilizar el ultrasonido en el pulmón se obtienen artefactos, por mucho tiempo se consideró como una "zona prohibida" para la evaluación ecográfica. Como se verá en este capítulo, estos artefactos se han estudiado sistemáticamente y se conoce que su presencia o ausencia indican salud o enfermedad.

Esta técnica complementa y reduce la toma de radiografías simples.<sup>9</sup> En Neonatología, Escourrou y De Luca demostraron una reducción de radiografías de  $4.9 \pm 1.5$  por paciente a  $2.6 \pm 1$  ( $p < 0.0001$ ) tras la introducción del programa de Ultrasonido Pulmonar (UP) en una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) en París; reduciendo la dosis de radiación de  $183 \pm 78$  a  $68 \pm 30 \mu\text{Gy}$  ( $p < 0.0001$ ).<sup>10</sup> En un metanálisis 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 0.98<sup>11</sup> (que lo sitúa como prueba diagnóstica muy buena).

El Dr. Iuri Corsini y colaboradores en Italia estudiaron en 124 neonatos en 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 ( $\kappa$ ) 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>12</sup>

El Dr. Mateusz Jagła y colaboradores en Polonia utilizaron el UP como una herramienta diagnóstica antes del traslado en 50 neonatos. Encontraron para el diagnóstico de déficit de surfactante, neumonía, neumotórax y atelectasias, una sensibilidad/especificidad del 91.3/92.6 %, 75/97.6 %, 83.3/100 % y 90/98.9 %, respectivamente. La concordancia entre el UP y el diagnóstico final fue buena  $\kappa$ : 0.86; (IC 95 %, 0.74-0.98). En el 42 % de las ocasiones el ultrasonido llevó a una acción correctiva (reposicionar tubo endotraqueal, drenaje de neumotórax).<sup>13</sup>

El UP es una técnica relativamente sencilla de aprender y utilizar con alto nivel de concordancia inter e intraobservador entre principiantes, intermedios y expertos como lo demostró el Dr. Giacomo Brusa y colaboradores encontrando una concordancia ( $\kappa$ , IC 95 %) de 0.81 (0.71-0.90), 0.72 (0.61-0.83) y 0.94 (0.88-1.00) respectivamente.<sup>14</sup> Se puede realizar telemedicina al poder compartir los clips de video e imágenes a distancia entre novatos y expertos. El tiempo de adquisición se reporta generalmente alrededor de 5 minutos.<sup>15</sup> El Dr. Yasser Elsayed mostró en su modelo integrado de valoración hemodinámica que se puede capacitar a los residentes de Neonatología para su interpretación en un periodo corto (curso de 16 horas en dos días) logrando diagnósticos con buena correlación con los expertos, en especial en los casos de UP  $\kappa$  entre estudiantes y expertos 0.86 (IC 95 %, 0.72-0.97).<sup>16</sup>

## HISTORIA

Por mucho tiempo se consideró al UP como una técnica limitada a la valoración del derrame pleural.<sup>17</sup> Pionero en esta técnica en caballos el Dr. Norman Ranaten en Estados Unidos reportó el uso del ultrasonido torácico equino para diagnosticar atelectasias, consolidaciones, abscesos, derrame pleural, empiema y neumotórax.<sup>18</sup> En la década de 1990, los

estudios de los franceses Rémi Targhetta<sup>19-21</sup> y Daniel Lichtenstein<sup>22-24</sup> introdujeron la técnica en adultos.

El primer estudio que describe el UP como herramienta diagnóstica para el déficit de surfactante data de 1990, utilizando la hiperecogenicidad retrohepática como un signo patognomónico.<sup>25</sup> El primer consenso internacional con recomendaciones basadas en evidencias para el UP en la cama del paciente se publicó en el 2012 y es el más citado en el boletín europeo *Intensive Care Medicine*.<sup>26</sup> En el campo de la neonatología son pioneros el grupo de París,<sup>27,28</sup> Italia<sup>29</sup> y China.<sup>30</sup>

La Ecocardiografía funcional Neonatal (EfN) realizada por el clínico es un examen ultrasonográfico del corazón orientado a la valoración hemodinámica neonatal.<sup>31</sup> En la UCIN del Hospital Infantil de México Federico Gómez (HIMFG) se estableció el programa en el 2017 tras el entrenamiento de uno de los miembros del equipo de neonatólogos.<sup>32</sup> En marzo del 2017 tras la capacitación en México por el Curso-taller impartido por la Dra. Nadya Yousef y el Dr. Daniele De Luca (<https://www.facebook.com/LUSPEDSchool/>) se integró el uso del UP como herramienta en la UCIN en el HIMFG aunado a las valoraciones por EfN. En otros hospitales como el Hospital de Ginecología y Obstetricia número 4 "Dr. Luis Castelazo Ayala" y en el Hospital General de México "Dr. Eduardo Liceaga" se ha integrado a la práctica clínica. Este Curso-taller se ha impartido desde el 2014 en diversos países y en diferentes idiomas entrenando a cientos de neonatólogos. Mazmanyán y colaboradores en Armenia demostraron una alta correlación interobservador entre neonatólogos capacitados por el Curso-taller anteriormente mencionado y neonatólogos expertos (Nadia Yousef y Danielle De Luca) con un  $\kappa$  de 0.951 (IC 95 %, 0.882-0.999) así como entre los neonatólogos capacitados y los entrenados localmente con un  $\kappa$  de 0.896 (IC 95 %, 0.797-0.996).<sup>33</sup>

## GUÍAS EN NEONATOLOGÍA

En febrero del 2020 se publicaron las guías basadas en evidencia en el uso de ultrasonido en la cama del paciente (*Point of Care Ultrasound*) en neonatos y niños críticamente enfermos por la Sociedad Europea Pediátrica y Neonatal de Cuidados Intensivos (ESPNIC)<sup>34</sup> con una metodología GRADE por 19 líderes en el campo. El Cuadro 1 muestra las recomendaciones acerca del UP.

A lo largo del libro se presentarán los estudios que llevaron a estas recomendaciones.

## FÍSICA SIMPLIFICADA

El UP se considera como una herramienta esencial para el médico respiratorio moderno.<sup>35</sup> De la misma manera que se debe entender la física involu-

crada en el proceso de auscultación y percusión, es esencial el adecuado entendimiento de la física que determina los artefactos que se interpretan en el UP, por lo que se debe entender como parte de la clínica (su interpretación siempre se suscribe a las características clínicas del paciente) o como una extensión de ésta.

El Dr. Daniel Lichtenstein junto con Philippe Mauriat publicaron una revisión esencial para entender la aplicación en el recién nacido.<sup>36</sup> Describen 7 principios para su uso e interpretación:

1. Simplicidad, el mejor equipo es probablemente el más simple. Se deben evitar términos confusos, complicados y erróneos; siendo recomendable en una UCIN diferentes niveles de entrenamiento para la toma rutinaria de los estudios y la correcta interpretación por clínicos con experiencia en la técnica.<sup>37</sup>

Cuadro 1

Recomendaciones de la ESPNIC acerca del UP	
Recomendación	Calidad de la evidencia
El UP es útil para <b>distinguir</b> entre <b>Déficit de Surfactante</b> y <b>Retención de Líquido Pulmonar Fetal</b>	B
El UP es útil para detectar <b>Neumonía</b> en neonatos y niños	B
El UP es útil para evaluar de manera semicuantitativa la <b>Aireación Pulmonar</b> y ayuda en el manejo de intervenciones respiratorias en el Síndrome de <b>Dificultad Respiratoria Aguda</b> en neonatos y niños	B
El UP es útil para reconocer la Aspiración Aguda de Meconio	C
El UP es útil para propósitos descriptivos en <b>Bronquiolitis</b> viral pero no ofrece la posibilidad de diagnóstico etiológico	C
El ultrasonido es útil para detectar de manera precisa <b>Neumotórax</b> en neonatos y niños	B
El UP es útil para insertar un drenaje parcial (mini sello por punción con aguja) o definitivo (tubo pleural) en <b>Neumotórax a Tensión</b>	B
El UP es útil para detectar <b>Derrame Pleural</b> en neonatos y niños	B
El UP es útil para guiar <b>Toracocentesis</b> en neonatos y niños	B
El UP es útil para evaluar <b>Edema Pulmonar</b> en neonatos y niños	C
El UP es útil para detectar <b>Atelectasias</b> inducidas por anestesia en neonatos y niños	C

Adaptado de: Singh Y, Tissot C, Fraga MV, et al. 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;24(1):65. doi:10.1186/s13054-020-2787-9

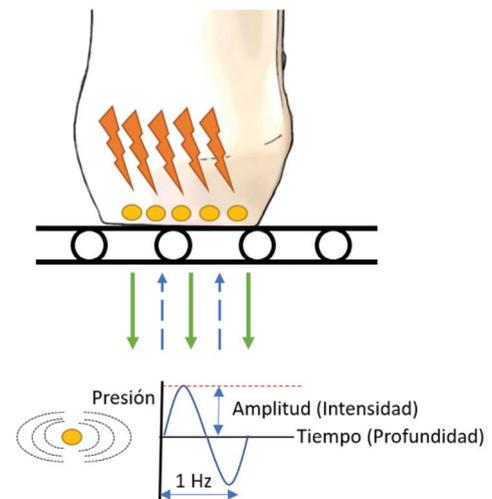
2. Aire y líquido están mezclados en el tórax y siguen los principios de la gravedad.
3. El pulmón es el órgano más voluminoso de todo el cuerpo, se debe seguir un protocolo estandarizado para insonarlo.
4. Todos los signos radiológicos derivan de la línea pleural.
5. Se basa principalmente en artefactos.
6. Es un estudio dinámico que se analiza en clips de video y en el modo de movimiento del ultrasonido (Modo M).
7. La mayoría de las alteraciones agudas involucran la pleura (98.5 % de las consolidaciones alcanzan la pared).<sup>38</sup>

En ultrasonografía clásica (ej. Ecocardiografía), las ondas ultrasónicas se usan para generar una representación (corregida por tiempo) anatómica precisa del órgano de interés. En contraste, el UP se basa en artefactos. Estos artefactos generados por la diferencia acústica entre el aire y el líquido en el tórax son la base de la semiología en ecografía pulmonar. La mayoría de las lesiones pulmonares agudas alcanzan la pleura, lo que permite diagnosticarlas con el ultrasonido. Las lesiones intraparenquimatosas sin contacto con la pleura no se muestran.<sup>39</sup>

Una onda ultrasónica se refiere a aquella sobre 20 000 Hz más allá del rango humano de audición. El ultrasonido es una onda mecánica, usualmente generada por un cristal piezoeléctrico en el transductor. Este transductor actúa al mismo tiempo como transmisor y receptor de estas ondas.

El efecto piezoeléctrico describe la conversión de energía mecánica en física. El transductor contiene varios cristales de cuarzo (cristales piezoeléctricos), en el caso de los transductores lineales dispuestos en línea recta. El equipo aplica un voltaje eléctrico, el cual deforma el cristal para generar una onda de presión. Mediante el reflejo y retorno de estas ondas el cristal se deforma nuevamente. Las deformaciones se con-

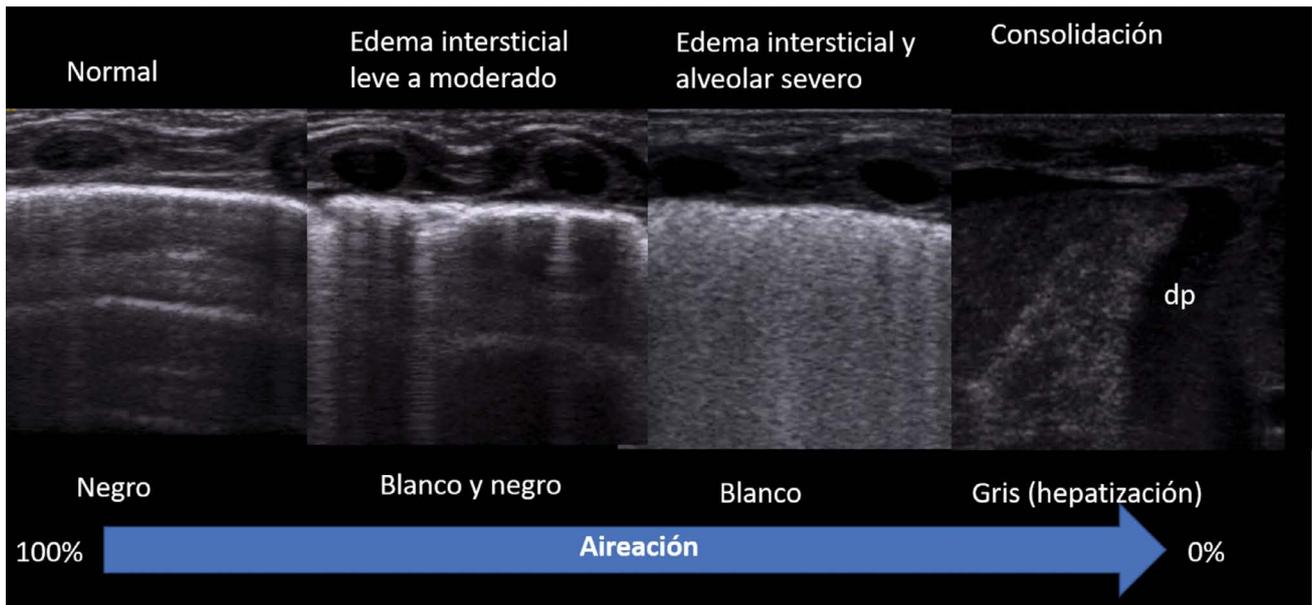
vierten en imágenes, siendo la distancia en la pantalla de una estructura dada, el tiempo requerido (medido en metros por segundo) para el retorno del eco. La representación en escala de grises en la pantalla está determinada por la intensidad de la señal que retorna con cada eco correspondiendo a un punto en la pantalla (amplitud medida en decibeles).<sup>40</sup> Los ecos que regresan con más fuerza serán blanco brillante (hiperecoico) mientras que los ecos más débiles se verán grises (hipoecoicos). La Figura 1 muestra el efecto piezoeléctrico de manera gráfica. Del blanco al negro existe una escala continua conocida como escala de



F1

**Efecto piezoeléctrico:** El transductor contiene varios cristales de cuarzo (cristales piezoeléctricos). El equipo aplica un voltaje eléctrico el cual deforma el cristal para generar una onda de presión. Mediante el reflejo y retorno de estas ondas el cristal se deforma nuevamente. Las deformaciones se convierten en imágenes, siendo la distancia en la pantalla de una estructura dada el tiempo requerido para el retorno del eco y la intensidad de este eco dependerá de la amplitud de retorno de la onda.

*Adaptado de:* Soldati G, Demi M, Smargiassi A, Inchingolo R, Demi L. The role of ultrasound lung artifacts in the diagnosis of respiratory diseases. Expert Rev Respir Med. 2019;13(2):163-172. doi:10.1080/17476348.2019.1565997



**F2** Espectro de imágenes ultrasonográficas dependiendo el grado de aireación y la proporción aire/líquido. (dp): derrame pleural.

*Adaptado de:* Copetti R, Cattarossi L, Macagno F, Violino M, Furlan R. Lung ultrasound in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. *Neonatology*. 2008;94(1):52-9. doi: 10.1159/000113059

grises. La impedancia (pérdida de energía del ultrasonido) determina qué tan bien se forma una imagen en el ultrasonido (agua y tejidos dan buenas imágenes mientras que el aire y el hueso no). La Figura 2 muestra el espectro de imágenes ultrasonográficas dependiendo del grado de aireación y la proporción aire/líquido.

La resolución de la imagen la va a determinar la frecuencia de las ondas del ultrasonido (número de veces por segundo que se repite una onda). Esto se mide en Hertz (Hz) siendo 1 Hz un ciclo por segundo. Los transductores utilizan de 2 a 12 mega Hertz (MHz) siendo 1 MHz un millón de Hz. La longitud de onda (medida en micrómetros) es la distancia en que una onda viaja en un ciclo único. Esta va a ser inversamente proporcional a la frecuencia. Altas frecuencias (baja longitud de onda) dan imágenes con alta resolución (más ondas por segundo) pero estas ondas pierden energía más rápido y tienen menos

energía para penetrar distancias profundas. Bajas frecuencias (alta longitud de onda) utilizan menos energía y generan menos ondas por segundo produciendo imágenes con menor resolución, pero al perder energía menos rápido permiten mayor penetración. Los transductores cuentan con una escotadura o marca (táctil o luminosa) que corresponde con un marcador que va a estar a la derecha de la pantalla para diferenciar derecha e izquierda. En los cortes longitudinales la derecha es superior (hacia la cabeza del paciente) e izquierda es inferior (hacia los pies del paciente). En cortes transversales anteriores la escotadura debe dirigirse a la derecha del paciente, en los cortes transversales posteriores la escotadura debe dirigirse a la izquierda de éste.

La velocidad, la frecuencia y la longitud de onda se pueden describir con la propiedad de atenuación ( $m^{-1}$ ) que describe la pérdida progresiva de la fuerza de la onda sonora mientras viaja por un medio dado.

Cuadro 2

Características físicas de los tejidos analizados en un UP				
Tejido (medio)	Velocidad de propagación de la onda m.s-1	Impedancia MRayl	Coefficiente de atenuación	Imagen en el ultrasonido
Hueso	4080	6-8	870	Blanco
Tejido blando (Ej. Hígado)	1590	1.7	90	Gris
Agua (Ej. Derrame pleural)	1480	1.5	Sangre 9 Fluido 6	Negro
Pulmón aireado	330	0.0004	4500	Negro*

\* El aire se ve hiperecoico (blanco) cuando está atrapado en estructuras bronquiolares consolidadas (Ej. broncograma aéreo en neumonía) o en vísceras (Ej. neumatosis porta).

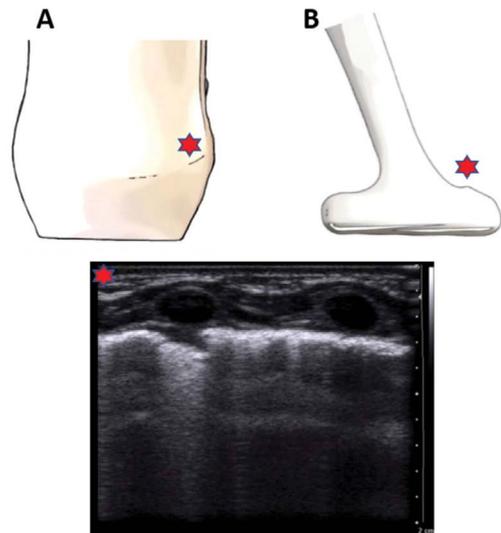
*Adaptado de:* Alerhand S, Graumann O, Nelson BP. Physics and basic principles. En: Laursen CB, Rahman NM, Volpicelli G. eds. Thoracic Ultrasound (ERS Monograph). Sheffield, European Respiratory Society; 2018 p. xiii-xv y Gill R. The Physics and Technology of Diagnostic Ultrasound. A Practitioners Guide. High Frequency Publishing, Sidney, Australia; 2012. P. 39-76.

El Cuadro 2 muestra las características físicas de los tejidos o medios por donde viajan las ondas y la imagen producida en el ultrasonido.

En UP se utiliza básicamente la imagen en 2D (modo B) y el modo M. El modo M (de movimiento), analiza cualitativa y cuantitativamente el movimiento de la estructura interrogada, el brillo de cada línea es modulado de acuerdo con la amplitud de los ecos recibidos en una sola dirección. Cualquier movimiento a lo largo del camino del rayo presentará un desplazamiento horizontal en la pantalla en las líneas sucesivas representándolo contra el tiempo.

Para realizar el ultrasonido pulmonar en neonatos o en RN prematuros lo ideal es usar un transductor lineal de alta frecuencia (10 MHz o superior), el cual proporciona una alta resolución y poca penetración. En especial los transductores con pequeña superficie de contacto conocidos como "palo de hockey" pueden ser convenientes para los prematuros con tórax pequeño. La Figura 3 muestra un transductor lineal portátil de alta frecuencia (7.5-10 MHz) y el conocido como "palo de hockey" (8-18 MHz). La ventaja que tiene esta técnica es su simplicidad sin que se necesiten filtros sofisticados, por lo que la mayoría de

los equipos pueden ser de utilidad en UCIN, incluso portátiles. La Dra. Gomond-Le Goff y colaboradores estudiaron el efecto de diferentes transductores (Lineal "palo de hockey" 15 MHz, sectorial de 6-12 MHz y microconvexo 8 MHz) y niveles de experiencia. Es-



F3

**A:** Transductor lineal portátil de alta frecuencia (7.5-10 MHz) **B.** "Palo de hockey" (8-18 MHz). La estrella representa la marca o escotadura y abajo representada la marca a la derecha de la pantalla.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

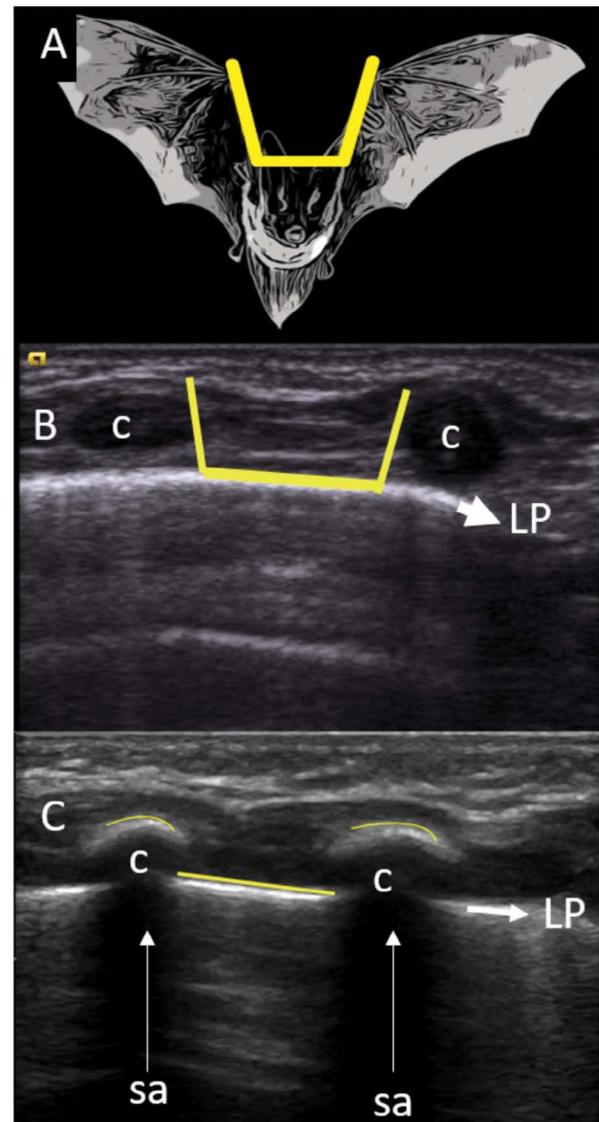
tudió a 6 adscritos con por lo menos 5 años de experiencia (expertos), 5 residentes de especialidad con por lo menos un año de experiencia (intermedios) y 6 residentes en su primer año de pediatría entrenados 6 meses bajo la tutela de los residentes de especialidad (novatos). Encontraron una adecuada correlación interobservador con un coeficiente de correlación intraclase de 0.82, 0.93 y 0.95 entre novatos, intermedios y expertos, respectivamente, independientemente del transductor utilizado. El uso de sondas no lineales por residentes novatos se asoció con menor fiabilidad y correlación interobservador.<sup>41</sup>

## ANATOMÍA

**Signo del murciélago.** Se utiliza para identificar la línea pleural y las costillas. Debido a que los murciélagos emiten ruidos de ecolocalización que son esenciales para detectar obstáculos durante el vuelo, así como guiar su camino entre el forraje para encontrar comida (ven con el sonido) se ha nombrado este signo radiológico. Las alas representarían el borde de las costillas y el cuerpo, la línea pleural.<sup>42</sup> La Figura 4 muestra el signo del murciélago en un corte anterior y posterior del tórax neonatal mostrando 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 (RN) de término y prematuros una línea pleural normal mide menos de 1 mm (se considera engrosada cuando es  $\geq 0.5$  mm).<sup>43</sup> 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). En los



F4 **A "Signo del Murciélago"** (amarillo) en el que las alas representarían el borde de las costillas y el cuerpo la línea pleural. **B** Corte anterior del tórax neonatal donde se observa la continuidad de la línea pleural (LP), sin sombra acústica y superpuesto el "signo del murciélago". **C** Corte posterior donde si se forma sombra acústica (sa) y se identifica con mayor claridad el "Signo del Murciélago".

*Adaptado de:* Lichtenstein DA, Mauriat P. Lung Ultrasound in the Critically Ill Neonate. *Curr Pediatr Rev.* 2012;8(3):217-223. doi:10.2174/157339612802139389

cortes posteriores y en pacientes mayores habitualmente se observa (Figura 4). En los cortes transversales no se observa sombra acústica de las costillas ya que el transductor debe estar alineado con un espacio intercostal.

El **Video 1** muestra un corte longitudinal (transductor perpendicular a las costillas) que es el que se utiliza de manera habitual y un corte transversal (transductor paralelo al espacio intercostal).

Lo que está sobre la línea pleural constituye tejido celular subcutáneo, músculos intercostales y costillas.<sup>44</sup>

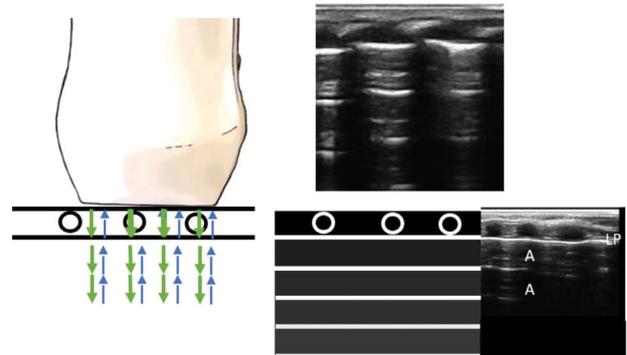
## ARTEFACTOS A INTERPRETAR EN EL ULTRASONIDO PULMONAR (A Y B DEL ULTRASONIDO PULMONAR)

Existen dos artefactos al momento del realizar el ultrasonido en los pulmones no consolidados, Líneas A y B.<sup>45,46</sup>

### Líneas A

Se definen como artefactos de reverberación que generan en la pantalla líneas horizontales equidistantes representando múltiplos de la distancia entre la línea pleural y el transductor (réplicas de la línea pleural). El patrón de Líneas A indica un pulmón normal, un pulmón sobredistendido o un neumotórax; el diagnóstico diferencial se hace con signos accesorios que se discutirán posteriormente. El pulmón perfectamente aireado genera un patrón de líneas paralelas que algunos autores denominan el **“Signo del bambú”**. La Figura 5 muestra la generación y apariencia en la pantalla de las Líneas A.

Para identificar un pulmón aireado se debe observar un adecuado deslizamiento de la pleura (en vaivén) junto con el **“Signo de la playa”** u **“Orilla del mar”**



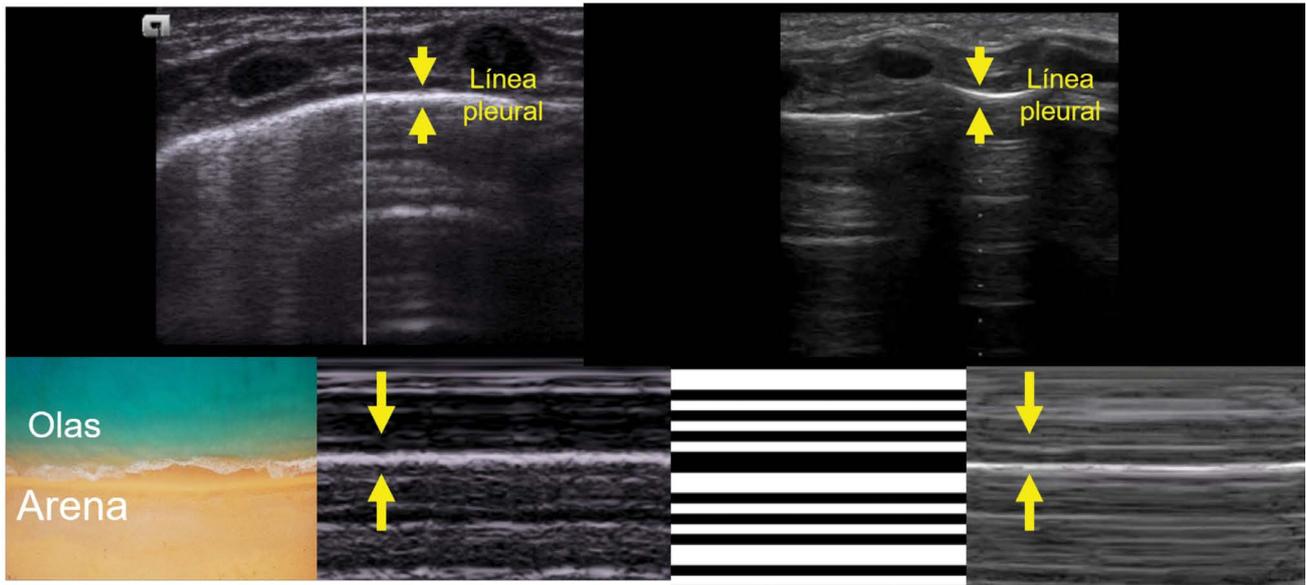
**F5** **Líneas A:** Artefactos de reverberación que generan en la pantalla líneas horizontales equidistantes representando múltiplos de la distancia entre la línea pleural y el transductor. **LP:** línea pleural. La imagen en 2D (arriba a la izquierda) lo han denominado **“Signo del Bambú”**. Adaptado de: Soldati G, Demi M, Smargiassi A, Inchingolo R, Demi L. The role of ultrasound lung artifacts in the diagnosis of respiratory diseases. Expert Rev Respir Med. 2019;13(2):163-172. doi: 10.1080/17476348.2019.1565997

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

en modo de movimiento (M).<sup>47</sup> Este signo radiológico está dado por el deslizamiento pleural generando una imagen arenosa al contrario de cuando no hay deslizamiento pleural, como en un neumotórax que nos da la imagen del **“Código de barras (o estratósfera)”**. Para diagnosticar un neumotórax se requiere de otras reglas: únicamente hay Líneas A, no puede haber Líneas B (que demuestran interfase aire/líquido), una sola descarta la posibilidad y no debe haber **“pulso pulmonar”** (su presencia puede indicar intubación selectiva). El tema se abordará a profundidad en el capítulo correspondiente.

El **Video 2** muestra el adecuado deslizamiento pleural en vaivén y posteriormente un pulmón donde no hay deslizamiento pleural.

La Figura 6 muestra el **“Signo de la playa”** en un pulmón normal contrastándolo con el signo del **“Código de barras”** en el neumotórax.



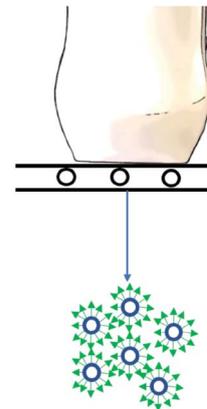
F6

Se muestra el “**signo de la playa**” en un pulmón normal contrastándolo con el signo del “**código de barras**” en el neumotórax.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2019.

### Efecto anular descendente (*ring-down effect*)

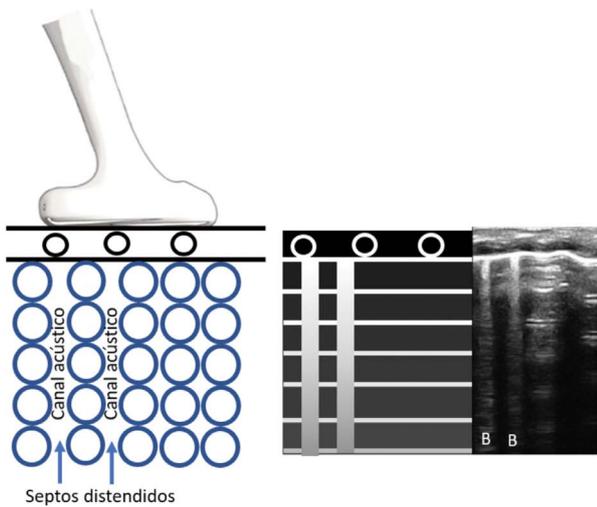
Es un artefacto de reverberación que sucede debido a múltiples ecos que regresan al transductor ya que el haz de ultrasonido reverbera de ida y vuelta entre dos o más capas de burbujas aéreas.<sup>48</sup> Esto genera un eco brillante que se extiende a profundidad de las burbujas aéreas a lo largo de la dirección del haz ultrasonográfico. La Figura 7 muestra el efecto anular descendente.



F7

**Efecto anular descendente:** El ultrasonido se refleja en múltiples burbujas de gas generando una serie de ecos que regresan al transductor, el resultado es en la pantalla un eco brillante que se extiende en la profundidad desde las burbujas de aire en dirección de la sonda ultrasonográfica.

*Adaptado de:* Soldati G, Demi M, Smargiassi A, Inchingolo R, Demi L. The role of ultrasound lung artifacts in the diagnosis of respiratory diseases. *Expert Rev Respir Med.* 2019;13(2):163-172. doi:10.1080/17476348.2019.1565997



F8

**Líneas B:** Artefactos de reverberación por el efecto anular descendente que genera imágenes hiperecoicas verticales semejando un láser que parten de la línea pleural, se extienden al fondo de la pantalla sin desaparecer y se mueven en conjunto con el deslizamiento pleural.

*Adaptado de:* Soldati G, Demi M, Smargiassi A, Inchingolo R, Demi L. The role of ultrasound lung artifacts in the diagnosis of respiratory diseases. *Expert Rev Respir Med.* 2019;13(2):163-172. doi: 10.1080/17476348.2019.1565997

involucro intersticial. Aparecen al generarse un canal acústico; en esta situación una estructura pequeña rodeada de un medio con características acústicas distintas (un septo engrosado rodeado de espacios aéreos) es penetrada por la onda acústica, parte de la energía es atrapada y de manera subsecuente regresa al medio. De esta manera la estructura se convierte en una fuente de ultrasonido que transmite una onda acústica en el transductor. La longitud del artefacto (o su percepción en la imagen) va a depender de los coeficientes de atenuación de ambos medios. La Figura 8 muestra la generación y apariencia en la pantalla de las Líneas B. El **Video 3** muestra deslizamiento pleural en una línea pleural discontinua con múltiples Líneas B. Cuando las Líneas B coalescen 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 sincrónicas con el deslizamiento pleural (se describe que “brillan con luz cintilante” como la luz de una vela). 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. En el **Video 2** se señalan algunas Líneas Z.<sup>46</sup>

## Escalas semicuantitativas

Una escala semicuantitativa consiste en asignar un puntaje generalmente de 0 a 3, donde 0 es un pulmón bien aireado, 1 es síndrome intersticial (tres o más Líneas B por campo analizado), 2 es edema intersticial y alveolar (pulmón blanco) y 3 es un pulmón consolidado; explorando diferentes regiones del tórax. Un mayor puntaje implica una menor aireación. Estas escalas se han validado contra índices de oxigenación<sup>50</sup> (aumenta la escala conforme empeoran los índices) y contra imágenes por tomografía computarizada (densidad del tejido).<sup>51</sup> A lo largo de este libro veremos las escalas que se han utilizado para establecer pronóstico y tomar decisiones clínicas. Raimondi y colaboradores analizaron la correlación entre el índice de Kirby ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ) y el gradiente alveolo arterial con la escala semicuantitativa. Esta relación también se validó con el análisis computacional de la escala de grises encontrando una correlación significativa.<sup>28</sup> Existe actualmente una aplicación que permite el análisis de la escala de grises en el pulmón fetal denominado estudio cuantitativo de la madurez pulmonar fetal (quantusFLM®). Analiza la textura de una región de interés del pulmón en un corte axial de tórax donde se observa una imagen de 4 cáma-

ras del corazón prediciendo de manera adecuada morbilidad respiratoria neonatal comparable con el estudio tradicional de líquido amniótico.<sup>52</sup> En un futuro quizás el conteo automatizado de Líneas B y el análisis de escala de grises ayudara a eliminar el factor operador dependiente y mejorará la detección y clasificación del grado de edema.<sup>53</sup>

Se ha logrado correlacionar la escala semicuantitativa con inflamación del tejido pulmonar. Nadya Youseff y colaboradores demostraron la correlación en 22 neonatos de  $28 \pm 1.7$  semanas de edad gestacional (SDEG) con déficit de surfactante con una correlación positiva entre el puntaje de la escala con el conteo de neutrófilos en lavado broncoalveolar así como a nivel molecular con los niveles de interleucina 8, y factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos.<sup>54</sup> Así mismo, el Dr. Yasser Elsayed y colaboradores en un modelo porcino de daño pulmonar agudo con ácido oleico encontraron correlación entre el puntaje de la escala semicuantitativa con una escala de daño histológico así como con el grado de cortocircuito intrapulmonar con un software que integra la relación entre variaciones graduales en la  $FiO_2$  y la  $SaO_2$  medida (Qs/Qt) en neonatos humanos.<sup>55</sup>

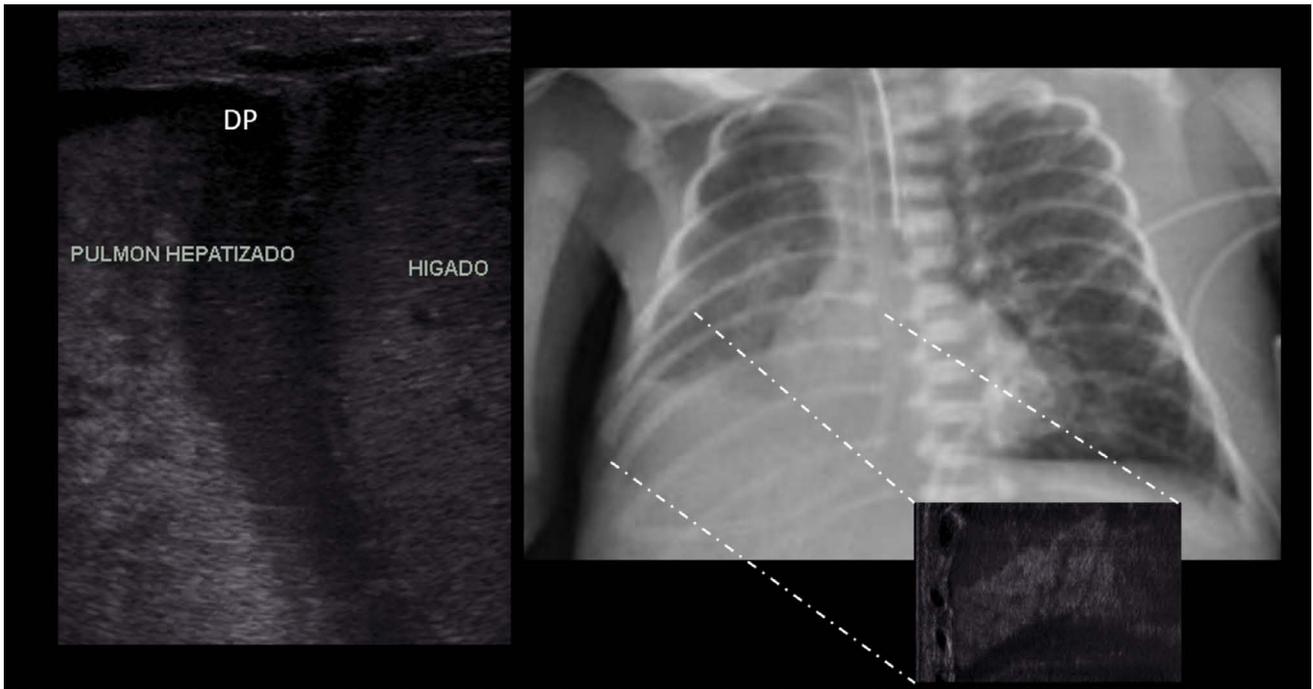
El Dr. Deepak Louis y colaboradores estudiaron la posición prona *versus* supina en neonatos de  $\geq 29$  SDEG con dificultad respiratoria (taquipnea transitoria del recién nacido 53%, déficit de surfactante 41%). Compararon la escala semicuantitativa en prono y en supino encontrando que era posible realizarla en ambas posiciones con puntajes mayores inmediatamente al cambiar de posición (recordando que el líquido sigue las reglas de la gravedad) pero equiparándose tras una hora del cambio de posición;<sup>56</sup> por lo anterior, se recomienda esperar una hora tras el cambio de posición para tener una adecuada valoración del grado de edema.

## CONSOLIDACIÓN (C)

En el RN se observa consolidación en atelectasias, neumonía, hemorragia pulmonar y síndrome de aspiración de meconio. En la consolidación desaparecen las Líneas A y se observa realmente el parénquima pulmonar como una región **similar al tejido hepático** (en escala de grises) con márgenes desiguales en forma de cuña. La línea pleural se rompe y aparece el signo de la **"disrupción"** de ésta (del inglés *"shred sign"*). Se puede transmitir el latido cardiaco y se observa **"pulso de pulmón"**. Se puede observar deslizamiento pleural disminuido. La Figura 9 muestra claramente el concepto de hepatización del tejido (pérdida de los artefactos) en una neumonía asociada con cuidados de la salud.

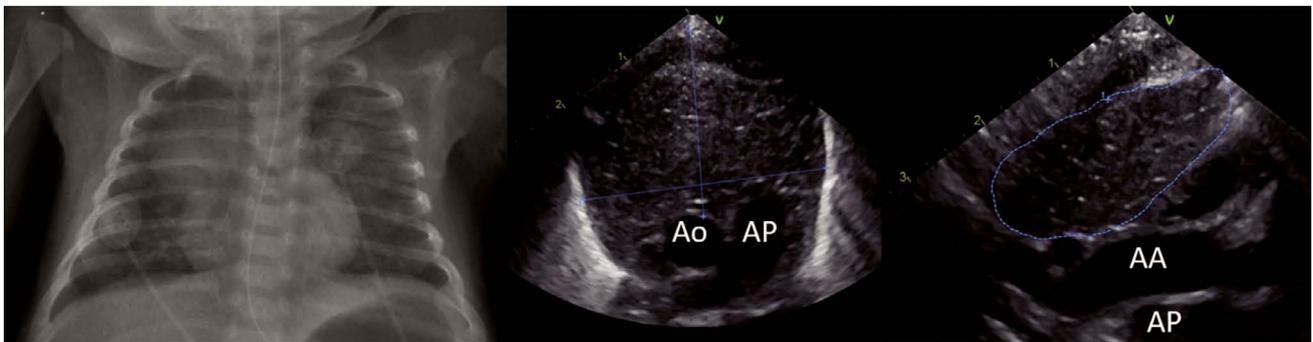
## Reconocimiento del timo

En todo UP en la región anterior al desplazarse de la región derecha a la izquierda aparecerá el timo, es muy importante no confundir con atelectasias. Está localizado en el mediastino anterior y superior, sobreponiéndose al pericardio, el arco aórtico, la arteria pulmonar, la vena innominada izquierda y la tráquea: puede extenderse en la parte superior al borde inferior de la tiroides o inferiormente al diafragma, rara vez al mediastino posterior. No debe desplazar estructuras. Tiene una ecogenicidad homogénea, con múltiples láminas. Su ecogenicidad es similar a la del hígado o bazo.<sup>58</sup> Las mediciones que se realizan habitualmente son el diámetro anteroposterior y transversal, así como el índice tímico. Este último se obtiene al multiplicar el diámetro transversal por el área de la glándula en el plano sagital que habitualmente tiene forma triangular. El índice tímico medio en un estudio realizado por Jeppesen y colaboradores, en Dinamarca, en 80 neonatos prematuros (rango de 24 a 36 SDEG) fue de 5.2 con una correlación positiva con el peso al nacimiento y la edad gestacional y negativa con la ocurrencia de infección posnatal.<sup>59</sup> De manera similar Magu y colaboradores, en la India, encontraron en 200 prematuros



**F9** Consolidación en un ex prematuro de 28 SDEG que a las 36 corregidas desarrolló una neumonía asociada a cuidados de la salud. Se observa hepatización del tejido y broncograma fluido, así como derrame pleural para neumónico. En la radiografía de tórax se invierte y sobrepone la imagen longitudinal del ultrasonido para demostrar anatómicamente lo que se está representando.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2018.



**F10** Paciente femenino ex prematuro de 30 SDEG con 36 corregidas que tuvo una infección con neumonía por SARS-CoV-2 en la cual se encontró un timo agrandado con un diámetro transversal de 3.126 cm, Diámetro AP 2.37 cm, índice tímico 8.75. Ao: aorta, AP: arteria pulmonar, AA: arco aórtico

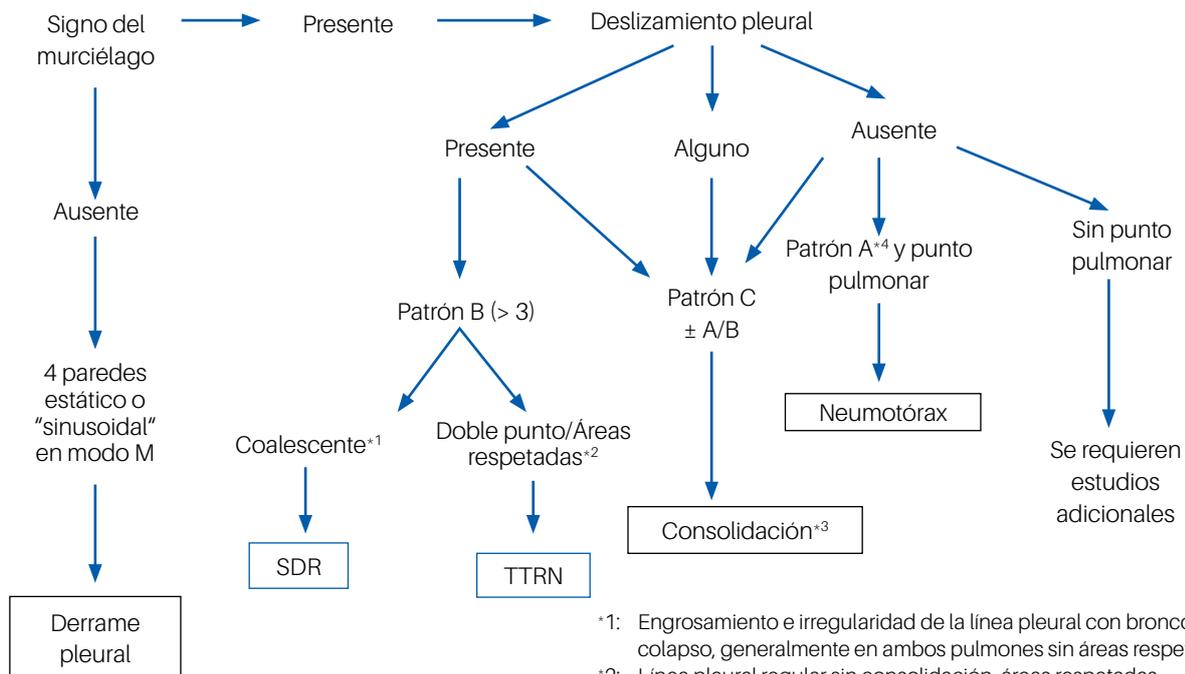
Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

( $32.6 \pm 2.3$  SDEG) un índice tímico medio de  $4.11 \pm 2.1$  en niños y  $4.36 \pm 2.05$  en niñas, igualmente encontraron una correlación positiva con la edad gestacional.<sup>60</sup> También en la India el Dr. Sudir Metha estudió 250 neonatos de término encontrando un diámetro anteroposterior medio de  $1.43 \pm 0.3$  cm, un diámetro transversal de  $2.16 \pm 0.54$  cm y un índice tímico de  $2.98 \pm 0.64$ .<sup>61</sup> El Dr. Iván Varga y colaboradores, en República Eslovaca, encontraron en 212 neonatos de término que había una correlación positiva entre el peso y perímetro cefálico, así como en el número de linfocitos en la biometría hemática.<sup>62</sup> La Figura 10 muestra un paciente femenino exprematuro de 30 semanas con 36 corregidas que tuvo una infección por SARS-CoV-2 en la

cual se encontró un timo ligeramente agrandado con un diámetro transversal de 3.126 cm, diámetro AP 2.37 cm, índice tímico 8.75.

## DERRAME PLEURAL (D)

El derrame pleural se caracteriza por la acumulación de líquido en la cavidad pleural. Se identifica por el **“Signo de las 4 paredes”** y un área en general anecoica (aunque depende de la composición del derrame) que separa la pleura parietal de la visceral y comprime el pulmón. En la Figura 9 se puede observar un derrame pleural rodeando la consolidación.

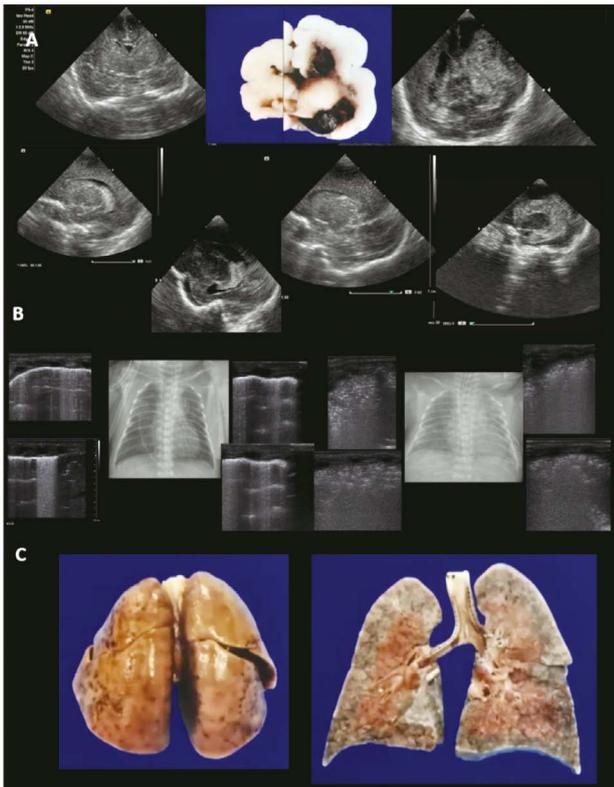


- \*1: Engrosamiento e irregularidad de la línea pleural con broncograma de colapso, generalmente en ambos pulmones sin áreas respetadas.
- \*2: Línea pleural regular sin consolidación, áreas respetadas.
- \*3: “Disrupción” de la línea pleural, hepatización del tejido, broncograma aéreo y “pulso de pulmón”
- \*4: No hay deslizamiento pleural, no hay líneas B, no debe haber “pulso pulmonar”, en modo M “signo de la estratosfera” o “código de barras”.

A1

Algoritmo básico modificado del Protocolo BLUE del Dr. Lichtenstein de diagnóstico diferencial agudo de patología pulmonar neonatal mediante UP.

Adaptado de: Lichtenstein D. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. Chest. 2015;147(6):1659-1670. doi:10.1378/chest.14-1313



**F11** Prematuro de 28 SDEG manejado por inestabilidad hemodinámica que desarrolló complicaciones hemorrágicas. **A.** Se documenta con USG transfontanelar al ingreso y tras descompensación hemorragia intraventricular, espécimen que lo confirma. **B.** Radiografía de tórax y USG pulmonar al ingreso y tras hemorragia pulmonar. **C.** Especimen con hemorragia pulmonar.

(Imágenes cortesía del Dr. Serrano Bello. Patología HIMFG). Las imágenes de ultrasonido fueron tomadas por el Residente de Neonatología de guardia. Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2019.

## ALGORITMO GENERAL

El Algoritmo 1 muestra el abordaje básico modificado del Protocolo BLUE del Dr. Lichtenstein<sup>42</sup> de diagnóstico diferencial agudo de patología pulmonar neonatal mediante UP. En los capítulos subsecuentes se dará cobertura del papel del UP para

hacer diagnóstico de las enfermedades pulmonares más comunes en neonatología, así mismo, las aplicaciones funcionales y para establecer pronóstico. En el Capítulo 9 se discutirán vistas adicionales que ayudan a establecer la correcta intubación, así como el movimiento del diafragma.

La UCIN del HIMFG cuenta con equipo de ultrasonido propio (exclusivo del Departamento). El programa de UP ha mostrado ser efectivo y se enseñan conceptos básicos en el programa educativo de los residentes. La Figura 11 muestra el caso de un paciente de 28 SDEG gravemente enfermo con hipertensión arterial pulmonar, un conducto arterioso permeable bidireccional y sepsis que sufrió complicaciones hemorrágicas (pulmonar y cerebral) y falleció. Los hallazgos por ultrasonido pulmonar y cerebral tomados por el Residente de Neonatología de guardia correlacionan con los especímenes de autopsia.

## RECURSOS EDUCATIVOS

El Cuadro 3 muestra algunos de los recursos disponibles para aprendizaje y entrenamiento en la técnica.

## SIMULACIÓN

En el capítulo de SDR se describirá la técnica en modelo animal. Se ha descrito la creación de modelos para estudio con un costillar para simular la pared torácica. Una esponja seca representaría el pulmón bien aireado. Se puede mojar esa esponja representando diversos grados de edema. Finalmente, puede colocarse una interfase de agua o gel entre el costillar y la esponja para simular derrame pleural.<sup>44</sup> El **Video 4** muestra este modelo.

Todas las imágenes y casos presentados en este libro se tomaron con los equipos: Vivid® E90 (GE Medical Systems, Milwaukee, WI, Estados Unidos) con

Cuadro 3

Recursos educativos disponibles	
Recurso educativo	Descripción
<b>Lung Ultrasound in Neonates and Children:</b> <a href="https://www.mcascientificevents.eu/launch/">https://www.mcascientificevents.eu/launch/</a>	<b>Congreso anual</b> enfocado exclusivamente en ultrasonido pulmonar en neonatos y terapia intensiva pediátrica, llevado por los pioneros en París.
<b>ASUM 'Lung Ultrasound In Neonatology'.</b> <a href="https://www.asum.com.au/resources/neonatal/">https://www.asum.com.au/resources/neonatal/</a>	<b>Curso de aprendizaje en línea</b> por la Dra. Patricia Woods y el Profesor Andrew Hill avalado por la Sociedad Australiana de Ultrasonido en Medicina.
<b>POCUSNEO:</b> <a href="https://pocusneo.org/">https://pocusneo.org/</a>	<b>Organización canadiense</b> sin fines de lucro establecida en 2018 por el <b>Dr. Muzafar Gani Abdul Wahab</b> de la Universidad de McMaster y el <b>Dr. Yasser Elsayed</b> de la universidad de Manitoba dedicado al uso del ultrasonido y otras herramientas para realizar abordajes basados en fisiología. Cuenta con sesiones interactivas, libros digitales, así como sesiones didácticas a distancia.
<b>NeoLUS. Bedside lung ultrasound for the neonate and the small infant.</b> <a href="https://www.facebook.com/groups/1493243264284547">https://www.facebook.com/groups/1493243264284547</a>	<b>Grupo del Dr. Francesco Raimondi</b> (uno de los pioneros en la técnica neonatal e importante investigador) para clínicos e investigadores interesados en la aplicación del UP en neonatos e infantes.
Liu J. Sorantin E, Cao HY. <b>Neonatal Lung Ultrasonography</b> <sup>63</sup> .	<b>Libro del Dr. Jing Liu, Erich Sorantin y la Dra. Hai-Ying Cao</b> , el único libro al momento dedicado a Ultrasonido Pulmonar Neonatal.

\* Fuente: Woods PL. Utility of lung ultrasound scanning in neonatology. Arch Dis Child. 2019;104(9):909-915. doi:10.1136/archdischild-2017-314538, Liu J. Sorantin E, Cao HY. Neonatal Lung Ultrasonography. 1aEd. Netherlands/China: SpringerNature B.V./People's Medical Publishing House; 2018. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1549-0>

transductor lineal tipo palo de hockey de 8-18 MHz, Acuson x300® (Siemens Healthcare, Munich, Alemania) con un transductor lineal tipo palo de hockey de 5-13 MHz, y con equipo portátil WiFi con transductor lineal de 7.5-10 MHz Konted® (Beijing, China) tanto en el Hospital de Ginecología y Obstetricia número 4 "Dr. Luis Castelazo Ayala" como en el Hospital Infantil de México Federico Gómez, Instituto Nacional de Salud.

## CONCLUSIONES

El UP es una herramienta que permite una valoración inmediata en la cama del paciente, sin tener que moverlo, puede ser repetida, es simple, económica, precisa y no emite radiaciones ionizantes. Complementa y reduce la toma de radiografías simples. Las enfermedades que pueden ser diagnosticadas incluyen el déficit de surfactante, taquipnea transitoria del recién

nacido, hemorragia pulmonar, neumonía, atelectasias, neumotórax, síndrome de aspiración meconial, derrame pleural, displasia broncopulmonar y recientemente se ha utilizado para algunas malformaciones pulmonares. Así mismo, se ha utilizado para estudiar el grado de edema pulmonar en el RN con conducto arterioso permeable relacionado con la prematuridad y otras cardiopatías congénitas. Todos los signos radiológicos derivan de la línea pleural y se basan principalmente en artefactos. Existen guías en Neonatología y diversos recursos educativos y de simulación.

## REFERENCIAS

1. Kameda T, Kimura A. Basic point-of-care ultrasound framework based on the airway, breathing, and circulation approach for the initial management of shock and dyspnea. Acute Med Surg. 2020;7(1):e481. doi:10.1002/ams2.481
2. Adler AC, Matisoff AJ, DiNardo JA, Miller-Hance WC. Point-of-care ultrasound in pediatric anesthesia: perioperative consi-

- derations. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2020;33(3):343-353. doi: 10.1097/ACO.0000000000000852.
3. Sen S, Acash G, Sarwar A, Lei Y, Dargin JM. Utility and diagnostic accuracy of bedside lung ultrasonography during medical emergency team (MET) activations for respiratory deterioration. *J Crit Care.* 2017;40:58-62. doi:10.1016/j.jcrc.2017.03.007
  4. Soldati G, Smargiassi A, Mariani AA, Inchingolo R. Novel aspects in diagnostic approach to respiratory patients: is it the time for a new semiotics? *Multidiscip Respir Med.* 2017;12:15. doi:10.1186/s40248-017-0098-z
  5. Narula J, Chandrashekhar Y, Braunwald E. Time to Add a Fifth Pillar to Bedside Physical Examination: Inspection, Palpation, Percussion, Auscultation, and Insonation. *JAMA Cardiol.* 2018;3(4):346-350. doi: 10.1001/jamacardio.2018.0001.
  6. Corsini I, Parri N, Dani C. Point-of-Care Lung Ultrasound in Neonatology: Ready or Not, Here It Comes! *Chest.* 2020;157(4):759-760. doi:10.1016/j.chest.2020.01.007
  7. Amaya GA, Rojas VG, Velasco SNM, et al. Ultrasonido pulmonar en medicina, su utilidad en la práctica clínica. *Rev Fac Med UNAM.* 2020;63(2):36-45.
  8. Vázquez RJM, Millán-Hernández M, Ramírez TOA, et al. El ultrasonido, de la cabecera del paciente al aula. *Rev Fac Med UNAM.* 2020;63(1):48-55.
  9. Cattarossi L, Copetti R, Poskurica B. Radiation exposure early in life can be reduced by lung ultrasound. *Chest.* 2011;139(3):730-731. doi:10.1378/chest.10-2338
  10. Escourrou G, De Luca D. Lung ultrasound decreased radiation exposure in preterm infants in a neonatal intensive care unit. *Acta Paediatr.* 2016;105(5):e237-e239. doi:10.1111/apa.13369
  11. Wu J, Wang Y, Zhao A, Wang Z. Lung Ultrasound for the Diagnosis of Neonatal Respiratory Distress Syndrome: A Meta-analysis. *Ultrasound Q.* 2020;36(2):102-110. doi:10.1097/RUQ.0000000000000490
  12. 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
  13. Jagła M, Grudzień A, Starzec K, Tomasik T, Zasada M, Kwinta P. Lung ultrasound in the diagnosis of neonatal respiratory failure prior to patient transport. *J Clin Ultrasound.* 2019;47(9):518-525. doi:10.1002/jcu.22766
  14. 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(9):1549-1554. doi:10.7863/ultra.15.14.08016
  15. Raimondi F, Migliaro F, Sodano A, et al. Use of neonatal chest ultrasound to predict noninvasive ventilation failure. *Pediatrics.* 2014;134(4):e1089-e1094. doi:10.1542/peds.2013-3924
  16. Elsayed Y, Abdelmawla M, Narvey M, Wrogemann J. A model of integrated lung and focused heart ultrasound as a new screening examination in infants at risk of respiratory or hemodynamic compromise. *J Pediatr Neonat Individual Med.* 2017;6(1):e060131. doi: 10.7363/060131
  17. Joyner CR Jr, Miller LD, Dudrick SJ, Eskin DJ, Bloom P. Reflected ultrasound in the study of diseases of the chest. *Trans Am Clin Climatol Assoc.* 1967;78:28-37.
  18. Rantanen NW. Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 1986;2(1):49-66. doi:10.1016/s0749-0739(17)30732-0
  19. Targhetta R, Bourgeois JM, Balmes P. Echographie du pneumothorax [Echography of pneumothorax]. *Rev Mal Respir.* 1990;7(6):575-579.
  20. Targhetta R, Bourgeois JM, Chavagneux R, Marty-Double C, Balmes P. Ultrasonographic approach to diagnosing hydropneumothorax. *Chest.* 1992;101(4):931-934. doi:10.1378/chest.101.4.931
  21. Targhetta R, Bourgeois JM, Chavagneux R, Balmes P. Diagnosis of pneumothorax by ultrasound immediately after ultrasonically guided aspiration biopsy. *Chest.* 1992;101(3):855-856. doi:10.1378/chest.101.3.855
  22. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest.* 1995;108(5):1345-1348. doi:10.1378/chest.108.5.1345
  23. Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;156(5):1640-1646. doi:10.1164/ajrccm.156.5.96-07096
  24. Lichtenstein D, Mézière G. A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med.* 1998;24(12):1331-1334. doi:10.1007/s001340050771
  25. Avni EF, Braude P, Pardou A, Matos C. Hyaline membrane disease in the newborn: diagnosis by ultrasound. *Pediatr Radiol.* 1990;20(3):143-146. doi:10.1007/BF02012957
  26. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 2012;38(4):577-591. doi:10.1007/s00134-012-2513-4
  27. Yousef N. L'échographie pulmonaire chez le nouveau-né [Lung ultrasound in the newborn]. *Arch Pediatr.* 2016;23(3):317-321. doi:10.1016/j.arcped.2015.12.001
  28. Raimondi F, Yousef N, Migliaro F, Capasso L, De Luca D. Point-of-care lung ultrasound in neonatology: classification into descriptive and functional applications [published online ahead of print, 2018 Jul 20]. *Pediatr Res.* 2018;1-8. doi:10.1038/s41390-018-0114-9

29. Raimondi F, Cattarossi L, Copetti R. International Perspectives: Point-of-Care Chest Ultrasound in the Neonatal Intensive Care Unit: An Italian Perspective. *NeoReviews*. 2014;15(1), e2-e6. doi:10.1542/neo.15-1-e2
30. Liu J, Copetti R, Sorantin E, Lovrenski J, Rodriguez-Fanjul J, et al. Protocol and Guidelines for Point-of-Care Lung Ultrasound in Diagnosing Neonatal Pulmonary Diseases Based on International Expert Consensus. *J Vis Exp*. 2019 Mar 6;(145). doi: 10.3791/58990
31. Singh Y. Ecocardiographic Evaluation of Hemodynamics in neonates and children. *Front pediatr*. 2017; 5:201. doi:10.3389/fped.2017.00201
32. Ibarra-Rios D, Márquez-González H, Quiroga-Valdés A, Guzmán-Arce AE, Villanueva-García D, Villegas-Silva R. Análisis de los resultados del programa de ecocardiografía funcional neonatal en un hospital pediátrico de tercer nivel. *Bol Med Hosp Infant Mex*. 2020;77(4):178-185. doi:10.24875/BMHIM.20000036
33. Mazmany P, Kerobyan V, Shankar-Aguilera S, Yousef N, De Luca D. Introduction of point-of-care neonatal lung ultrasound in a developing country. *Eur J Pediatr*. 2020;179(7):1131-1137. doi:10.1007/s00431-020-03603-w
34. Singh Y, Tissot C, Fraga MV, et al. 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;24(1):65. Published 2020 Feb 24. doi:10.1186/s13054-020-2787-9
35. Laursen CB, Rahman NM, Volpicelli G. eds. *Thoracic Ultrasound (ERS Monograph)*. Sheffield, European Respiratory Society, 2018. pp 1-13.
36. Lichtenstein DA, Mauriat P. Lung Ultrasound in the Critically Ill Neonate. *Curr Pediatr Rev*. 2012;8(3):217-223. doi:10.2174/157339612802139389
37. Lichtenstein DA. Current Misconceptions in Lung Ultrasound: A Short Guide for Experts. *Chest*. 2019;156(1):21-25. doi:10.1016/j.chest.2019.02.332
38. Lichtenstein DA, Lascols N, Mezière G, Gepner A. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med*. 2004;30(2):276-281. doi:10.1007/s00134-003-2075-6
39. Liu J. Lung ultrasonography for the diagnosis of neonatal lung disease. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2014;27(8):856-861. doi:10.3109/14767058.2013.844125
40. Alerhand S, Graumann O, Nelson BP. Physics and basic principles. En: Laursen CB, Rahman NM, Volpicelli G. eds. *Thoracic Ultrasound (ERS Monograph)*. Sheffield, European Respiratory Society, 2018. p. 13-15.
41. Gomond-Le Goff C, Vivalda L, Foligno S, Loi B, Yousef N, De Luca D. Effect of Different Probes and Expertise on the Interpretation Reliability of Point-of-Care Lung Ultrasound. *Chest*. 2020;157(4):924-931. doi:10.1016/j.chest.2019.11.013
42. Lichtenstein D. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659-1670. doi:10.1378/chest.14-1313
43. Alonso-Ojembarrena A, Lechuga-Sancho A, Ruiz-González E, González-Haba B, Lubián López S. Pleural line thickness reference values for preterm and term newborns [published online ahead of print, 2020 Jun 23]. *Pediatr Pulmonol*. 2020;10.1002/ppul.24920. doi:10.1002/ppul.24920
44. Rippey J, Gawthrope I. Creating thoracic phantoms for diagnostic and procedural ultrasound training. *Australas J Ultrasound Med*. 2012;15(2):43-54. doi:10.1002/j.2205-0140.2012.tb00226.x
45. Soldati G, Demi M, Inchingolo R, Smargiassi A, Demi L. On the Physical Basis of Pulmonary Sonographic Interstitial Syndrome. *J Ultrasound Med*. 2016;35(10):2075-2086. doi:10.7863/ultra.15.08023
46. Soldati G, Demi M, Smargiassi A, Inchingolo R, Demi L. The role of ultrasound lung artifacts in the diagnosis of respiratory diseases. *Expert Rev Respir Med*. 2019;13(2):163-172. doi:10.1080/17476348.2019.1565997
47. Piette E, Daoust R, Denault A. Basic concepts in the use of thoracic and lung ultrasound. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2013 Feb;26(1):20-30. doi: 10.1097/ACO.0b013e32835afd40.
48. Gill R. *The Physics and Technology of Diagnostic Ultrasound. A Practitioners Guide*. High Frequency Publishing, Sidney, Australia; 2012.
49. Kurepa D, Zaghloul N, Watkins L, Liu J. Neonatal lung ultrasound exam guidelines. *J Perinatol*. 2018;38(1):11-22. doi:10.1038/jp.2017.140
50. Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, De Luca D. Lung Ultrasonography Score to Evaluate Oxygenation and Surfactant Need in Neonates Treated with Continuous Positive Airway Pressure. *JAMA Pediatr*. 2015;169(8):e151797. doi:10.1001/jamapediatrics.2015.1797
51. Chiumello D, Mongodi S, Algieri I, et al. Assessment of Lung Aeration and Recruitment by CT Scan and Ultrasound in Acute Respiratory Distress Syndrome Patients. *Crit Care Med*. 2018;46(11):1761-1768. doi:10.1097/CCM.0000000000003340
52. Bonet-Carne E, Palacio M, Cobo T, et al. Quantitative ultrasound texture analysis of fetal lungs to predict neonatal respiratory morbidity. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2015;45(4):427-433. doi:10.1002/uog.13441
53. Anantrasirichai N, Hayes W, Allinovi M, Bull D, Achim A. Line Detection as an Inverse Problem: Application to Lung Ultrasound Imaging. *IEEE Trans Med Imaging*. 2017;36(10):2045-2056. doi:10.1109/TMI.2017.2715880
54. Yousef N, Vigo G, Shankar-Aguilera S, De Luca D. Semiquantitative Ultrasound Assessment of Lung Aeration Correlates

- tes With Lung Tissue Inflammation. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(5):1258-1262. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.01.018
55. Elsayed YN, Hinton M, Graham R, Dakshinamurti S. Lung ultrasound predicts histological lung injury in a neonatal model of acute respiratory distress syndrome. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(11):2913-2923. doi:10.1002/ppul.24993
  56. Louis D, Belen K, Farooqui M, et al. Prone versus Supine Position for Lung Ultrasound in Neonates with Respiratory Distress. *Am J Perinatol*. 2019;10.1055/s-0039-1695776. doi:10.1055/s-0039-1695776
  57. Lichtenstein DA. Ultrasound in the management of thoracic disease. *Crit Care Med*. 2007;35(5 Suppl):S250-S261. doi:10.1097/01.CCM.0000260674.60761.85
  58. López Maure E. *Radiología Neonatal*. 1ª Edición. Ediciones Journal 2019.
  59. Jeppesen DL, Hasselbalch H, Nielsen SD, et al. Thymic size in preterm neonates: a sonographic study. *Acta Paediatr*. 2003;92(7):817-822.
  60. Magu S, Gathwala G, Agarwal S, Parihar A. Sonographic measurement of thymic size in preterm infants: prediction model for thymic size in the Indian subcontinent. *Indian J Pediatr*. 2012;79(6):764-768. doi:10.1007/s12098-011-0594-7
  61. Mehta S. Assessment of thymus size in healthy term neonates using sonography - A study from tertiary care hospital of Central India. *J Neonatal Perinatal Med*. 2015;8(2):143-147. doi:10.3233/NPM-15814067
  62. Varga I, Toth F, Uhrinova A, Nescakova E, Polak S. Association among size of thymus, anthropometric dimensions and number of lymphocytes in peripheral blood in newborns from Slovakia. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*. 2009;153(3):229-234. doi:10.5507/bp.2009.040
  63. Liu J, Sorantin E, Cao HY. *Neonatal Lung Ultrasonography*. 1aEd. Netherlands/China: SpringerNature B.V. People's Medical Publishing House; 2018. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1549-0>

# Capítulo 2. Transición y retención de líquido pulmonar fetal (Taquipnea transitoria del recién nacido)

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dra. Alejandra Sánchez Cruz

Dra. Carolina Michel Macías

## INTRODUCCIÓN

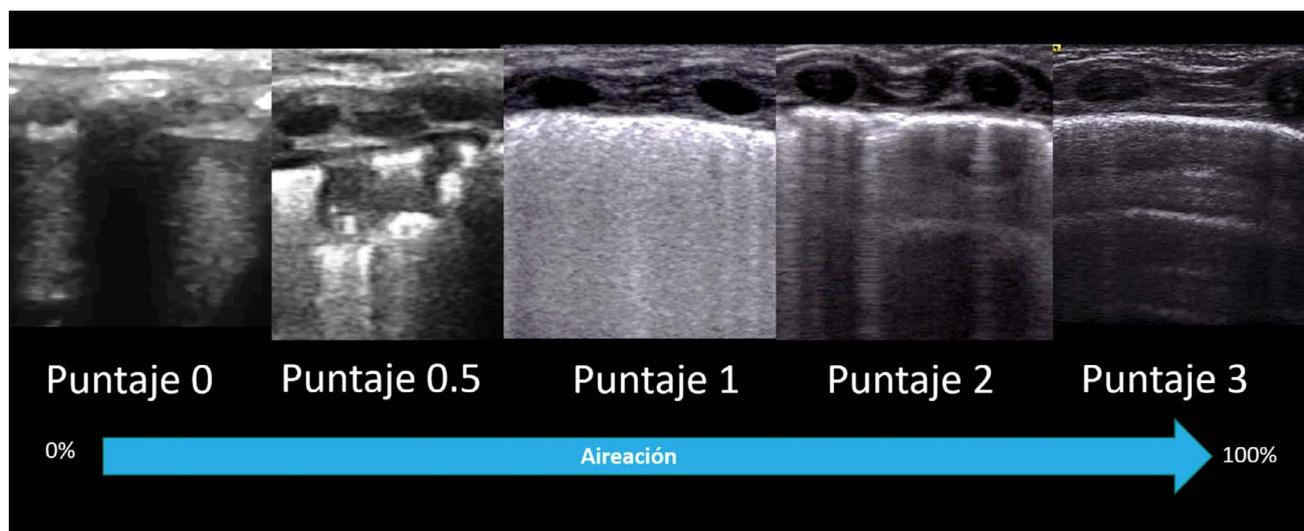
La eliminación del líquido pulmonar fetal comienza con pródromos de trabajo de parto. Un retraso condiciona un intercambio de gases inefectivo y resulta en dificultad respiratoria tras el nacimiento. El periodo de transición es un proceso complejo de vasodilatación pulmonar mediado bioquímicamente, susceptible a presentar alteraciones con frecuencia condicionadas por enfermedades del parénquima pulmonar. La causa más frecuente de alteración en el periodo de transición en prematuros tardíos y neonatos de término es la retención de líquido pulmonar fetal. El UP es una herramienta fundamental en la neonatología contemporánea para hacer diagnóstico diferencial, monitorizar la evolución y predecir los neonatos que requerirán cuidados intensivos o intermedios.

## LA FISIOLÓGÍA DE LA TRANSICIÓN

El nacimiento es precedido por diversos cambios que permiten la transición de la vida intrauterina a la extrauterina. Los cinco eventos principales que establecen al pulmón como el órgano de intercambio de gases incluyen: la eliminación del líquido pulmonar fetal, el establecimiento de la respiración espontánea, la disminución de la resistencia vascular pulmonar, la liberación de surfactante y el cese del cortocircuito de derecha a izquierda a nivel atrial y del conducto arterioso seguido del cierre fisiológico de éste.<sup>1-3</sup>

### Ultrasonido pulmonar en la transición

En el 2013 la Dra. Laura Martelius estudió a 22 neonatos nacidos por parto y 20 por cesárea; realizó



F12

Transición durante las primeras respiraciones. Mayor puntaje implica mayor aireación.

Modificado de: Blank DA, Rogerson SR, Kamlin COF, et al. Lung ultrasound during the initiation of breathing in healthy term and late preterm infants immediately after birth, a prospective, observational study. Resuscitation. 2017;114:59-65. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.02.017

UP a la hora del nacimiento, a las 3 y 24 horas. En el UP de las 3 horas el grupo nacido por cesárea mostró un incremento en el número de Líneas B, indicativo de menor remoción de líquido pulmonar. En ambos grupos a las 24 horas se observó un decremento significativo de Líneas B, indicativo de absorción de líquido pulmonar.

El Dr. Douglas Blank y colaboradores caracterizaron la apariencia del pulmón en el UP durante las primeras respiraciones en 63 neonatos mayores de 35 SDEG (33 partos y 30 cesáreas). Utilizaron la escala que se muestra en la Figura 12 (escala semicuantitativa donde un valor mayor indica mayor aireación). Encontraron el **establecimiento de la línea pleural** (desaparición de la hepatización y aparición de artefactos) durante las primeras respiraciones (media de 4 respiraciones);<sup>4</sup> se realizaron 2 valoraciones una dentro de los 1-10 minutos donde todos los neonatos habían establecido la línea pleural y el 89 % habían mostrado aclaramiento de líquido importante y otra a los 11-20 minutos donde el 100 % mostraron aclaramiento sustancial.

El mismo equipo de investigadores estudiaron a 115 neonatos mayores a 35 SDEG (51 partos, 14 cesáreas tras trabajo de parto y 50 cesáreas sin trabajo de parto) obteniendo UP a los 1-10 min, 11-20 min, 1,2,4 y 24 horas. Nuevamente todos los neonatos habían establecido la línea pleural en la primera valoración (media de 2 minutos). Solo el 14 % tuvieron retención sustancial de líquido pulmonar. El 49 %, 78 % y 100 % de los neonatos completaron el aclaramiento a las 2, 4 y 24 horas, respectivamente. Típicamente el aclaramiento se alcanzó a las 4 horas del nacimiento. Los neonatos que nacieron sin trabajo de parto tuvieron significativamente mayor retención en las valoraciones a los 1-10 minutos, 11-20 minutos y a la hora, perdiendo significancia estadística tras el paso de la primera hora.<sup>5</sup>

El **Video 5** muestra la transición durante una cesárea en un neonato de término temprano con contra-

indicación para pinzamiento tardío documentado desde que llega a la cuna de calor radiante comparado con un parto de término durante las primeras respiraciones con cordón abierto. Se comparan a los 5 y 15 minutos. Ninguno de los dos tuvo complicaciones en la transición.

## RETENCIÓN DE LÍQUIDO PULMONAR FETAL (TAQUIPNEA TRANSITORIA DEL RECIÉN NACIDO)

### INTRODUCCIÓN

Un retraso en la eliminación de líquido pulmonar condiciona un intercambio de gases inefectivo y termina en dificultad respiratoria. La Taquipnea Transitoria del Recién Nacido (TTRN) es una alteración que consiste en la retención de líquido pulmonar fetal generando edema pulmonar.<sup>6</sup> Se describió por primera vez en 1966 como la manifestación clínica del retraso en la eliminación de líquido pulmonar fetal.<sup>7</sup> Se presenta en aproximadamente el 2 % de los nacimientos, es la causa principal de dificultad respiratoria en RN de término y pretérmino tardío. En general es una condición leve sin efectos negativos a largo plazo y una de las principales causas de ingreso a la UCIN.<sup>8</sup>

### EPIDEMIOLOGÍA

Los datos epidemiológicos sobre TTRN son escasos, pero algunos estudios han mostrado que ocurre en 3.6-5.7 por 1000 RN. La prevalencia en RN prematuros es probablemente mayor; sin embargo, una estimación precisa se dificulta ya que coexiste con el déficit de surfactante.<sup>1</sup> Se estima que ocurre en el 10 % de los nacimientos a las 33 a 34 SDEG y el 5 % de los nacimientos a las 35-36 SDEG.<sup>5</sup>

## FACTORES DE RIESGO

Los factores fetales incluyen asfixia perinatal, sexo masculino, menor edad gestacional, pequeño para edad gestacional y macrosomía. Los antecedentes maternos de asma,<sup>9</sup> hipertensión y diabetes gestacional se asocian con un mayor riesgo de TTRN, así como la cesárea sin trabajo de parto antes de las 39 SDEG.<sup>2</sup>

La ausencia de trabajo de parto en RN por cesárea electiva tiene un impacto significativo en la morbilidad respiratoria. Los RN por cesárea sin trabajo de parto tienen una incidencia de morbilidad respiratoria del 3.55 % comparado con el 1.22 % de los RN por cesárea posterior al inicio de trabajo de parto.<sup>10</sup>

Adicionalmente, se ha observado que retrasar la cesárea electiva hasta la 39 SDEG disminuye la morbilidad respiratoria, por lo que el Colegio Americano de Obstetricia y Ginecología en 2013 emitió la recomendación de evitar los partos o cesáreas sin indicación médica antes de la 39 SDEG.<sup>11</sup>

Existe evidencia clara de que los esteroides antenatales disminuyen su incidencia. El estudio multicéntrico, aleatorizado y doble ciego ALPS (The Antenatal Late Preterm Steroids) examinó los efectos de la aplicación de betametasona entre las 34 y las 36 SDEG en la morbilidad pulmonar encontrando una reducción significativa en la morbilidad pulmonar/muerte en el grupo que recibió betametasona comparado con el grupo placebo.<sup>12</sup>

Los polimorfismos en el receptor beta adrenérgico (ADRB), se han identificado como factor predisponente.<sup>13</sup>

## FISIOPATOLOGÍA

Durante la vida fetal, los neumocitos tipo II secretan líquido hacia el alveolo para mantener su función y crecimiento. La producción de líquido pulmonar

fetal incrementa de aproximadamente 1.5 mL/kg/h a la mitad de la gestación a 5 mL/kg/h cerca del término de ésta, alcanzando volúmenes fetales de 25-30 mL/kg, que se aproximan a la Capacidad Residual Funcional (CRF) de un recién nacido de término. Hacia el final de la gestación, hay una elevación en los glucocorticoides fetales y hormonas tiroideas que activan los canales de absorción de sodio. El estrés del trabajo de parto resulta en producción de epinefrina fetal, que activa los canales epiteliales de sodio (ENaC, por sus siglas en inglés) y revierte el proceso de secreción a absorción de líquido. El sodio posteriormente se mueve hacia el intersticio vía  $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$  ATPasa, lo que promueve el desplazamiento de cloro y agua pasivamente a través de vías intracelulares y paracelulares.<sup>14-17</sup>

Adicionalmente, las acuaporinas 4 y 5 (AQP4 y AQP5, por sus siglas en inglés) que se expresan en los neumocitos tipo 1 median el transporte de agua a través de la membrana apical del epitelio alveolar.<sup>18</sup> El Óxido Nítrico (ON), juega un papel crítico en la regulación del tono vasomotor y el flujo sanguíneo pulmonar. En fetos ovinos, la instilación de ON en el pulmón disminuye la producción de líquido.<sup>19</sup>

Otros mecanismos como la presión ejercida sobre el tórax durante el parto vaginal y las fuerzas de Starling también contribuyen en menor proporción a la reabsorción de líquido pulmonar. La mayoría del líquido intersticial se desplaza hacia la circulación pulmonar y una menor proporción drena a través de los capilares linfáticos. Una vez que la respiración inicia, los gradientes de presión transepiteliales generados durante la inspiración juegan un papel significativo en la eliminación de líquido pulmonar.<sup>20</sup>

## PRESENTACIÓN CLÍNICA

La TTRN se presenta poco después del nacimiento con taquipnea, quejido, aleteo nasal, retracciones

y ocasionalmente cianosis. Típicamente, la taquipnea es de entre 60-80 respiraciones por minuto; sin embargo, la frecuencia respiratoria podría superar las 80-100 respiraciones por minuto.<sup>1</sup>

A la auscultación, los ruidos respiratorios podrían encontrarse disminuidos o apreciarse estertores, y puede asociarse taquicardia. La TTRN puede producir hiperinflación de los pulmones, lo cual puede manifestarse como tórax en tonel a la exploración física.<sup>1</sup>

Si la dificultad respiratoria resuelve dentro de las primeras horas posteriores al nacimiento, puede deberse a un retraso breve en la reabsorción de líquido pulmonar y corresponde a un "retraso en la transición". Si ésta continúa después de un periodo aceptable (2-6 horas), deberán considerarse todas las causas de dificultad respiratoria, incluyendo TTRN. En caso de que los síntomas persistan más de 72 horas, deberán considerarse otros diagnósticos alternativos.<sup>6</sup>

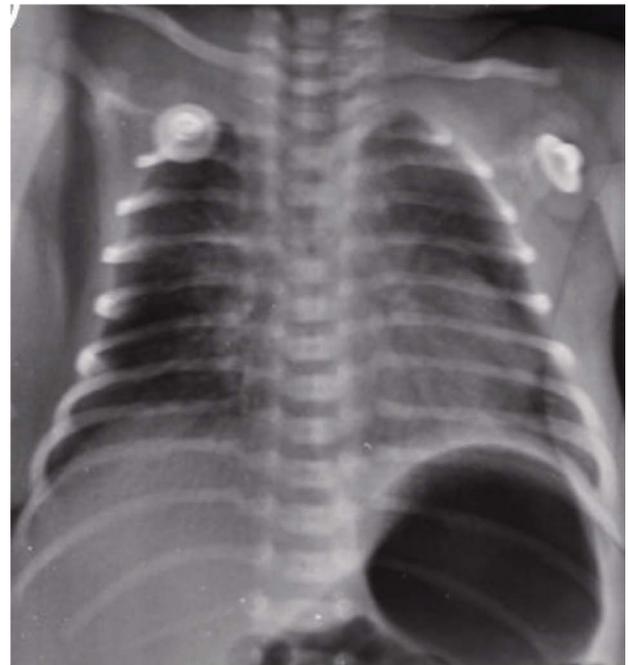
## DIAGNÓSTICO

Existen muchas causas de dificultad respiratoria que pueden presentarse al nacimiento: aspiración (de meconio, líquido amniótico o sangre), anomalías congénitas (hernia diafragmática congénita, enfisema lobar congénito, malformación adenomatosa quística), deficiencia de surfactante (síndrome de dificultad respiratoria), neumonía, discinesia ciliar primaria, derrame pleural y fuga aérea (neumotórax, neumomediastino). La TTRN es un diagnóstico de exclusión, por lo que deberán descartarse otras causas de dificultad respiratoria.

El diagnóstico se basa en la presentación clínica, hallazgos en la exploración física y radiológicos. La radiografía de tórax puede revelar retención de líquido pulmonar mostrando opacidades lineales difusas, edema del septo interlobar y líquido en las

cisuras. La retención de líquido pulmonar ocasiona engrosamiento de los linfáticos y capilares que se observan como marcas vasculares parahiliares prominentes que son referidas en ocasiones como "sol naciente" o también llamado "corazón deshilachado". Puede haber cierto grado de hiperinflación y puede observarse líquido en los ángulos costofrénicos, con ensanchamiento de los espacios intercostales (Figura 13). Una característica clave de la TTRN es un intervalo de mejoría radiológica de 48-72 horas. Adicionalmente, los RN pretérmino pueden mostrar evidencia radiológica de retención de líquido fetal y deficiencia de surfactante simultáneamente.<sup>1</sup>

### Ultrasonido pulmonar en taquipnea transitoria del recién nacido



F13

Radiografía de tórax de un recién nacido con TTRN mostrando incremento en las marcas intersticiales parahiliares con un patrón en "sol naciente" o "corazón deshilachado".

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2018.

Inicialmente se reconoció la diferencia entre el déficit de surfactante que generaba un pulmón blanco bilateral (ver el Capítulo 3) contra el patrón de TTRN que mostraba **áreas respetadas**. El Dr. Roberto Copezzi y colaboradores en 2006, estudiaron 32 RN con TTRN comparados con 60 normales, 29 con déficit de surfactante, 6 con neumonía, 5 con hemorragia pulmonar y 5 con atelectasia. Se les tomaron radiografías y UP, cada 24 horas hasta cumplir 72 horas. En pacientes con TTRN se encontraron **Líneas B muy compactas** en los campos pulmonares inferiores y **Líneas B no compactas** en campos superiores conforme progresaron los días, el patrón desapareció a las 72 horas. Este hallazgo fue nombrado como **“doble punto pulmonar”**. Este patrón no se presentó en pacientes sin TTRN, mostrando una sensibilidad y especificidad del 100 % para el diagnóstico.<sup>21</sup>

Posteriormente el Dr. Jing Liu y colaboradores publicaron en 2014 en China un estudio con 60 neonatos con TTRN, los compararon con 60 controles sin patología pulmonar y 20 con déficit de surfactante. Se encontró el doble punto pulmonar con una sensibilidad del 76.7 % y una especificidad del 100 %. Al contrario de otros estudios reportaron derrame pleural en el 20 % de los casos. El hallazgo principal fue que la consolidación con broncograma aéreo (característico del déficit de surfactante) no existió en los neonatos con TTRN.<sup>22</sup> También en el 2014 se evaluó al UP como prueba diagnóstica al realizarse tras una hora de ingreso comparado con el diagnóstico clínico (el clínico no conocía los resultados del UP) se encontró para TTRN una sensibilidad del 93.3 %, una especificidad del 96.5 %, un Valor Predictivo Positivo (VPP) del 96.5 % y un Valor Predictivo Negativo (VPN) del 93.4 %.<sup>23</sup>

Finalmente, el Dr. Francesco Raimondi en el 2019 publicó un estudio multicéntrico donde reclutaron a 65 pacientes entre 34 y 40 SDEG con TTRN. Se realizó un primer UP a los 60 a 180 minutos de vida y posteriormente se repitieron cada 6 a 12 horas si

la dificultad respiratoria persistió. Utilizaron la escala semicuantitativa propuesta por la Dra. Roselyne Brat<sup>24</sup> que se muestra en la Figura 14. Se encontró doble punto pulmonar únicamente en 31 pacientes (47.6 %). La escala semicuantitativa correlacionó con la escala de Silverman de los pacientes (entre peor aireación mayor dificultad respiratoria) y con el índice de Kirby ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ). De manera concordante con el grupo de China el 99.5 % de los pacientes con TTRN tuvieron una **línea pleural regular sin consolidación**.<sup>25</sup>

El “doble punto pulmonar” aparece también durante el periodo de recuperación de enfermedades graves como SDR y neumonía.<sup>26</sup>

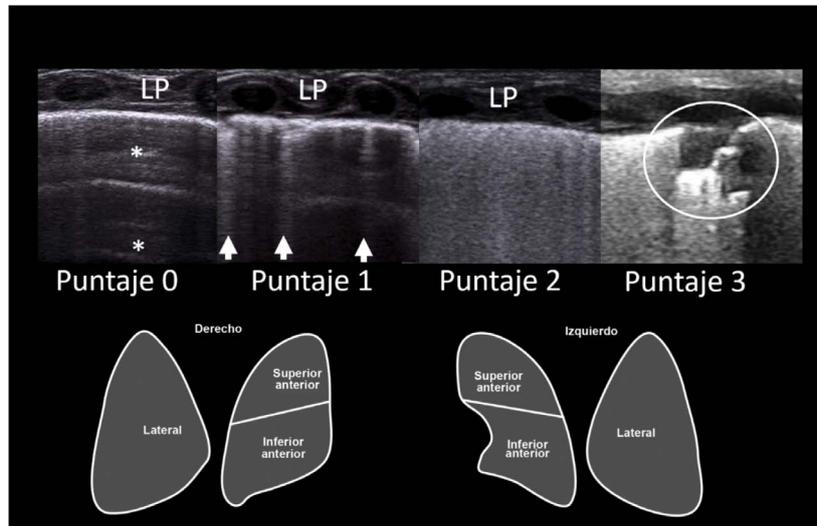
Por lo anterior, se pueden utilizar como criterios de diagnóstico:<sup>27</sup>

1. Línea pleural regular sin consolidación.
2. Doble punto pulmonar: Líneas B confluentes (compactas) en campos pulmonares inferiores y menos compactas en campos superiores (aproximadamente el 50 % de los casos).
3. Líneas B numerosas en uno o ambos pulmones.
4. Disminución del número de Líneas B conforme mejora la clínica.

La Figura 15 y el **Video 6** muestran un paciente con TTRN manejado con CPAP. En este caso se muestra doble punto pulmonar.

Si se sospecha infección debido a signos clínicos de enfermedad sistémica o factores de riesgo, deberá tomarse una biometría hemática, proteína C reactiva (PCR) y cultivo. El uso rutinario de antibióticos empíricos en TTRN podría ser deletéreo, provocando alteraciones en el microbioma intestinal y un incremento en las resistencias bacterianas.

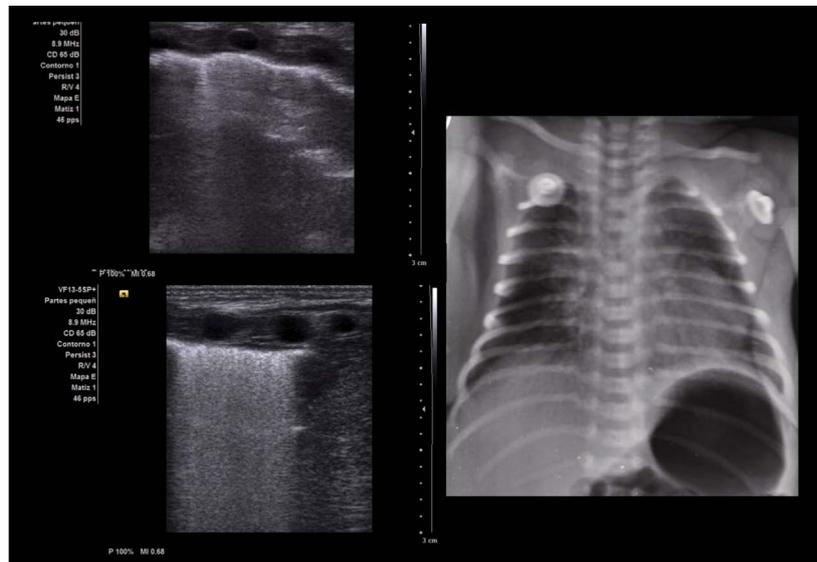
La gasometría podría mostrar hipoxemia leve e hipocapnia debido a la taquipnea. Si se presenta hipercapnia, puede ser un signo de fatiga u otra



F14

**Escala semicuantitativa de UP. Puntaje 0:** Aireación normal con repetición transversal de la línea pleural (LP) llamadas Líneas A (asteriscos) con deslizamiento pleural presente. **Puntaje 1:** Líneas B longitudinales (Cabezas de flecha) que llegan al fondo de la pantalla (Deben haber  $\geq 3$ ). **Puntaje 2:** Líneas B coalescentes (sin espacios respetados) dando imagen de pulmón blanco con línea pleural engrosada o difusa con o sin broncograma de colapso también conocido como consolidaciones subpleurales. **Puntaje 3:** Pulmón blanco con engrosamiento de la línea pleural y consolidación extendida (círculo). Inferior: Seis áreas exploradas en el paciente superior anterior, inferior anterior y lateral de ambos lados.

*Modificado de:* Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, De Luca D. Lung Ultrasonography Score to Evaluate Oxygenation and Surfactant Need in Neonates Treated With Continuous Positive Airway Pressure. JAMA Pediatr. 2015 Aug;169(8):e151797. doi: 10.1001/jamapediatrics.2015.1797



F15

UP que muestra doble punto pulmonar. Líneas B confluentes en campos pulmonares inferiores y menos compactas en campos superiores.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2018.

complicación como fuga aérea. Si la taquipnea persistente se acompaña de letargia y acidosis metabólica, deberá evaluarse la presencia de un error innato del metabolismo.<sup>6</sup>

En presencia de hipoxia, las saturaciones preductales y posductales deberán evaluarse. Si se encuentra cianosis diferencial, deberá tomarse un ecocardiograma para descartar cardiopatía congénita o hipertensión arterial pulmonar del recién nacido. La ecocardiografía también deberá realizarse en los casos en los que una TTRN se prolongue por más de 4-5 días.<sup>6</sup>

## TRATAMIENTO

En la mayoría de los casos, las medidas generales y el soporte ventilatorio con oxigenoterapia, Presión Continua de las Vías Aéreas Nasal (CPAP por sus siglas en inglés) o puntas nasales de alto flujo son suficientes para la resolución del cuadro en aproximadamente 72 horas. Es muy importante en caso de requerir oxígeno con una  $FiO_2$  mayor del 40 % iniciar presión, ya que altas concentraciones de oxígeno sin presión resultan en atelectasias de absorción. El nitrógeno es el gas predominante en aire ambiente. Tiene baja solubilidad por lo que hay poca difusión a través de la interfase alveolo-capilar y la mayoría se queda en el alveolo ayudando a mantenerlo abierto. El oxígeno es muy soluble y se absorbe fácilmente en el alveolo. Cuando se usa una  $FiO_2$  alta la concentración de nitrógeno en el gas inspirado y en el alveolo disminuyen, llevando a atelectasias, alteración de la ventilación perfusión, cortocircuitos de derecha a izquierda e hipoxemia.<sup>28</sup>

La TTRN es autolimitada, el pilar del manejo son las medidas de soporte. Los cuidados generales de rutina incluyen monitorización cardiopulmonar, ambiente térmico neutro, balance hídrico, vigilancia de niveles de glucosa y observación de posibles datos de infección.<sup>1</sup>

Si el paciente tiene taquipnea con frecuencias respiratorias de 65-80 rpm, habitualmente se suspende la alimentación por succión debido al riesgo de aspiración y se inicia alimentación por sonda, líquidos intravenosos o una combinación de ambos.

El uso de CPAP en el tratamiento de TTRN para mantener la capacidad residual funcional y saturaciones de oxígeno normales, disminuye la duración de la estancia en UCIN y permite el uso de menos oxígeno, sin asociarse a un incremento en la incidencia de fuga aérea. El CPAP facilita la reabsorción de líquido, garantiza un reclutamiento alveolar temprano y disminuye el trabajo respiratorio. Estos mecanismos disminuyen potencialmente la duración de la enfermedad y reducen la duración de la estancia intrahospitalaria. Además, la utilización de una menor  $FiO_2$  reduce el daño oxidativo al tejido pulmonar.<sup>29</sup>

Los diuréticos han sido estudiados como un tratamiento potencial para facilitar la eliminación de líquido pulmonar. Una revisión sistemática que involucró 100 pacientes comparando furosemida con placebo en RN con TTRN no mostró diferencia en la duración de estancia intrahospitalaria o la duración de los síntomas.<sup>30</sup>

Los  $\beta$  agonistas inhalados hipotéticamente estimulan la absorción de líquido pulmonar estimulando la acción de los canales iónicos involucrados en la reabsorción de líquido pulmonar. Sin embargo, una revisión sistemática concluyó que no hay evidencia suficiente para determinar la eficacia y seguridad de los  $\beta$  agonistas en el tratamiento de la TTRN.<sup>31</sup>

Para evaluar la hipótesis de que una deficiencia relativa de catecolaminas podría jugar un papel en la etiología de la TTRN, un estudio pequeño (20 neonatos) de Kao y colaboradores en Boston comparó el efecto de la epinefrina inhalada contra placebo en la resolución de la TTRN. La epinefrina inhalada no redujo la duración del tratamiento con oxígeno o la necesidad de soporte ventilatorio.<sup>32</sup>

La restricción hídrica en los pacientes con TTRN ha demostrado reducir la duración de los síntomas y disminuir la duración del soporte ventilatorio. En un estudio aleatorizado controlado de Stroustrup y colaboradores en Nueva York que incluyó a 67 neonatos con TTRN grave, se restringió el aporte de líquidos a 40 mL/kg/día en RN de término y 60 mL/kg/día en RN pretérmino (34 a 37 SDEG). En ambos grupos, se incrementó el aporte diario 20 mL/kg/día. La restricción hídrica disminuyó la duración del soporte ventilatorio, disminuyó los costos hospitalarios y no provocó deshidratación.<sup>33</sup> Se debe siempre individualizar cada caso.

## PRONÓSTICO

El pronóstico global es excelente, con resolución de los síntomas en 48-72 horas en la mayoría de los casos. Se ha encontrado una asociación entre el antecedente de TTRN y la presencia de sibilancias recurrentes y atopia. Se ha propuesto que la TTRN pudiera ser un marcador de función pulmonar deficiente reflejando la susceptibilidad a asma; sin embargo, se requieren más estudios para establecer una conexión causal entre TTRN y asma.<sup>34</sup>

## CONCLUSIONES

El UP es útil para detectar una transición alterada y la presencia de edema pulmonar. La TTRN se caracteriza por una línea pleural regular sin consolidación y Líneas B numerosas en uno o ambos pulmones (que disminuyen conforme mejora la clínica). El doble punto pulmonar (Líneas B compactas en campos pulmonares inferiores y menos compactas en campos superiores) se observa en aproximadamente el 50 % de los casos. El UP es útil para hacer diagnóstico diferencial (déficit de surfactante, neumonía) y tras iniciar el manejo con CPAP documentar mejoría y detectar complicaciones (neumotórax).

## REFERENCIAS

- Guglani L, Lakshminrusimha S, Ryan RM. Transient tachypnea of the newborn. *Pediatr Rev.* 2008;29(11):e59-e65. doi:10.1542/pir.29-11-e59
- Alhassen Z, Vali P, Guglani L, Lakshminrusimha S, Ryan RM. Recent Advances in Pathophysiology and Management of Transient Tachypnea of Newborn [published online ahead of print, 2020 Aug 4]. *J Perinatol.* 2020;10.1038/s41372-020-0757-3. doi:10.1038/s41372-020-0757-3
- Jain L. Alveolar fluid clearance in developing lungs and its role in neonatal transition. *Clin Perinatol.* 1999;26:585-99.
- Blank DA, Rogerson SR, Kamlin COF, et al. Lung ultrasound during the initiation of breathing in healthy term and late preterm infants immediately after birth, a prospective, observational study. *Resuscitation.* 2017;114:59-65. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.02.017
- Blank DA, Kamlin COF, Rogerson SR, et al. Lung ultrasound immediately after birth to describe normal neonatal transition: an observational study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2018;103(2):F157-F162. doi:10.1136/archdischild-2017-312818
- Hagen E, Chu A, Lew C. Transient tachypnea of the newborn. *Neo-Reviews* 2017;18(3):e141-e145. doi: 10.1542/neo.18-3-e141
- Avery ME, Gatewood OB, Brumley G. Transient tachypnea of newborn. Possible delayed resorption of fluid at birth. *Am J Dis Child.* 1966;111(4):380-385, doi:10.1001/archpedi.1966.02090070078010
- Gizzi C, Klifa R, Pattumelli MG, Massenzi L, Taveira M, Shankar-Aguilera S, De Luca D. Continuous Positive Airway Pressure and the Burden of Care for Transient Tachypnea of the Neonate: Retrospective Cohort Study. *Am J Perinatol.* 2015;32(10):939-43. doi: 10.1055/s-0034-1543988
- Schatz M, Zeiger RS, Hoffman CP, Saunders BS, Harden KM, Forsythe AB. Increased transient tachypnea of the newborn in infants of asthmatic mothers. *Am J Dis Child.* 1991;145(2):156-8. doi: 10.1001/archpedi.1991.02160020046013
- Ryan CA, Hughes P. Neonatal respiratory morbidity and mode of delivery at term: influence of timing of elective caesarean section. *Br J Obstet Gynaecol.* 1995;102(10):843-4. doi: 10.1111/j.1471-0528.1995.tb10861.x
- American College of Obstetricians and Gynecologists. ACOG committee opinion no. 559: Cesarean delivery on maternal request. *Obstet Gynecol.* 2013;121(4):904-7. doi: 10.1097/01.AOG.0000428647.67925.d3.
- Gyamfi-Bannerman C, Thom EA. Antenatal Betamethasone for Women at Risk for Late Preterm Delivery. *N Engl J Med.* 2016;375(5):486-7. doi: 10.1056/NEJMc1605902
- Aslan E, Tutdibi E, Martens S, Han Y, Monz D, Gortner L. Transient tachypnea of the newborn (TTN): a role for polymorphisms in the beta-adrenergic receptor (ADRB) en-

- coding genes? *Acta Paediatr.* 2008;97(10):1346-50. doi: 10.1111/j.1651-2227.2008.00888.x
14. Vilos GA, Liggins GC. Intrathoracic pressures in fetal sheep. *J Dev Physiol.* 1982;4:247-56.
  15. Harding R, Bocking AD, Sigger JN. Influence of upper respiratory tract on liquid flow to and from fetal lungs. *J Appl Physiol* (1985). 1986;61(1):68-74. doi: 10.1152/jappl.1986.61.1.68.
  16. Klaus M, Tooley WH, Weaver KH, Clements JA. Lung volume in the newborn infant. *Pediatrics.* 1962;30:111-6.
  17. Brown MJ, Olver RE, Ramsden CA, Strang LB, Walters DV. Effects of adrenaline and of spontaneous labour on the secretion and absorption of lung liquid in the fetal lamb. *J Physiol.* 1983;344:137-52. doi: 10.1113/jphysiol.1983.sp014929.
  18. Wittekindt OH, Diel P. Aquaporins in the lung. *Pflugers Arch.* 2019;471(4):519-532. doi: 10.1007/s00424-018-2232-y
  19. Cummings JJ. Nitric oxide decreases lung liquid production in fetal lambs. *J Appl Physiol* (1985). 1997;83(5):1538-44. doi: 10.1152/jappl.1997.83.5.1538
  20. te Pas AB, Davis PG, Hooper SB, Morley CJ. From liquid to air: breathing after birth. *J Pediatr.* 2008;152(5):607-11. doi: 10.1016/j.jpeds.2007.10.041
  21. Copetti R, Cattarossi L. The 'double lung point': an ultrasound sign diagnostic of transient tachypnea of the newborn. *Neonatology.* 2007;91(3):203-209. doi:10.1159/000097454
  22. Liu J, Wang Y, Fu W, Yang CS, Huang JJ. Diagnosis of neonatal transient tachypnea and its differentiation from respiratory distress syndrome using lung ultrasound. *Medicine (Baltimore).* 2014;93(27):e197. doi:10.1097/MD.000000000000197
  23. Vergine M, Copetti R, Brusa G, Cattarossi L. Lung ultrasound accuracy in respiratory distress syndrome and transient tachypnea of the newborn. *Neonatology.* 2014;106(2):87-93. doi:10.1159/000358227
  24. Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, DeLuca D. Lung Ultrasonography Score to Evaluate Oxygenation and Surfactant Need in Neonates Treated With Continuous Positive Airway Pressure. *JAMA Pediatr.* 2015;169(8):e151797. doi:10.1001/jamapediatrics.2015.1797
  25. Raimondi F, Yousef N, Rodriguez Fanjul J, et al. A Multicenter Lung Ultrasound Study on Transient Tachypnea of the Neonate. *Neonatology.* 2019;115(3):263-268. doi:10.1159/000495911
  26. Liang HY, Liang XW, Chen ZY, et al. Ultrasound in neonatal lung disease. *Quant Imaging Med Surg.* 2018;8(5):535-546. doi:10.21037/qims.2018.06.01
  27. Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol.* 2020;55(7):1550-1562. doi:10.1002/ppul.24792
  28. Nimmagadda U, Salem MR, Crystal GJ. Preoxygenation: Physiologic Basis, Benefits, and Potential Risks. *Anesth Analg.* 2017;124(2):507-517. doi:10.1213/ANE.0000000000001589
  29. Gizzi C, Klifa R, Pattumelli MG, et al. Continuous Positive Airway Pressure and the Burden of Care for Transient Tachypnea of the Neonate: Retrospective Cohort Study. *Am J Perinatol.* 2015;32(10):939-943. doi:10.1055/s-0034-1543988
  30. Kassab M, Khriesat WM, Anabrees J. Diuretics for transient tachypnoea of the newborn. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;2015(11):CD003064. Published 2015 Nov 21. doi:10.1002/14651858.CD003064.pub3
  31. Armangil D, Yurdakök M, Korkmaz A, Yiğit S, Tekinalp G. Inhaled beta-2 agonist salbutamol for the treatment of transient tachypnea of the newborn. *J Pediatr.* 2011;159(3):398-403. e1. doi:10.1016/j.jpeds.2011.02.028
  32. Kao B, Stewart de Ramirez SA, Belfort MB, Hansen A. Inhaled epinephrine for the treatment of transient tachypnea of the newborn. *J Perinatol.* 2008;28(3):205-10. doi: 10.1038/sj.jp.7211917
  33. Stroustrup A, Trasande L, Holzman IR. Randomized controlled trial of restrictive fluid management in transient tachypnea of the newborn. *J Pediatr.* 2012;160(1):38-43.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2011.06.027
  34. Birnkrant DJ, Picone C, Markowitz W, El Khwad M, Shen WH, Tafari N. Association of transient tachypnea of the newborn and childhood asthma. *Pediatr Pulmonol.* 2006;41(10):978-984. doi:10.1002/ppul.20481

# Capítulo 3. Síndrome de dificultad respiratoria del recién nacido (déficit de surfactante)

*Dra. Alejandra Sánchez Cruz*

*Dra. Deneb Algedi Morales Barquet*

*Dr. Daniel Ibarra Ríos*

## INTRODUCCIÓN

Para fines de este capítulo, vamos a referirnos a la enfermedad causada por déficit de surfactante como Síndrome de Dificultad Respiratoria (SDR). El SDR es uno de los principales padecimientos de los RN prematuros, y de bajo peso al nacer, en especial en menores de 32 SDEG. La incidencia de SDR incrementa a menor edad gestacional reportándose en el 2017 una incidencia del 90 % a las 24 SDEG, y de un 80 % a las 28 SDEG. El trastorno primario de este padecimiento es la deficiencia de surfactante pulmonar, que resulta en una insuficiencia respiratoria.

Las intervenciones específicas probadas para el tratamiento de estos RN incluyen el uso de esteroides prenatales, oxígeno suplementario, surfactante pulmonar exógeno, CPAP nasal, otras formas de soporte respiratorio no invasivas y el uso de ventilación mecánica invasiva.

Existe la evidencia creciente que sugiere que el uso temprano de CPAP nasal y otras formas de ventilación no invasiva pueden disminuir la necesidad de ventilación mecánica, sin un incremento en las complicaciones y morbilidad. Actualmente se recomienda su uso como estrategia primaria de soporte respiratorio en RN prematuros, al iniciar con datos de dificultad respiratoria, desde la sala de partos, evitando la intubación endotraqueal y las consecuencias asociadas con el uso de ventilación mecánica. Se deben utilizar criterios estrictos para intubación y extubación, y solo en casos seleccionados administrar surfactante con un periodo breve de intubación o con métodos mínimamente invasivos; tratando de disminuir el tiempo de exposición a oxígeno y el desarrollo de Displasia Broncopulmonar (DBP).<sup>1</sup>

## FISIOPATOLOGÍA

El SDR produce insuficiencia respiratoria aguda, debido a una deficiencia, inmadurez o inactivación del surfactante alveolar, lo cual eleva la tensión superficial, favorece el colapso alveolar, atelectasias e inflamación regional produciendo daño epitelial y edema alveolar, lo que se asocia con una inmadurez de la estructura pulmonar y alteraciones en la mecánica pulmonar que puede condicionar hipoxia progresiva y falla respiratoria.

La deficiencia de factor surfactante conduce a un significativo descenso de la distensibilidad pulmonar y el consecuente incremento de la tensión superficial en la interfaz gas-líquido de las vías aéreas terminales, lo cual interfiere con el intercambio de gases y requiere de grandes presiones de distensión para insuflar el alveolo. Los pulmones de estos RN son tanto bioquímica, como estructural y funcionalmente inmaduros, cuentan con una formación incompleta de capilares y con mal desarrollo alveolar.<sup>2</sup>

En los RN pretérmino con SDR, el volumen de producción del surfactante es escaso, con una capacidad de reacción desacelerada, y una mayor tasa de inactivación, principalmente en RN con insuficiencia respiratoria grave.<sup>3</sup>

## DIAGNÓSTICO

Los síntomas y signos clásicos de SDR se identifican por dificultad respiratoria progresiva, que se caracteriza por: taquipnea, aleteo nasal, quejido espiratorio, retracción xifoidea, disociación toracoabdominal y cia-

nosis. El aumento de la demanda de oxígeno durante las primeras 24 a 48 horas es demostrable mediante la medición de gases sanguíneos con hipoxemia con una presión parcial de oxígeno ( $\text{PaO}_2$ ) < 60 mmHg, hipercapnia y acidosis respiratoria que paulatinamente va progresando hasta acidosis mixta. Estos datos aparecen dentro de las primeras 6 horas después del nacimiento.

Las características de la radiografía de tórax se presentan como un patrón de infiltrado reticulogranular con disminución generalizada del volumen pulmonar. La radiografía de tórax si bien correlaciona con gravedad, desde su primera descripción por el Dr. Wolfson no está bien establecido su papel en la toma de decisiones para la dosis inicial (y subsecuente) de surfactante.<sup>4</sup> El patrón radiológico de niños prematuros tratados con surfactante es diverso. En las primeras radiografías posteriores al tratamiento se observa una mejoría de las lesiones pulmonares en forma asimétrica en ambos pulmones.

## Ultrasonido pulmonar para el diagnóstico de SDR

Las primeras descripciones del UP en SDR lo referían como un engrosamiento e irregularidad de la línea pleural con consolidaciones subpleurales y Líneas B confluentes que borran las Líneas A y generan un **“pulmón blanco”** bilateral. En general involucra ambos pulmones sin áreas respetadas. El Dr. Luigi Cattarossi describió en 2010 que la administración de surfactante no modifica los hallazgos a corto plazo.<sup>5</sup>

Diferentes autores han estudiado el papel del UP para diagnosticar SDR.<sup>6-9</sup> Recientemente se publicó un metaanálisis y revisión sistemática que incluyó 9 estudios con 703 neonatos encontrando una sensibilidad del 99 % (IC 95 %, 0.92-1) y especificidad del 95 % (IC 95 %, 0.87-0.98) con un área bajo la curva (ABC) de 0.99 (IC 95 %, 0.98-1).<sup>10</sup>

En Italia el Dr. Iuri Corsini y colaboradores estudiaron 124 neonatos en las primeras 24 horas el papel del UP como prueba diagnóstica contra la radiografía de tórax. La concordancia entre el UP y radiografía de tórax para SDR fue del 91 % (IC 95 %, 86-96) con un tiempo al diagnóstico significativamente más corto para UP (9.5 vs. 50 minutos). Se encontró sensibilidad del 96.7 % y especificidad del 100 %.<sup>11</sup>

**Los criterios diagnósticos para SDR** en el ultrasonido pulmonar son los siguientes:<sup>11,12</sup>

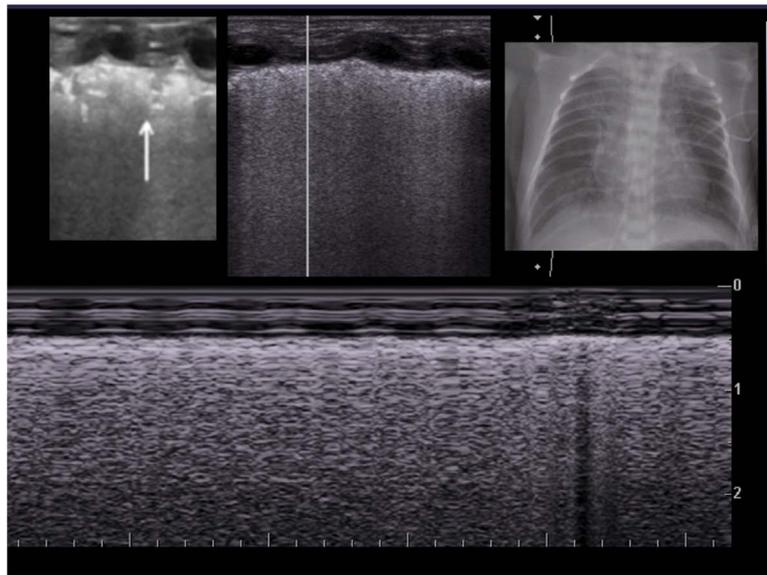
Signos bilaterales de:

- Anormalidades de la línea pleural** (engrosada e irregular)
- Pulmón blanco** (desaparición de líneas A)
- Ausencia de áreas ventiladas en todas las regiones del pulmón
- Consolidaciones con broncograma aéreo (**broncograma de colapso**)

En algunos pacientes (15-20 %) se han descrito diferentes grados de derrame pleural, uni o bilateral<sup>13</sup> y deslizamiento pulmonar disminuido (Figura 16 y **Video 7**).<sup>14</sup>

## Medición de cuerpos lamelares

Otro método utilizado para el diagnóstico es la cuantificación de cuerpos lamelares. Estos forman parte de la capa de surfactante y son liberados de los neumocitos tipo II, son intracelulares, y se encuentran en la interfaz aire/líquido. Su cuantificación puede utilizarse como un indicador de la producción de surfactante endógeno y puede realizarse en líquido amniótico mediante su obtención por aspirado gástrico en las primeras 6 horas de vida, antes de la primera alimentación y procesados en un contador automatizado de células por impedanciometría. Se han reportado diferencias en los pacientes que tuvieron un curso completo de esteroides prenatales [38 000 (19.200-76.500 LBC/ $\mu\text{L}$ )] vs. pacientes sin esteroides prenatales o con un curso incompleto [23.000



**F16** Imagen clásica de SDR con signos bilaterales de anomalías de la línea pleural (engrosada e irregular), pulmón blanco, ausencia de áreas ventiladas en todas las regiones del pulmón y consolidaciones con broncograma aéreo (broncograma de colapso). La flecha señala el broncograma de colapso que son pequeños puntos ecogénicos representando secciones transversales de bronquios pequeños rodeados por líquido o alveolos colapsados.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2017.

(12.500-44.200 LBC/ $\mu$ L]  $p=0.032$ , en el análisis por subgrupos en neonatos con edad gestacional  $\leq 32$  SDEG y éxito en CPAP el número de cuerpos lamelares fue significativamente mayor que en el grupo que falló el CPAP [38.000 (22.000-102.000 LBC/ $\mu$ L)] vs. [20.000 (12.000- 30.000 LBC/ $\mu$ L)]  $p = 0.008$ . En análisis ROC (Característica Operativa del Receptor), el valor de corte que predice la falla a CPAP es  $< 30.000$  LBC/ $\mu$ L con una sensibilidad del 70 % y especificidad del 67.1 %.<sup>15</sup>

## TRATAMIENTO

Como parte del tratamiento del SDR, se debe iniciar con control prenatal adecuado, aplicación de esteroides a la madre y manejo oportuno de infecciones maternas, con la intención de minimizar el nacimiento prematuro; además de un manejo activo antenatal, que incluya esteroides prenatales, sulfato de magne-

sio y nacimiento por cesárea por indicación fetal para disminuir sus complicaciones a corto y largo plazo.<sup>16</sup>

La estabilización inicial en sala de partos debe guiarse con las guías internacionales de reanimación neonatal, tratando de mantener siempre una adecuada ventilación, así como ofrecer soporte respiratorio durante la transición y evitar las maniobras que puedan causar daño pulmonar. El pinzamiento del cordón umbilical previo al inicio de la respiración puede causar disminución súbita del llenado ventricular izquierdo y en consecuencia disminuir el gasto cardíaco y flujo sanguíneo cerebral, por lo que se prefiere un pinzamiento tardío "fisiológico" que permita que los pulmones sean aireados y la circulación pulmonar se establezca.<sup>17</sup>

El manejo actual en RN prematuros con respiración espontánea es la utilización de ventilación no invasiva como soporte respiratorio inicial, prefiriendo el CPAP nasal como la primera opción desde la sala de partos,

por su accesibilidad, así como seguridad y eficacia. Sin embargo, su utilización varía ampliamente en las diferentes unidades neonatales, así como la disponibilidad de recursos en sala de partos.<sup>18-20</sup>

La aplicación de CPAP en los primeros minutos de vida puede promover la reabsorción de líquido pulmonar fetal y facilitar el llenado de aire y el establecimiento de la capacidad residual funcional después del nacimiento. Durante la reanimación la CPAP puede ser administrada por medio de una mascarilla que cubra nariz y boca del bebé, con una pieza en T o una bolsa inflada por flujo, ajustando con la válvula de control el flujo o utilizando una válvula de presión positiva al final de la espiración (PEEP, por sus siglas en inglés) en la pieza en T; generalmente con una presión inicial de 6 cm H<sub>2</sub>O.

Sin embargo, en pacientes sin esfuerzo respiratorio o con bradicardia la ventilación con presión positiva debe ser administrada vía máscara facial asegurando un adecuado sello para evitar fugas, así como evitar presiones excesivas que puedan generar altos volúmenes corrientes.<sup>21</sup>

Aproximadamente el 70 % de los pacientes entre 25 y 28 SDEG y el 21 % de los RN entre 29 y 32 SDEG son intubados antes de iniciar en CPAP nasal. También se refiere que aquellos manejados de forma inicial con CPAP en las mismas edades gestacionales fallan el 43 y 21 %, respectivamente, siendo esta falla un factor de riesgo para muerte y otros desenlaces adversos como neumotórax y DBP.<sup>22</sup> Como se verá más adelante, el UP sirve para predecir esta falla.

## Surfactante pulmonar exógeno

Los primeros estudios sobre los cambios patológicos en el pulmón inmaduro y el surfactante datan de 1854; sin embargo, su introducción para administración exógena como tratamiento del SDR, se inició hasta 1980 en Japón, por Fujiwara. En 1989, la Food and Drug Administration en Estados Unidos de Norteamérica,

autorizó el uso de surfactante exógeno para el tratamiento de SDR.

Posteriormente múltiples ensayos clínicos controlados han comparado diversas preparaciones de surfactante natural vs. sintético, así como el tiempo óptimo de administración clasificándolo en profiláctico o selectivo y el número ideal de dosis.<sup>23</sup>

Las guías clínicas recomiendan la administración de surfactante al inicio de la sintomatología del SDR, que puede ser guiado inicialmente con la necesidad de fracción inspirada de oxígeno (FiO<sub>2</sub>) mayor del 30 %. Esto se basa en el estudio de predictores de falla al CPAP del Dr. Peter Dargaville quien encontró una FiO<sub>2</sub> > 30 % como predictor de falla al CPAP con un ABC de 0.83 resultando una prueba con buen desempeño.<sup>24</sup>

Múltiples ensayos clínicos aleatorizados realizados antes del 2013 demostraron que el tratamiento inicial del recién nacido prematuro que presenta datos clínicos de dificultad respiratoria, debe ser la utilización de CPAP idealmente con puntas cortas binasales, con aplicación de surfactante selectivo de forma temprana y subsecuente extubación continuando con CPAP nasal, que resulta en una menor necesidad de ventilación mecánica y menor uso de oxígeno a los 28 días, aunque sin diferencias en DBP al compararlo con el uso de surfactante profiláctico.<sup>25-28</sup>

Al estudiar al grupo de pacientes que fueron manejados de forma rutinaria con CPAP nasal previo a la administración de surfactante, se ha demostrado una disminución del riesgo de DBP o muerte, por lo que, la estabilización inicial con CPAP nasal aunado al uso de surfactante selectivo es una de las terapias más recomendadas en la actualidad.<sup>29</sup>

## Ultrasonido pulmonar para predecir la necesidad de surfactante

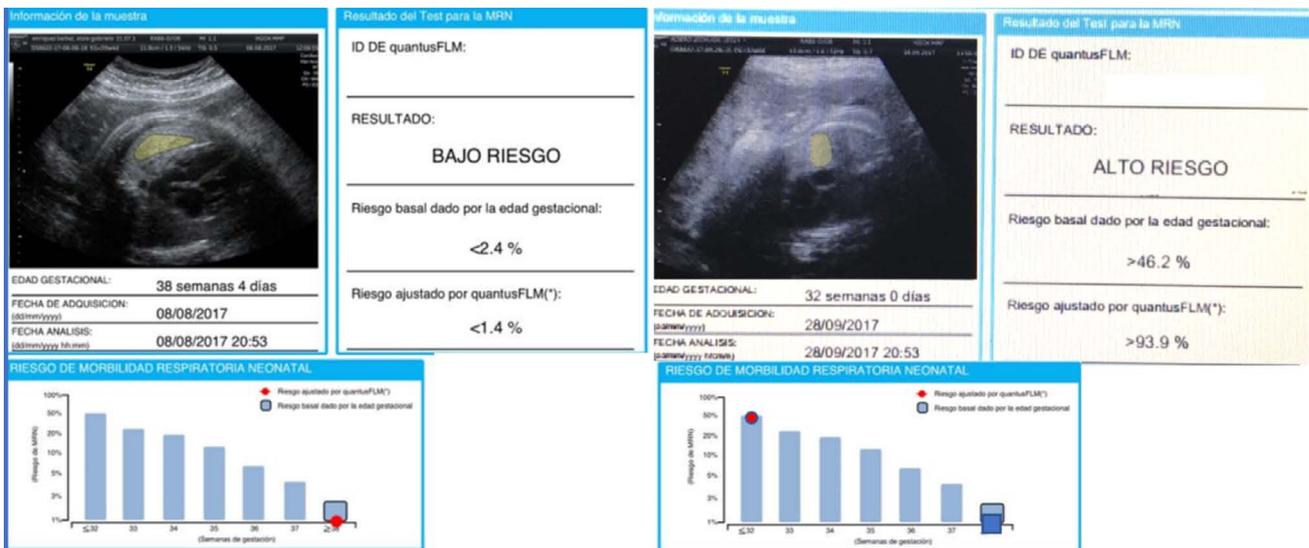
De manera prenatal se puede predecir la madurez pulmonar con una aplicación que permite el análisis de la

escala de grises en el pulmón fetal denominado estudio cuantitativo de la madurez pulmonar fetal (quantusFLM®). Este analiza la textura de una región de interés del pulmón en un corte axial de tórax en donde se observa una imagen de 4 cámaras del corazón, lo que predice de manera adecuada morbilidad respiratoria neonatal comparable con el estudio tradicional de líquido amniótico.<sup>30</sup> En un estudio multicéntrico esta técnica predijo morbilidad respiratoria neonatal con una sensibilidad del 74.3 %, una especificidad del 88.6 %, VPP del 51 % y VPN del 95.5 % (Figura 17).<sup>31</sup>

Para predecir la necesidad de surfactante de manera posnatal hay dos estudios esenciales del grupo de París. En el 2015 la Dra. Roselyne Brat y colaboradores reclutaron 130 neonatos de 27 a 41 SDEG que ingresaron a UCIN con SDR. Se utilizó una escala semicuantitativa modificada de una escala de adultos que se muestra en el capítulo 2 (Figura 14).<sup>32</sup> Se administró surfactante según las Guías Europeas para el SDR del 2013 y se tomó el UP en las primeras horas de vida cegado a quienes trataron a los neonatos. Se en-

contró una correlación buena entre la escala (a mayor escala menos aireación) con índices de oxigenación tomados alrededor de 30 minutos con respecto al UP (Kirby, Proporción y Gradiente Alveolo Arterial e índice de Oxigenación). La escala semicuantitativa predijo la necesidad de surfactante en prematuros menores de 34 SDEG con un corte de 4 con una sensibilidad del 100 %, especificidad del 61 % con un ABC de 0.93 (IC 95 %, 0.86-0.99).<sup>33</sup>

Posteriormente la Dra. Lucia De Martino en 2018 reclutó 133 neonatos ≤ 30 SDEG. Se ingresaron y trataron de acuerdo con las Guías Europeas para el SDR del 2017 y se tomó UP al ingreso a UCIN y antes de la administración de surfactante nuevamente cegado a quienes trataron a los neonatos. Se demostró que un puntaje > 8 predice la necesidad de surfactante (primera dosis) con una sensibilidad del 82 % y una especificidad del 92 %; asimismo un puntaje > 10 predice la necesidad de retratamiento con una sensibilidad del 84 % y una especificidad del 70 %. El análisis de curvas ROC predijo la necesidad de surfactante inicial con un



**F17** QuantusFLM®. Este programa analiza la textura de una región de interés del pulmón en un corte axial de tórax donde se observa una imagen de 4 cámaras del corazón prediciendo de manera adecuada morbilidad respiratoria neonatal. Imagen cortesía de la Dra. Irma Viridiana Cruz Rodríguez, Medicina Materno Fetal.

Imagen cortesía de la Dra. Irma Viridiana Cruz Rodríguez, Medicina Materno Fetal.

ABC de 0.94 (IC 95 %, 0.90-0.98,  $p < 0.001$ ) siendo una prueba con desempeño muy bueno; también predijo la necesidad de retratamiento con una ABC 0.80 (IC 95 %, 0.72-0.89,  $p < 0.001$ ) siendo una prueba con buen desempeño. El análisis de subgrupos encontró en RN  $\leq 28$  SDEG sensibilidad del 90 %, especificidad del 80 %, VPP del 82 % y VPN del 88 %; mientras que en  $\geq 28$  SDEG una sensibilidad del 82 %, especificidad del 92 %, VPP del 92 % y VPN del 83 %.<sup>34</sup>

Posteriormente, el mismo grupo publicó un estudio de mejora de calidad integrando el uso del UP para la administración de surfactante. Denominaron a esta técnica ESTHER (del inglés *Echography-guided Surfactant THERapy*). Mostraron que tras hacer el cambio de manejo por UP contra el corte de  $FiO_2$  se incrementó la proporción de neonatos que recibieron surfactante dentro de las primeras 3 horas, se redujo la máxima  $FiO_2$  alcanzada antes del tratamiento, se disminuyó la duración de ventilación invasiva y se incrementaron los días libres de ventilador. No hubo un incremento en el uso global de surfactante por la introducción de la técnica.<sup>35</sup> Recientemente el Dr. Daniele De Luca y la Dra. Nadya Yousef en un estudio farmacoeconómico retrospectivo de antes y después, demostraron que no se modificó el uso de surfactante ya sea como proporción de neonatos tratados con SDR o como una proporción de viales utilizados sobre el total de viales abiertos para neonatos de cualquier edad gestacional.<sup>36</sup> De esta manera, la evidencia actual apunta a que el UP permite un tratamiento más temprano sin incrementar el uso de surfactante.

El Dr. Javier Rodríguez Fanjul y colaboradores en España estudiaron 56 neonatos  $\leq 32$  SDEG y se aleatorizaron 29 a recibir surfactante por escala semicuantitativa (UP) y/o  $FiO_2$  contra 27 controles tratados de acuerdo con la  $FiO_2$  únicamente (práctica habitual). Se encontró significancia estadística en que el grupo de UP que recibió surfactante más temprano (1 vs. 6 horas), tuvo menor  $FiO_2$  (25 % vs. 30 %) y un  $CO_2$  más bajo (48 % vs. 54 %); así mismo, tras el tratamiento con

surfactante el grupo de UP presentó mayores saturaciones y mejor proporción  $SpO_2/FiO_2$ .<sup>37</sup>

En el 2018 el Dr. Alessandro Perri y colaboradores compararon la radiografía simple de tórax con el UP (misma escala semicuantitativa que la Dra. Brat) para predecir la necesidad de surfactante reclutando 56 neonatos de  $31 \pm 3$  SDEG; encontraron que la escala semicuantitativa tuvo un mejor desempeño al encontrar la radiografía de tórax con una sensibilidad del 82 %, especificidad del 76 %, VPP del 69 % y VPPN del 87 % con un ABC de 0.80 mientras que la escala semicuantitativa presentó una sensibilidad del 86 %, una especificidad del 88 %, VPP 83 % y VPN 91 % con un ABC de 0.94.<sup>38</sup> En 2020, el mismo grupo estudió 46 prematuros de edad media de 32 SDEG (rango intercuartílico 30 a 33) realizando UP a las 2 horas y a las 12 horas tras la administración de surfactante para identificar a quienes necesitarían una segunda dosis. Un corte mayor o igual a 7 mostró una sensibilidad del 95 %, una especificidad del 60 %, VPP del 56 % y VPN 95 % para predecir la necesidad de retratamiento (ABC de 0.80).<sup>39</sup>

Se ha logrado correlacionar la escala semicuantitativa con inflamación del tejido pulmonar. La Dra. Nadya Youseff y colaboradores demostraron la correlación en 22 neonatos de  $28 \pm 1.7$  SDEG con déficit de surfactante con una correlación positiva entre el puntaje de la escala con el conteo de neutrófilos en lavado bronco alveolar, así como a nivel molecular con los niveles de interleucina 8, y factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos.<sup>40</sup> El **Video 8** muestra diferentes casos de uso de la escala semicuantitativa para administrar surfactante.

## Técnicas de administración de surfactante exógeno

Actualmente el surfactante utilizado es el natural exógeno (porcino o bovino). Se recomienda como primera elección el uso de Poractant alfa con dosis

inicial de 200 mg/kg, como segunda elección poractant alfa a 100 mg/kg o beractact a 100 mg/kg. Siempre considerar utilizar el surfactante disponible en la unidad. En caso de requerir dosis adicionales, estas se pueden administrar calculadas a 100 mg/kg de fosfolípidos.<sup>1</sup>

Respecto al tiempo óptimo de administración del surfactante exógeno, se consideran dos modalidades: profiláctico (< 30 minutos de vida usualmente aplicado en la sala de partos) o tratamiento de rescate (selectivo), clasificándose este último en rescate temprano (< 2 horas de vida) y tardío (> 2 horas de vida).<sup>41</sup> A partir del 2008 surgió la controversia respecto a la necesidad inmediata de intubación y ventilación mecánica después del nacimiento vs. un soporte respiratorio inicial no invasivo con el uso de CPAP con o sin la aplicación de surfactante, dependiendo de la condición clínica del paciente, así como los requerimientos de  $FiO_2$ .

Es conocido que el uso de surfactante profiláctico puede resultar en intubación y administración de surfactante innecesaria para muchos RN. Actualmente el objetivo es tratar a todos los RN con riesgo de SDR tan pronto como sea posible desde la sala de partos con CPAP temprano, y si el paciente persiste con altos requerimientos de  $FiO_2$  y/o incremento de la dificultad respiratoria, se debe administrar surfactante selectivo (rescate temprano) antes de tener la confirmación radiológica.<sup>42</sup>

En 1994 se publicó el primer ensayo clínico controlado aleatorizado administrando surfactante exógeno durante la aplicación de CPAP nasal, describiendo la técnica InSurE (INtubación-SURfactante-Extubación) mostrando una reducción en la necesidad de ventilación mecánica del 85 % al 43 %.<sup>43</sup>

El Dr. Rodríguez Fanjul estudió en neonatos intubados para InSurE el beneficio del UP para guiar la surfactación encontrando utilidad para verificar que el tubo está dentro de la tráquea, que hay desliza-

miento pleural bilateral y excursión diafragmática bilateral (Técnicas que se revisarán en el Capítulo 9). Describió la presencia de pulso pulmonar (ausencia de deslizamiento pleural y visualización clara de las pulsaciones cardiacas a nivel de la línea pleural) como un dato de intubación bronquial selectiva contralateral.<sup>44</sup>

En 2011 el Dr. Peter Dargaville y colaboradores reportaron un método de administración de surfactante a RN de 25 a 28 SDEG, en CPAP mediante el uso de un catéter vascular semirrígido, reconocido como procedimiento mínimamente invasivo (Minimally Invasive Surfactant Therapy o MIST por sus siglas en inglés). Las características del catéter facilitan su colocación en la tráquea, su uso es más fácil como guía a través de las cuerdas vocales por el médico, lo que demostró que era un método factible para la administración de surfactante.<sup>45</sup>

También se han propuesto otros métodos de administración de surfactante menos invasivos, LISA por sus siglas en inglés (Less Invasive Surfactant Administration) con el uso de sondas nasogástricas, catéteres vasculares y catéteres especiales para instilación de surfactante. Estas técnicas han demostrado disminuir el desenlace compuesto de muerte o displasia broncopulmonar, necesidad de ventilación y la presencia de DBP entre los supervivientes.<sup>46</sup>

La administración de surfactante en aerosol o vía laríngea (por instilación o con el uso de máscara laríngea) continúan en investigación y aún no se cuenta con evidencia científica para su uso en la práctica clínica.

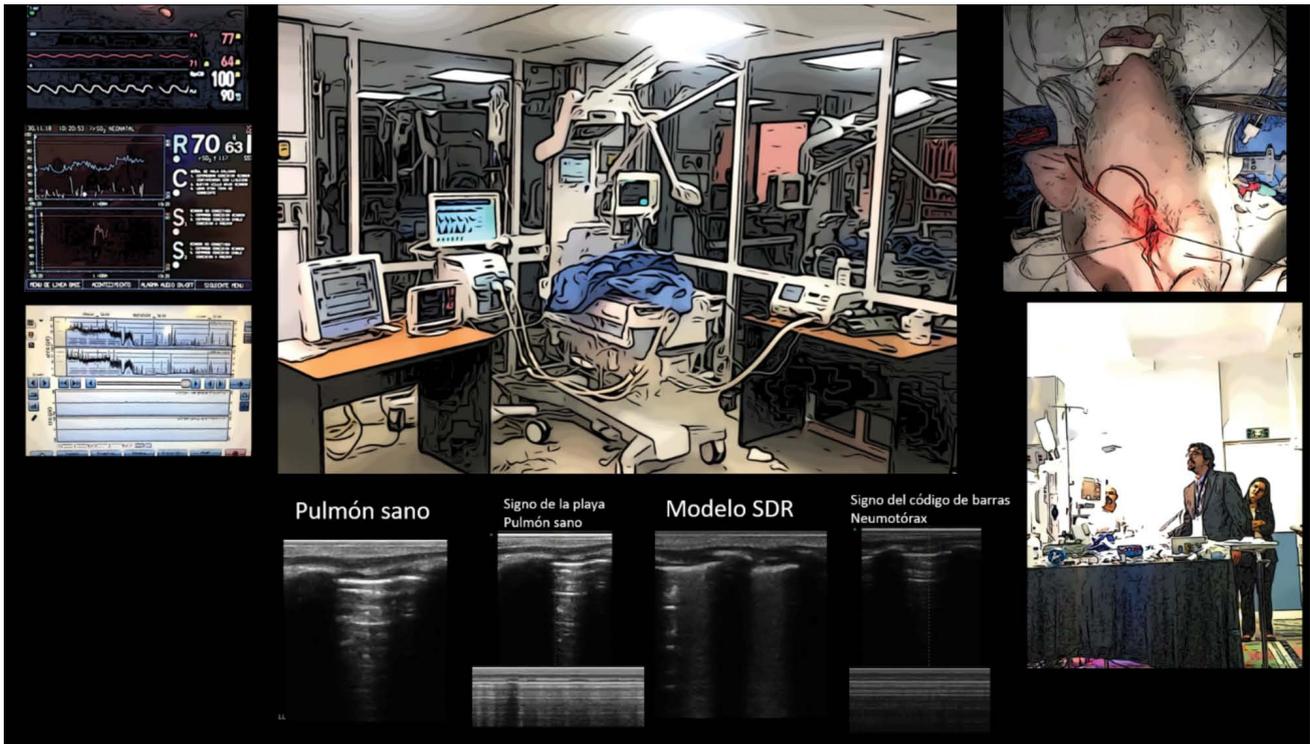
El uso rutinario de sedación y analgesia ha sido un punto controvertido en estas nuevas técnicas de administración de surfactante. Debido a que se requiere mantener al RN respirando espontáneamente durante el procedimiento, se considera que el agente farmacológico utilizado como premedicación para el procedimiento debe ser de inicio rápido, con corta duración

del efecto, sin efecto depresor del centro respiratorio, y con un efecto farmacocinético predecible. Los más utilizados son el fentanilo y propofol; cada centro debe ajustar el uso de estos medicamentos guiados por su experiencia.<sup>47</sup>

Como terapias adjuntas al uso de CPAP y aplicación de surfactante, se sugiere el uso de cafeína como un estimulante respiratorio en RN con peso al nacer menor o igual de 1250 g con soporte respiratorio no invasivo o que presenten apnea. Se ha encontrado que puede ser efectiva en evitar falla a la extubación cuando se administra al menos 24 horas previas o dentro de las siguientes 6 horas después de una extubación no programada. Así mismo, se ha encontrado beneficio si la administración es temprana (< 48 horas de vida), en el

desenlace compuesto de muerte y DBP, al compararlo con la administración tardía (> 48 horas de vida).<sup>48</sup> Se le han atribuido otros efectos benéficos en el flujo sanguíneo sistémico (flujo de la vena cava superior y gasto cardiaco izquierdo), si se administra en las primeras horas de vida.<sup>49</sup>

Como una extensión de la clínica el UP ayuda en la toma de decisiones a la cama del paciente con SDR. Permite la administración más temprana y personalizada de surfactante y se ha mostrado su correlación fisiológica.<sup>50</sup> Al mismo tiempo, es muy útil para detectar complicaciones como fuga aérea con por lo menos el mismo desempeño que la radiografía de tórax e incluso con mayor sensibilidad y valor predictivo negativo para neumotórax pequeños (Ver **Capítulo 5**).<sup>51</sup>



F18

**Modelo porcino de SDR, neumotórax y UP.** Se puede observar en el pulmón normal y el modelo de SDR tras realizar lavado broncoalveolar. Finalmente se observa el modelo de neumotórax tras inyección de aire en la cavidad pleural.

Imagen cortesía del Dr. Francisco Javier Tendillo Cortijo, Hospital Universitario Puerta de Hierro, Majadahonda España.

## ULTRASONIDO PULMONAR EN MODELO ANIMAL DE SDR

Una oportunidad para entrenar y demostrar los cambios en el UP es en modelo animal cuando se utiliza como modelo de SDR o asfixia (Talleres de Ventilación o Hipotermia) (Figura 18).

El Dr. Yasser Elsayed y colaboradores en un modelo porcino de daño pulmonar agudo con ácido oleico encontraron correlación entre el puntaje de la escala semicuantitativa con una escala de daño histológico así como con el grado de cortocircuito intrapulmonar con un software que integra la relación entre variaciones graduales en la  $FiO_2$  y la  $SaO_2$  medida ( $Qs/Qt$ ) en neonatos humanos.<sup>52</sup>

El **Video 9** muestra un modelo porcino neonatal de SDR.<sup>53,54</sup> Se puede observar en el pulmón normal con deslizamiento de la línea pleural y Líneas A y el modelo de SDR tras realizar lavado broncoalveolar con solución salina isotónica (3 alícuotas a 10 mL/kg). De la misma manera se observa la mejoría al reclutar con ventilación de alta frecuencia con volumen garantizado. Finalmente, se observa el modelo de neumotórax que puede ser una complicación importante en los neonatos con SDR al inyectar aire en la cavidad pleural y observar ausencia de deslizamiento pleural y signo del código de barras (Capítulo 5).<sup>55</sup>

## CONCLUSIONES

La sistematización del uso de CPAP temprano y surfactante pulmonar exógeno oportuno en los RN con SDR optimiza el manejo y reduce la necesidad de ventilación mecánica. Las características del UP incluyen anomalías de la línea pleural (engrosada e irregular), Líneas B que coalescen y generan un "pulmón blanco" y consolidaciones con broncograma aéreo (broncograma de colapso). Como una extensión de la clínica el UP ayuda en la toma de decisiones a la cama del paciente con SDR ya que la escala semicuantitati-

va representa una prueba muy buena para decidir tratamiento inicial y dosis subsecuentes de surfactante; permitiendo una administración más temprana y personalizada. Al mismo tiempo, es muy útil para detectar complicaciones como fuga aérea y dar seguimiento a la ventilación invasiva y no invasiva.

**Agradecimientos:** Dr. Francisco Javier Tendillo Cortijo, Hospital Universitario Puerta de Hierro, Majadahonda España, por el Modelo Animal presentado en este Capítulo.

## Referencias

1. Sweet DG, Carnielli V, Greisen G, Hallam M, Ozek E, Plavka R, et al. European Consensus Guidelines on the management of respiratory distress syndrome-2019 Update. *Neonatology*. 2019;115 (4):431-450. doi: 10.1159/000499361
2. Sweet DG, Halliday HL, Warner JA. Airway remodelling in chronic lung disease of prematurity. *Paediatr Respir Rev*. 2002;3(2):140-146.
3. Bohlin K, Merchak A, Spence K, Patterson BW, Hamvas A. Endogenous surfactant metabolism in newborn infants with and without respiratory failure. *Pediatr Res*. 2003;54 (2): 54:185-191. doi: 10.1203/01.PDR.0000075084.56255.E0
4. Weller MH. The roentgenographic course and complications of hyaline membrane disease. *Pediatr Clin North Am*. 1973 May;20(2):381-406.
5. Cattarossi L, Copetti R, Poskurica B, Miserocchi G. Surfactant administration for neonatal respiratory distress does not improve lung interstitial fluid clearance: echographic and experimental evidence. *J Perinat Med*. 2010;38(5):557-563. doi:10.1515/jpm.2010.096
6. Liu J, Wang Y, Fu W, Yang CS, Huang JJ. Diagnosis of neonatal transient tachypnea and its differentiation from respiratory distress syndrome using lung ultrasound. *Medicine (Baltimore)*. 2014;93(27):e197. doi:10.1097/MD.0000000000000197
7. Rachuri H, Oleti TP, Murki S, Subramanian S, Nethagani J. Diagnostic Performance of Point of Care Ultrasonography in Identifying the Etiology of Respiratory Distress in Neonates. *Indian J Pediatr*. 2017;84(4):267-270. doi:10.1007/s12098-016-2288-7.
8. Copetti R, Cattarossi L, Macagno F, Violino M, Furlan R. Lung ultrasound in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. *Neonatology*. 2008;94(1):52-59. doi:10.1159/000113059
9. Vergine M, Copetti R, Brusa G, Cattarossi L. Lung ultrasound accuracy in respiratory distress syndrome and transient ta-

- chypnea of the newborn. *Neonatology*. 2014;106(2):87-93. doi:10.1159/000358227
10. Ma H, Yan W, Liu J. Diagnostic value of lung ultrasound for neonatal respiratory distress syndrome: a meta-analysis and systematic review [published online ahead of print, 2020 Apr 15]. *Med Ultrason*. 2020;10.11152/mu-2485. doi:10.11152/mu-2485
  11. 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
  12. Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(7):1550-1562. doi:10.1002/ppul.24792
  13. Liu J, Copetti R, Sorantin E, et al. Protocol and Guidelines for Point-of-Care Lung Ultrasound in Diagnosing Neonatal Pulmonary Diseases Based on International Expert Consensus. *J Vis Exp*. 2019;(145):10.3791/58990. Published 2019 Mar 6. doi:10.3791/58990
  14. Kurepa D, Zaghloul N, Watkins L, Liu J. Neonatal lung ultrasound exam guidelines. *J Perinatol*. 2018 Jan;38(1):11-22. doi: 10.1038/jp.2017.140
  15. Raschetti R, Centorrino R, Letamendia E, Benachi A, Marfaing-Koka A, De Luca D. Estimation of early life endogenous surfactant pool and CPAP failure in preterm neonates with RDS. *Respir Res*. 2019;20(1):75. Published 2019 Apr 16. doi:10.1186/s12931-019-1040-z
  16. Diguisto C, Foix L, Helias L, Morgan AS, Ancel PY, Kayem G, Kaminski M, et al. Neonatal outcomes in extremely preterm newborns admitted to intensive care after no active antenatal management a population-based cohort study. *J Pediatr*. 2018;203:150-5. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.07.072
  17. Katheria A, Hosono S, El-Naggar W. A new wrinkle: Umbilical cord management (how, when, who). *Semin Fetal Neonatal Med*. 2018;23(5):321-326. doi: 10.1016/j.siny.2018.07.003
  18. Committee on Fetus and Newborn; American Academy of Pediatrics. Respiratory support in preterm infants at birth. *Pediatrics*. 2014;133(1):171-174. doi:10.1542/peds.2013-3442
  19. Moya FR, Mazela J, Shore PM, et al. Prospective observational study of early respiratory management in preterm neonates less than 35 weeks of gestation. *BMC Pediatr*. 2019;19(1):147. Published 2019 May 11. doi:10.1186/s12887-019-1518-3
  20. Van Wyk L, Tooke L, Dippenaar R, et al. Optimal Ventilation and Surfactant Therapy in Very-Low-Birth-Weight Infants in Resource-Restricted Regions. *Neonatology*. 2020;117(2):217-224. doi:10.1159/000506987
  21. Martherus T, Oberthuer A, Dekker J, Hooper SB, McGillick EV, Kribs A, et al. Supporting breathing of preterm infants at birth: a narrative review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2019;104(1):F102-107. DOI: 10.1136/archdischild-2018-314898
  22. Dargaville PA, Gerber A, Johansson S, et al. Incidence and Outcome of CPAP Failure in Preterm Infants. *Pediatrics*. 2016;138(1):e20153985. doi:10.1542/peds.2015-3985
  23. Halliday HL. Surfactants: past, present and future. *J Perinatol*. 2008;28 Suppl 1(Suppl 1):S47-S56. doi:10.1038/jp.2008.50
  24. Dargaville PA, Aiyappan A, De Paoli AG, Dalton RG, Kuschel CA, Kamlin CO, Orsini F, Carlin JB, Davis PG. Continuous positive airway pressure failure in preterm infants: incidence, predictors and consequences. *Neonatology*. 2013;104(1):8-14. doi: 10.1159/000346460
  25. Morley CJ, Davis PG, Doyle LW, et al. Nasal CPAP or intubation at birth for very preterm infants [published correction appears in *N Engl J Med*. 2008;358(14):1529]. *N Engl J Med*. 2008;358(7):700-708. doi:10.1056/NEJMoa072788
  26. SUPPORT Study Group of the Eunice Kennedy Shriver NICHD Neonatal Research Network, Finer NN, Carlo WA, et al. Early CPAP versus surfactant in extremely preterm infants [published correction appears in *N Engl J Med*. 2010 Jun 10;362(23):2235]. *N Engl J Med*. 2010;362(21):1970-1979. doi:10.1056/NEJMoa0911783
  27. Rojas MA, Lozano JM, Rojas MX, et al. Very early surfactant without mandatory ventilation in premature infants treated with early continuous positive airway pressure: a randomized, controlled trial. *Pediatrics*. 2009;123(1):137-142. doi:10.1542/peds.2007-3501
  28. Sandri F, Plavka R, Ancora G, et al. Prophylactic or early selective surfactant combined with nCPAP in very preterm infants. *Pediatrics*. 2010;125(6):e1402-e1409. doi:10.1542/peds.2009-2131
  29. Rojas-Reyes MX, Morley CJ, Soll R. Prophylactic versus selective use of surfactant in preventing morbidity and mortality in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012;(3):CD000510. Published 2012 Mar 14. doi:10.1002/14651858.CD000510.pub2
  30. Bonet-Carne E, Palacio M, Cobo T, et al. Quantitative ultrasound texture analysis of fetal lungs to predict neonatal respiratory morbidity. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2015;45(4):427-433. doi:10.1002/uog.13441
  31. Palacio M, Bonet-Carne E, Cobo T, et al. Prediction of neonatal respiratory morbidity by quantitative ultrasound lung texture analysis: a multicenter study. *Am J Obstet Gynecol*. 2017;217(2):196.e1-196.e14. doi:10.1016/j.ajog.2017.03.016
  32. Via G, Storti E, Gulati G, Neri L, Mojoli F, Braschi A. Lung ultrasound in the ICU: from diagnostic instrument to respiratory monitoring tool. *Minerva Anestesiol*. 2012;78(11):1282-1296.
  33. Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, De Luca D. Lung Ultrasonography Score to Evaluate Oxygenation and Surfactant Need in Neonates Treated With Continuous Positive Airway Pressure. *JAMA Pediatr*. 2015;169(8): e151797.

34. De Martino L, Yousef N, Ben-Ammar R, Raimondi F, Shankar-Aguilera S, De Luca D. Lung Ultrasound Score Predicts Surfactant Need in Extremely Preterm Neonates. *Pediatrics*. 2018;142(3):e20180463. doi:10.1542/peds.2018-0463
35. Raschetti R, Yousef N, Vigo G, et al. Echography-Guided Surfactant Therapy to Improve Timeliness of Surfactant Replacement: A Quality Improvement Project. *J Pediatr*. 2019;212:137-143.e1. doi:10.1016/j.jpeds.2019.04.020
36. De Luca D, Yousef N. Pharmaceutical Expenditure Is Unchanged with Ultrasound-Guided Surfactant Administration [published online ahead of print, 2020 Aug 20]. *Am J Perinatol*. 2020;10.1055/s-0040-1715821. doi:10.1055/s-0040-1715821
37. Rodríguez-Fanjul J, Jordan I, Balaguer M, Batista-Muñoz A, Ramon M, Bobillo-Perez S. Early surfactant replacement guided by lung ultrasound in preterm newborns with RDS: the ULTRASURF randomised controlled trial [published online ahead of print, 2020 Jul 24]. *Eur J Pediatr*. 2020;1-8. doi:10.1007/s00431-020-03744-y
38. Perri A, Riccardi R, Iannotta R, et al. Lung ultrasonography score versus chest X-ray score to predict surfactant administration in newborns with respiratory distress syndrome. *Pediatr Pulmonol*. 2018;53(9):1231-1236. doi:10.1002/ppul.24076
39. Perri A, Tana M, Riccardi R, et al. Neonatal lung ultrasonography score after surfactant in preterm infants: A prospective observational study. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(1):116-121. doi:10.1002/ppul.24566
40. Yousef N, Vigo G, Shankar-Aguilera S, De Luca D. Semiquantitative Ultrasound Assessment of Lung Aeration Correlates With Lung Tissue Inflammation. *Ultrasound Med Biol*. 2020;46(5):1258-1262. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.01.018
41. Polin RA, Carlo WA; Committee on Fetus and Newborn; American Academy of Pediatrics. Surfactant replacement therapy for preterm and term neonates with respiratory distress. *Pediatrics*. 2014;133(1):156-163. doi:10.1542/peds.2013-3443
42. Dargaville PA. CPAP, Surfactant, or both for the preterm infant: Resolving the Dilemma. *JAMA Pediatrics*. 2015;169(8):715-717
43. Bohlin K, Gudmundsdottir T, Katz-Salamon M, Jonsson B, Blennow M. Implementation of surfactant treatment during continuous positive airway pressure. *J Perinatol*. 2007;27(7):422-427. doi:10.1038/sj.jp.7211754
44. Rodríguez-Fanjul J, Balcells Esponera C, Moreno Hernandez J, Sarquella-Brugada G. La ecografía pulmonar como herramienta para guiar la surfactación en neonatos prematuros [Lung ultrasound as a tool to guide the administration of surfactant in premature neonates]. *An Pediatr (Barc)*. 2016;84(5):249-253. doi:10.1016/j.anpedi.2015.09.003
45. Dargaville PA, Aiyappan A, Cornelius A, Williams C, De Paoli AG. Preliminary evaluation of a new technique of minimally invasive surfactant therapy. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2011;96(4):F243-F248. doi:10.1136/adc.2010.192518
46. Aldana-Aguirre JC, Pinto M, Featherstone RM, Kumar M. Less invasive surfactant administration versus intubation for surfactant delivery in preterm infants with respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2017;102(1): F17-F23.
47. Vento M, Bohlin K, Herting E, Roehr CC, Dargaville PA. Surfactant Administration via Thin Catheter: A Practical Guide. *Neonatology*. 2019;116(3):211-226. doi:10.1159/000502610
48. Lodha A, Seshia M, McMillan DD, et al. Association of early caffeine administration and neonatal outcomes in very preterm neonates. *JAMA Pediatr*. 2015;169(1):33-38. doi:10.1001/jamapediatrics.2014.2223
49. Katheria AC, Sauberan JB, Akotia D, Rich W, Durham J, Finer NN. A Pilot Randomized Controlled Trial of Early versus Routine Caffeine in Extremely Premature Infants. *Am J Perinatol*. 2015;32(9):879-886. doi:10.1055/s-0034-1543981
50. Raimondi F, de Winter JP, De Luca D. Lung ultrasound-guided surfactant administration: time for a personalized, physiology-driven therapy [published online ahead of print, 2020 Jul 24]. *Eur J Pediatr*. 2020;10.1007/s00431-020-03745-x. doi:10.1007/s00431-020-03745-x
51. Cattarossi L, Copetti R, Brusa G, Pintaldi S. Lung Ultrasound Diagnostic Accuracy in Neonatal Pneumothorax. *Can Respir J*. 2016;2016:6515069. doi:10.1155/2016/6515069
52. Elsayed YN, Hinton M, Graham R, Dakshinamurti S. Lung ultrasound predicts histological lung injury in a neonatal model of acute respiratory distress syndrome. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(11):2913-2923. doi:10.1002/ppul.24993
53. Sánchez-Luna M, González-Pacheco N, Santos M, et al. Effect of the I/E ratio on CO<sub>2</sub> removal during high-frequency oscillatory ventilation with volume guarantee in a neonatal animal model of RDS. *Eur J Pediatr*. 2016;175(10):1343-1351. doi:10.1007/s00431-016-2770-2
54. Sánchez Luna M, Santos González M, Tendillo Cortijo F. High-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee in a neonatal animal model of respiratory distress syndrome. *Crit Care Res Pract*. 2013;2013:593915. doi:10.1155/2013/593915
55. Blank DA, Hooper SB, Binder-Heschl C, et al. Lung ultrasound accurately detects pneumothorax in a preterm newborn lamb model. *J Paediatr Child Health*. 2016;52(6):643-648. doi:10.1111/jpc.13154

# Capítulo 4. Consolidación

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dr. Adrián Ceballos Bocanegra

Dr. Ricardo Gil Guevara

Dra. Alejandra Sánchez Cruz

## INTRODUCCIÓN

Una consolidación no es igual a una neumonía.<sup>1</sup> Cuando se habla de una consolidación en UP se refiere a la pérdida de reverberaciones (artefactos) características de un pulmón aireado. Se debe tener cautela al asumir que una consolidación con broncograma fluido (ver más adelante) es igual a neumonía; sin embargo, como parte de un constructo clínico (tomando en cuenta todos los factores clínicos y paraclínicos, así como en ultrasonido) puede ser muy útil para realizar diagnóstico diferencial. En el RN se observa consolidación en atelectasias grandes, neumonía, hemorragia pulmonar (HP) y síndrome de aspiración de meconio (SAM). En la consolidación (neumonía o atelectasia) desaparecen las Líneas A y se observa realmente el parénquima pulmonar como una región **similar al tejido hepático** (en escala de grises) con márgenes desiguales en forma de cuña. La línea pleural se rompe y aparece el **signo de la "disrupción"** (del inglés "*shred sign*").<sup>2</sup> Se puede transmitir el latido cardíaco y se observa **"pulso de pulmón"**. Se puede observar deslizamiento pleural disminuido.<sup>3</sup> Si el edema reactivo alrededor del área afectada es pronunciado, las Líneas B estarán presentes.<sup>4</sup> Se asume que la mayoría de las consolidaciones alcanzan la pared, sin embargo, pequeñas consolidaciones que no alcanzan la superficie pleural pueden perderse en el UP.<sup>5</sup> Ver **Video 10**.

## NEUMONÍA NEONATAL

### Introducción

La neumonía es un proceso inflamatorio en el tejido pulmonar secundario a un microorganismo patógeno,

no, se trata de una de las formas más comunes de infección en el RN y es una de las principales causas de muerte perinatal alrededor del mundo. Se estima que entre 152 000 y 490 000 niños menores de 1 año mueren anualmente de neumonía.<sup>6</sup> Los eventos en el periodo neonatal no son fáciles de identificar ni tratar, las manifestaciones clínicas son inespecíficas, con hallazgos de laboratorio que tienen un valor limitado debido a la dificultad de aislamiento y al alto riesgo de contaminación al momento de tomar la muestra.

## EPIDEMIOLOGÍA Y ETIOLOGÍA

Se estima que la neumonía contribuye anualmente con 750 000 a 1.2 millones de muertes de neonatos aportando una mortalidad global del 10 %.<sup>7</sup> Constituye en UCIN entre la primera y segunda causa de Infección Asociada a Cuidados de la Salud (NACS) con una incidencia del 6.8 al 36 %.

Se clasifica en estos subtipos:

### Neumonía congénita

Infección establecida durante la vida fetal, puede resultar de una infección ascendente a través de las membranas coriamnióticas o una ruta hematogena transplacentaria, algunos ejemplos son neumonía por rubéola, citomegalovirus, virus herpes simple, adenovirus, *Toxoplasma gondii*, *L. monocytogenes* o *T. pallidum*.

### Neumonía de inicio temprano

Se desarrolla durante la primera semana de vida y resulta de la exposición perinatal a patógenos, ya sea

intrauterina o durante el paso por el canal del parto. Los principales agentes de transmisión son el *Streptococcus* del Grupo B (SGB) el cual constituye la principal causa de origen bacteriano en los Estados Unidos, otros agentes que se han identificado son enterobacterias entre las cuales sobresale *E. coli*, así como *Listeria monocytogenes*.

### Neumonía de aparición tardía (incluida la NACS)

Se desarrolla después de la primera semana de vida por causas ambientales, a menudo por exposición a patógenos nosocomiales, las fuentes de infección incluyen contagio de humanos y exposición a dispositivos médicos contaminados, algunos de los microorganismos incluyen: el virus sincicial respiratorio (VSR), virus de influenza, adenovirus, bacterias grampositivas: neumococo o *S. aureus*, bacilos entéricos gramnegativos: *E. coli*, *Klebsiella sp*, *Chlamydia trachomatis* y micoplasmas.<sup>8</sup>

### Neumonía viral

El papel que juegan los virus respiratorios (sincicial respiratorio, influenza, parainfluenza, adenovirus y metaneumovirus) se relaciona principalmente con eventos estacionales de neumonía neonatal tardía y en ocasiones con brotes en los cuneros, contagiados por el personal de salud. La presencia de apnea puede ser la única presentación de neumonía neonatal de origen viral. En el Hospital Infantil de México Federico Gómez se estudió una cohorte de 4 326 pacientes seguidos por 42 568 días paciente y 5150 días ventilador; 88 pacientes (2 %) cumplieron con criterios para NACS, de estos, 63 se tamizaron para búsqueda de virus respiratorios. Se detectó por lo menos un virus en el 65 % de los pacientes (un solo virus en el 53.9% y coinfección con 2 virus en el 11.1 %). La mitad de los pacientes requirió ventilación mecánica y un 10 % falleció lo que refleja la importancia de considerar a los virus en este tipo de infecciones.<sup>9</sup>

## FACTORES DE RIESGO

En comparación con niños mayores y adultos, los RN tienen una capacidad limitada para defenderse de infecciones a nivel pulmonar. Esto sucede por inmadurez de la inmunidad innata como también de la localizada en las vías respiratorias mucosas y parénquima pulmonar, con mayor riesgo en pacientes prematuros o con peso bajo al nacimiento.<sup>10</sup> La inmunidad adaptativa principalmente en forma de IgG de origen materno es rudimentaria en el periodo neonatal inmediato.<sup>11</sup> Una disminución relativa de macrófagos alveolares, junto con una lenta eliminación mucociliar de detritus celulares permite una colonización temprana por potenciales patógenos.<sup>12</sup> Los RN también muestran alteraciones cuantitativas y de función de los neutrófilos (reclutamiento y quimiotaxis) sobre todo en RN prematuros.<sup>13,14</sup> Así mismo, muestran niveles más bajos de complemento y disminución de anticuerpos específicos y opsoninas, con limitada capacidad del sistema inmunológico para montar una respuesta eficaz contra procesos infecciosos pulmonares.<sup>15</sup>

La corioamnionitis es un factor de riesgo clave para la infección de inicio temprano, incluida la neumonía. Otros factores de riesgo son la prematuridad y peso bajo al nacer, bajo ingreso económico, sexo masculino, colonización materna con un patógeno conocido (por ejemplo, SGB), rotura prolongada de membranas (> 18 horas), galactosemia (mayor susceptibilidad a infecciones con gramnegativos) y rotura prematura de membranas.<sup>8</sup>

Los principales factores de riesgo de neumonía de aparición tardía, incluida la NACS son la prematuridad, el peso bajo al nacimiento y la duración de ventilación mecánica, infección del torrente sanguíneo, pobre lavado de manos del personal de salud, proporción baja de enfermera/paciente, condiciones ambientales inadecuadas, uso de inhibidores de bombas de protones, uso irracional de antibióticos, aspiración frecuente (más de ocho veces por día) y sedación durante la intubación.<sup>8</sup>

## FISIOPATOLOGÍA

La neumonía es un proceso inflamatorio pulmonar que se origina en el pulmón o puede ser una complicación focal de un proceso infeccioso sistémico. El crecimiento bacteriano o viral en las vías respiratorias distales da como resultado una respuesta inflamatoria que conduce a una lesión celular; esto deteriora el intercambio de gases, altera la circulación pulmonar e interfiere con la mecánica respiratoria. En el caso de la neumonía bacteriana, se produce una lesión celular inicial por la exposición directa de las toxinas de superficie.<sup>16</sup>

En el caso de infecciones virales como citomegalovirus o herpesvirus existe apoptosis de neumocitos (células huésped durante la infección pulmonar) que desencadena lisis celular.<sup>17</sup> Además de denudación de la superficie alveolar, lo cual interfiere con la función tensioactiva del surfactante pulmonar, trasudación de edema pulmonar y posteriormente un colapso alveolar con la consiguiente alteración en la ventilación/perfusión. En casos serios de neumonía los mediadores procoagulantes y vasoconstrictores liberados por las células endoteliales activadas aumentan la resistencia vascular pulmonar, lo que puede desencadenar crisis de hipertensión arterial pulmonar.<sup>18</sup>

En los especímenes de patología se han encontrado áreas con exudados, congestión vascular, hemorragia e incluso necrosis pulmonar. *S. aureus* y *Klebsiella pneumoniae* pueden producir extenso daño tisular, microabscesos, empiema, así como neumatoceles. Se ha observado en neonatos que fallecen de neumonía por SGB membranas hialinas muy similares a las que se observan en prematuros con SDR.<sup>19</sup>

## MANIFESTACIONES CLÍNICAS

El inicio de dificultad respiratoria inmediatamente después del nacimiento es característico de la neumonía congénita. Antes del nacimiento el feto puede desarro-

llar taquicardia y pueden observarse alteraciones en el trazo cardiotocográfico. En sus primeras horas el RN con neumonía puede desarrollar apneas y dificultad para establecer respiraciones regulares. La neumonía neonatal deberá sospecharse en cualquier RN con dificultad respiratoria que pueda acompañarse con alguno de los siguientes datos: aleteo nasal, tiraje intercostal, disociación toracoabdominal, quejido, frecuencia respiratoria > 60 respiraciones por minuto o tos.<sup>15</sup>

La taquipnea se considera el signo más consistente, está presente en el 60-90 % de los casos con una sensibilidad del 74 % y especificidad del 67 %. Otros datos clínicos pueden ser la disociación toracoabdominal (36-91 %), fiebre (30-56 %), rechazo a la alimentación (43-49 %), cianosis (12-42 %) y tos (30-84 %).<sup>20</sup>

Además de los signos clínicos el RN puede tener rechazo o dificultad a la alimentación, letargia, inestabilidad térmica y otros signos de sepsis generalizada incluyendo perfusión deficiente, hipotensión, oliguria, etc. Datos de derrame pleural o empiema pueden estar asociados con infecciones estafilocócicas, infecciones por *Streptococcus* del grupo A y B e infecciones por *E. coli*.<sup>15</sup>

La colonización de tubos endotraqueales inicia desde las primeras 24 horas de colocación, en su mayoría por bacilos gramnegativos y *Staphylococcus epidermidis*, por lo que estos mecanismos de colonización deberán considerarse en el tratamiento de NACS, incrementándose con otros factores de riesgo como son baja edad gestacional al nacimiento, mayor número de días con ventilador y uso concomitante de nutrición parenteral.<sup>21</sup>

## MÉTODOS DIAGNÓSTICOS

### Diagnóstico microbiológico

El diagnóstico de neumonía neonatal se basa en una combinación de los hallazgos del examen físico, evi-

dencia radiológica y apoyo de datos de laboratorio. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades refieren que los criterios para el diagnóstico de neumonía en pacientes < 1 año son evidencia radiológica de una consolidación persistente, cavitación, o derrame pleural y evidencia de empeoramiento del intercambio gaseoso además de al menos tres hallazgos clínicos y/o de laboratorio adicionales.<sup>22</sup>

A diferencia de otras infecciones neonatales la identificación microbiológica de un solo patógeno a menudo no es posible. El cultivo de esputo o muestras orofaríngeas, no tienen validez, por lo que no debe solicitarse. Los métodos de obtención de cultivos de las vías respiratorias como el lavado broncoalveolar y/o broncoscopia con cepillo protegido se utilizan en pediatría y cuidados intensivos para adultos; sin embargo, debido a la dificultad técnica y mayor riesgo, el muestreo invasivo de las vías respiratorias no se considera un abordaje diagnóstico en la UCIN.<sup>18</sup> El aumento de la producción de esputo purulento es un importante criterio de diagnóstico y un signo de presentación frecuente de neumonía neonatal.<sup>23</sup> Las muestras de secreción bronquial de un paciente intubado pueden ser útiles para diagnosticar neumonía neonatal y para seleccionar un tratamiento antibiótico empírico apoyado por una tinción de Gram que muestre un infiltrado leucocitario y predominio de un solo morfotipo bacteriano.

En caso de sospecha de neumonía por microorganismos atípicos o de origen viral (sincicial respiratorio, adenovirus, etc.) se deberá solicitar estudio de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) en secreción bronquial o en su caso inmunofluorescencia (IF). En caso de derrame pleural se recomienda obtener líquido para estudio citoquímico, citológico, tinción de Gram, coagulación y cultivo de líquido pleural (Ver capítulo 5).

## Diagnóstico radiológico

La radiografía simple de tórax es una de las más importantes herramientas de gabinete para el diagnósti-

co de neumonía. Si el estudio es muy temprano en el curso de la enfermedad puede no existir evidencia de patología.

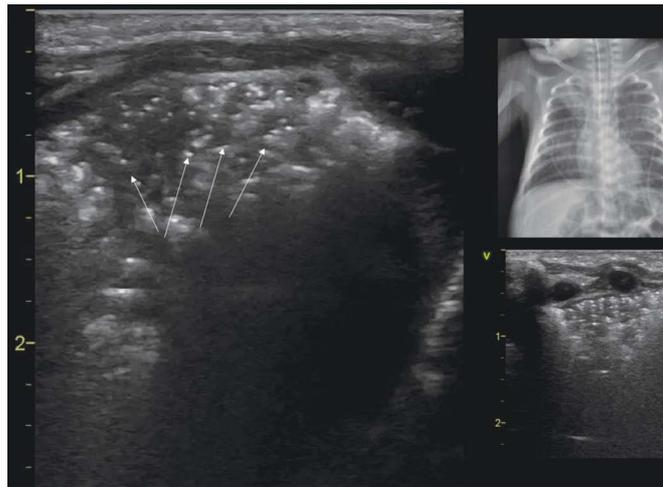
En radiología clásica se identifica el síndrome de condensación que puede dividirse en alveolar, intersticial o mixto (alveolo-intersticial). Se pueden observar nódulos difusos pequeños, infiltrados gruesos dispuestos en forma de placas, broncograma aéreo (persistencia de aire en los bronquios adyacentes a las áreas condensadas), lesiones difusas y lesiones parahiliares intersticiales. En Neonatología no son comunes los conglomerados densos grandes que constituyen la clásica neumonía lobar. En infecciones estafilocócicas son frecuentes el derrame pleural, abscesos y neumatoceles. Las neumonías por SGB muestran infiltrados reticulogranulares y/o broncogramas aéreos similares a los vistos en el SDR.<sup>24</sup>

Las neumonías de etiología viral muestran hiperexpansión, atelectasias, infiltrado parahiliar, peribronquial y adenopatías hiliares.

La TAC de alta resolución puede ser de utilidad cuando se presentan abscesos, empiemas, neumatoceles o fistulas broncopleurales, así como anomalías pulmonares primarias (tumores, vasos aberrantes, secuestros pulmonares, etc.).

## Ultrasonido pulmonar en neumonía neonatal

En cuidados intensivos pediátricos la presencia de **broncograma fluido (dinámico)** vs. **estático (o de colapso)** y la regularidad del margen del área gris (hipoecogenicidad de la hepatización) ha sido útil para diferenciar neumonía y atelectasias (Figura 19). El broncograma fluido o dinámico implica que aparecen elementos hiperecoicos lineales que representan aire en los bronquiolos que presentan movimiento centrífugo con respecto a la respiración (**Video 11**).



F19

**Neumonía bacteriana.** Prematuro de 28 SDEG que ingresa a las 48 horas a UCIN de Tercer Nivel de Atención. En su Hospital de origen iniciaron con 2400 leucocitos cobertura para sepsis temprana; a las 48 horas presenta fiebre aumento de los parámetros ventilatorios, incrementan los leucocitos a 6400 con índice bandas neutrófilos de 0.34 y PCR negativa. El UP mostró disrupción de la línea pleural con consolidación, broncograma dinámico (flechas) y pulso de pulmón. Se aisló *E coli* productora de beta lactamasas de espectro extendido.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

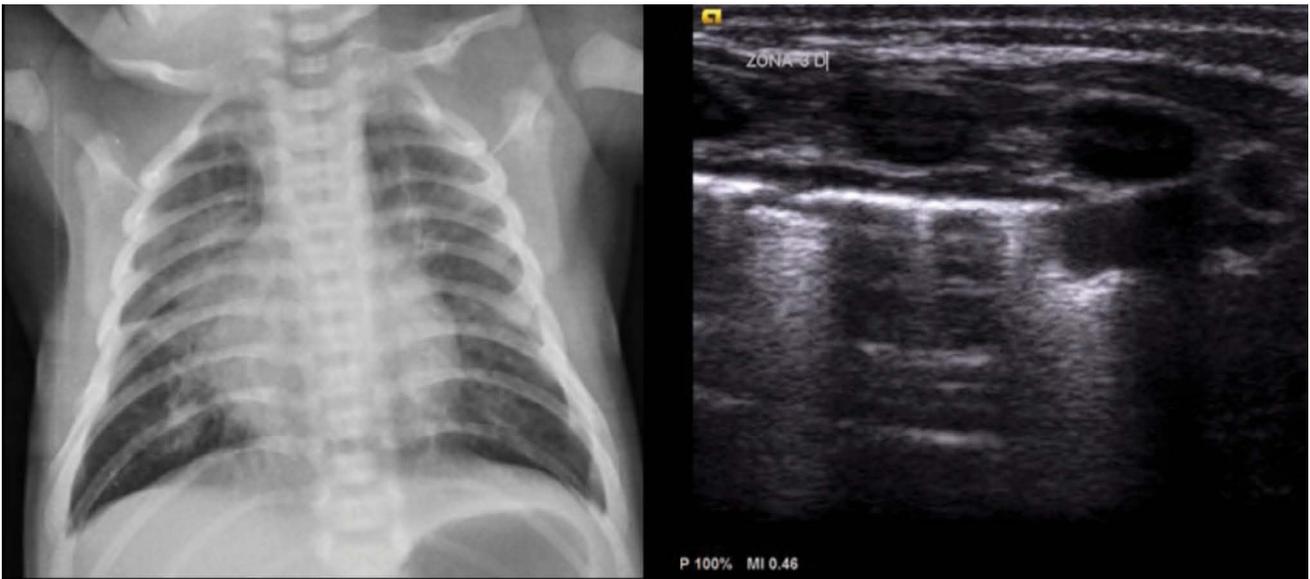
En 2014 Liu y colaboradores estudiaron 40 neonatos, 15 con neumonía congénita, 18 neumonía posnatal y 7 con neumonía asociada con los cuidados de la salud. Se realizó el diagnóstico clínico y radiológico. Las alteraciones ecográficas que encontraron fueron: 1) línea pleural irregular y gruesa, 2) consolidación pulmonar caracterizada por hepatización del pulmón, 3) datos de síndrome intersticial caracterizado por múltiples Líneas B o áreas de pulmón blanco, 4) deslizamiento pulmonar disminuido/ausente y 5) pulso de pulmón. En este estudio reportaron regiones de consolidación con márgenes irregulares con una sensibilidad y especificidad del 100 %.<sup>25</sup> Sin embargo, cabe resaltar que el broncograma dinámico se observó únicamente en el 52 % de los casos confirmados. En el neonato, pequeñas áreas hepatizadas moviéndose dentro y fuera del plano ultrasonográfico en el contexto de taquipnea hacen que el diagnóstico no sea fácil.<sup>26</sup>

En un metanálisis que incluyó 765 neonatos y niños la precisión diagnóstica del UP para neumonía fue supe-

rior al de la radiografía de tórax con una sensibilidad del 96 % (IC 95 %, 94-97) y especificidad del 93 % (IC 95 %, 90-96), con razón de verosimilitud positivo de 15.3 (IC 95 %, 6.6-35.3) y negativo de 0.06 (IC 95 %, 0.03-0.11); con un ABC de 0.98.<sup>27</sup>

Por otro lado, las infecciones virales por VSR se presentan en el ultrasonido con engrosamiento e irregularidades de la línea pleural, pequeñas consolidaciones subpleurales y patrón alveolar intersticial<sup>28</sup>. Estos hallazgos son indistinguibles de otros virus.<sup>29</sup> La Figura 20 muestra un neonato con neumonía viral por VSR.

En China, Xiao y colaboradores estudiaron 49 neonatos, 44 diagnosticados con neumonía de acuerdo con la clínica habitual, de estos, 38 tuvieron datos ultrasonográficos compatibles. Encontraron una sensibilidad del 86 %, especificidad del 100 %, VPP del 100 % y VPN del 45 %. De igual manera el broncograma fluido o dinámico solo se describió en un 20 %.<sup>30</sup>



F20

Paciente con Neumonía por VSR diagnosticado con PCR en tiempo real. Se observa radiografía portátil de tórax y ultrasonido pulmonar con línea pleural discontinua y consolidaciones subpleurales.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2019.

## Exámenes de laboratorio

Los exámenes de laboratorio que se recomiendan son: biometría hemática completa, reactantes de fase aguda (PCR cuantitativa y procalcitonina), hemocultivos periférico y central (de preferencia antes del inicio de antibiótico), urocultivo (después de los 3 días de vida), punción lumbar (en caso de asociarse con sepsis tardía). En caso de sospecharse en etiología viral se puede realizar PCR múltiple para confirmar el diagnóstico.

## TRATAMIENTO

El manejo de la neumonía neonatal requiere de rápidas y agresivas medidas de soporte integral, sobre todo a nivel respiratorio en donde no es infrecuente la necesidad de ventilación mecánica. No se deberá pasar por alto el manejo hemodinámico y nutricional, evitando el ayuno y con inicio temprano de nutrición

parenteral. La otra piedra angular del tratamiento lo representan los antibióticos.

Debido a que la microbiología de la neumonía neonatal es la misma que en la sepsis, la terapia antimicrobiana inicial debe de incluir una penicilina (generalmente ampicilina) o una penicilina resistente a penicilinas (si existe sospecha de *S. aureus*) y un aminoglucósido<sup>31</sup> o una cefalosporina de tercera generación (sobre todo si existe sospecha de neuroinfección concomitante).

Tratándose de neumonía de aparición tardía o asociada con ventilador, se deberá tomar en cuenta la microbiología y resistencia bacteriana de cada unidad hospitalaria. Uno de los antibióticos debe tener actividad contra *S. aureus* resistente a la meticilina, una causa frecuente de NACS. La cobertura para gramnegativos debe estar determinada por la microbiología hospitalaria.<sup>32,33</sup>

## PREVENCIÓN

Las recomendaciones para la prevención se centran en disminuir la contaminación cruzada entre personal de salud y pacientes (lavado de manos constante), disminuir la intubación prolongada o recurrente, evitar medicamentos innecesarios que pueden promover infecciones (ej. inhibidores de bomba de protones) y un uso racional de antibióticos, así como maximizar higiene bucal y el aseo pulmonar. En múltiples unidades hospitalarias se han adoptado prácticas simultáneas (“paquetes” o “bundles”) aplicadas universalmente a neonatos intubados con la intención de minimizar el riesgo de infección. Las prácticas varían entre unidades al igual que el nivel de evidencia para cada componente del paquete; sin embargo, en general hay evidencia que sugiere que los paquetes de cuidados reducen el riesgo de NACS.<sup>34,35</sup>

## ULTRASONIDO EN PACIENTE PEDIÁTRICO CON NEUMONÍA

### EPIDEMIOLOGÍA

Se ha reportado una incidencia de 33 casos por cada 10 000 niños entre 0 a 5 años. La mortalidad alcanza 1000 niños por año en países desarrollados. En el 2018 en México se diagnosticaron 117 mil casos nuevos de neumonía, con una letalidad de hasta el 4 % de pacientes hospitalizados y menor del 1 % en pacientes tratados de manera ambulatoria.<sup>36,37</sup>

Los virus se consideran los agentes causales hasta en un 70 % de los casos. *S. pneumoniae* es la bacteria más frecuente asociada con neumonía en niños. Dentro de los agentes bacterianos, la etiología varía de acuerdo con el grupo etario:

Mayores de 3 meses a 4 años. *S. pneumoniae*, *H. influenzae* tipo B, *Mycoplasma pneumoniae*.

Mayores de 5 años. *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydia pneumoniae*, *S. pneumoniae*.

Neumonía por aspiración. *Bacteroides spp*, *Phyromonas spp*, *Fusobacterium spp*, *Streptococcus spp*; bacilos gramnegativos y *S. aureus*,

Hasta en el 60 % de los casos no se identifica qué microorganismo es el causante y puede existir etiología mixta (viral y bacteriana).

En pacientes con tos paroxística y/o emetizante y/o cianosis y/o apnea, se debe considerar infección por *Bordetella pertusis*. En pacientes < de 6 meses, afebriles con neumonitis, ± conjuntivitis, se debe considerar infección por *C. trachomatis*.

## CRITERIOS DE HOSPITALIZACIÓN

RN y lactantes menores de 6 meses, pacientes de cualquier edad con dificultad respiratoria, insuficiencia respiratoria intolerancia a la vía oral, neumonía por aspiración, cambios gasométricos con:  $PAO_2 < 60$  mm Hg,  $PCO_2 > 45$  mm Hg,  $pH < 7.3$ , alteraciones neurológicas, evidencia de sepsis.<sup>37</sup>

## ABORDAJE DEL PACIENTE PEDIÁTRICO POR UP

Una revisión sistemática y metanálisis de Heuvelings y colaboradores señala que el UP para el diagnóstico de neumonía tiene mayor sensibilidad (95 %, IC 95 %, 90.7–97.3) y especificidad (96.1 %, IC 95 %, 89.1–98.7) que la radiografía de tórax en pacientes pediátricos.<sup>38</sup>

Diferentes estudios proponen el UP como auxiliar diagnóstico para la neumonía. Ofrece ventajas frente a la TAC como no requerir uso de sedantes, no expone a radiación ionizante, es de fácil transporte, y se realiza a la cabecera del paciente; así mismo, ofrece mejor re-

solución en lo referente al diagnóstico de septos o al tipo de derrame pleural presente.<sup>39,40</sup>

En Pediatría, al igual que lo expuesto en Neonatología, la curva de aprendizaje para aprender UP es rápida.<sup>41</sup> En un metanálisis realizado con 25 estudios en 2019 se encontró que puede existir una diferencia significativa entre la realización por un experto en ultrasonido y médicos con una preparación menor de 7 horas; sin embargo, cuando se comparan ambos contra los hallazgos registrados en radiografía, la sensibilidad, especificidad y área bajo la curva son muy similares; los estudios realizados por médicos urgenciólogos, intensivistas y médicos pediatras tienen buena exactitud.<sup>42,43</sup> Está comprobado que la enseñanza con una metodología sistemática y estructurada mejora sensibilidad, especificidad y la diferencia entre las mediciones de los médicos radiólogos y los médicos pediatras.<sup>44,45</sup>

Entre los aspectos anatómicos y técnicos que debemos tomar en cuenta para un mejor abordaje del paciente pediátrico se encuentra la anatomía de la caja torácica, la cual, en menores de 5 años, tiene un espacio intercostal angosto. La posición del paciente puede afectar los hallazgos tomando en cuenta que el aire y el líquido se mueven bajo la influencia de la gravedad; por ejemplo: las consolidaciones y el líquido pleural se asentarán predominantemente en la región posterior; el neumotórax se observará en la región anterior en pacientes en decúbito supino.<sup>46</sup> La selección de la frecuencia del traductor guarda una relación inversamente proporcional al tamaño del paciente; siendo así, se utilizarán frecuencias altas en lactantes y frecuencias bajas en adolescentes. Se utilizan transductores lineales con frecuencias en un rango de 5-15 MHz.

Se recomienda la división del tórax mínimo en seis cuadrantes de cada hemitórax. Cada hemitórax se divide en: anterior, que va desde la línea paraesternal hasta la línea axilar anterior; lateral, entre la línea axilar anterior y la línea axilar posterior, y la zona pos-

terior que va entre la línea axilar posterior y la línea paravertebral ipsilateral. Para evaluar la zona anterior se coloca al paciente en posición supina, y la zona lateral y posterior con el paciente en decúbito lateral. Se realizan vistas ecográficas con el traductor en dirección sagital, oblicua y en paralelo a cada costilla, examinando todas las zonas en toda su extensión, de derecha a izquierda y cefalocaudal.<sup>47</sup> Se ha documentado el uso del UP para distinguir neumonías virales de bacterianas en urgencias pediátricas durante la pandemia de Influenza H1N1 con una concordancia  $\kappa$  de 0.82 (0.63 a 0.99) comparado con radiografía simple.<sup>48</sup> La Figura 21 muestra una neumonía adquirida en la comunidad en un lactante mayor diagnosticado en el consultorio antes de tomar la radiografía.

## BRONQUIOLITIS

La bronquiolitis es una enfermedad de las vías respiratorias causada en su mayoría por el VSR. Por lo re-



**F21** Neumonía adquirida en la comunidad en un lactante mayor diagnosticado en el consultorio antes de tomar la radiografía. Sin criterios de hospitalización que permitió manejo ambulatorio sin complicaciones.

Archivo clínico Dr. Ibarra, 2018.

gular afecta a menores de dos años y representa una de las principales causas de hospitalización en urgencias pediátricas. La fisiopatología de la bronquiolitis se caracteriza por edema y un incremento de la producción de moco y necrosis de las células epiteliales de las vías aéreas pequeñas que pueden causar una obstrucción heterogénea de los bronquiolos distales. La consecuencia radica en la reducción de contenido de aire a los pulmones y alteración en la difusión de gases a través de la membrana alveolo-capilar.<sup>49</sup>

Los diferentes tratamientos han sido controversiales a lo largo del tiempo y el manejo incluye únicamente soporte respiratorio. El diagnóstico es clínico y la toma de radiografía debe estar restringida en aquellos pacientes en los que se sospecha alguna complicación o requieren de soporte intensivo. En diferentes publicaciones se ha visto que el médico puede confundirse con la radiografía e incrementa el uso de antibióticos.<sup>50,51</sup> Las ventajas del UP en la identificación de este padecimiento también están relacionadas con la portabilidad, la rápida curva de aprendizaje y desde luego la ausencia de radiación ionizante.

Para el abordaje de este padecimiento, al igual que en neumonía, se prefiere que en el paciente pediátrico se realice el UP con seis puntos de insonación por cada hemitórax. Se considera que pequeñas consolidaciones subpleurales sin presencia de broncograma y típicamente menores de 0.5 cm, asociadas con anomalías de la línea pleural, están asociadas con bronquiolitis. La presencia de Líneas B por lo regular es mínima y no tienden a confluir. Basile y colaboradores estudiaron las características del UP para predecir la necesidad de utilización de oxígeno; encontraron una sensibilidad del 96.6 % y una especificidad del 98.7 % con un VPP del 96.6 % y VPN del 98.7 %.<sup>52</sup> Los pacientes que presentan neumonía agregada a un cuadro previo de bronquiolitis pueden ser bien identificados, reportándose que una consolidación > 1 cm

puede ser identificada por el UP mejor que la radiografía con una especificidad del 98.4 % vs. 87.1 %.<sup>53</sup>

## SARS-COV-2 EN NEONATOLOGÍA Y PEDIATRÍA

### GENERALIDADES

El síndrome respiratorio agudo que resulta de la infección por el virus SARS-CoV-2 ha sido declarado pandemia desde diciembre de 2019 y ha afectado al sistema de salud mundial. Este nuevo coronavirus resultó ser altamente contagioso y muestra una amplia variedad de síntomas como cefalea, fiebre, disnea, tos seca, náuseas y fatiga. Así mismo, gran parte de la población puede ser totalmente asintomática, lo que incrementa la posibilidad de contagios. En neonatos las presentaciones graves son infrecuentes pero posibles. Existen pocos casos con evidencia de transmisión transplacentaria.<sup>54</sup> A la enfermedad que genera este virus se le denomina COVID-19. El Dr. Roberto Raschetti realizó un metanálisis y revisión sistemática de 117 casos neonatales reportados. El 68 % fue transmisión posnatal y el 32 % con sospecha de transmisión vertical (presentación temprana), el 55 % desarrollaron clínica evidente. Los síntomas encontrados fueron: fiebre 50%, gastrointestinales 43.7%, respiratorios 42.2% y neurológicos 20.3%. La imagen (radiografía y ultrasonido) fue anormal en un 59.4 %. Se encontró incremento de riesgo de transmisión con alojamiento conjunto (OR 5.1 IC 95 %, 1.6-18) mientras que la lactancia no confirió riesgo (OR 0.49 IC 95 %, 0.12-1.94).<sup>55</sup>

### RADIOGRAFÍA Y TAC

Como en otras neumonías, el virus SARS-CoV-2 causa un incremento de densidades en la radiografía de pulmón; sin embargo, no se ha detectado un signo particular en esta enfermedad que sea específico para este

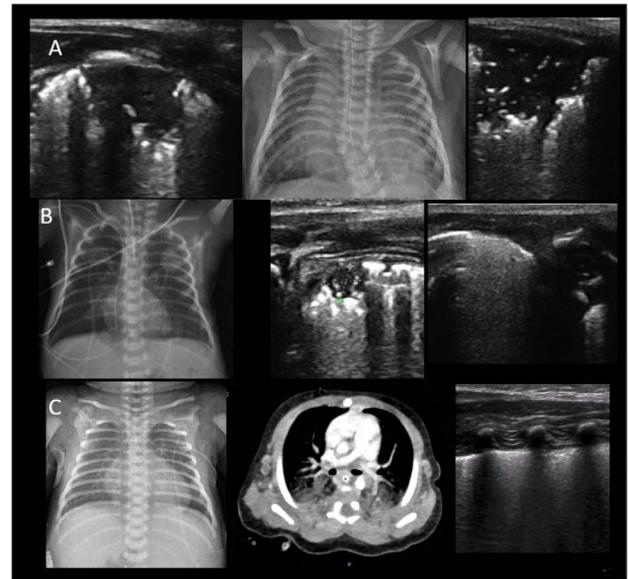
diagnóstico. La combinación de cambios periféricos multifocales de opacidades en vidrio despoluido y/o la presencia de consolidaciones han sido los hallazgos descritos más frecuentes en esta enfermedad.<sup>56</sup>

## ULTRASONIDO PULMONAR Y NEUMONÍA POR SARS-COV-2 EN NEONATOLOGÍA Y PEDIATRÍA

El UP ha tenido un papel muy importante durante la pandemia por su portabilidad y posibilidad de seguimiento longitudinal.<sup>57</sup> Puede dar más información que el estetoscopio y se reduce el riesgo de infección cruzada por manipulación.<sup>58</sup> Ha demostrado su utilidad para poder dar seguimiento a estrategias de ventilación mecánica (reclutamiento) y se ha encontrado correlación entre escalas semicuantitativas y marcadores bioquímicos inflamatorios.<sup>59</sup>

En uno de los primeros estudios reportados de UP en pacientes pediátricos en Italia (8 pacientes) con COVID-19 y síntomas respiratorios se encontraron hallazgos patológicos en el 87.5 %, el más frecuente fue la presencia de Líneas B (siendo estas constantes tanto en los pacientes con síntomas leves como graves). La consolidación fue menos frecuente y solo se detectó en el 25 % del total de los pacientes y en el 50 % de los que mostraron sintomatología grave.<sup>60</sup> En Italia, la Dra. Anna María Musolino, reportó 10 pacientes pediátricos con una edad media de 11 años con rango intercuartílico (RIC) de 4.9-15 años encontrando Líneas B en el 70 %, irregularidades de la línea pleural en el 60 %, pulmón blanco en el 10 % y consolidaciones subpleurales en el 10 %.<sup>61</sup>

Por otro lado, en España, la Dra. Carmina Guitart describió 16 pacientes con una edad media de 11 años (RIC 2.8-12); el 25 % requirieron cuidados intensivos. El 100 % presentó Líneas B, el 37 % presentó un patrón viral definido como Líneas B confluentes con consolidaciones subpleurales pequeñas y el



F22

Espectro de neumonía neonatal por COVID-19. Se han observado consolidaciones de diferentes tamaños (A), alteraciones de la línea pleural y broncograma de colapso (B) y diversos grados de edema intersticial y alveolar (C)

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020. Modificado de: Ibarra-Ríos D, Villanueva-García D, Vázquez Solano E, et al. Lung ultrasound and neonatal COVID-19 pneumonia: A case report., 16 September 2020, PREPRINT (Version 2) available at Research Square [https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-33182/v2]

25 % presentó derrame pleural.<sup>62</sup> Esta estadística no coincide por completo con lo reportado en pacientes adultos en los cuales, las alteraciones de la línea pleural se encontraron en el 100 % de los pacientes estudiados y la presencia de consolidaciones en el 50 % de los pacientes.<sup>63</sup> El área descrita con imágenes patológicas en los adultos han sido la región basal posterior hasta en un 75 % de los pacientes en un estudio en China.<sup>64</sup>

En Neonatología existen dos series de casos publicadas. En China, Feng y colaboradores descri-

Cuadro 4

<b>Estratificación de los pacientes pediátricos con infección por SARS-CoV-2 por el Grupo Español de trabajo de Ecografía Clínica Pediátrica.</b>	
Muy leve	Patrón A. Sin hallazgos patológicos. Pulmón aireado. Líneas A, línea pleural normal (delgada, lisa y homogénea) y deslizamiento pleural normal
Leve	Patrón B focal. Patrón "intersticial". Líneas B focales (alguna consolidación subpleural aislada) Línea pleural conservada
Moderado	Patrón B difuso. Líneas B bilaterales/difusas confluentes que forman el signo de "haz de luz". Línea pleural discontinua y de aspecto engrosado.
Grave	Patrón de consolidaciones subpleurales, bilaterales, con broncograma aéreo en su interior, con líneas B difusas confluentes que forman el signo de "haz de luz" y engrosamiento, interrupción e irregularidad de la línea pleural con deslizamiento pleural disminuido
Muy Grave	Condensación/hepatización del tejido pulmonar, derrame (raro y escaso, si aparece será complejo y trabeculado). Condensaciones subpleurales bilaterales, multifocales y afectación anterior y/o generalizada. "Pulmón blanco" (Síndrome de Dificultad Respiratoria Aguda)

*Modificado de:* Alonso Martín DE, Bilbao Sustacha JA, Díaz Lázaro J, et al. Boletín del Grupo de Trabajo de Ecografía Clínica Pediátrica [Internet]. España: Boletín Abril y Mayo; 2020. Disponible en: [https://www.aepap.org/sites/default/files/documento/archivos-adjuntos/ecoclip14\\_pulmonar\\_iv\\_especial\\_covid.pdf](https://www.aepap.org/sites/default/files/documento/archivos-adjuntos/ecoclip14_pulmonar_iv_especial_covid.pdf)

bieron 5 casos en los que encontraron anomalías en la línea pleural, Líneas B en diferentes grados y un caso con una consolidación pequeña. En los seguimientos el UP mejoró conforme a la clínica.<sup>65</sup> En España Gregorio-Hernández y colaboradores describieron 3 neonatos con comorbilidades (aspiración de meconio, displasia broncopulmonar y enfermedad de Hirschsprung). Encontraron alteraciones de la línea pleural, Líneas B, consolidación y áreas respetadas; el puntaje respiratorio correlacionó con la evolución respiratoria; todos fueron dados de alta.<sup>66</sup> La Figura 22 muestra el espectro variable de la neumonía neonatal por COVID-19 en el HIMFG.

En el servicio de Urgencias Pediátricas del HIMFG se adoptó la clasificación del Grupo Español de trabajo de Ecografía Clínica Pediátrica para la estadificación de los pacientes pediátricos con infección por SARS-CoV-2 (Cuadro 4).<sup>67</sup>

## PROTECCIÓN

Los trabajadores de la salud tienen un riesgo alto a contagiarse. El paciente, en caso de no estar intubado, deberá usar mascarilla; en el caso de los pacientes intubados, se debe utilizar filtro tipo HEPA en la rama espiratoria para disminuir la exposición a aerosoles. El tiempo de exposición debe ser el menor posible y conforme el protocolo establecido.<sup>68</sup>

El lavado de manos es indispensable. El equipo recomendado mínimo debe incluir careta, lentes de protección, cubrebocas N95, bata y doble guante. Para la limpieza del transductor se recomiendan productos de amonio cuaternario. La utilización de plásticos protectores está recomendada para los transductores, pero se debe evitar que contengan talcos o polvos que puedan dañar los cristales.<sup>69</sup>

Los equipos portátiles con conexión WiFi a una tableta son una buena opción; se pueden tomar imágenes a distancia minimizando la cantidad de médicos que

entran al área COVID. El transductor es manipulado por el médico con equipo de protección personal completo, mientras que un segundo médico (en general con experiencia en la interpretación) captura los videos fuera del área COVID y dirige el protocolo de adquisición de imágenes.<sup>70</sup> El **Video 12** muestra el uso del UP en el área COVID.

## SÍNDROME DE ASPIRACIÓN DE MECONIO

### GENERALIDADES

El Síndrome de Aspiración de Meconio (SAM) es un proceso fisiopatológico complejo que se manifiesta como dificultad respiratoria progresiva con el antecedente de presentar Líquido Amniótico Teñido de Meconio (LATM) al romperse las membranas. Se considera patológico el LATM secundario que corresponde a la transformación en el color del líquido amniótico de claro a meconial (o meconial fluido a espeso) durante el trabajo de parto. Usualmente representa sufrimiento fetal. Las guías actuales de reanimación no recomiendan la succión de la tráquea en los neonatos no vigorosos siendo lo más importante durante la reanimación ventilar los pulmones. La fisiopatología se resume en: obstrucción de las vías aéreas por meconio (efecto de válvula), inflamación de las vías aéreas (parénquima pulmonar), disfunción del surfactante y neumonitis química.<sup>71,72</sup>

### EPIDEMIOLOGÍA

El LATM ocurre de manera global aproximadamente en el 13 % de todos los nacimientos (5 % antes de las 37 SDEG, el 25 % de los embarazos a término y del 23 al 52 % en los embarazos posttérmino); sin embargo, solo 5 al 10 % desarrollará SAM.<sup>73</sup> En las últimas cuatro décadas se reporta una disminución en la mortalidad que llegaba a ser hasta del 40 % a menos del 5 %.<sup>74,75</sup>

## FISIOPATOLOGÍA

Analizando la literatura disponible no queda clara la interpretación de la presencia de LATM. Antiguamente se creía que la condición principal que llevaba a la emisión de meconio era la asfixia perinatal, la cual estimulaba la peristasis intestinal y relajación del esfínter anal mediadas por el sistema nervioso parasimpático;<sup>76</sup> este efecto también puede ser causado por la compresión del cordón umbilical o de la cabeza durante el parto. Monen y colaboradores, proponen que la presencia de este se tome como un signo clínico más que como un síndrome comprendiendo que aumenta su prevalencia al aumentar la edad de gestación.<sup>77</sup>

Clásicamente se describe en la fisiopatología del SAM:

1. Obstrucción de las vías aéreas por meconio (efecto de válvula).
2. Inflamación de las vías aéreas y parénquima pulmonar.
3. Disfunción del factor tensoactivo pulmonar.
4. Neumonitis química.

La fase aguda de la aspiración (primeros 15 minutos) se caracteriza por aumento en las Resistencias Vasculares Pulmonares (RVP), aumento en la capacidad residual funcional, disminución de la distensibilidad, hipoxemia aguda, hipercarbia y acidosis respiratoria. La fase tardía (después de una hora) es el resultado inflamatorio del movimiento del meconio a las vías aéreas más distales (bronquiolos terminales y alveolos).<sup>78</sup>

El meconio es una sustancia viscosa de color negro a verde oscuro, con un pH de 5.5 a 7. Contiene líquido amniótico, células epiteliales descamadas, lanugo, vérnix caseoso, moco, sangre y secreciones gastrointestinales. La masa seca del meconio está formada por mucopolisacáridos, ácidos biliares, sales biliares, bilirrubina, colesterol mono, bi y triglicéridos, ácidos grasos libres, enzimas incluyendo la fosfolipasa A2 pancreática, proteínas, citosinas (In-

terleucina 1, 6 y 8, factor de necrosis tumoral alfa), grupo heme, purinas y fósforo.<sup>79</sup> Se puede considerar una parte hidrofílica constituida por las proteínas y pigmentos biliares y una hidrofóbica conformada por los lípidos.

El meconio puede inactivar las propiedades tensoactivas del surfactante por varios mecanismos:

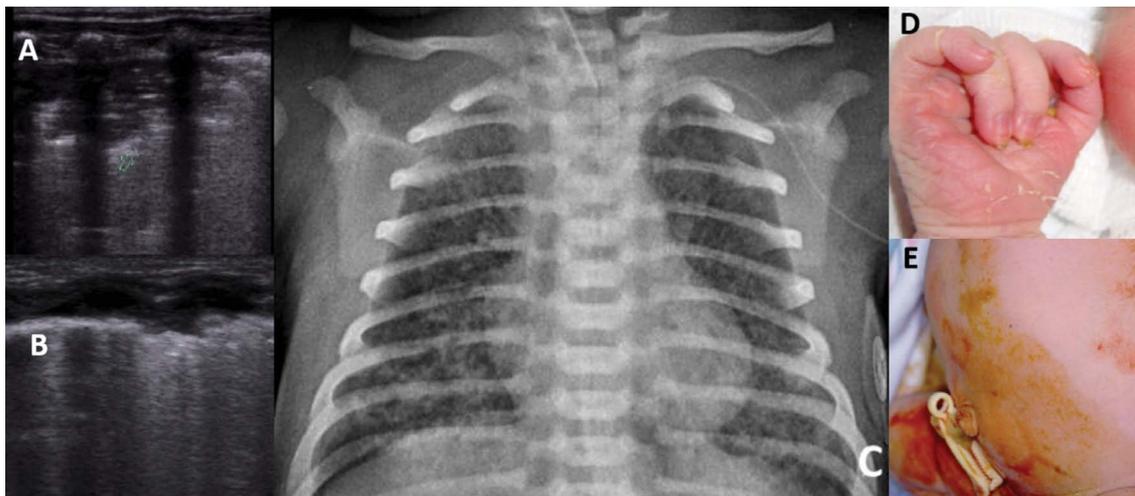
1. Disminuye la adsorción de los lípidos del surfactante en la superficie aire-líquido evitando que se distribuya a través de la superficie alveolar.
2. Disminuye la concentración de proteínas asociadas a surfactante SP-A y SP-B.
3. Cambia la viscosidad y la ultraestructura del surfactante.
4. Acelera la transformación de agregados con gran superficie activa (cuerpos lamelares, mielina tubular y cuerpos multilaminares) hacia agregados pequeños (cuerpos unilaminares) con menos actividad.

## MANIFESTACIONES RADIOLÓGICAS

En la radiografía se pueden demostrar hallazgos diferentes, de acuerdo con la gravedad. En los casos leves puede evidenciarse únicamente atrapamiento aéreo reflejado en un aumento del volumen pulmonar, elongación de la silueta cardíaca y aplanamiento del diafragma. La radiografía inicial puede no ser diagnóstica porque toma varias horas en suceder la neumonitis secundaria. Los casos graves mostrarán infiltrados reticulares en parches (zonas atelectásicas alternando con áreas hiperinsufladas).

## ULTRASONIDO PULMONAR EN SAM

En 2014 el Dr. Marco Piastra y colaboradores en Italia realizaron la primera descripción de SAM por UP en 6 pacientes con diversos grados de severidad. Se describió un patrón intersticial de Líneas B, consolidación,



**F23** **Síndrome de aspiración de meconio.** Observándose **A-B** Anomalías de la línea pleural con desaparición de Líneas A en las consolidaciones, así como síndrome alveolo intersticial. **C.** Radiografía de tórax que muestra infiltrados reticulares en parches, debido a que se evidencian zonas de atelectasias alternando con áreas hiperinsufladas. **D-E.** Datos de posmadurez y tinción meconial.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2017. Imágenes clínicas cortesía del Dr. Gerardo A. Cabrera-Meza. Texas Children's Hospital

atelectasias y broncograma.<sup>80</sup> El Dr. Jing Liu y colaboradores realizaron un estudio prospectivo observacional donde se reclutaron 117 neonatos con SAM y 100 controles. El hallazgo principal fue la consolidación con broncograma aéreo y anomalías de la línea pleural con desaparición de Líneas A, así como síndrome alveolo intersticial. El 16.2 % presentó atelectasias y el 13.7 % derrame pleural.<sup>81</sup> La Figura 23 muestra el espectro de enfermedad en UP por SAM.

## TRATAMIENTO

El manejo consiste en tratar la hipertensión arterial pulmonar, ventilación protectora evitando la sobredistensión de los pulmones y la fuga aérea, la reposición de surfactante y considerar antibióticos de acuerdo con las características del paciente. El UP ha mostrado ser una herramienta valiosa para el seguimiento durante la reposición de surfactante.<sup>82</sup> Aún no existe un consenso acerca de cómo debe administrarse ya que se ha utilizado en bolo y con lavado broncoalveolar con surfactante diluido. El-Shahed y colaboradores en una revisión sistemática basada en cuatro ensayos clínicos sugieren que el surfactante en bolo mejoró la oxigenación y disminuyó la insuficiencia respiratoria progresiva que terminó en oxigenación por membrana extracorpórea; sin embargo, no se ha mostrado el efecto sobre mortalidad y morbilidad pulmonar.<sup>83</sup> Hahn y colaboradores concluyeron en otra revisión sistemática que incluyó cuatro ensayos clínicos que el lavado broncoalveolar mejoró el desenlace clínico;<sup>84</sup> sin embargo, hace falta establecer mejores estudios que estandaricen las técnicas del lavado y la comparación de lavado contra bolo. Se ha descrito el uso del UP para guiar el lavado broncoalveolar en pacientes con SAM.<sup>85,86</sup> Como se verá más adelante en el Capítulo 6, el UP es útil para las maniobras de reclutamiento y detectar complicaciones.<sup>87</sup>

## HEMORRAGIA PULMONAR

### GENERALIDADES Y EPIDEMIOLOGÍA

La presentación de Hemorragia Pulmonar (HP) en la UCIN varía desde secreciones teñidas de sangre, ya sean traqueales o faríngeas, hasta una hemorragia masiva intratable. Se describe como una entidad nosológica cuando aparece sangre rutilante del tubo endotraqueal en cantidades que condicionan un aumento en los parámetros ventilatorios o generan cambios en la radiografía de tórax. Se ha reportado hasta en un 10 a 16 % de los RN de peso extremadamente bajo y lleva hasta en un 60 % a displasia broncopulmonar.<sup>88</sup> En una cohorte grande de prematuros entre 23 y 24 SDEG se encontró una incidencia de 86 casos por cada 1000 RN vivos. En menores de 28 SDEG la HP sucedió entre el primero (24 %) y segundo (33 %) día de vida. La HP temprana incrementa la mortalidad significativamente.<sup>89</sup>

### FACTORES DE RIESGO

Prematuridad, sufrimiento fetal intraparto, asfixia, conducto arterioso permeable, toxicidad por oxígeno, ventilación con presión positiva, SDR, uso de surfactante, coagulopatías, infecciones pulmonares agudas e hiperbilirrubinemia.<sup>90</sup>

### FISIOPATOLOGÍA

La necesidad de intubación orotraqueal y ventilación mecánica invasiva generan distensión alveolar y daño en los capilares alveolares, contribuyendo a la génesis de la HP, se describen cuatro puntos principalmente involucrados en el proceso:<sup>91</sup>

1. Incremento de la presión en la microvasculatura pulmonar.
2. Reducción de la presión oncótica intravascular.

3. Reducción del drenaje linfático.
4. Incremento de la permeabilidad vascular.

Se ha relacionado la presencia de un Conducto Arterioso Permeable Hemodinámicamente Significativo (CAPHS) y HP sobre todo en los primeros 3 días de vida en el prematuro extremo. Se ha propuesto el tratamiento dirigido temprano que implica hacer un ecocardiograma en las primeras horas de vida y decidir tratar el CAPHS (aunque los criterios son variables, así como las unidades que tratan conductos bidireccionales). A pesar de que hay menor incidencia de hemorragia pulmonar con el tratamiento dirigido temprano<sup>92</sup> no se ha logrado disminuir la morbimortalidad con este abordaje;<sup>93,94</sup> sin embargo, sigue siendo una inquietud del neonatólogo ya que la mayoría de las complicaciones hemorrágicas asociadas con CAP se presentan en las primeras 72 horas de vida. Se ha propuesto que el manejo hemodinámico para prevenir HP y Hemorragia Intraventricular (HIV) debe incluir:<sup>95</sup>

1. Pinzamiento tardío del cordón.
2. Cuidar la poscarga de ambos ventrículos.
3. Manejo dirigido temprano del CAP.

## RADIOGRAFÍA DE TÓRAX

En Boston, Lee y colaboradores siguieron el curso de 18 neonatos con HP. Esta sucedió en una media de 1.9 días (0-5). El 50 % tuvo HIV; 3 fallecieron durante el episodio (todos con HIV concomitante). El 50 % mostró pulmón blanco (imagen en vidrio despulido), el 27 % opacidades en parche, el 6 % opacidades difusas y el 17 % sin cambios. El 28 % falleció. Se documentó la progresión del 93 % de los sobrevivientes a DBP. El 26 % desarrollaron barotrauma.<sup>96</sup>

## UP Y HEMORRAGIA PULMONAR

En China, el Dr. Liu y colaboradores estudiaron 42 neonatos con HP. Los hallazgos principales fueron:

**“Signo de disrupción”** de la línea pleural 95%, consolidación con broncogramas el 83 %, derrame pleural el 81 % y atelectasias el 33 %.<sup>97</sup> El signo de disrupción mostró una sensibilidad del 91.2 % y una especificidad del 100 % para el diagnóstico de HP comparando 57 casos con 100 controles.<sup>98</sup> El **Video 13** muestra un caso de hemorragia pulmonar. En la videolección se observará un caso con SDR manejado con UP que posteriormente desarrolló hemorragia pulmonar.

## TRATAMIENTO

Dentro del tratamiento se propone a la Ventilación de Alta Frecuencia Oscilatoria (VAFO) junto con la administración de factor surfactante. Este tipo de terapia resulta efectiva para promover la oxigenación, acorta el tiempo de hemostasia y la duración de la ventilación además de reducir la incidencia de complicaciones.<sup>99</sup> El UP puede tener papel en el seguimiento tras la administración de surfactante y para seguimiento de la ventilación.<sup>100</sup>

## ATELECTASIAS

### INTRODUCCIÓN

La atelectasia es un colapso del parénquima pulmonar que resulta en falta de intercambio de gases y pérdida de volumen en el pulmón. Es un trastorno subyacente que puede estar asociado con una variedad de trastornos pulmonares. Los mecanismos de la atelectasia se pueden dividir en tres tipos:<sup>101</sup>

1. Obstrucción de las vías respiratorias
2. Compresión del parénquima por factores intratorácicos o extratorácicos
3. Aumento de la tensión superficial en alvéolos y bronquiolos.

También se puede dividir en atelectasia total, lobar y atelectasia parcial según su extensión. La obstrucción

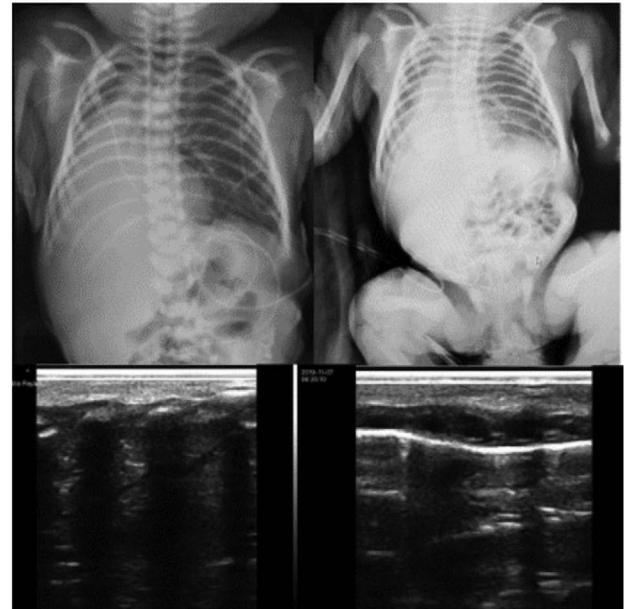
de las vías respiratorias (por ejemplo, tapón de moco o meconio) es la principal causa de atelectasia en los RN y lactantes. Como las vías respiratorias en los RN son relativamente estrechas, la obstrucción hace que el gas quede atrapado en la vía aérea distal y sea absorbido por la sangre que fluye a través de la región del pulmón, produciendo hipoxia y colapso alveolar. La incidencia incrementada de atelectasia del lóbulo superior derecho en los RN con ventilación mecánica puede estar relacionada con el daño traumático de la mucosa del bronquio del lado derecho.<sup>102</sup>

## CARACTERÍSTICAS DEL ULTRASONIDO PULMONAR EN ATELECTASIAS

Liu y colaboradores evaluaron la utilidad del UP en el diagnóstico de atelectasias neonatales y la compararon con la radiografía de tórax. Los hallazgos mostraron que la sensibilidad del UP y la radiografía de tórax fueron del 100 % y del 75 %, respectivamente. Los que no fueron detectados por radiografía de tórax fueron finalmente confirmados por TAC.<sup>103</sup> En otro estudio, Acosta y colaboradores investigaron la precisión del UP en el diagnóstico de atelectasia inducida por anestesia en niños utilizando la resonancia magnética como referencia. El UP mostró un 88 % de sensibilidad, un 89 % de especificidad y un 88 % de precisión para su detección.<sup>104</sup> La atelectasia pulmonar visualizada por UP pero no por radiografía simple y confirmada por TAC se denomina "atelectasia oculta".<sup>105</sup>

Las **características ecográficas de la atelectasia** incluyen gran consolidación pulmonar con bordes bien definidos, anomalías de la línea pleural y ausencia de deslizamiento pulmonar.<sup>106</sup> Los hallazgos característicos del UP incluyen:

1. Consolidación pulmonar acompañada o no de broncograma aéreo.
2. Bordes relativamente claros y regulares en atelectasias grandes. Si se limita a una región pequeña,



F24

### Atelectasia antes y después de resolverse.

Posquirurgico de atresia esofágica tras la extubación. Con instilación de alfa dornasa y aspiración selectiva se dio tratamiento guiado por UP sin necesidad de intubación. Se documenta la mejoría en el UP (retorno de los artefactos) al resolverse.

Archivo clínico Dr. Ibarra, 2019

es posible que los bordes del área de consolidación no sean obvios.

3. La línea pleural en el área de consolidación es anormal y las Líneas A desaparecen.
4. En las primeras etapas de una atelectasia grande, el pulso pulmonar puede ser visible.
5. El flujo sanguíneo pulmonar puede ser visible en las áreas consolidadas por Doppler color. Si la atelectasia persiste (las etapas finales de la atelectasia), tanto el broncograma dinámico como el flujo sanguíneo desaparecerán.<sup>107</sup>

No es sencillo distinguir entre atelectasias y otro tipo de consolidaciones. Solo con una correlación adecuada con la información clínica, biológica y radiográfica se puede afinar el diagnóstico diferencial para optimizar el manejo.

La Figura 24 muestra una atelectasia antes y después de resolverse. El **Video 14** muestra un caso de atelectasia en el posquirúrgico de atresia esofágica tras la extubación. Con instilación de alfa dornasa y aspiración selectiva se dio tratamiento guiado por UP sin necesidad de intubación. Se documenta la mejoría en el UP (retorno de los artefactos) al resolverse. En el Capítulo 6 se muestra la utilidad del UP para el manejo dinámico de las atelectasias.

## CONCLUSIONES

Cuando se habla de una consolidación en UP se refiere a la pérdida de reverberaciones (artefactos) características de un pulmón aireado. En este caso se observa la víscera pulmonar colapsada y/o infiltrada. Se observa en atelectasias, neumonía, HP y SAM. El UP se caracteriza por desaparición de las Líneas A y se observa una imagen parenquimatosa similar al tejido hepático con márgenes desiguales en forma de cuña. La línea pleural se rompe y aparece el signo de la “disrupción” y se puede transmitir el latido cardiaco y se observa “pulso de pulmón”. El broncograma fluido o dinámico implica que aparecen elementos hiperecóticos lineales que representan aire en los bronquiolos que presentan movimiento centrifugo con respecto a la respiración. Este signo integrado con la clínica y el encontrar bordes irregulares en la lesión pueden ayudar a hacer el diagnóstico de neumonía. Es un método diagnóstico que puede orientar para hacer el diagnóstico de neumonías bacterianas y virales, y ha mostrado ser de mucha utilidad en la actual pandemia de SARS-CoV-2. El UP es útil para dar seguimiento al tratamiento con surfactante y ventilatorio en el SAM y HP; asimismo, es útil para guiar el manejo y documentar la resolución de atelectasias.

## REFERENCIAS

1. Lichtenstein DA. Current Misconceptions in Lung Ultrasound: A Short Guide for Experts. *Chest*. 2019;156(1):21-25. doi:10.1016/j.chest.2019.02.332

2. Lichtenstein DA. Ultrasound in the management of thoracic disease. *Crit Care Med*. 2007;35(5 Suppl):S250-S261. doi:10.1097/01.CCM.0000260674.60761.85
3. Chen SW, Fu W, Liu J, Wang Y. Routine application of lung ultrasonography in the neonatal intensive care unit. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(2):e5826. doi:10.1097/MD.0000000000005826
4. Kurepa D, Zaghoul N, Watkins L, Liu J. Neonatal lung ultrasound exam guidelines. *J Perinatol*. 2018;38(1):11-22. doi:10.1038/jp.2017.140
5. Lichtenstein DA, Lascols N, Mezière G, Gepner A. Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med*. 2004;30(2):276-281. doi:10.1007/s00134-003-2075-6
6. GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015 [published correction appears in *Lancet*. 2017 Jan 7;389(10064):e1]. *Lancet*. 2016;388(10053):1459-1544. doi:10.1016/S0140-6736(16)31012-1
7. Nissen MD. Congenital and neonatal pneumonia. *Paediatr Respir Rev*. 2007;8(3):195-203. doi:10.1016/j.prv.2007.07.001
8. Hooven TA, Polin RA. Pneumonia. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2017;22(4):206-213. doi:10.1016/j.siny.2017.03.002
9. Torres-García M, Pérez Méndez BB, Sánchez Huerta JL, et al. Healthcare-Associated Pneumonia: Don't Forget About Respiratory Viruses!. *Front Pediatr*. 2019;7:168. Published 2019 May 16. doi:10.3389/fped.2019.00168
10. Dowling DJ, Levy O. Ontogeny of early life immunity. *Trends Immunol*. 2014;35(7):299-310. doi:10.1016/j.it.2014.04.007
11. Sasidharan P. Postnatal IgG levels in very-low-birth-weight infants. Preliminary observations. *Clin Pediatr (Phila)*. 1988;27(6):271-274. doi:10.1177/000992288802700601
12. Saini Y, Wilkinson KJ, Terrell KA, et al. Neonatal Pulmonary Macrophage Depletion Coupled to Defective Mucus Clearance Increases Susceptibility to Pneumonia and Alters Pulmonary Immune Responses. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2016;54(2):210-221. doi:10.1165/rcmb.2014-0111OC
13. Christensen RD, Rothstein G. Exhaustion of mature marrow neutrophils in neonates with sepsis. *J Pediatr*. 1980;96(2):316-318. doi:10.1016/s0022-3476(80)80837-7
14. Birle A, Nebe CT, Hill S, Hartmann K, Poeschl J, Koch L. Neutrophil chemotaxis in cord blood of term and preterm neonates is reduced in preterm neonates and influenced by the mode of delivery and anaesthesia. *PLoS One*. 2015;10(4):e0120341. Published 2015 Apr 13. doi:10.1371/journal.pone.0120341
15. Bajic G, Degn SE, Thiel S, Andersen GR. Complement activation, regulation, and molecular basis for complement-related diseases. *EMBO J*. 2015;34(22):2735-2757. doi:10.15252/embj.201591881

16. Whidbey C, Vornhagen J, Gendrin C, et al. A streptococcal lipid toxin induces membrane permeabilization and pyroptosis leading to fetal injury. *EMBO Mol Med.* 2015;7(4):488-505. doi:10.15252/emmm.201404883
17. Bem RA, Bos AP, Matute-Bello G, van Tuyl M, van Woensel JB. Lung epithelial cell apoptosis during acute lung injury in infancy. *Pediatr Crit Care Med.* 2007;8(2):132-137. doi:10.1097/01.PCC.0000257207.02408.67
18. Wynn JL, Wong HR. Pathophysiology and treatment of septic shock in neonates. *Clin Perinatol.* 2010;37(2):439-479. doi:10.1016/j.clp.2010.04.002
19. Wilson SB, Nizet V, et al. In Remington and Klein's Infectious Diseases of the Fetus and Newborn Infant, 8th Edition. 2015, p. 280-83
20. Singhi S, Singhi PD. Clinical signs in neonatal pneumonia. *Lancet.* 1990;336(8722):1072-1073. doi:10.1016/0140-6736(90)92547-u
21. Lee PL, Lee WT, Chen HL. Ventilator-Associated Pneumonia in Low Birth Weight Neonates at a Neonatal Intensive Care Unit: A Retrospective Observational Study. *Pediatr Neonatol.* 2017;58(1):16-21. doi:10.1016/j.pedneo.2015.10.014
22. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Pneumonia (ventilator associated [VAP] and non-ventilator-associated pneumonia [PNEU]) event. <https://www.cdc.gov/nhsn/PDFs/pscManual/6pscVAPcurrent.pdf>
23. Cernada M, Aguar M, Brugada M, et al. Ventilator-associated pneumonia in newborn infants diagnosed with an invasive bronchoalveolar lavage technique: a prospective observational study. *Pediatr Crit Care Med.* 2013;14(1):55-61. doi:10.1097/PCC.0b013e318253ca31
24. Ablow RC, Gross I, Effmann EL, Uauy R, Driscoll S. The radiographic features of early onset Group B streptococcal neonatal sepsis. *Radiology.* 1977;124(3):771-777. doi:10.1148/124.3.771
25. Liu J, Liu F, Liu Y, Wang HW, Feng ZC. Lung Ultrasonography for the Diagnosis of Severe Neonatal Pneumonia. *Chest.* 2014;146(2), 383-388. doi:10.1378/chest.13-2852
26. Woods PL. Utility of lung ultrasound scanning in neonatology. *Arch Dis Child.* 2019;104(9):909-915. doi:10.1136/archdischild-2017-314538
27. Pereda MA, Chavez MA, Hooper-Miele CC, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children: a meta-analysis. *Pediatrics.* 2015;135(4):714-722. doi:10.1542/peds.2014-2833
28. Caiulo VA, Gargani L, Caiulo S, et al. Lung ultrasound in bronchiolitis: comparison with chest X-ray. *Eur J Pediatr.* 2011;170(11):1427-1433. doi:10.1007/s00431-011-1461-2
29. Yousef N, De Luca D. The Role of Lung Ultrasound in Viral Lower Respiratory Tract Infections. *Am J Perinatol.* 2018;35(6):527-529. doi:10.1055/s-0038-1637758
30. Xiao TT, Jin M, Ju R, et al. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi.* 2018;20(6):444-448. doi:10.7499/j.issn.1008-8830.2018.06.003
31. Brady MT, Polin RA. Prevention and management of infants with suspected or proven neonatal sepsis. *Pediatrics.* 2013;132(1):166-168. doi:10.1542/peds.2013-1310
32. Trouillet JL, Chastre J, Vuagnat A, et al. Ventilator-associated pneumonia caused by potentially drug-resistant bacteria. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;157(2):531-539. doi:10.1164/ajrccm.157.2.9705064
33. Deville JG, Adler S, Azimi PH, et al. Linezolid versus vancomycin in the treatment of known or suspected resistant gram-positive infections in neonates. *Pediatr Infect Dis J.* 2003;22(9 Suppl):S158-S163. doi:10.1097/01.inf.0000086955.93702.c7
34. Weber CD. Applying Adult Ventilator-associated Pneumonia Bundle Evidence to the Ventilated Neonate. *Adv Neonatal Care.* 2016;16(3):178-190. doi:10.1097/ANC.0000000000000276
35. Azab SF, Sherbiny HS, Saleh SH, et al. Reducing ventilator-associated pneumonia in neonatal intensive care unit using "VAP prevention Bundle": a cohort study. *BMC Infect Dis.* 2015;15:314. Published 2015 Aug 6. doi:10.1186/s12879-015-1062-1
36. Morris SS, Black RE, Tomaskovic L. Predicting the distribution of under-five deaths by cause in countries without adequate vital registration systems. *Int J Epidemiol.* 2003;32(6):1041-1051. doi:10.1093/ije/dyg241
37. Harris M, Clark J, Coote N, et al. British Thoracic Society guidelines for the management of community acquired pneumonia in children: Update 2011. *Thorax.* 2011;66(SUPPL. 2). doi:10.1136/thoraxjnl-2011-200598
38. Heuvelings CC, Bèlard S, Familusi MA, Spijker R, Grobusch MP, Zar HJ. Chest ultrasound for the diagnosis of paediatric pulmonary diseases: A systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy. *Br Med Bull.* 2019;129(1):69-78. doi:10.1093/bmb/ldy041
39. Fuentealba T I. Ultrasonido de tórax en niños. *Rev Chil enfermedades Respir.* 2012;28(3):229-235. doi:10.4067/s0717-73482012000300008
40. Reali F, Sferrazza Papa GF, Carlucci P, et al. Can lung ultrasound replace chest radiography for the diagnosis of pneumonia in hospitalized children? *Respiration.* 2014;88(2):112-115. doi:10.1159/000362692
41. Bobbia X, Pradeilles C, Claret PG, et al. Does physician experience influence the interpretability of focused echocardiography images performed by a pocket device? *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2015;23(1):1-7. doi:10.1186/s13049-015-0122-2
42. Tsou PY, Chen KP, Wang YH, et al. Diagnostic Accuracy of Lung Ultrasound Performed by Novice Versus Advanced Sonographers for Pneumonia in Children: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acad Emerg Med.* 2019;26(9):1074-1088. doi:10.1111/acem.13818

43. Xin H, Li J, Hu HY. Is Lung Ultrasound Useful for Diagnosing Pneumonia in Children?: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Ultrasound Q.* 2018;34(1):3-10. doi:10.1097/RUQ.0000000000000330
44. Esposito S, Papa SS, Borzani I, et al. Performance of lung ultrasonography in children with community-acquired pneumonia. *Ital J Pediatr.* 2014;40(1):1-6. doi:10.1186/1824-7288-40-37
45. Samson F, Gorostiza I, González A, Landa M, Ruiz L, Grau M. Prospective evaluation of clinical lung ultrasonography in the diagnosis of community-acquired pneumonia in a pediatric emergency department. *Eur J Emerg Med.* 2018;25(1):65-70. doi:10.1097/MEJ.0000000000000418
46. Song I-K. Pediatric lung ultrasound: its role in the perioperative period. *Anesth Pain Med.* 2018;13(1):18-22. doi:10.17085/apm.2018.13.1.18
47. Riccabona M. Basics, principles, techniques and modern methods in paediatric ultrasonography. *Eur J Radiol.* 2014;83(9):1487-1494. doi:10.1016/j.ejrad.2014.04.032
48. Tsung JW, Kessler DO, Shah VP. Prospective application of clinician-performed lung ultrasonography during the 2009 H1N1 influenza A pandemic: distinguishing viral from bacterial pneumonia. *Crit Ultrasound J.* 2012;4(1):16. Published 2012 Jul 10. doi:10.1186/2036-7902-4-16
49. Wagner T. Bronchiolitis. *Pediatr Rev.* 2009;30(10):386-395. doi:10.1542/pir.30-10-386
50. Henao-Villada R, Sossa-Briceño MP, Rodríguez-Martínez CE. Impact of the implementation of an evidence-based guideline on diagnostic testing, management, and clinical outcomes for infants with bronchiolitis. *Ther Adv Respir Dis.* 2016;10(5):425-434. doi:10.1177/1753465816662159
51. Florin TA, Byczkowski T, Ruddy RM, Zorc JJ, Test M, Shah SS. Variation in the management of infants hospitalized for bronchiolitis persists after the 2006 American Academy of Pediatrics bronchiolitis guidelines. *J Pediatr.* 2014;165(4):786-792. e1. doi:10.1016/j.jpeds.2014.05.057
52. Basile V, Di Mauro A, Scalini E, et al. Lung ultrasound: a useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis. *BMC Pediatr.* 2015;15:63. Published 2015 May 21. doi:10.1186/s12887-015-0380-1
53. Biagi C, Pierantoni L, Baldazzi M, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children with acute bronchiolitis. *BMC Pulm Med.* 2018;18(1):1-10. doi:10.1186/s12890-018-0750-1
54. Vivanti AJ, Vauloup-Fellous C, Prevot S, Zupan V, Suffee C, Do Cao J, Benachi A, De Luca D. Transplacental transmission of SARS-CoV-2 infection. *Nat Commun.* 2020;11(1):3572. doi:10.1038/s41467-020-17436-6
55. Raschetti R, Vivanti AJ, Vauloup-Fellous C, Loi B, Benachi A, De Luca D. Synthesis and systematic review of reported neonatal SARS-CoV-2 infections. *Nat Commun.* 2020 Oct 15;11(1):5164. doi:10.1038/s41467-020-18982-9
56. Cleverley J, Piper J, Jones MM. The role of chest radiography in confirming covid-19 pneumonia. *BMJ.* 2020;370. doi:10.1136/bmj.m2426
57. Mongodi S, Orlando A, Arisi E, et al. Lung Ultrasound in Patients with Acute Respiratory Failure Reduces Conventional Imaging and Health Care Provider Exposure to COVID-19. *Ultrasound Med Biol.* 2020;46(8):2090-2093. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.033
58. Buonsenso D, Pata D, Chiaretti A. COVID-19 outbreak: less stethoscope, more ultrasound. *Lancet Respir Med.* 2020;8(5):e27. doi:10.1016/S2213-2600(20)30120-X
59. Møller-Sørensen H, Gjedsted J, Jørgensen VL, Hansen KL. COVID-19 assessment with bedside lung ultrasound in a population of intensive care patients treated with mechanical ventilation and ECMO. *Diagnostics.* 2020;10(7). doi:10.3390/diagnostics10070447
60. Denina M, Scolfaro C, Silvestro E, et al. Lung ultrasound in children with COVID-19. *Pediatrics.* 2020;146(1). doi:10.1542/peds.2020-1157
61. Musolino AM, Supino MC, Buonsenso D, et al. Lung Ultrasound in Children with COVID-19: Preliminary Findings. *Ultrasound Med Biol.* 2020;46(8):2094-2098. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.026
62. Guitart C, Suárez R, Girona M, Bobillo-Perez S, Hernández L, Balaguer M, Cambra FJ, Jordan I; KIDS-Corona study group, Kids Corona Platform. Lung ultrasound findings in pediatric patients with COVID-19. *Eur J Pediatr.* 2020 Oct 22:1-7. doi:10.1007/s00431-020-03839-6
63. Xing C. Lung ultrasound findings in COVID-19 pneumonia. *Dtsch Arztebl Int.* 2020;117(19):335. doi:10.3238/arztebl.2020.0335
64. Huang Y, Wang S, Liu Y, et al. A preliminary study on the ultrasonic manifestations of peripulmonary lesions of non-critical novel coronavirus pneumonia (COVID-19), 26 February 2020, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [+https://doi.org/10.21203/rs.2.24369/v1+]
65. Feng XY, Tao XW, Zeng LK, Wang WQ, Li G. [Application of pulmonary ultrasound in the diagnosis of COVID-19 pneumonia in neonates]. *Zhonghua Er Ke Za Zhi.* 2020 May 2;58(5):347-350. Chinese. doi:10.3760/cma.j.cn112140-20200228-00154
66. Gregorio-Hernández R, Escobar-Izquierdo AB, Cobas-Pazos J, Martínez-Gimeno A. Point-of-care lung ultrasound in three neonates with COVID-19. *Eur J Pediatr.* 2020;179(8):1279-1285. doi:10.1007/s00431-020-03706-4
67. Alonso Martín DE, Bilbao Sustacha JA, Díaz Lázaro J, et al. Boletín del Grupo de Trabajo de Ecografía Clínica Pediátrica [Internet]. España: Boletín Abril y Mayo; 2020. Disponible en: <https://www.aepap.org/sites/default/files/documento/>

- archivos-adjuntos/ecoclip14\_pulmonar\_iv\_especial\_covid.pdf
68. Kirkpatrick JN, Mitchell C, Taub C, Kort S, Hung J, Swaminathan M. ASE Statement on Protection of Patients and Echocardiography Service Providers During the 2019 Novel Coronavirus Outbreak: Endorsed by the American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2020;75(24):3078-3084. doi:10.1016/j.jacc.2020.04.002
  69. Kim DJ, Jelic T, Woo MY, Heslop C, Olszynski P. Just the Facts: Recommendations on point-of-care ultrasound use and machine infection control during the coronavirus disease 2019 pandemic. *CJEM.* 2020;22(4):445-449. doi:10.1017/cem.2020.364
  70. De Rose C, Inchingolo R, Smargiassi A, Zampino G, Valentini P, Buonsenso D. How to Perform Pediatric Lung Ultrasound Examinations in the Time of COVID-19 [published online ahead of print, 2020 Apr 22]. *J Ultrasound Med.* 2020;10.1002/jum.15306. doi:10.1002/jum.15306
  71. Martínez-Burnes J, Mota-Rojas D, Villanueva-García D, Ibarra-Ríos D, et al. Meconium aspiration syndrome in mammals. *CAB Reviews.* 2019;14(13):1-11. doi: 10.1079/PAVS-NNR201914013
  72. Gelfand SL, Fanaroff JM, Walsh MC. Controversies in the treatment of meconium aspiration syndrome. *Clin Perinatol.* 2004;31(3):445-52. doi: 10.1016/j.clp.2004.03.020
  73. Scott H, Walker M, Gruslin A. Significance of meconium-stained amniotic fluid in the preterm population. *J Perinatol.* 2001;21(3):174-7. doi: 10.1038/sj.jp.7200521
  74. Dargaville PA, Copnell B. The epidemiology of meconium aspiration syndrome: incidence, risk factors, therapies, and outcome. *Pediatrics.* 2006;117(5):1712-21. doi: 10.1542/peds.2005-2215
  75. Whitfield JM, Charsha DS, Chiruvolu A. Prevention of meconium aspiration syndrome: an update and the Baylor experience. *Proc (Bayl Univ Med Cent).* 2009 ;22(2):128-31. doi: 10.1080/08998280.2009.11928491
  76. Miller FC, Read JA. Intrapartum assessment of the postdate fetus. *Am J Obstet Gynecol.* 1981; 141: 516. doi: 10.1016/s0002-9378(15)33271-3
  77. Monen L, Hasaart TH, Kuppens SM. The aetiology of meconium-stained amniotic fluid: Pathologic hypoxia or physiologic foetal ripening?. *Early Hum Dev.* 2014;90(7):325-328. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2014.04.003
  78. Mokra D, Calkovska A. How to overcome surfactant dysfunction in meconium aspiration syndrome? *Respir Physiol Neurobiol.* 2013;187(1):58-63. doi: 10.1016/j.resp.2013.02.030
  79. de Beaufort, A.J., Bakker, A.C., van Tol, M.J.D., Poorthuis, B.J., Schrama, A.J., Berger, H.M, Meconium is a source of pro-inflammatory substances and can induce cytokine production in cultured A549 epithelial cells. *Pediatric Research.* 2003;54:491-495. doi: 10.1203/01.PDR.0000082017.97479.39
  80. Piastra M, Yousef N, Brat R, Manzoni P, Mokhtari M, De Luca D. Lung ultrasound findings in meconium aspiration syndrome. *Early Hum Dev.* 2014;90 Suppl 2:S41-S43. doi:10.1016/S0378-3782(14)50011-4
  81. Liu J, Cao HY, Fu W. Lung ultrasonography to diagnose meconium aspiration syndrome of the newborn. *J Int Med Res.* 2016;44(6):1534-1542. doi:10.1177/0300060516663954
  82. Jasani B, Kabra N, Nanavati R. Surfactant Replacement Therapy Beyond Respiratory Distress Syndrome in Neonates. *Indian Pediatr.* 2016;53(3):229-234. doi:10.1007/s13312-016-0826-z
  83. El Shahed AI, Dargaville PA, Ohlsson A, Soll R. Surfactant for meconium aspiration syndrome in term and late preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;2014(12):CD002054. Published 2014 Dec 14. doi:10.1002/14651858.CD002054.pub3
  84. Hahn S, Choi HJ, Soll R, Dargaville PA. Lung lavage for meconium aspiration syndrome in newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013 Apr 30;4:CD003486. doi: 10.1002/14651858.CD003486.pub2
  85. Liu J, Ren XL, Fu W, Liu Y, Xia RM. Bronchoalveolar lavage for the treatment of neonatal pulmonary atelectasis under lung ultrasound monitoring. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2017;30(19):2362-2366. doi:10.1080/14767058.2016.1248935
  86. Dell'Orto V, Centorrino R, De Luca D. Ultrasound-guided lung lavage for life-threatening bronchial obstruction due to meconium plug. *J Clin Ultrasound.* 2021 May;49(4):405-407. doi: 10.1002/jcu.22917
  87. Liu J. Meconium Aspiration Syndrome. En: Liu J. Sorantin E, Cao HY. *Neonatal Lung Ultrasonography.* Países Bajos/China: SpringerNature B.V./People's Medical Publishing House; 2018. P. 61-71. ISBN 978-94-024-1547-6
  88. Pandit PB, O'Brien K, Asztalos E, et al. Outcome following pulmonary haemorrhage in very low birthweight neonates treated with surfactant. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 1999;81:40-4. doi: 10.1136/fn.81.1.f40
  89. Ahmad KA, Bennett MM, Ahmad SF, Clark RH, Tolia VN. Morbidity and mortality with early pulmonary haemorrhage in preterm neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2019;104(1):F63-F68. doi:10.1136/archdischild-2017-314172
  90. Garland J, Buck R, Weinberg M. Pulmonary hemorrhage risk in infants with a clinically diagnosed patent ductus arteriosus: a retrospective cohort study. *Pediatrics.* 1994;94(5):719-23.
  91. Berger TM, Allred EN, Van Marter LJ. Antecedents of clinically significant pulmonary hemorrhage among newborn infants. *J Perinatol.* 2000;20(5):295-300. doi: 10.1038/sj.jp.7200372
  92. Kluckow M, Jeffery M, Gill A, Evans N. A randomised placebo-controlled trial of early treatment of the patent ductus arteriosus. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2014;99(2):F99-F104. doi: 10.1136/archdischild-2013-304695

93. Sosenko IR, Fajardo MF, Claire N, Bancalari E. Timing of patent ductus arteriosus treatment and respiratory outcome in premature infants: a double-blind randomized controlled trial. *J Pediatr*. 2012; 160(6): 929- 35.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2011.12.031
94. Edstedt Bonamy AK, Gudmundsdottir A, Maier RF, Toome L, Zeitlin J, Bonet M, et al.; collaborators from the EPICE Research Group. Patent ductus arteriosus treatment in very pre-term infants: a European population based cohort study (EPICE) on variation and outcomes. *Neonatology*. 2017;111(4): 367-75. doi: 10.1159/000454798
95. Su BH, Lin HY, Huang FK, Tsai ML, Huang YT. Circulatory Management Focusing on Preventing Intraventricular Hemorrhage and Pulmonary Hemorrhage in Preterm Infants. *Pediatr Neonatol*. 2016;57(6):453-462. doi:10.1016/j.pedneo.2016.01.001
96. Lee M, Wu K, Yu A, et al. Pulmonary hemorrhage in neonatal respiratory distress syndrome: Radiographic evolution, course, complications and long-term clinical outcomes. *J Neonatal Perinatal Med*. 2019;12(2):161-171. doi:10.3233/NPM-1867
97. Liu J, Fu W, Chen SW, Wang Y. *Zhonghua Er Ke Za Zhi*. 2017;55(1):46-49. doi:10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2017.01.009
98. Ren XL, Fu W, Liu J, Liu Y, Xia RM. Lung ultrasonography to diagnose pulmonary hemorrhage of the newborn. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2017;30(21):2601-2606. doi:10.1080/14767058.2016.1256997
99. Lin XZ, Lai JD, Lv M, Zhu Y, Wang L, Chen C. Clinical efficacy of high-frequency oscillatory ventilation combined with pulmonary surfactant in treatment of neonatal pulmonary hemorrhage. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi*. 2015;17(4):345-9
100. Liu J, Sorantin E. Pulmonary Hemorrhage of the Newborn. En: Liu J, Sorantin E, Cao HY. *Neonatal Lung Ultrasonography*. Paises Bajos/China: SpringerNature B.V./People's Medical Publishing House; 2018. pp 103-109. ISBN 978-94-024-1547-6
101. Peroni DG, Boner AL. Atelectasis: mechanisms, diagnosis and management. *Paediatr Respir Rev*. 2000;1(3):274-278. doi:10.1053/prrv.2000.0059
102. Whitfield JM, Jones MD Jr. Atelectasis associated with mechanical ventilation for hyaline membrane disease. *Crit Care Med*. 1980;8(12):729-731. doi:10.1097/00003246-198012000-00006
103. Liu J, Chen SW, Liu F, Li QP, Kong XY, Feng ZC. The diagnosis of neonatal pulmonary atelectasis using lung ultrasonography. *Chest*. 2015;147(4):1013-1019. doi:10.1378/chest.14-1306
104. Acosta CM, Maidana GA, Jacovitti D, et al. Accuracy of transthoracic lung ultrasound for diagnosing anesthesia-induced atelectasis in children. *Anesthesiology*. 2014;120(6):1370-1379. doi:10.1097/ALN.0000000000000231
105. Liu J, Lovrenski J, Ye Hlaing A, Kurepa D. Neonatal lung diseases: lung ultrasound or chest x-ray [published online ahead of print, 2019 Jun 20]. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2019;1-6. doi:10.1080/14767058.2019.1623198
106. Liang HY, Liang XW, Chen ZY, et al. Ultrasound in neonatal lung disease. *Quant Imaging Med Surg*. 2018;8(5):535-546. doi:10.21037/qims.2018.06.01
107. Liu J, Copetti R, Sorantin E, et al. Protocol and Guidelines for Point-of-Care Lung Ultrasound in Diagnosing Neonatal Pulmonary Diseases Based on International Expert Consensus. *J Vis Exp*. 2019;(145). doi: 10.3791/58990.

# Capítulo 5. Neumotórax y derrame pleural

*Dra. Alejandra Sánchez Cruz*

*Dr. Alejandro Alberto Peñarrieta Daher*

## INTRODUCCIÓN

El ultrasonido desempeña un papel importante en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades pulmonares neonatales, se puede realizar de manera fácil y oportuna al lado de la cama del paciente sin exposición a radiación. En neumotórax y derrame pleural las manifestaciones clínicas pueden ser muy agudas y requerir una intervención rápida para restaurar las funciones vitales normales, por lo que el UP ofrece mayor utilidad frente a las radiografías cuando se trata del diagnóstico, evaluación, guía del procedimiento para resolverlo y la observación seriada de estos padecimientos. En ambos representa el estándar de oro para diagnóstico y manejo en la neonatología moderna.

## NEUMOTÓRAX

### Introducción

El neumotórax (NTX) es el síndrome de fuga de aire más común que se presenta en el periodo neonatal. Se clasifica como neumotórax espontáneo (primario) y neumotórax secundario. La primera respiración en el RN produce una presión transpulmonar alta para abrir los alvéolos que se encuentran colapsados en el útero. El neumotórax espontáneo ocurre debido a una transición alterada que conduce a la persistencia de la presión transpulmonar incrementada durante más tiempo. El NTX secundario ocurre en RN con patología pulmonar.<sup>1</sup>

En el periodo neonatal se considera una emergencia y se asocia con una morbilidad y mortalidad significativa; es más común en los primeros 3 días de vida. Pro-

voca aumento en la presión intratorácica con un retorno venoso reducido, hipoxia e hipercapnia, lo que puede poner en peligro la vida. En RN prematuros, se ha asociado con un aumento del riesgo de hemorragia intraventricular (HIV) y muerte.

Los factores de riesgo más importantes asociados con neumotórax son prematuridad y ventilación mecánica. Otros, incluyen SDR, neumonía, hipoplasia pulmonar, uso de ventilación con presión positiva durante la reanimación y CPAP.<sup>1</sup> Al minuto, la puntuación de Apgar  $\leq 7$  fue asociada con mayor riesgo de NTX. El aumento de la presión inspiratoria máxima (PIP) durante la ventilación mecánica convencional de 1 cm H<sub>2</sub>O aumenta las probabilidades de NTX en 1.46 (IC 95 %, 1.02–2.07).<sup>2</sup> La incidencia de NTX en RN con < 2500 g de peso al nacer aumenta casi 10 veces en comparación con aquellos con peso  $\geq 2500$  g. En particular, el NTX se asocia con un aumento de la mortalidad, con una razón de posibilidades de 5.27 (IC 95 %, 1.96–14.17).<sup>3</sup> Apiliogullari y colaboradores informaron que la mortalidad agregada fue tan alta como el 30 % en los pacientes con NTX, mientras que los sobrevivientes también tuvieron una mayor tasa de DBP.<sup>4</sup>

El NTX es causado por una acumulación de aire dentro de la cavidad pleural.<sup>5,6</sup> Puede conducir clínicamente a complicaciones importantes como hipoxemia, aumento del trabajo respiratorio, hipercapnia, necesidad de evacuación, choque obstructivo, hipotensión e incluso la muerte. Las tasas de NTX sintomático son más altas durante el periodo neonatal con estimaciones del 0.05 % al 0.1 % entre todos los nacidos vivos. En cohortes de RN prematuros, a término y tardíos, las tasas de diagnóstico radiográfico de neumotórax informadas varían del 1 % al 2 %. La prevalen-

cia de neumotórax varía según la edad gestacional, oscilando entre el 4 % en el prematuro temprano, el 2.6 % en el prematuro moderado-tardío y el 6.7 % en los RN a término. Estas pueden cambiar debido al curso obstétrico, perinatal, clínico y estrategias de manejo.<sup>5</sup> El diagnóstico temprano y el tratamiento del neumotórax neonatal es esencial para reducir la morbilidad, mortalidad y las complicaciones.<sup>1</sup>

Las manifestaciones clínicas pueden ser muy agudas y requerir una rápida intervención para restaurar las funciones vitales normales. Habitualmente el diagnóstico se realiza por la clínica del paciente y radiografía de tórax.<sup>1,5,7</sup> Sin embargo, las radiografías de tórax exponen a los niños a la radiación y el diagnóstico de neumotórax pequeños puede ser un desafío.<sup>8</sup>

El NTX clínicamente relevante se puede diagnosticar con una disminución del flujo de aire a la auscultación, campos pulmonares hiperlúcidos en la transiluminación con luz fría y/o la identificación de la línea pleural visceral que limita el pulmón (hipolúcido) y el aire en el espacio pleural (hiperlúcido) en la radiografía de tórax.<sup>9</sup> El manejo se realiza con toracocentesis o colocación de sonda de toracostomía.<sup>7</sup> Desafortunadamente, la precisión diagnóstica de estos métodos es incierta, en especial para los RN más prematuros, y la radiografía para el diagnóstico de un neumotórax es precisa si éste es grande, pero suele llevar mucho tiempo.<sup>10</sup> La transiluminación de tórax permite la detección rápida de NTX junto a la cama. Sin embargo, este método tiene sus límites debido a la posibilidad de resultados falsos positivos o negativos y es menos preciso que la radiografía y el ultrasonido.<sup>11</sup> Este enfoque puede conducir potencialmente a un retraso tanto en el diagnóstico como en el tratamiento.<sup>12</sup> En medicina de urgencia de adultos, se ha introducido el UP para ayudar a los médicos en el manejo de situaciones potencialmente críticas.<sup>10</sup>

El uso del UP para el diagnóstico de NTX junto con la toracocentesis guiada por ecografía dan como resul-

tado un tratamiento más temprano y preciso.<sup>12</sup> El UP realizado en RN a término asintomáticos muestra que la incidencia de leves NTX en estos pacientes puede llegar a ser del 10 %.<sup>12</sup> Por esta razón, el UP puede ser extremadamente útil en esta condición ya que se ha demostrado que reduce el tiempo de diagnóstico y ayuda a realizar el drenaje pleural.<sup>6</sup> El UP está reemplazando a las radiografías de tórax en el diagnóstico de NTX debido a su sensibilidad y especificidad superiores. Por otra parte, se ha demostrado que es más preciso que las radiografías de tórax, incluso para NTX pequeños.<sup>12</sup>

### Características del ultrasonido pulmonar

Los signos del UP en NTX se estudiaron y describieron por Lichtenstein y colaboradores en pacientes adultos críticos, a los pacientes con sospecha diagnóstica se les realizó ultrasonido y TAC.<sup>13</sup> Se ha descrito la utilidad del UP para diagnosticar NTX en RN, en ellos la TAC no se pudo utilizar como punto de referencia, por lo que se comparó con los hallazgos de la radiografía de tórax y el examen clínico. En los estudios del Dr. Liu y el Dr. Cattarossi se incluyeron RN con deterioro repentino de su estado respiratorio, donde se realizó el UP antes o después de la radiografía de tórax. La precisión diagnóstica mostró una sensibilidad del 100 %, una especificidad del 100 %, un VPP del 100 % y un VPN del 100 %.<sup>11-13</sup> Cattarossi y colaboradores realizaron un estudio para comparar la sensibilidad y especificidad utilizando tres técnicas de imagen. Ambas fueron del 100 % con el UP, del 96 y 100 % para las radiografías de tórax y del 87 y 96 % para la transiluminación de tórax.<sup>11</sup> El tiempo medio para realizar las pruebas de diagnóstico en estos estudios fue de  $5.3 \pm 5.6$  minutos para UP versus  $19 \pm 11.7$  para una radiografía de tórax.<sup>11</sup>

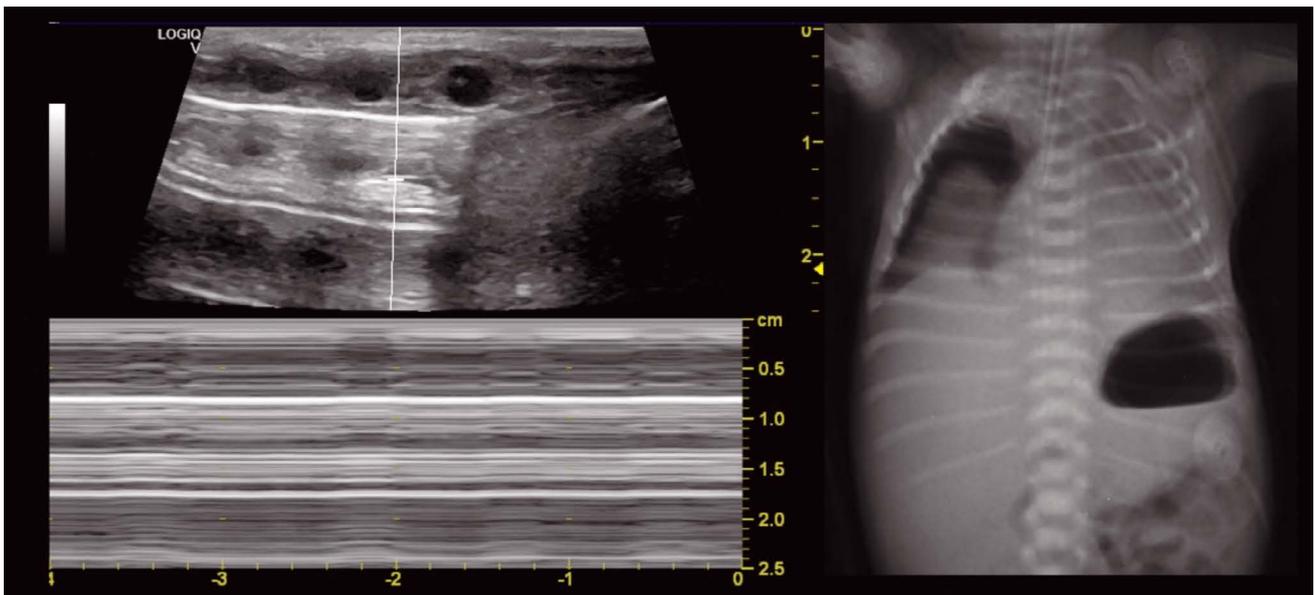
La diferencia más importante se ha observado en la monitorización del NTX, con un número significativamente menor de radiografías realizadas tras la introducción del ultrasonido.<sup>8</sup>

## Signos del ultrasonido pulmonar en neumotórax (Video 15)

- 1) **Desaparición del deslizamiento pleural. Video 15.** Es el signo más importante del diagnóstico de NTX.<sup>12</sup> El deslizamiento del pulmón representa un movimiento rítmico regular sincronizado con la respiración que ocurre entre la pleura parietal y visceral, ambas en aposición directa. No se observa en el momento en que el aire se estratifica entre las dos capas pleurales.<sup>11</sup> La presencia de aire entre la pleura parietal y visceral suprime el deslizamiento pulmonar en el modo B. En un grupo de estudio de 43 NTX y 68 controles sanos, la sensibilidad y especificidad fue del 95.3 % y del 91.1 % con VPN del 100 %.<sup>14,15</sup>
- 2) **Ausencia de Líneas B.** Las Líneas B no se observan, puesto que se originan a partir de la pleura visceral. Cuando están presentes, tienen el 100 % de VPN de neumotórax.

- 3) **Presencia de línea pleural y Líneas A.** Se puede descartar el NTX si estas líneas desaparecen.<sup>16</sup>
- 4) **Signo de “código de barras o de la estratósfera”.** En las imágenes en modo M, el signo de “la playa” es reemplazado por este signo que es muy específico para NTX (Figura 25).<sup>12,14</sup>
- 5) Presencia del **punto pulmonar.** Aparece en NTX leve a moderado, puede no ser evidente si el NTX es total (a tensión).<sup>15,16</sup> Representa la zona de transición entre el pulmón normal (pulmón deslizante) y anormal (pulmón no deslizante). El punto pulmonar se refiere a la ausencia de cualquier pulmón deslizante adyacente a un área de deslizamiento, lo que representa el límite físico del neumotórax. En NTX grave, los puntos pulmonares están ausentes, lo que en consecuencia disminuye la sensibilidad del signo al 75 % (Figura 26).<sup>11,12</sup>

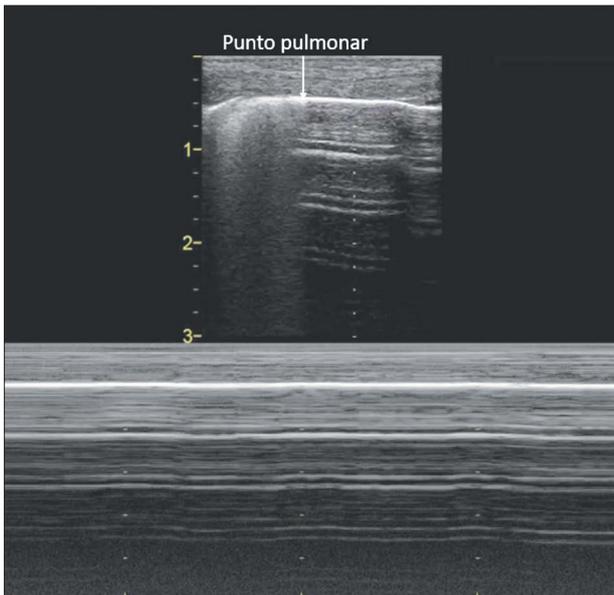
El volumen del neumotórax se puede clasificar por UP como se menciona:



F25

Neumotórax a tensión con ausencia de deslizamiento pleural, Líneas A ninguna línea B. En este caso no hay punto pulmonar. Modo M muestra signo del código de barras.

Archivo clínico Dr. Ibarra, 2018.



**F26** Neumotórax inferior que muestra el signo del punto pulmonar que identifica el pulmón aireado o con edema (común en SDR) y el neumotórax.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

1. La sonda se coloca paralela a las costillas en el tórax anterior y lateral dependiendo de la extensión del NTX.
2. El punto pulmonar, donde coexisten el deslizamiento normal del pulmón y NTX en una sola vista, indica un límite entre el aire y el borde del pulmón, se detecta con precisión y se ubica en la superficie del tórax.
3. El tamaño del NTX se estima identificando y localizando el punto pulmonar en los diferentes espacios intercostales. Cuando estos puntos se alinean, también se perfila el contorno del NTX.
4. La extensión del NTX permite una evaluación semicuantitativa del volumen y, por lo tanto, discrimina con precisión entre formas grandes y leves.<sup>17</sup> Zhang y colaboradores clasificaron el tamaño del NTX en pequeño (< 30 %), mediano (30-70 %) y grande (> 70 %).<sup>18</sup>

## Minisello y sello pleural

Teniendo en cuenta que en los lactantes con NTX a tensión la aguja se coloca a ciegas en el segundo espacio intercostal en la línea medioclavicular, no es de extrañar que el tratamiento fracase o se complique.<sup>19</sup> Por otro lado, la toracocentesis realizada bajo la guía del UP ha mostrado resultados prometedores en lactantes.<sup>16</sup>

La expansión pulmonar puede ir seguida de un UP que monitorice la desaparición de los puntos pulmonares y aparición del deslizamiento pleural. Por lo tanto, es una excelente herramienta para evidenciar la recurrencia de NTX sin exposición a radiación ionizante.<sup>11</sup>

La curva de aprendizaje del UP es corta e incluso los operadores principiantes tienen una alta confiabilidad en el diagnóstico neonatal en comparación con uno experimentado.<sup>11,20</sup> Por lo tanto, el UP debe incluirse en el estudio diagnóstico cuando se sospecha NTX en un RN.<sup>11</sup>

Existen limitaciones de este método, que causan resultados falsos positivos o negativos, se debe tomar en cuenta en pacientes con edema de la pared torácica, aire subcutáneo en la pared torácica, neumomediastino o enfisema pulmonar intersticial severo. La radiografía de tórax también es imperfecta y puede subestimar una proporción sustancial de casos (neumotórax oculto). La creciente aceptación del UP ha hecho que se recomiende en lugar de la radiografía en determinadas situaciones, incluido el paro cardíaco (Capítulo 9), el paciente inestable, el neumotórax radio-oculto y en las áreas de recursos limitados.<sup>8</sup>

## DERRAME PLEURAL

### Introducción

La acumulación de líquido en el espacio pleural es una manifestación común de un amplio espectro de enfer-

medades en el periodo perinatal.<sup>21</sup> El derrame pleural (DP) se define como la acumulación de líquido en el espacio pleural, entre la pleura parietal de la pared torácica y la pleura visceral del pulmón. Se mantiene un volumen constante mínimo de líquido que permite el deslizamiento entre ambas pleuras; el excedente es reabsorbido por los linfáticos. Cualquier cambio de la presión hidrostática venosa pulmonar, la presión linfática, la presión oncótica sanguínea y el traumatismo o inflamación tisular local conducirán a un DP, este puede ser de diversa naturaleza, congénita o adquirida. Se han descrito causas como derrame paraneumónico, empiema, quilotórax, hidrotórax, hemotórax, fuga de líquido por vía central o nutrición parenteral. La incidencia es rara, y puede oscilar desde 2.2 a 5.5 por cada 10 000 nacimientos.<sup>21</sup> El DP puede ocurrir en cualquier momento durante el periodo neonatal, al nacer o prenatalmente y es diagnosticado por ultrasonido. Puede ser asintomático o provocar dificultad respiratoria. La radiografía de tórax y el UP son útiles en el reconocimiento del líquido pleural. El diagnóstico preciso de la etiología es importante para el tratamiento posterior. Por lo tanto, es obligatoria la toracocentesis para el análisis del líquido pleural.<sup>22</sup> En una serie de 38 RN con DP, 16 pacientes (42 %) tenían causas congénitas y 22 pacientes (58 %) tenían causas adquiridas. Se observó un resultado significativamente peor con hidropesía fetal, parto prematuro < 34 SDEG y defectos asociados. No se observó ninguna recurrencia del derrame pleural durante un año de seguimiento.<sup>21</sup>

El pronóstico atribuido al DP depende de las características del paciente y puede modificarse mediante una intervención perinatal. El enfoque estructurado y el tratamiento multidisciplinario juegan un papel clave en la mejora del pronóstico.<sup>21</sup>

El UP en el punto de atención eclipsa a las radiografías cuando se trata del diagnóstico, evaluación, guía del procedimiento y la observación seriada del DP. La aplicación clínica del UP tiene un enorme potencial desde el manejo en la sala de partos de hidrops

fetal, permitiendo la demarcación anatómica segura del movimiento del diafragma, la orientación del posicionamiento y la profundidad de la paracentesis. Con el UP se puede realizar la evaluación tridimensional longitudinal de la función de los catéteres intercostales (complicaciones de bloqueo o desplazamiento) y orientación sobre el momento de la extracción con resolución clínica, que de otro modo exigiría radiografías seriadas y posiblemente un manejo no deseado para el paciente.<sup>23</sup>

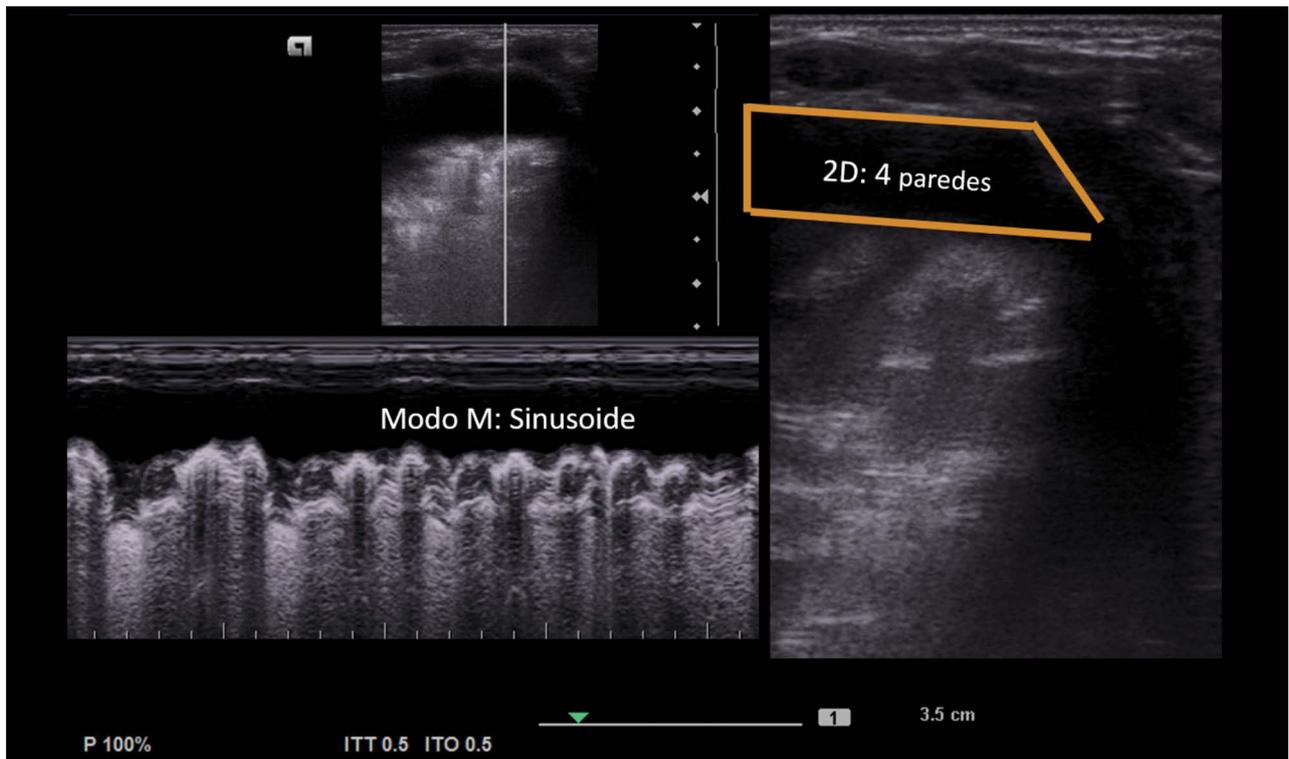
## Características del ultrasonido pulmonar

La detección del DP por radiografías de tórax requiere un mínimo de 150 mL de líquido, y el UP puede detectar derrames tan pequeños como 5-10 mL. En un estudio donde se evaluó el uso de UP, se demostró que fue más sensible y específico que las radiografías de tórax para diagnosticar derrames pleurales, del 93 y 83 %, respectivamente. El ultrasonido también es útil para distinguir entre trasudado (derrame simple) y exudado (derrame complejo) basándose en la ausencia o presencia de los elementos celulares ecoicos.<sup>6</sup>

El DP es fácilmente identificable con el UP, apareciendo como un área anecoica que separa las dos láminas pleurales y comprime el pulmón (ausencia del "signo del murciélago").<sup>23</sup> La aparición de líquido en el espacio pleural neonatal sigue las mismas reglas descritas en la literatura de adultos. El líquido es anecoico (negro) y se acumula en las zonas declives. Los límites anatómicos típicos que rodean el derrame en un paciente de pie son la línea de la superficie pulmonar, el interior de la pared torácica y el diafragma. Este fenómeno se debe a las fuerzas gravitacionales.<sup>6</sup>

Signos en el UP (ver **Video 16**):

1. **Signo de la medusa.** Si el pulmón está comprimido por el líquido, se creará un aleteo pulmonar o "signo de medusa".<sup>16</sup>



F27 Signo de las 4 paredes en 2D y "signo del sinusoide" en Modo M.  
 Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2018.

2. **Signo sinusoide.** En el modo M, con cada ciclo respiratorio, la línea de la superficie pulmonar se moverá hacia la línea pleural creando un "signo sinusoide".<sup>16</sup> Un derrame pleural en un tórax rígido, que rodea un órgano aireado que se infla, sigue esta regla. Esto genera un signo dinámico, la variación respiratoria de la distancia entre pleuras. En la inspiración, esta distancia disminuye: la línea pulmonar se mueve hacia la línea pleural. Este signo indica el aumento inspiratorio del tamaño del pulmón, extendiendo la acumulación de líquido. A medida que el pulmón se mueve hacia un eje "núcleo-superficie", el patrón, en modo M, es sinusoide. Este signo, también bastante específico del DP, es por tanto ligeramente redundante con el signo de cuatro paredes. Es principalmente relevante en dos casos: en exámenes difíciles, cuando

el signo de cuatro paredes no es fácil de probar y en derrames muy viscosos o septados, el signo sinusoide está ausente (Figura 27).<sup>24</sup>

3. **Signo de la cortina.** Otro signo común es el movimiento del pulmón aireado sobre el derrame pleural durante la inspiración. La imagen parece desvanecerse con la inspiración, se debe a que el pulmón en expansión se interpone brevemente entre la sonda y el derrame, creando así el "signo de la cortina".<sup>16</sup>
4. **Signo de cuatro paredes.** En pacientes en decúbito supino, la sonda ecográfica colocada sobre la línea axilar posterior y dirigida hacia el centro creará un "signo de cuatro paredes" si hay DP. Este signo tiene cuatro límites: el borde superior es la línea pleural, los bordes laterales se crean mediante el sombreado posterior adyacente de las costillas

y el borde inferior que pertenece a la línea de superficie pulmonar.<sup>16</sup> Este es el único signo estático que usamos. El borde profundo, que es siempre regular y casi paralelo a la línea pleural (15°), representa la superficie pulmonar, la cual es siempre regular. Esta línea se llamó línea pulmonar, un marcador de ultrasonido de la pleura visceral. La línea pulmonar es visible cuando la pleura visceral está separada de la pleura parietal por una estructura que permite la transmisión de ultrasonidos, es decir, un derrame de líquido. En sujetos sanos, la línea pulmonar es virtual, haciendo que la pleura parietal y visceral sean una sola línea (la pleural) (Figura 27).<sup>24</sup>

5. Un derrame pleural suprime el deslizamiento pulmonar, incluso un derrame milimétrico.<sup>24</sup>

El signo de las **cuatro paredes** y **sinusoide** confirman el DP con una especificidad del 97 % cuando el estándar de oro utilizado es la extracción de líquido pleural. La sensibilidad y la especificidad son del 93 % comparado con la TAC. Se pueden encontrar dificultades para distinguir los fluidos ecoicos de las consolidaciones pulmonares anecoicas y necrosantes, los cuales van disminuyendo de acuerdo con la experiencia del operador.<sup>24</sup>

## Toracocentesis

La toracocentesis guiada por UP combinada con drenaje es una terapia eficaz y segura para tratar DP grave y se ha utilizado ampliamente en adultos, pero no en RN. La guía por UP ayuda a localizar e identificar el sitio de punción pleural y evitar la perforación de órganos vecinos. El sitio de punción suele ser el punto más profundo de líquido en el ultrasonido y se realiza de la siguiente manera:

- a. El RN puede colocarse en decúbito supino o lateral, con la parte superior del cuerpo ligeramente elevada que permite que el líquido se acumule debido a la gravedad en el punto más bajo del es-

pacio pleural. (Si es posible, se puede colocar al paciente en una posición sentada erguida con la ayuda de un asistente).

- b. La aguja debe insertarse en el espacio intercostal en el margen superior de la costilla inferior para no dañar el haz neurovascular. Durante el drenaje, el lugar de la punción se puede cambiar según la posición del líquido pleural y su cantidad.<sup>14</sup>

El Cuadro 5 muestra los elementos para hacer diagnóstico diferencial entre exudado y trasudado tras la obtención de líquido pleural.

La Figura 28 muestra un caso de quilotórax congénito. Medicina Materno-Fetal detectó colección de líquido en el tercer trimestre. La radiografía inicial no fue muy concluyente, pero con el ultrasonido se delimitó la colección y se realizó drenaje, mandando a estudiar el líquido corroborando quilotórax congénito.

## Conclusiones

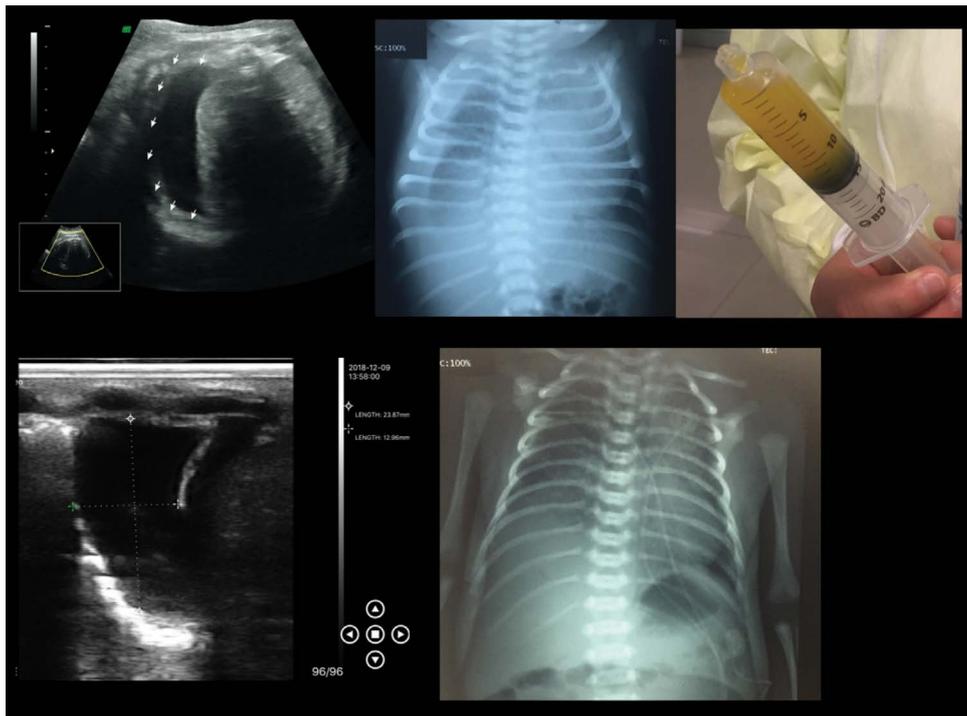
El UP es una herramienta fundamental para el diagnóstico y tratamiento del NTX y el DP. Los signos radiológicos para diagnosticar un NTX son desaparición del deslizamiento pleural, ausencia de Líneas B (una sola descarta el diagnóstico), presencia de Líneas A y al hacer modo M el signo de "código de barras o de la estratosfera". El punto pulmonar representa la zona de transición entre el pulmón normal deslizante y anormal no deslizante; puede no ser evidente si el NTX es a tensión. El UP tiene mejor sensibilidad y especificidad que la radiografía de tórax para NTX pequeños y se obtiene más rápido. En el DP se identifica la ausencia del signo del murciélago y la presencia del "signo de las 4 paredes" y la presencia del "signo sinusoides" al hacer modo M. La toracocentesis guiada por UP combinada con drenaje es una terapia eficaz y segura.

Cuadro 5

Diagnóstico diferencial entre exudado y trasudado

Elemento	Exudado (Infecciones, neoplasias, quilotórax, traumático, posquirúrgico)	Trasudado (Insuficiencia cardiaca, síndrome nefrótico, falla hepática, hipotiroidismo, desnutrición grave)
Proteínas (g/dl)	> 3	< 3
Proteínas líquido pleural/ proteínas séricas	> 0.5	< 0.5
DHL (UI)	> 200 (> 2/3 niveles normales en sangre)	< 200 (< 2/3 niveles normales en sangre)
Leucocitos (por $\mu$ L)	> 5000	< 1000
Eritrocitos (por $\mu$ L)	> 5000	< 5000
Glucosa (mg/dL)	> 40	< 40
pH	> 7.3	< 7.4
Colesterol (mg/dL)	> 60	< 60

Modificado de: Antón-Pacheco Sánchez JL, Luna Paredes MC, Gimeno Díaz de Atauri A. Derrame pleural no paraneumónico, quilotórax, hemotórax y mediastinitis. Protoc diagn ter pediatr. 2017;1:211-219.



F28

**Quilotórax congénito** Medicina Materno-Fetal detectó colección de líquido en el tercer trimestre. La radiografía inicial no fue muy concluyente, pero con el ultrasonido se delimitó la colección y se realizó drenaje, se envió a estudiar el líquido, que corroboró quilotórax congénito.

Archivo clínico Dr. Ibarra, 2018. Imágenes fetales cortesía de la Dra. Karina Arroyo Álvarez, Medicina Materno Fetal.

## REFERENCIAS

1. Joshi A, Kumar M, Rebekah G, Santhanam S. Etiology, clinical profile and outcome of neonatal pneumothorax in tertiary care center in South India: 13 years experience. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2020;1-5. doi:10.1080/14767058.2020.1727880
2. Aly H, Massaro A, Acun C, Ozen M. Pneumothorax in the newborn: clinical presentation, risk factors and outcomes. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2014;27(4):402-406. doi:10.3109/14767058.2013.818114
3. Hadzic D, Skokic F, Husaric E, Alihodzic H, Softic D, Kovacevic D. Risk factors and outcome of neonatal pneumothorax in Tuzla Canton. *Mater Sociomed.* 2019;31(1):66-70. doi:10.5455/msm.2019.31.66-70
4. Apiliogullari B, Sunam GS, Ceran S, Koc H. Evaluation of neonatal pneumothorax. *J Int Med Res.* 2011;39(6):2436-40. doi:10.1177/147323001103900645. PMID: 22289564.
5. Duong HH, Mirea L, Shah PS, Yang J, Lee SK, Sankaran K. Pneumothorax in neonates: Trends, predictors and outcomes. *J Neonatal Perinatal Med.* 2014;7(1):29-38. doi:10.3233/NPM-1473813
6. Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol.* 2020;55(7):1550-1562. doi:10.1002/ppul.24792
7. Smith J, Schumacher RE, Donn SM, Sarkar S. Clinical course of symptomatic spontaneous pneumothorax in term and late preterm newborns: report from a large cohort. *Am J Perinatol.* 2011;28(2):163-168. doi:10.1055/s-0030-1263300
8. Szymońska I, Wentrys Ł, Jagła M, et al. Lung ultrasound reduces the number of chest X-rays in newborns with pneumothorax. *Dev Period Med.* 2019;23(3):172-177.
9. Buonocore G, Bracci R, Weindling M. *Neonatology: A Practical Approach to Neonatal Diseases.* 2nd. ed. Italy: Springer; 2018. Doi:10.1007/978-3-319-29489-6.
10. Raimondi F, Rodriguez Fanjul J, Aversa S, et al. Lung Ultrasound for Diagnosing Pneumothorax in the Critically Ill Neonate. *J Pediatr.* 2016;175:74-78.e1. doi:10.1016/j.jpeds.2016.04.018
11. Cattarossi L, Copetti R, Brusa G, Pintaldi S. Lung Ultrasound Diagnostic Accuracy in Neonatal Pneumothorax. *Can Respir J.* 2016;2016:6515069. doi:10.1155/2016/6515069
12. Liu J, Kurepa D, Feletti F, et al. International Expert Consensus and Recommendations for Neonatal Pneumothorax Ultrasound Diagnosis and Ultrasound-guided Thoracocentesis Procedure. *J Vis Exp.* 2020;(157):10.3791/60836. doi:10.3791/60836
13. Lichtenstein DA, Mezière G, Lascols N, et al. Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax. *Crit Care Med.* 2005;33(6):1231-1238. doi:10.1097/01.ccm.0000164542.86954.b4
14. Liu J, Xia RM, Ren XL, Li JJ. The new application of point-of-care lung ultrasound in guiding or assisting neonatal severe lung disease treatment based on a case series [published online ahead of print, 2019 Mar 21]. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2019;1-9.
15. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest.* 1995;108(5):1345-1348. doi:10.1378/chest.108.5.1345
16. Kurepa D, Zaghloul N, Watkins L, Liu J. Neonatal lung ultrasound exam guidelines. *J Perinatol.* 2018;38(1):11-22. doi:10.1038/jp.2017.140
17. Deng BY, Li N, Wu WS, et al. Use of Neonatal Lung Ultrasound for the Early Detection of Pneumothorax. *Am J Perinatol.* 2020;37(9):907-913. doi:10.1055/s-0039-1688999
18. Zhang M, Liu ZH, Yang JX, et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care.* 2006;10(4):R112. doi:10.1186/cc5004
19. Bruschetti M, Romantsik O, Zappettini S, O'Donnell CP, Calevo MG. Needle aspiration versus intercostal tube drainage for pneumothorax in the newborn. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;2(2):CD011724. doi:10.1002/14651858.CD011724.pub3
20. 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(9):1549-1554. doi:10.7863/ultra.15.14.08016
21. Wang LS, Wang HY, Zhou WH. Mid-term follow-up of neonatal pleural effusion. *Indian Pediatr.* 2014;51(6):487-489.
22. Shih YT, Su PH, Chen JY, Lee IC, Hu JM, Chang HP. Common etiologies of neonatal pleural effusion. *Pediatr Neonatol.* 2011;52(5):251-255.
23. Woods PL. Utility of lung ultrasound scanning in neonatology. *Arch Dis Child Epub.* 2018;0:1-7.
24. Lichtenstein D. *Lung Ultrasound in the Critically Ill. The BLUE Protocol.* Suiza: Springer; 2016.

# Capítulo 6. Ultrasonido pulmonar en ventilación mecánica y displasia broncopulmonar

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dra. Dina Villanueva García

Dra. Alejandra Sánchez Cruz

## INTRODUCCIÓN

La Displasia Broncopulmonar (DBP), definida como la necesidad de suplemento de oxígeno a las 36 SDEG, es la causa más frecuente de morbilidad pulmonar con un mayor riesgo de mortalidad en los RN Extremadamente Prematuros (RNEP). Aproximadamente el 40 % de los RN entre 22 y 28 SDEG son diagnosticados con DBP. Se caracteriza por alteración en el desarrollo pulmonar y sus efectos persisten hasta la edad adulta con altos costos en salud. Es desencadenada en el pulmón inmaduro por toxicidad del oxígeno, impacto de la ventilación mecánica, complicaciones infecciosas, nutrición inadecuada, Conducto Arterioso Permeable (CAP) y respuesta inflamatoria sostenida; con una amplia remodelación de la matriz extracelular, fibrosis, apoptosis y alteración en la señalización de factores de crecimiento (disminución en la alveolarización). En los últimos 20 años el avance en el desarrollo de medicamentos para prevenir o tratar la DBP ha sido un objetivo importante de la atención neonatal. El UP es una herramienta que puede ser útil tanto para la ventilación como para el seguimiento del neonato que desarrolla DBP. Se refiere al lector al capítulo "Nuevas Perspectivas en Displasia Broncopulmonar" en esta serie. En este capítulo nos enfocaremos en el uso del UP para monitorizar la ventilación, predecir y diagnosticar la DBP.

## UP EN VENTILACIÓN MECÁNICA

En el 2014 el Dr. Francesco Raimondi estudió 54 neonatos con una media de  $32.5 \pm 2.6$  SDEG y peso al nacimiento de  $1\ 703 \pm 583$  g para investigar la

persistencia de "pulmón blanco" para predecir falla a la ventilación no invasiva (ventilación nasal). Los neonatos con SDR moderado se estabilizaron y se realizó un UP a las 2 horas y un investigador cegado lo clasificó como tipo 1 (pulmón blanco), tipo 2 (prevalencia de Líneas B) o tipo 3 (prevalencia de Líneas A). Las radiografías de tórax se clasificaron en 4 tipos de acuerdo con la clasificación conocida en 4 grados de SDR.<sup>1</sup> Un tipo 1 mostró una sensibilidad del 88.9 %, especificidad del 100 %, VPP del 100 % y VPN del 94.7 %. La radiografía de tórax (que se clasificó como grado 1 en el 72 %) mostró una sensibilidad del 38.9 %, especificidad del 77.8 %, VPP del 46.7 %, y VPN del 71.8 %.<sup>2</sup>

En el 2016 el Dr. Javier Rodríguez Fanjul reclutó 105 neonatos ingresados a la UCIN mayores de 32 SDEG no intubados. Se clasificó el UP cegado a la condición clínica como bajo riesgo (normal o retención de líquido pulmonar fetal) o alto riesgo (Déficit de surfactante, aspiración de meconio, neumotórax o neumonía). Un segundo investigador realizó lo mismo con la radiografía de tórax. Se definió falla respiratoria como la necesidad de intubación el primer día de vida. 35.2 % fueron de alto riesgo. Como predictores de falla respiratoria el UP y la radiografía tuvieron un índice alto de concordancia  $\kappa$  0.91 (IC 95 %, 0.83-1,  $p < 0.01$ ). El UP presentó una sensibilidad de 95 %, especificidad de 82.5 % y un VPN de 98.5 % como predictor de ventilación mecánica.<sup>3</sup>

En el 2015 la Dra. Laura Martelius demostró en 34 neonatos haciendo UP y mediciones de la distensibilidad estática a las 0-4 y 24 horas que existió una disminución de Líneas B y un incremento en la distensibilidad; aunque no existió correlación entre la

escala semicuantitativa y la distensibilidad en estos neonatos sanos, se concluyó que reflejaba la absorción de líquido.<sup>4</sup>

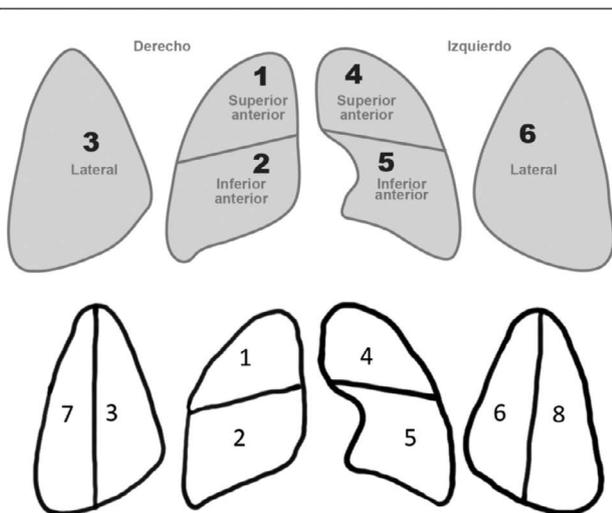
El Dr. Belaïd Bouhemad propuso en 2015 una metodología para el monitoreo de pacientes ventilados analizando 6 zonas en cada pulmón (anterior, media y posterior superior e inferior) dando un puntaje normal (0), Líneas B separadas (1), Líneas B coalescentes (2) y consolidación (3).<sup>5</sup> La Figura 29 muestra el esquema utilizado en las valoraciones del HIMFG con un abordaje similar. Utilizando la misma escala el Dr. Mohamed Adel Eltomey en Egipto estudió 40 neonatos ingresados a la UCIN ingresados por distintas causas de dificultad respiratoria realizando un ultrasonido al ingreso, después de intubar y antes de extubar. Encontraron un puntaje menor o igual a 14 con una sensibilidad del 85 % y una especificidad del 100 % para poder cambiar de Asisto Control (AC) a Sincronizado Intermitente (SIMV) con un ABC de 0.98 ( $p < 0.001$ ) y un puntaje igual o menor a 6 mostró una sensibilidad del 97.5 % y una espe-

cificidad del 100 % con un ABC de 0.96 ( $p < 0.001$ ) para extubación exitosa.<sup>6</sup>

En el 2011 se publicó el caso de una lactante menor de 2 meses con bronquiolitis en la cual se realizaron maniobras de reclutamiento guiadas por UP.<sup>7</sup> Se ha descrito el UP como una herramienta efectiva para guiar maniobras de reclutamiento en niños<sup>8</sup> y reportes de casos neonatales en hernia diafrágica.<sup>9</sup>

Las maniobras de reclutamiento son esenciales para proteger el pulmón. Es muy importante establecer que el UP puede detectar mejoría, pero no sobredistensión. Como se mostró en el capítulo 3, en modelo animal neonatal se puede modificar el patrón de Líneas B tras el lavado broncoalveolar para depletar surfactante y simular el SDR por déficit de este al reclutar con alta frecuencia con volumen garantizado.<sup>10</sup> El **Video 17** muestra un exprematuro de 33 SDEG con 41 semanas corregidas estudiado por enfermedad meconial y atelectasias de repetición. Se muestran los cambios antes y después de nebulizaciones con acetilcisteína y maniobras de reclutamiento resolviendo atelectasia izquierda.

De Jaegere y colaboradores en Holanda analizaron maniobras de reclutamiento en alta frecuencia con un protocolo establecido<sup>11</sup> en 69 neonatos antes y 39 neonatos después de manejo con surfactante. Dos radiólogos pediatras analizaron el grado de radiolucidez en la radiografía de tórax. Al utilizar maniobras de reclutamiento individualizadas, guiadas por el aporte de oxígeno se observó sobredistensión leve a moderada en 9 pacientes (24 %) y solamente 4 (6 %) desarrollaron fuga aérea.<sup>12</sup> Esto demuestra que el riesgo de sobredistensión significativa es bajo individualizando la estrategia del paciente. Una estrategia interesante si se cuenta con ecocardiografía funcional es vigilar el gasto cardiaco. En 2009 el Dr. Koert de Waal en Holanda estudió 34 neonatos prematuros con una media de 28 SDEG durante reclutamiento con VAFO demostrando que no existieron cambios relevantes en



**F29** Esquema utilizado en el HIMFG para las valoraciones del paciente crítico. Evalúa el torax anterior y lateral, pero puede extenderse a las regiones posteriores.

gasto cardiaco derecho, vena cava superior y conducto arterioso.<sup>13</sup> En Estados Unidos, el Dr. Oscar Ingaramo estudió 50 niños ventilados (rango de 1 mes a 20 meses) hemodinámicamente estables. Analizó cambios en el PEEP (0, 4, 8 y 12) y un monitor de gasto cardiaco (Doppler continuo). En estos encontró un descenso estadísticamente significativo al incrementar la presión al final de la espiración de 0 a 12 cm H<sub>2</sub>O aunque este fue menor del 10 % y no clínicamente significativo.<sup>14</sup> Finalmente, en 2016 en Italia, la Dra. Emmanuela Zannin estudió 13 neonatos en VAFO con una edad gestacional media de 26 SDEG (RIC 25.3-29.1) estudiando la relación del gasto cardiaco derecho durante reclutamiento. La presión media de la vía aérea se incrementó a partir de 8 cmH<sub>2</sub>O de 2 en 2 cada 5 minutos hasta una presión máxima donde se logró estabilidad y disminución de FiO<sub>2</sub> con saturaciones objetivo del 88 al 94 % con un decremento hasta que se afectara la oxigenación o se regresara a los 8 cmH<sub>2</sub>O. A la máxima presión alcanzada 19(1) cm H<sub>2</sub>O la oxigenación mejoró significativamente disminuyendo el GCD en un 30 % sin ser clínicamente significativo ya que en solo uno de los neonatos el gasto fue menor a 150 mL/kg/min.<sup>15</sup>

Por lo anterior, se puede recomendar una estrategia de reclutamiento individualizado que puede ser documentada por UP y es conveniente tener una radiografía de tórax para monitorizar sobredistensión. Si se cuenta con ecocardiografía funcional la vigilancia del gasto cardiaco derecho podría ser un indicador sensible de sobredistensión. El **Video 18** muestra diferentes pacientes en los cuales se realizaron maniobras de reclutamiento guiadas por UP.

## DIAGNÓSTICO RADIOLÓGICO DE DBP

### Radiología

El Dr. Northway y colaboradores en 1967, describieron 4 etapas de la DBP: 1. Síndrome de dificul-

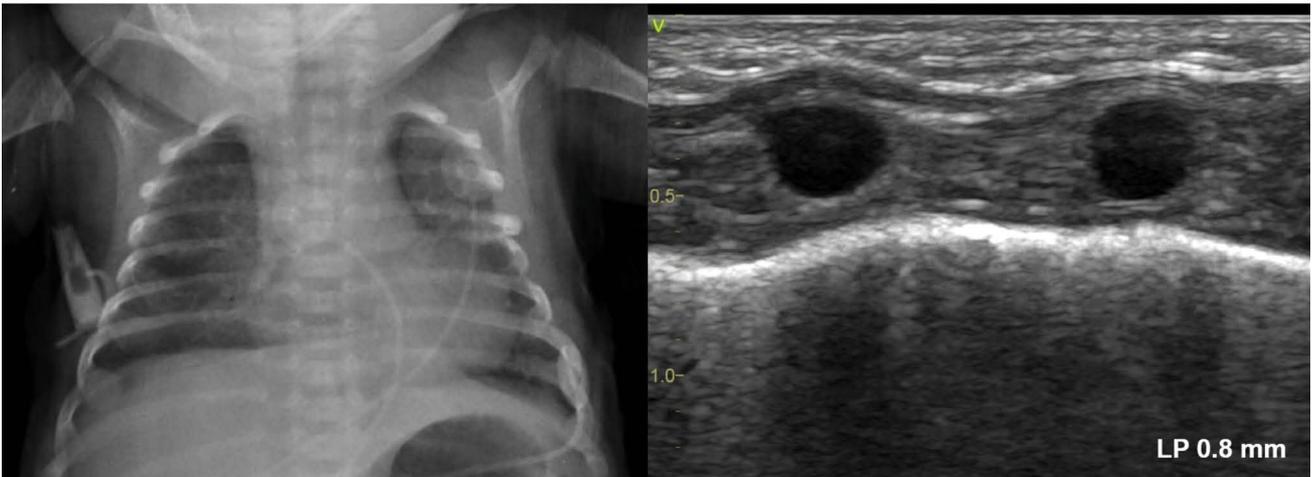
tad respiratoria (SDR), 2. Infiltrado difuso, 3. Patrón intersticial y 4. Atrapamiento de aire, hiperlucidez local alternada con opacidad difusa;<sup>16</sup> estas etapas corresponden con la progresión natural desde el SDR hasta el patrón patológico con metaplasia, atelectasias e hipertrofia muscular peribronquial y perivascular. Después de la introducción de la terapia con surfactante y técnica de ventilación gentil, el cuadro clínico y radiográfico de DBP ha cambiado. Incluso los RNEP sin dificultad respiratoria grave, poco después del nacimiento pueden desarrollar signos progresivos de insuficiencia respiratoria, necesidad de administración de suplemento de O<sub>2</sub> y radiografía de tórax anormal durante las primeras semanas de vida. Dos patrones radiográficos se han presentado: opacidades difusas pulmonares principalmente debido a daño capilar y edema pulmonar (síndrome de pulmón poroso *Leaky lung syndrome*) y cambios quísticos (*bubbly*). La interpretación de las radiografías es un reto. La TAC de alta resolución se ha utilizado en estudios recientes que evalúan la gravedad de la DBP en niños de mayor edad.

### Ultrasonido pulmonar

Con la metodología transtorácica descrita en este texto el Dr. Luigi Catarrosi en 2013 describió los hallazgos en DBP como: **línea pleural engrosada** (generalmente  $\geq 0.5$  mm) e **irregular**, con un patrón no homogéneo con áreas de **Líneas B coalescentes alterando con áreas respetadas**, así como consolidaciones subpleurales de tamaño variable.<sup>17</sup> La Figura 30 muestra la radiografía de tórax y UP de un paciente con DBP leve a moderada establecida. La Figura 31 muestra la radiografía de tórax y UP de un paciente con DBP severa e hipertensión arterial pulmonar. El **Video 19** muestra una comparación entre ambos.

### UP para predecir el desarrollo de DBP

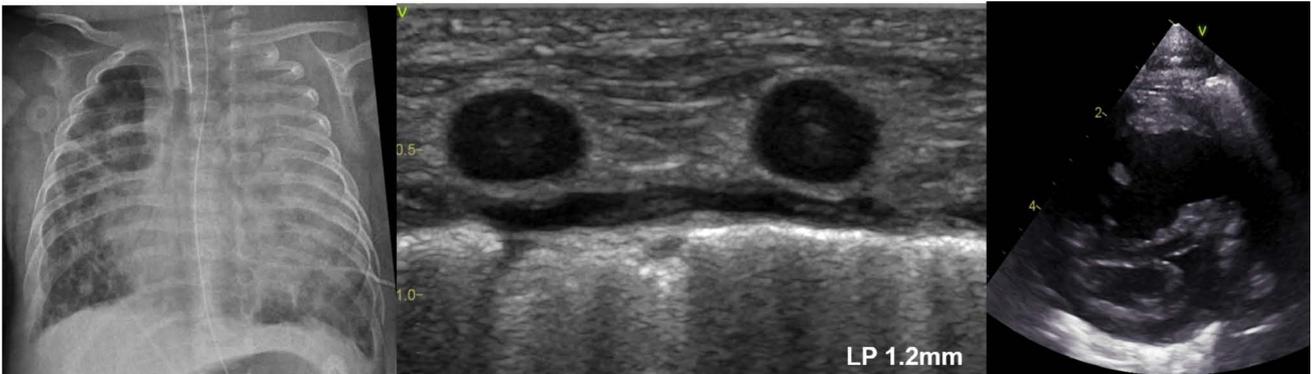
En radiografía de tórax el Dr. Hye-Rim Kim estudió 304 neonatos encontrando que un patrón intersticial



F30

DBP leve a moderada con engrosamiento de la línea pleural y síndrome intersticial.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.



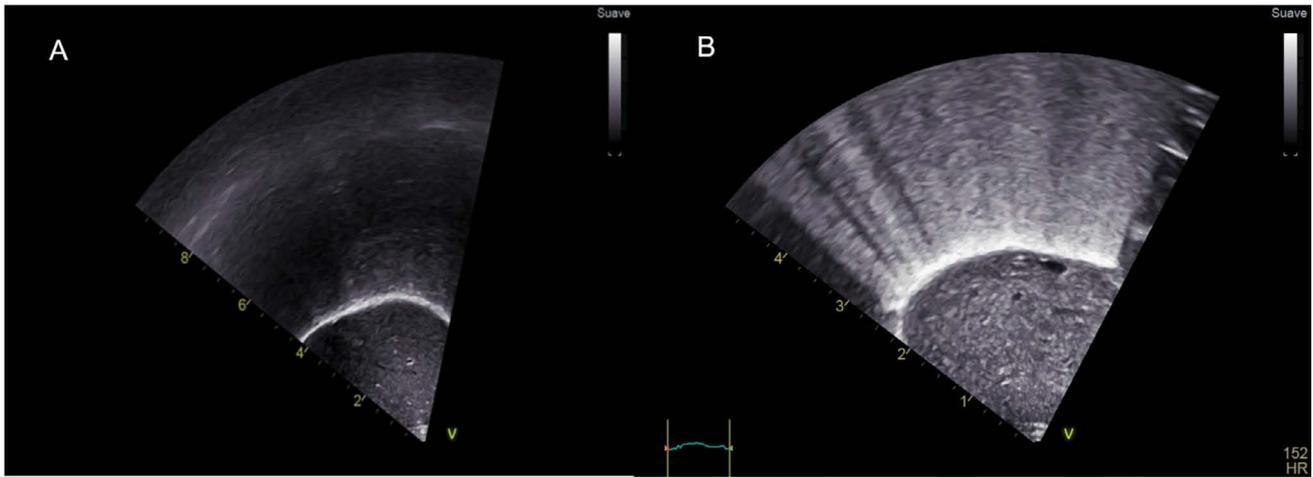
F31

DBP severa con engrosamiento de la línea pleural, línea pleural irregular y síndrome intersticial, así como broncograma de colapso. En el ecocardiograma septo paradójico en sístole y dilatación del ventrículo derecho.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

en la radiografía de tórax (analizado cegado al estatus clínico por dos radiólogos) predijo DBP o muerte con una especificidad del 98 %; esta imagen intersticial al día 7 se asoció con corioamnionitis histológica con un OR de 3.7 (95 %IC, 1.3-10.3).<sup>18</sup> También se ha utilizado para la predicción de DBP un timo pequeño

(pensando en la relación con corioamnionitis) medido por la relación entre el diámetro cardiotorácico a nivel de la carina indizado por el diámetro torácico. De Felice y colaboradores encontraron una relación de  $< 0.28$  al nacimiento predijo DBP con una sensibilidad del 94 %, especificidad del 98 %.<sup>19</sup>



F32

La hiperecogenicidad retrohepática (B) se ve en déficit de surfactante y posteriormente se resuelve (A) La persistencia (B) es anormal y se ha relacionado con el desarrollo de DBP.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.

Existen 3 estudios iniciales (Pieper, Avni, Ahua) con un pequeño tamaño de muestra que estudiaron el valor predictivo del UP en neonatos con deficiencia de surfactante. Los tres utilizaron un abordaje transabdominal utilizando el hígado como ventana acústica y evaluando la persistencia de la hiperecogenicidad retro diafragmática. Esta hiperecogenicidad aparece cuando hay déficit de surfactante la cual se puede resolver o evolucionar a un patrón no homogéneo de hiperecogenicidad variable (La Figura 32 muestra este abordaje). Se encontró con Pieper en Sudáfrica (36 pacientes)<sup>20</sup> al día 9 y Avni en Bélgica (98 pacientes)<sup>21</sup> al día 18 la ausencia de la hiperecogenicidad con un VPN para DBP cercano al 95 %. Ahuja y colaboradores en la India demostraron que encontrar hiperecogenicidad al día 14 tenía una exactitud de 94 % para diagnosticar el desarrollo de DBP.<sup>22</sup>

En el 2014, el Dr. Jin Liu estudió 50 neonatos clínicamente diagnosticados como displásicos encontrando 9 casos de atelectasia, 4 de neumonía, 2 de edema pulmonar importante y 3 de edema pulmonar con consolidaciones; proponiendo que el UP puede servir para hacer diagnóstico diferencial de

la causa de necesidad de oxígeno prolongado en esta población.<sup>23</sup>

Dos estudios (Abdelmawla y Alonso-Ojembarrena) para la predicción de DBP utilizaron la escala propuesta por la Dra. Roselyne Brat<sup>24</sup> en abordaje trans-torácico revisada en el Capítulo 2. En 2018, el Dr. Mohamed Abdelmawla del grupo de Winnipeg estudió 27 neonatos menores de 30 SDEG realizando UP entre la semana 1 y 9 posnatal como parte de la evaluación de la dificultad respiratoria. 14 desarrollaron DBP (34 estudios) y 13 no desarrollaron DBP (30 estudios). Posteriormente se analizaron de manera cegada al estatus clínico por dos investigadores independientes. La edad media postnatal cuando se realizó el UP fue a la semana 5.<sup>2-8</sup> Los que desarrollaron DBP tuvieron un puntaje medio (RIC) de 9 (6-12) contra 3 (1-4) de quienes no la desarrollaron. Encontraron que un puntaje de corte de 6 tuvo una sensibilidad de 76 % y especificidad del 97 % con VPP del 95 % y VPN del 82 % (ABC del 0.95). Agregando el factor de ser menor de 27 SDEG incrementó la sensibilidad a 86 y especificidad al 98 % con un VPP del 97 % y VPN del 88 %.<sup>25</sup>

En 2019 la Dra. Almudena Alonso-Ojembarrena, en España, estudió prospectivamente 59 neonatos de muy bajo peso al nacimiento realizando UP a las 24 horas, 72 horas y semanalmente hasta que cumplieron 36 SDEG. Encontró diferencias significativas entre el grupo con DBP ( $n = 21$ ) del grupo sin displasia ( $n = 38$ ) siendo el puntaje del último grupo menor a la semana 1, 2, 3, 4 y 36 corregidas. Una escala de 5 o más a la semana 1 predijo DBP con una sensibilidad de 71 % y especificidad del 80 %, VPP del 71 %, VPN del 79 % (ABC de 0.8); de la misma manera una escala de 5 o más a los 14 días tuvo una sensibilidad del 74 % y especificidad del 100 %, VPP del 100 %, VPN del 78 % (ABC 0.93). Una escala mayor a 4 a las 4 semanas predijo DBP de moderada a grave con una sensibilidad del 100 %, especificidad del 80 %, VPP del 50 %, VPN del 100 % (ABC de 0.89).<sup>26</sup>

Finalmente, en España el Dr. Ignacio Oulego-Eroz en 42 neonatos <32 SDEG (29 en el grupo sin DBP y 13 en el grupo de DBP) con la misma escala que la Dra. Brat pero en 4 regiones (dos anteriores y dos posteriores) realizaron UP al día 7 y 28. Un puntaje de 8 o más predijo DBP con una sensibilidad del 93 % y una especificidad del 91 %, ABC 0.94 (95 % IC: 0.87-1). En análisis multivariado el puntaje de UP estuvo independientemente asociado con DBP con un OR de 2.1 (IC 95 % 1.1-3.9,  $p = 0.002$  por cada punto adicional en la escala.<sup>27</sup> Es importante mencionar el estudio del Dr. Deepak Louis y colaboradores en el cual se analizó la posición prona versus supina en neonatos  $\geq 29$  SDEG con dificultad respiratoria (retención de líquido pulmonar fetal del 53 %, déficit de surfactante del 41 %). Compararon la escala semicuantitativa en prono y en supino encontrando que era posible realizarla en ambas posiciones con puntajes mayores inmediatamente al cambiar de posición (recordando que el líquido sigue las reglas de la gravedad) pero equiparándose tras 1 hora del cambio de posición;<sup>28</sup> por lo anterior se recomienda esperar una hora tras el cambio de posición para te-

ner una adecuada valoración del grado de edema ya que si en una misma medición se toman campos anteriores y posteriores, invariablemente los posteriores tendrán un puntaje más alto.

En 2020, en China, se publicó el trabajo del Dr. Shu-qiang Gao y colaboradores que analizaron datos clínicos y ultrasonográficos (tomados una vez por semana desde el nacimiento) en 81 neonatos  $\leq 29$  SDEG. El grupo con displasia ( $n = 32$ ) tuvo una mayor incidencia áreas de consolidación subpleural (broncograma de colapso con interrupción de la línea pleural que llamaron "debris") con un OR de 21.8 (IC95%: 2.63-181.  $p=0.0043$ ) para desarrollar DBP.<sup>29</sup>

Actualmente la Dra. Patricia Woods está llevando a cabo un estudio prospectivo donde se estudiarán 100 prematuros valorando el valor predictivo del UP para el desarrollo de DBP (medición fisiológica con la prueba de Shift) en neonatos con déficit de surfactante menores a 28 SDEG (AC-TRN12617000208303).

## UP para ayudar al tratamiento de la DBP

Las escalas anteriormente mencionadas pueden ayudar a predecir la población con más riesgo a desarrollar DBP e identificar a aquellos que pueden beneficiarse de esteroides post natales sobre todo para lograr una extubación exitosa. La dexametasona es efectiva para prevenir la aparición de DBP; sin embargo, los efectos adversos en el neurodesarrollo (incluyendo parálisis cerebral infantil) se deben tomar muy en cuenta. Se recomiendan dosis bajas de dexametasona (esquema DART<sup>30</sup>) solo en aquellos neonatos que excedan el 60 % de riesgo de presentar displasia moderada a severa y muerte de acuerdo con la calculadora de riesgo de la NICHD (<https://neonatal.rti.org/index.cfm>).<sup>31,32</sup> El UP es útil en el seguimiento de paciente ventilados para asegurar un adecuado reclutamiento y detectar oportunamente complicaciones.<sup>33,34</sup>

El uso de diuréticos es controversial, si bien producen mejoría a corto plazo de la función pulmonar, no han mostrado mejoría a largo plazo en la mortalidad, duración de la necesidad de oxígeno, duración de la estancia intrahospitalaria y re-hospitalizaciones. Es recomendada la valoración ecocardiográfica y los diuréticos pueden ser primera línea de tratamiento en aquellos con hipertensión pulmonar crónica o dilatación del ventrículo derecho.<sup>35,36</sup>

## ENFERMEDADES PULMONARES INTERSTICIALES CON PRESENTACIÓN TEMPRANA Y UP

La enfermedad pulmonar intersticial es un grupo raro de enfermedades crónicas respiratorias. En el 2007 se realizó una clasificación para ayudar a los clínicos a su reconocimiento y diagnóstico.<sup>37</sup> Existe un grupo de enfermedades que se puede presentar en el periodo neonatal. El Cuadro 6 enlista las patologías más prevalentes en la infancia temprana.<sup>38</sup>

Se debe tener alto índice de sospecha en caso con taquipnea y requerimiento de oxígeno prolongado para realizar una historia clínica y exploración física detallada. La TAC y la broncoscopia con lavado bronco alveolar y toma de biopsia, así como análisis genético ayudan a hacer el diagnóstico. En caso de incertidumbre es necesario realizar una biopsia de pulmón.<sup>39</sup>

El UP puede ser útil para el seguimiento de estos padecimientos. La Dra. Emilia Urbankowska siguió 20 niños con el diagnóstico de taquipnea persistente de la infancia (dentro del espectro de enfermedades intersticiales crónicas de la infancia) encontró que el UP tuvo una correlación significativa con la TAC de alta resolución.<sup>40</sup>

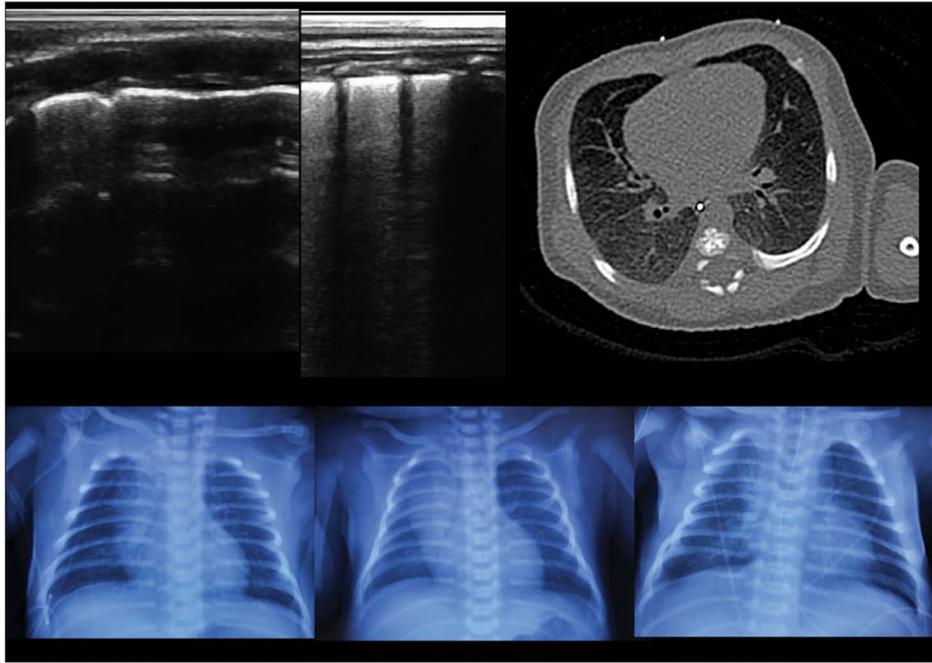
Las Figuras 33 y 34 y **Video 20** muestran el caso de una lactante menor con taquipnea prolongada y dependencia de oxígeno que se estudió por enfermedad pulmonar intersticial con biopsia pulmonar compatible con deficiencia de proteína B de surfac-

### Cuadro 6

#### Clasificación de Enfermedades pulmonares Intersticiales en la Infancia de presentación temprana

- Trastornos difusos del desarrollo
  - a) Displasia alveolocapilar con desalineación de venas pulmonares
  - b) Displasia alveolar congénita
  - c) Displasia acinar
- Condiciones específicas de etiología no definida
  - a) Hiperplasia neuroendocrina de la infancia
  - b) Glucogenosis pulmonar intersticial
- Desórdenes de disfunción del surfactante
  - a) Deficiencia de proteína B
  - b) Deficiencia de proteína C
  - c) Mutación ABCA3
  - d) Histología compatible con déficit de surfactante sin etiología genética.
- Alteraciones del desarrollo que reflejan alveolarización deficiente
  - a) Hipoplasia pulmonar
  - b) Displasia broncopulmonar
  - c) Anomalías relacionadas a cardiopatías congénitas o alteraciones cromosómicas

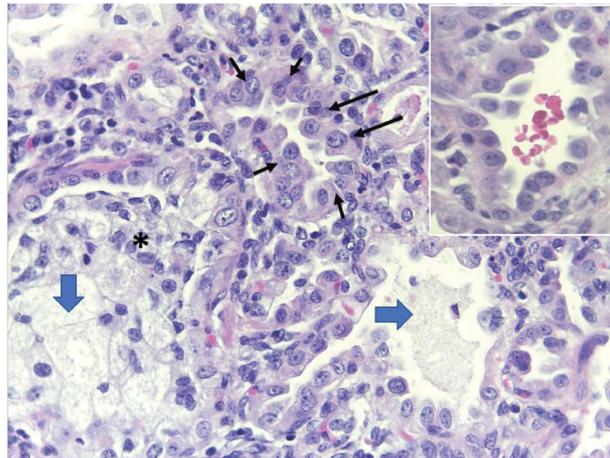
Adaptado de: Arzuaga B, Mathai T, Khan O. Children's Interstitial Lung Diseases in Early Infancy NeoReviews. 2013, 14 (11) e562-e566. doi: <https://doi.org/10.1542/neo.14-11-e562>



F33

Lactante menor con taquipnea prolongada y dependencia de oxígeno que se estudió por enfermedad pulmonar intersticial con biopsia pulmonar compatible con Deficiencia de Proteína B del surfactante. El UP tuvo una progresión del síndrome intersticial a intersticial/alveolar severo. Por incertidumbre diagnóstica se realizó biopsia de pulmón.

Archivo clínico Dr. Ibarra, 2019.



F34

Deficiencia de Proteína B de surfactante. Se observa hiperplasia y prominencia de neumocitos tipo 2, que rodean por completo la pared del alveolo (flecha negra), espacios alveolares ocupados por material basófilo proteináceo (flecha azul), así como abundantes macrófagos de citoplasma mico-vacuolado (\*). Recuadro con ampliación de alveolos con prominentes neumocitos hiperplásicos de aspecto de "tachuela", característico de deficiencia de surfactante.

(Imágenes cortesía del Dr. Serrano Bello. Patología HIMFG). Biopsia Dr. Stanislaw Sadowinski Pine.

tante. El UP documentó una progresión del síndrome intersticial a intersticial/alveolar grave.

## CONCLUSIONES

El UP en DBP se caracteriza por una línea pleural engrosada (generalmente  $\geq 0.5$  mm) e irregular, con un patrón no homogéneo con áreas de Líneas B coalescentes alterando con áreas respetadas, así como consolidaciones subpleurales de tamaño variable. Se pueden realizar maniobras de ventilación protectora como es el reclutamiento alveolar guiados por UP. Se han estudiado diversos puntos de corte con escalas semicuantitativas para poder predecir el desarrollo de DBP. El UP es útil en el seguimiento y detección de las Enfermedades Pulmonares Intersticiales en la Infancia de presentación temprana.

## REFERENCIAS

1. Arthur R. The neonatal chest X-ray. *Paediatr Respir Rev.* 2001;2(4):311-323. doi:10.1053/prrv.2001.0169
2. Raimondi F, Migliari F, Sodano A, et al. Use of neonatal chest ultrasound to predict noninvasive ventilation failure. *Pediatrics.* 2014;134(4):e1089-e1094. doi:10.1542/peds.2013-3924
3. Rodríguez-Fanjul J, Balcells C, Aldecoa-Bilbao V, Moreno J, Iriando M. Lung Ultrasound as a Predictor of Mechanical Ventilation in Neonates Older than 32 Weeks. *Neonatology.* 2016;110(3):198-203. doi:10.1159/000445932
4. Martelius L, Suvári L, Janér C, et al. Lung Ultrasound and Static Lung Compliance during Postnatal Adaptation in Healthy Term Infants. *Neonatology.* 2015;108(4):287-292. doi:10.1159/000438453
5. Bouhemad B, Mongodi S, Via G, Rouquette I. Ultrasound for "Lung Monitoring" of Ventilated Patients. *Anesthesiology.* 2015;122(2):437-447. doi:10.1097/aln.0000000000000558
6. Eltomey MA, Shehata AH, Nassar MAE, et al. Can lung ultrasound assist in the decision of weaning mechanically ventilated neonates?. *Egypt J Radiol Nucl Med.* 2019;50:47. <https://doi.org/10.1186/s43055-019-0055-2>
7. Santuz P, Bonetti P, Serra A, Biban P. Ultrasound-guided lung recruitment in a young infant with ARDS. *Paediatr Anaesth.* 2010;20(9):895-896. doi:10.1111/j.1460-9592.2010.03379.x

8. Tusman G, Acosta CM, Böhm SH, et al. Postural lung recruitment assessed by lung ultrasound in mechanically ventilated children. *Crit Ultrasound J.* 2017;9(1):22. doi:10.1186/s13089-017-0073-0
9. Del Rey Hurtado de Mendoza B, Sanchez-de-Toledo J, Rodríguez-Fanjul J. Chest ultrasound for guiding lung recruitment maneuvers. *Ecografía torácica para guiar maniobras de reclutamiento pulmonar.* *Med Intensiva.* 2018;42(8):e20. doi:10.1016/j.medin.2017.07.001
10. Sánchez Luna M, Santos González M, Tendillo Cortijo F. High-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee in a neonatal animal model of respiratory distress syndrome. *Crit Care Res Pract.* 2013;2013:593915. doi:10.1155/2013/593915
11. De Jaegere A, van Veenendaal MB, Michiels A, van Kaam AH. Lung recruitment using oxygenation during open lung high-frequency ventilation in preterm infants. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006;174(6):639-645. doi:10.1164/rccm.200603-351OC
12. De Jaegere AP, Deurloo EE, van Rijn RR, Offringa M, van Kaam AH. Individualized lung recruitment during high-frequency ventilation in preterm infants is not associated with lung hyperinflation and air leaks. *Eur J Pediatr.* 2016;175(8):1085-1090. doi:10.1007/s00431-016-2744-4
13. de Waal K, Evans N, van der Lee J, van Kaam A. Effect of lung recruitment on pulmonary, systemic, and ductal blood flow in preterm infants. *J Pediatr.* 2009;154(5):651-655. doi:10.1016/j.jpeds.2009.01.012
14. Ingaramo OA, Ngo T, Khemani RG, Newth CJ. Impact of positive end-expiratory pressure on cardiac index measured by ultrasound cardiac output monitor\*. *Pediatr Crit Care Med.* 2014;15(1):15-20. doi:10.1097/PCC.0b013e3182976251
15. Zannin E, Doni D, Ventura ML, et al. Relationship between Mean Airways Pressure, Lung Mechanics, and Right Ventricular Output during High-Frequency Oscillatory Ventilation in Infants. *J Pediatr.* 2017;180:110-115. doi:10.1016/j.jpeds.2016.09.015
16. Northway WH Jr, Rosan RC, Porter DY. Pulmonary disease following respirator therapy of hyaline-membrane disease. Bronchopulmonary dysplasia. *N Engl J Med.* 1967;276(7):357-368. doi:10.1056/NEJM196702162760701
17. Cattarossi L. Lung ultrasound: its role in neonatology and pediatrics. *Early Hum Dev.* 2013;89(Suppl 1):S17-S19. doi:10.1016/S0378-3782(13)70006-9
18. Kim HR, Kim JY, Yun B, Lee B, Choi CW, Kim BI. Interstitial pneumonia pattern on day 7 chest radiograph predicts bronchopulmonary dysplasia in preterm infants. *BMC Pediatr.* 2017;17(1):125. Published 2017 May 15. doi:10.1186/s12887-017-0881-1
19. De Felice C, Latini G, Del Vecchio A, Toti P, Bagnoli F, Petraglia F. Small thymus at birth: a predictive radiographic sign

- of bronchopulmonary dysplasia. *Pediatrics*. 2002;110(2 Pt 1):386-388. doi:10.1542/peds.110.2.386
20. Pieper CH, Smith J, Brand EJ. The value of ultrasound examination of the lungs in predicting bronchopulmonary dysplasia. *Pediatr Radiol*. 2004;34(3):227-231. doi:10.1007/s00247-003-1102-7
  21. Avni EF, Cassart M, de Maertelaer V, Rypens F, Vermeylen D, Gevenois PA. Sonographic prediction of chronic lung disease in the premature undergoing mechanical ventilation. *Pediatr Radiol*. 1996;26(7):463-469. doi:10.1007/BF01377203
  22. Ahuja CK, Saxena AK, Sodhi KS, Kumar P, Khandelwal N. Role of transabdominal ultrasound of lung bases and follow-up in premature neonates with respiratory distress soon after birth. *Indian J Radiol Imaging*. 2012;22:279-83. DOI: 10.4103/0971-3026.111480
  23. Liu J, Chen SW, Liu F, et al. BPD, Not BPD, or iatrogenic BPD: findings of lung ultrasound examinations. *Medicine (Baltimore)*. 2014;93(23):e133. doi:10.1097/MD.000000000000133
  24. Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, De Luca D. Lung Ultrasonography Score to Evaluate Oxygenation and Surfactant Need in Neonates Treated With Continuous Positive Airway Pressure. *JAMA Pediatr*. 2015;169(8):e151797. doi:10.1001/jamapediatrics.2015.1797
  25. Abdelmawla M, Louis D, Narvey M, Elsayed Y. A Lung Ultrasound Severity Score Predicts Chronic Lung Disease in Preterm Infants. *Am J Perinatol*. 2019;36(13):1357-1361. doi:10.1055/s-0038-1676975
  26. Alonso-Ojembarrena A, Lubián-López SP. Lung ultrasound score as early predictor of bronchopulmonary dysplasia in very low birth weight infants. *Pediatr Pulmonol*. 2019;54(9):1404-1409. doi:10.1002/ppul.24410
  27. Oulego-Erroz I, Alonso-Quintela P, Terroba-Seara S, Jiménez-González A, Rodríguez-Blanco S. Early assessment of lung aeration using an ultrasound score as a biomarker of developing bronchopulmonary dysplasia: a prospective observational study [published online ahead of print, 2020 Jul 14]. *J Perinatol*. 2020;1-7. doi:10.1038/s41372-020-0724-z
  28. Louis D, Belen K, Farooqui M, et al. Prone versus Supine Position for Lung Ultrasound in Neonates with Respiratory Distress [published online ahead of print, 2019 Sep 3]. *Am J Perinatol*. 2019;10.1055/s-0039-1695776. doi:10.1055/s-0039-1695776
  29. Gao S, Xiao T, Ju R, Ma R, Zhang X, Dong W. The application value of lung ultrasound findings in preterm infants with bronchopulmonary dysplasia. *Transl Pediatr*. 2020;9(2):93-100. doi:10.21037/tp.2020.03.14
  30. Doyle LW, Davis PG, Morley CJ, McPhee A, Carlin JB; DART Study Investigators. Low-dose dexamethasone facilitates extubation among chronically ventilator-dependent infants: a multicenter, international, randomized, controlled trial. *Pediatrics*. 2006;117(1):75-83. doi:10.1542/peds.2004-2843
  31. Doyle LW, Halliday HL, Ehrenkranz RA, Davis PG, Sinclair JC. An update on the impact of postnatal systemic corticosteroids on mortality and cerebral palsy in preterm infants: effect modification by risk of bronchopulmonary dysplasia. *J Pediatr*. 2014;165(6):1258-1260. doi:10.1016/j.jpeds.2014.07.049
  32. Lemyre B, Dunn M, Thebaud B. Postnatal corticosteroids to prevent or treat bronchopulmonary dysplasia in preterm infants. *Paediatr Child Health*. 2020;25(5):322-331. doi:10.1093/pch/pxaa073
  33. Keszler M, Sant'Anna G. Mechanical Ventilation and Bronchopulmonary Dysplasia. *Clin Perinatol*. 2015;42(4):781-796. doi:10.1016/j.clp.2015.08.006
  34. Saugstad OD, Aune D. Optimal oxygenation of extremely low birth weight infants: a meta-analysis and systematic review of the oxygen saturation target studies. *Neonatology*. 2014;105(1):55-63. doi:10.1159/000356561
  35. Levy PT, Jain A, Nawaytuo H, et al. Risk Assessment and Monitoring of Chronic Pulmonary Hypertension in Premature Infants. *J Pediatr*. 2020;217:199-209.e4. doi:10.1016/j.jpeds.2019.10.034
  36. Neary E, Jain A. Right ventricular congestion in preterm neonates with chronic pulmonary hypertension. *J Perinatol*. 2018;38(12):1708-1710. doi:10.1038/s41372-018-0241-5
  37. Deutsch GH, Young LR, Deterding RR, et al. Diffuse lung disease in young children: application of a novel classification scheme. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;176(11):1120-1128. doi:10.1164/rccm.200703-393OC
  38. Arzuaga B, Mathai T, Khan O. Children's Interstitial Lung Diseases in Early Infancy NeoReviews. 2013, 14 (11) e562-e566; DOI: <https://doi.org/10.1542/neo.14-11-e562>
  39. Spagnolo P, Bush A. Interstitial Lung Disease in Children Younger Than 2 Years. *Pediatrics*. 2016;137(6):e20152725. doi:10.1542/peds.2015-2725
  40. Urbankowska E, Urbankowski T, Drobczyński Ł, et al. Lung ultrasound-a new diagnostic modality in persistent tachypnea of infancy. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(4):1028-1036. doi:10.1002/ppul.24654

# Capítulo 7. Malformaciones pulmonares

*Dra. Irma Viridiana Cruz Rodríguez*

*Dra. Alejandra Sánchez Cruz*

*Dr. Cristian Rubén Zalles Vidal*

*Dr. Daniel Ibarra Ríos*

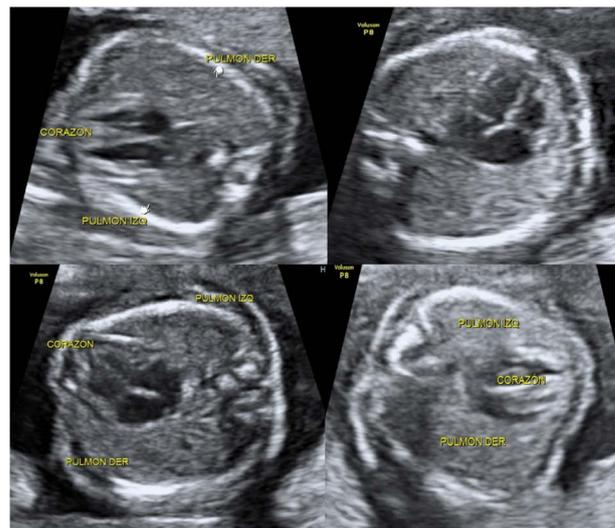
## INTRODUCCIÓN

El uso generalizado de la ecografía prenatal ha permitido que se diagnostiquen con mayor frecuencia malformaciones congénitas del pulmón, por lo que se considera una herramienta indispensable para el tratamiento y seguimiento del feto hasta el nacimiento. El Ultrasonido Pulmonar Prenatal (UPP) tiene alta sensibilidad para el diagnóstico de la mayoría de las malformaciones pulmonares, generalmente, son identificadas por los cambios que ocasionan en la ecogenicidad del parénquima pulmonar o por el efecto de masa que ejercen sobre el corazón. La imagen prenatal puede estar limitada debido a características propias de la madre o el feto, como obesidad materna, oligohidramnios, sombra acústica de los huesos que conforman el tórax y la posición fetal.

## ECOGRAFÍA PULMONAR FETAL NORMAL

La evaluación ecográfica del tórax fetal incluye la toma de tres cortes principales: axial, coronal y sagital. En condiciones normales se puede observar en el corte axial, la morfología redonda u ovalada del tórax fetal, con el corazón ubicado en la porción anterior izquierda del tórax, ocupando una tercera parte de este, el parénquima pulmonar rodeando el corazón y abarcando las dos terceras partes restantes del tórax (Figura 35). Inferiormente, los diafragmas tienen forma de cúpula y se aprecian hipoeocóicos (Figura 36). El parénquima pulmonar aparece homogéneo y ligeramente hiperecogénico en comparación con el hígado fetal, es importante men-

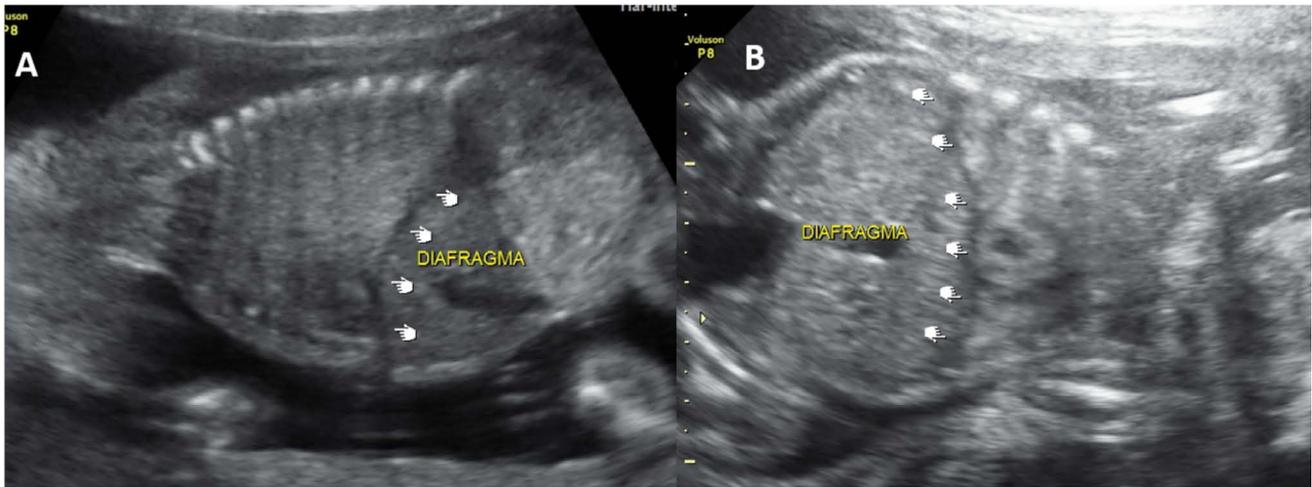
cionar que su ecogenicidad aumenta con la edad gestacional. En condiciones normales no es posible delimitar la vía aérea fetal con precisión en la ecografía prenatal. El volumen pulmonar fetal aumenta con la edad gestacional y el pulmón derecho mide típicamente el 56 % del volumen pulmonar total.<sup>1</sup> A lo largo del capítulo, se mencionarán los índices ecográficos pulmonares prenatales que pueden ayudar a determinar si la lesión disminuirá, estabilizará o continuará creciendo, según el momento del examen y la gravedad del efecto de masa.



F35

Anatomía normal del tórax fetal. Cortes axiales del tórax que muestran su forma redonda u ovalada habitual, con el corazón ubicado en la porción anterior izquierda y ocupando 1/3 del área torácica, alrededor de éste, se observa el parénquima pulmonar de ecogenicidad homogénea y abarcando los 2/3 restantes.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.



F36

Identificación del diafragma en el ultrasonido prenatal. Corte sagital (A) y coronal (B) del tórax y abdomen fetal que muestra una línea hipoeoica bajo los campos pulmonares en forma de cúpula característica del diafragma normal.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.

## Malformaciones pulmonares que requieren seguimiento

Las principales malformaciones fetales en las que la realización del UPP es indispensable incluyen:

- Malformación congénita pulmonar y de la vía aérea (MCPVA, anteriormente malformación adenomatoidea quística MAQ)
- Secuestro broncopulmonar (SBP)
- Lesiones híbridas
- Hernia diafragmática

## DIAGNÓSTICO POSNATAL

Cualquier diagnóstico prenatal necesita una confirmación posnatal y posteriormente un abordaje multidisciplinario para decidir el mejor manejo del paciente. Se deben tomar en cuenta indicadores prenatales (desplazamiento del mediastino, inversión diafragmática, relación de volumen de la malformación, polihidramnios, hidrotórax, hidropesía, etc.) y realizar una historia clínica y exploración física detallada que se puede acompañar de UP posnatal.

## MALFORMACIÓN CONGÉNITA PULMONAR Y DE LA VÍA AÉREA (MCPVA), SECUESTRO BRONCOPULMONAR (SBP) Y LESIONES HÍBRIDAS

### INTRODUCCIÓN

Gracias a los estudios histopatológicos y el seguimiento en el desarrollo prenatal, actualmente se comprende mejor la historia natural y etiología de estas malformaciones. Clements y Warne<sup>2</sup> proponen una teoría la cual intenta explicar las diversas malformaciones con base al tipo de tejido afectado y el tiempo en que se presenta esta agresión. Por ejemplo, una lesión temprana en la formación del bronquio principal y su irrigación terminaría produciendo una agenesia del pulmón, un lóbulo o segmento; una lesión tardía en la formación de los alveolos produciría enfisema lobar congénito. Una alteración en la conexión de bronquios, pero persistencia de un adecuado flujo sanguíneo podría pro-

ducir una MCPVA.<sup>3</sup> Por esta razón muchos patólogos prefieren describir las lesiones que usar clasificaciones que intentan encasillar estas alteraciones.

## MCPVA

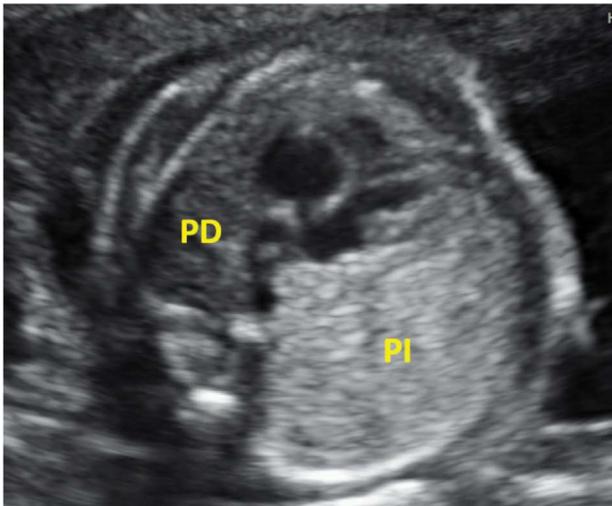
Ecográficamente es una malformación de aspecto variable, representa el 59 % de las lesiones pulmonares diagnosticadas prenatalmente y puede mostrarse como una tumoración bien limitada o por el contrario como una lesión de aspecto difuso. El principal signo para establecer el diagnóstico es el aspecto heterogéneo del parénquima pulmonar (Figura 37). Su incidencia aproximada es de un caso en 35 000 embarazos. Puede afectar cualquier lóbulo pulmonar, aunque es más común en el lóbulo inferior y el 80-95 % se presenta como una lesión unilobar. El diagnóstico prenatal se realiza generalmente en el segundo trimestre, aunque actualmen-

te se pueden detectar este tipo de lesiones incluso antes de las 16 SDEG, dado que cada vez más pacientes realizan oportunamente sus ultrasonidos prenatales y se cuenta con equipos de ultrasonido más sofisticados.<sup>4</sup>

En la etapa prenatal se clasifica como macroquística (26 %) o microquística (74 %).

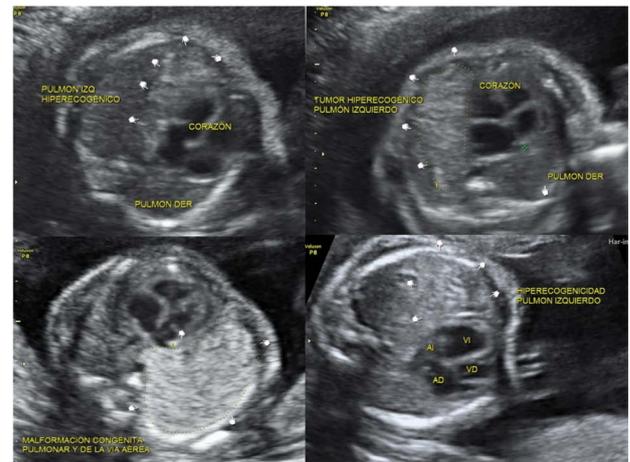
Los principales hallazgos ecográficos que sugieren MCPVA son:

- Macroquistes generalmente mayores a 5 mm de diámetro, rodeados de parénquima pulmonar hiperecogénico (**Video 21**).
- Masa homogénea de apariencia sólida, hiperecogénica en comparación con el parénquima pulmonar normal adyacente y compuesta por lesiones microquísticas menores a 5 mm de diámetro (Figura 38). Estas pueden ser más difíciles de



**F37** Hiperecogenicidad del parénquima pulmonar que hace sospechar la presencia de malformación pulmonar. Corte axial del tórax fetal que muestra un pulmón izquierdo (PI) hiperecogénico casi en su totalidad comparado con la ecogenicidad normal del pulmón derecho (PD).

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.



**F38** Malformación congénita pulmonar y de la vía aérea (MCPVA) microquística. Cortes axiales del tórax fetal que muestran una imagen homogénea de apariencia sólida, hiperecogénica en comparación con el resto del parénquima pulmonar normal adyacente y compuesta por lesiones microquísticas menores a 5 mm de diámetro.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.

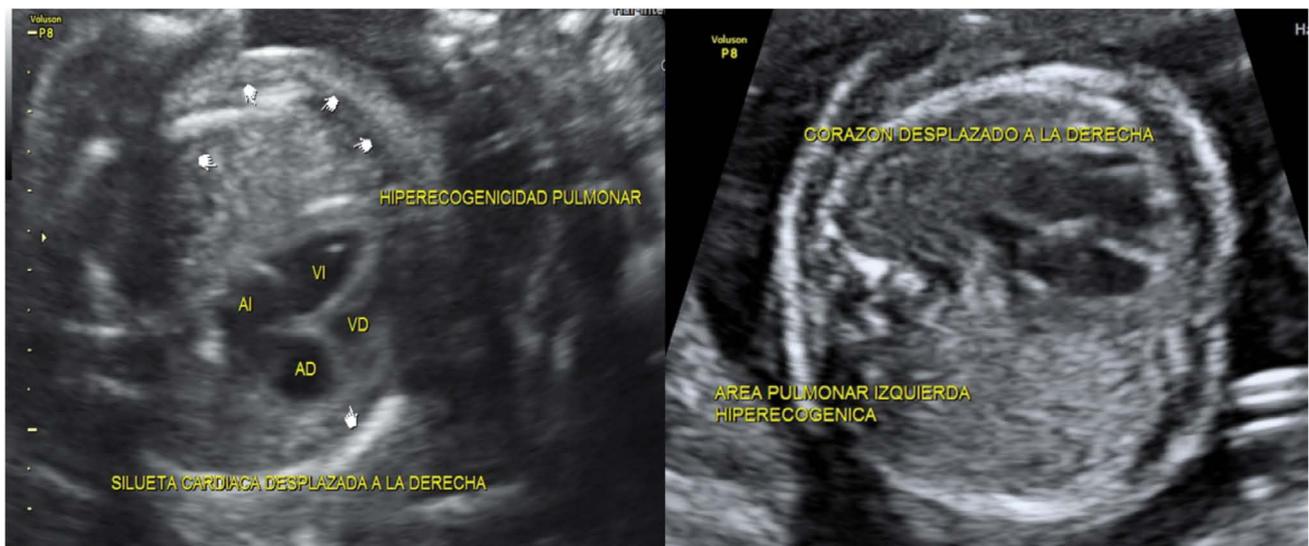
visualizar conforme progresa la gestación debido al aumento fisiológico de la ecogenicidad del pulmón normal circundante.

Cuando las lesiones son grandes es característico observar en el corte de 4 cámaras del corazón un desplazamiento de la silueta cardíaca y estructuras del mediastino hacia el lado contralateral. (Figura 39). De igual modo, puede observarse un aplastamiento del diafragma ipsilateral. Con el uso del Doppler color se debe observar ausencia de flujo sanguíneo entre el tumor y la circulación sistémica (aorta), pero si puede observarse flujo hacia la circulación pulmonar (Figura 40). Las lesiones presentan crecimiento activo durante la semana 20 a 28 de gestación, después de esto existe una estabilización en el crecimiento y hasta en un 15 % de los casos pueden disminuir de tamaño. En los casos en los que se presenta hidrops fetal, en las formas quísticas se puede realizar una toracocentesis fetal o colocación de drenaje toraco amniótico, este último ha demostrado mejores resultados.<sup>5</sup> En los

casos de lesiones tipo III (microquísticas), se ha empleado esteroides a altas dosis.<sup>6</sup>

## SECUESTRO BRONCOPULMONAR (SBP)

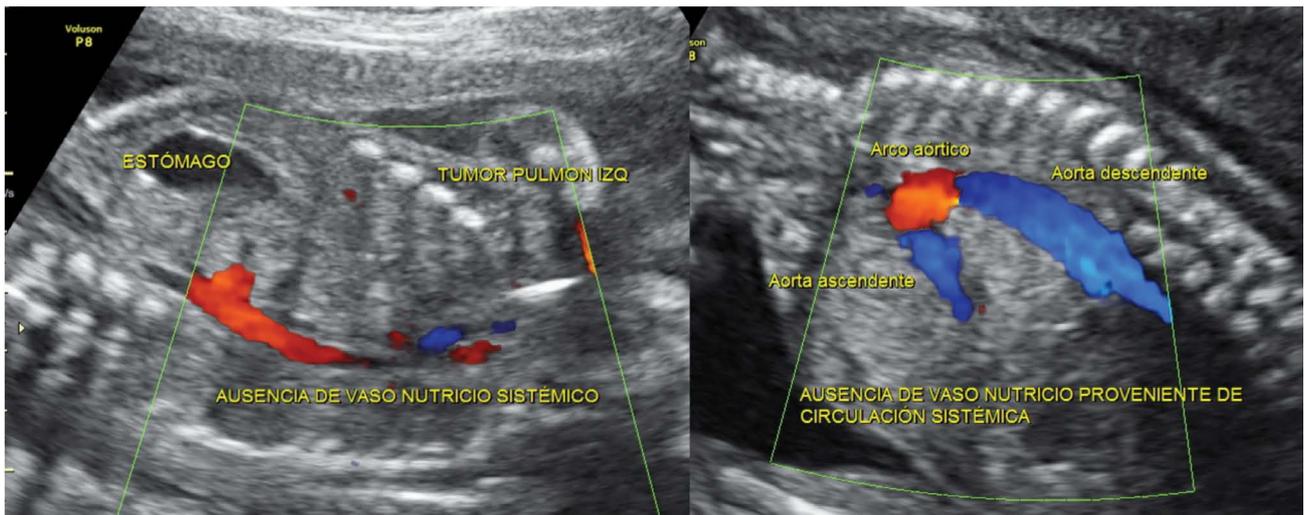
Se presenta como una malformación hiperecogénica homogénea del parénquima pulmonar con bordes bien definidos. En esta lesión pulmonar no existe comunicación con el árbol traqueobronquial y es característicamente irrigada por una arteria sistémica aberrante que en el 74 % de los casos proviene directamente de la aorta, en otros casos puede originarse de la arteria esplénica o gástrica, por lo que el uso del Doppler color y Power Doppler en esta malformación toma gran relevancia para corroborar el diagnóstico. Tiene una incidencia mucho menor, representa aproximadamente del 5 % al 10 % de todas las malformaciones pulmonares detectadas en forma prenatal. Se presenta con mayor frecuencia en el pulmón izquierdo y en los



F39

Desplazamiento de la silueta cardíaca y estructuras del mediastino hacia el lado contralateral a la malformación pulmonar.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.



F40

Ausencia de vaso nutricio sistémico. A la aplicación del Doppler color sobre la malformación se observa ausencia de flujo sanguíneo proveniente de un vaso sistémico (aorta), lo que corrobora la presencia de una malformación congénita pulmonar y de la vía aérea.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.

lóbulos inferiores pulmonares. Se cataloga como intra o extralobar dependiendo si está contenida dentro o fuera del mismo saco pleural que el resto del pulmón.

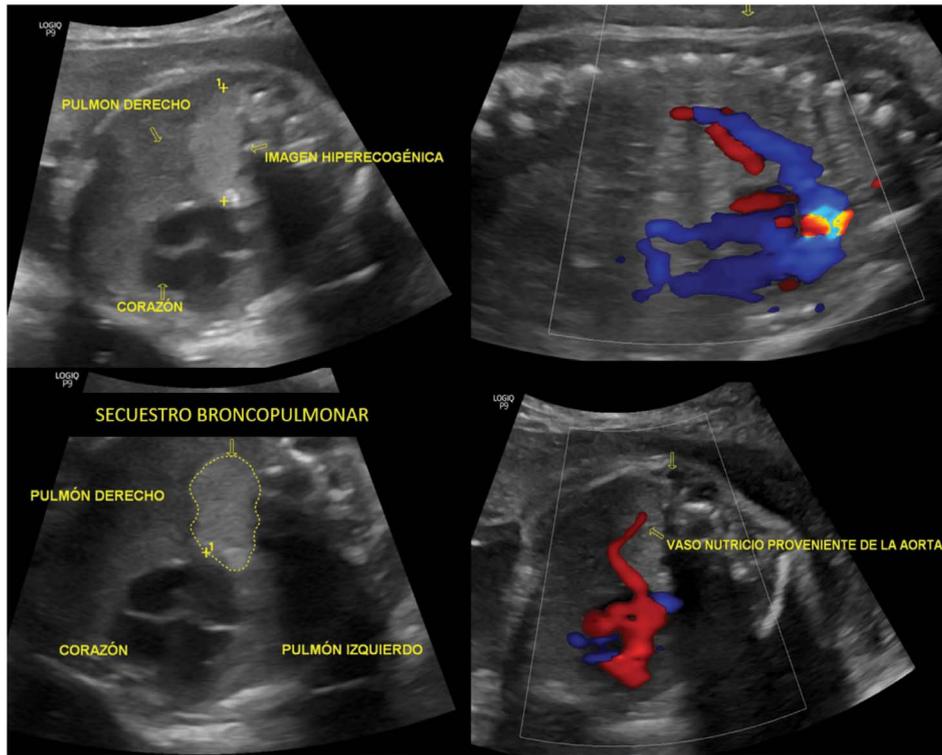
La característica ultrasonográfica de este tipo de lesiones es su aspecto hiperecogénico, sólido, sin imágenes quísticas, generalmente de tamaño pequeño y que no genera desplazamiento mediastínico, con la aplicación del Doppler color en un corte coronal o axial que incluya simultáneamente la aorta y la tumoración se observará claramente la presencia del vaso nutricio (Figura 41).

La evolución del SBP es casi siempre benigna, excepcionalmente puede asociarse a hidrotórax leve. No es frecuente observar crecimiento de la tumoración a lo largo del embarazo, incluso se contempla la resolución espontánea en la vida fetal en el 25 % de los casos. El seguimiento ultrasonográfico pulmonar prenatal puede realizarse en general cada 4 a 8 semanas.<sup>7</sup>

De manera posnatal es importante realizar un examen meticuloso ya que se puede asociar a hernia diafragmática, duplicación esofágica y fistulas traqueoesofágicas (las cuales son difíciles de identificar por estudios prenatales). En los casos en donde se presenta urgencia prenatal se ha utilizado interrupción de la irrigación usando laser o esclerosis percutánea fetal con etanolamina.<sup>8</sup>

## LESIONES HÍBRIDAS

Las lesiones híbridas contienen una combinación de componente quístico y sólido con la característica irrigación por un vaso nutricio sistémico. Ecográficamente son lesiones con apariencia de MCPVA macroquística pero a la aplicación del Doppler color se observa la circulación sistémica proveniente de la aorta (complejo MCPVA-SBP), estas lesiones muestran un mejor pronóstico en general. El **Video 22** muestra una lesión híbrida con componente quístico e irrigación sistémica.



**F41** Secuestro broncopulmonar (SBP). Cortes axiales del tórax fetal que muestran una imagen pulmonar de aspecto hiperecogénico, apariencia sólida, sin imágenes quísticas en su interior (A y B). Con la aplicación del Doppler color en un corte sagital (C) o axial (D) que incluya simultáneamente la aorta y la tumoración se observará claramente la presencia del vaso nutricional, característica principal de esta malformación. Archivo clínico Dra. Cruz, 2020.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.

## ÍNDICES ECOGRÁFICOS

### Índice ecográfico CVR (Relación de volumen de la malformación congénita)

Relaciona el volumen de la malformación con la circunferencia cefálica del feto. Se obtiene calculando el volumen de la masa pulmonar (con la misma fórmula para calcular el volumen de un óvalo) y nor-

malizándolo para la edad gestacional (dividiendo entre la circunferencia cefálica) (Figura 42).

Un índice CVR > 1.6 cm<sup>2</sup> se ha asociado con mayor riesgo de hidrops fetal, muerte, dificultad respiratoria al nacimiento, y necesidad de cirugía temprana. Un índice CVR < 0.91 cm<sup>2</sup> y específicamente < 0.4 cm<sup>2</sup> predice resultados mucho más favorables, lo que permitiría realizar evaluaciones ecográficas más espaciadas.<sup>9</sup>

$$\text{CVR} = \frac{\text{Longitud} \times \text{altura} \times \text{ancho (de la malformación)} \times 0.52 \text{ (constante)}}{\text{Circunferencia cefálica}}$$



F42

Índice ecográfico CVR (relación de volumen de la malformación congénita). Se muestra los distintos cortes ultrasonográficos fetales, sagital del tórax (a), axial del tórax (b), axial de la cabeza (c) que se utilizan para calcular el volumen de la malformación pulmonar y relacionarlo con la circunferencia cefálica del feto.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019.

### Relación masa-tórax (MTR)

Evalúa la relación entre el diámetro transversal de la malformación y el diámetro transversal del tórax. Se mide en una corte axial, en la imagen de cuatro cámaras del corazón. Un valor  $< 0.51$  sugiere que el feto tiene bajo riesgo de desarrollar complicaciones.

### NACIMIENTO Y REANIMACIÓN

En la mayoría de los casos no hay compromiso al nacimiento, pero del 25 % al 30 % de los casos podría presentar algún grado de dificultad respiratoria, por lo cual, es importante contar con todas las medidas de apoyo en relación directa al tamaño de la lesión pulmonar. La dificultad respiratoria que se presenta no se debe únicamente al efecto de masa que la lesión produce en el tórax, sino también, a que el desarrollo de los órganos intratorácicos se encuentra comprometido condicionando hipoplasia pulmonar e hipertensión arterial pulmonar (HAP).<sup>10</sup>

### CARACTERÍSTICAS DEL ULTRASONIDO PULMONAR

El UP posnatal se utiliza cada vez más en la práctica pediátrica y neonatal, pero aún son escasas las publicaciones en el tema, la mayoría son reportes de serie de casos. En Italia Merli y colaboradores presentaron una serie de tres casos, comparando los hallazgos radiológicos habituales (pre y posnatales) con el UP posnatal (2 SBP y una MCPVA). Se describen las lesiones de consistencia parenquimatosa, macro y microquistes así como la utilidad del Doppler para localizar la irrigación.<sup>11</sup>

En Francia, la Dra. Nadia Yousef y colaboradores reportaron cinco casos de MCPVA (uno asociado con hernia diafragmática congénita). Para los cinco pacientes, las exploraciones prenatales habían despertado la sospecha de malformación. Las lesiones patológicas fueron fácilmente observadas por el UP para todos los pacientes; los hallazgos fueron diferentes para cada uno de los pacientes. La descripción de las radiografías de tórax, UP y TAC correspondió en forma adecuada, lo que sugiere el papel del UP para el diagnóstico de malformaciones

pulmonares. El UP no permitió la medición exacta de las lesiones pulmonares o el examen de detalles minuciosos de su estructura interna, pero estas precisiones se obtuvieron fácilmente mediante TAC. Las malformaciones congénitas pulmonares no parecen seguir un patrón ecográfico específico. Las lesiones quísticas hipoeoicas intercomunicadas, únicas o múltiples, deben agregarse a la semiología del UP, ya que no han sido descritas en otras afecciones respiratorias neonatales. Estos signos pueden ser útiles para sospechar malformaciones congénitas pulmonares cuando no hay un diagnóstico prenatal, aunque se recomienda la TAC para confirmar el diagnóstico.<sup>12</sup>

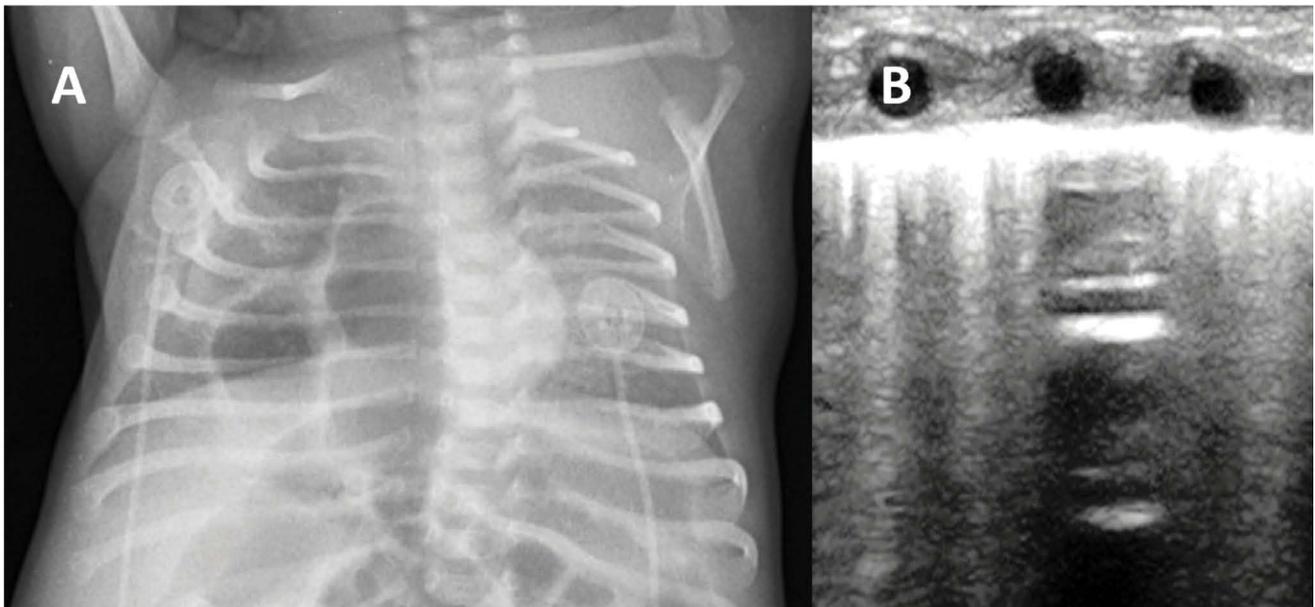
Quercia y colaboradores describieron siete casos (4 SBP, 3 MCPVA), describiendo imágenes de consolidación completa del lóbulo inferior izquierdo, consolidación pulmonar y macro y microquistes. En cada paciente el UP diagnosticó el tipo de mal-

formación pulmonar, mostrando una concordancia significativa con los hallazgos de la tomografía computarizada. Por el contrario, la radiografía de tórax con frecuencia la lesión aparecía poco clara, o incluso asemejaba una radiografía normal.<sup>13</sup>

**Los criterios diagnósticos para una MCPVA son:**<sup>14</sup>

- a) Ausencia de línea pleural en el área afectada.
- b) Consolidación en el área afectada.
- c) Lesiones quísticas en el área afectada.

La radiografía simple puede ser negativa o no concluyente, pero en conjunto con el UP completan la información la cual puede ser corroborada y medida con precisión mediante una TAC.<sup>15</sup> Esta ayudará a definir la anatomía, lóbulos afectados, estructuras vecinas comprometidas, irrigación de la lesión e intentar definir el tipo de malformación que estamos tratando. Los quistes que se alejan de la pared pueden no ser detectados mediante el UP. Cuando hay



**F43** **A** Neumatocele inicialmente diagnosticado como hernia diafragmática. **B.** El UP muestra el artefacto A rodeado de Líneas B compactas conocido como "triple punto pulmonar".

Imagen cortesía del Dr. Yasser N Elsayed, Universidad de Manitoba.

edema que “contrasta” el tejido circundante se puede observar el “Triple punto pulmonar”. La Figura 43 muestra un neumatocele inicialmente diagnosticado como hernia diafragmática. El UP muestra el artefacto A rodeado de Líneas B compactas. En los pacientes graves es importante contar con un ecocardiograma para determinar la estabilidad hemodinámica.

El **Video 23** muestra una MCPVA mostrando el UP del lado sano y del lado afectado. Se corrobora estabilidad hemodinámica y ausencia de obstrucción y la correlación con la TAC. Finalmente se observa el control posquirúrgico.

## MANEJO QUIRÚRGICO

Existe controversia en el manejo quirúrgico de las lesiones pulmonares asintomáticas. Por una parte, existe evidencia de que pueden presentar síntomas tardíos durante cualquier momento en la vida, en una serie de casos en la Clínica Mayo, siguieron a 110 casos de lesiones pulmonares, 8 sintomáticas se resecaron durante el periodo neonatal, los 102 restantes se siguieron por una media de 47 años, 84 se resecaron por presentar neumonía repetitiva y 18 por sospecha de malignidad.<sup>16</sup> Además, la resección de estas lesiones es más compleja después de presentar un proceso infeccioso por las adherencias que se forman entre el tórax y el pulmón. También existe variación en el tiempo en que se realiza esta resección, Parikh DH y Rasiah SV reportan un protocolo en el cual realizan una TAC a los 6 meses y con este se planifica la resección; con este protocolo reportan una mortalidad de 0 %, con el 3 % de fuga aérea posquirúrgica después del manejo toracoscópico y menos de 3 % de los casos necesitaron transfusión.<sup>17</sup>

Aunque existen pocos estudios al respecto se cree que el desarrollo pulmonar se lleva a cabo hasta los 7 a 8 años, existiendo en los menores a esta edad una mejor compensación posquirúrgica. Mc Bride

reporta normalización de los volúmenes pulmonares después de lobectomías en la infancia.<sup>18</sup>

Los grupos que promueven el manejo conservador de las lesiones asintomáticas se basan en reportes recientes en donde solo un 3 % a un 5 % de los pacientes asintomáticos se volverán sintomáticos en los primeros 5 años de vida.<sup>19</sup> Dentro de este grupo no están considerados los pacientes que nacen asintomáticos, pero al llenarse los quistes de aire en cuestión de días pueden presentar síntomas respiratorios que nos llevaría a considerar la resección quirúrgica. Respecto a la asociación con malignidad, no existe un estudio que describa una asociación clara y significativa entre las lesiones pulmonares congénitas y las lesiones malignas. Tampoco queda claro la utilidad preventiva de una resección ya que se ha encontrado lesiones malignas en partes inicialmente descritas como sanas del pulmón.<sup>20</sup> Un problema descrito con la vigilancia únicamente es el método de seguimiento radiológico, las radiografías simples de tórax y el UP tiene poca sensibilidad para detectar cambios profundos y múltiples estudios de TAC pueden condicionar un riesgo para malignidad. Probablemente la RM pueda tener un papel en el seguimiento, aunque en niños pequeños se requiere anestesia.<sup>21</sup>

## HERNIA DIAFRAGMÁTICA CONGÉNITA

### INTRODUCCIÓN Y EPIDEMIOLOGÍA

La hernia diafragmática congénita (HDC) es una malformación congénita del diafragma, generalmente posterolateral, a través del cual las vísceras abdominales migran hacia el tórax durante la vida fetal. Los estudios basados en la población han informado que la prevalencia de la HDC está entre 1 de cada 2 500 y 1 de cada 3 000 nacidos vivos.

Aproximadamente el 80 % de los casos de HDC son del lado izquierdo, el 15 % son del lado derecho y menos del 5 % son bilaterales.<sup>22</sup>

El Grupo de Estudio de Hernias Diafrágicas Congénitas (CDHSG, por sus siglas en inglés), creó recientemente un sistema de reporte estandarizado de cuatro grados (A -D) para HDC: Los defectos tipo A están completamente rodeados por músculo. Los defectos tipo B tienen menos del 50 % de la pared torácica desprovista de tejido diafrágico y los defectos tipo C < 75 % de la pared torácica desprovista de tejido diafrágico. Los defectos tipo D se presentan con una ausencia completa o casi completa del diafragma. Se demostró que el tamaño del defecto diafrágico y también una posible anomalía cardíaca empeoraban el pronóstico.<sup>23</sup>

A pesar de los avances en reanimación neonatal y cuidados intensivos, los RN con HDC siguen teniendo una alta mortalidad. Las tasas de supervivencia actuales en los estudios basados en la población son de alrededor del 55 % al 80 %. Los centros altamente especializados reportan hasta un 90 % de supervivencia, pero descartan la mortalidad oculta, principalmente en el periodo prenatal. La alta mortalidad y morbilidad en la HDC se atribuyen principalmente a hipoplasia pulmonar e HAP.<sup>24</sup>

## EMBRIOGÉNESIS Y FISIOPATOLOGÍA

La embriogénesis de la HDC se ha descrito como una falla en la fusión, en la octava semana de gestación, del diafragma en el aspecto posterolateral donde se encuentran los canales pleuroperitoneales. En consecuencia, las vísceras abdominales, incluidos el hígado y el intestino, migran hacia el tórax, lo que causa hipoplasia pulmonar por compresión. La hipoplasia pulmonar asociada con la HDC se extiende a todos los aspectos del pulmón, lo que resulta en menos alvéolos, paredes alveolares engrosadas, aumento del

tejido intersticial y una marcada disminución del espacio aéreo alveolar y el área de intercambio gaseoso. Paralelamente a los cambios en las vías respiratorias, la vasculatura pulmonar es anormal con un número reducido de vasos, engrosamiento adventicial, hiperplasia medial y extensión periférica de la capa muscular hacia las arteriolas intraacinarias más pequeñas. Además, la morfología del pulmón tiene un aspecto inmaduro. El pulmón ipsilateral es el más gravemente afectado, pero los cambios suelen extenderse también al pulmón contralateral.<sup>25</sup>

La gravedad de los síntomas depende del grado de hipoplasia pulmonar. La hipoplasia pulmonar tiene una relación directamente proporcional con el tamaño del defecto diafrágico. Después del nacimiento, los bebés más gravemente afectados presentan dificultad respiratoria (cianosis, taquipnea y retracción esternal) al nacer. Aunque la causa principal es la hipoplasia pulmonar, la hipoxia y la hipercapnia secundarias darán lugar a vasoconstricción pulmonar e HAP. Esto, a su vez, provocará una reversión del flujo de derecha a izquierda a través del conducto arterioso y el foramen oval. Debido a la hipoplasia pulmonar que presentan estos pacientes, las estrategias ventilatorias de reclutamiento alveolar no tendrán efecto significativo en esta patología y su uso aumenta el riesgo de barotrauma y volutrauma.

## DIAGNÓSTICO PRENATAL

La evaluación ultrasonográfica del tórax fetal es indispensable para el diagnóstico, seguimiento y pronóstico del embarazo. Las asas intestinales herniadas en el hemitórax pueden inicialmente simular una MCPVA macroquística por lo que la evaluación detallada y minuciosa es indispensable para realizar el diagnóstico diferencial, en ocasiones es posible observar incluso el movimiento peristáltico de dichas asas. La desviación mediastínica y cardíaca puede ser el único indicio de que existe una HDC

cuando el estómago permanece infradiafragmático. El diagnóstico puede realizarse a partir de las 15 SDEG; sin embargo, la mayoría de los casos se detectan alrededor de las 18-20 semanas cuando la paciente acude a la realización del ultrasonido estructural; hernias pequeñas pueden incluso pasar desapercibidas hasta el tercer trimestre.

El corte estándar en el que se realiza el diagnóstico es el transverso del tórax, en el que se visualiza el corte de 4 cámaras del corazón y ambos campos pulmonares. Ahí se observa la pérdida de ecogenicidad pulmonar normal, el tejido pulmonar reemplazado por el contenido heterogéneo de las asas intestinales (las cuales en ocasiones se pueden ver dilatadas por compresión), así como la desviación del mediastino y con ello de la silueta cardiaca hacia el lado contrario de la HDC (Figura 44). En los cortes coronales y sagitales toracoabdominales se puede identificar también el desplazamiento del mediastino, corazón y la falta de integridad del diafragma. El uso del Doppler color es particularmente útil cuando existe herniación hepática puesto que permite identificar los vasos sanguíneos del seno porta.



**F44** Hernia diafragmática congénita. Corte axial del tórax donde se observa la imagen de 4 cámaras del corazón, pérdida de la ecogenicidad pulmonar normal, el tejido pulmonar es reemplazado por el contenido heterogéneo de las vísceras abdominales así como desviación del mediastino y con ello de la silueta cardiaca hacia el lado contrario de la hernia.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2018.

## ÍNDICES ECOGRÁFICOS

Relación observada/esperada entre el área pulmonar y la circunferencia cefálica (*Lung-to-head ratio*, LHR O/E). Es una medición ecográfica que se utiliza principalmente para la evaluación de la HDC, permite estimar el pronóstico de supervivencia posnatal y por lo tanto la necesidad de tratamiento prenatal. Su cálculo traduce el grado de hipoplasia pulmonar que presenta el feto al momento del

diagnóstico. Las mediciones se toman en el pulmón contralateral a la hernia, el cual generalmente se observa comprimido detrás de la silueta cardiaca en un corte de cuatro cámaras, de esta manera se multiplica el diámetro mayor (anteroposterior) por el diámetro menor (trasverso) de dicho pulmón y el resultado se divide entre la circunferencia cefálica fetal. Posteriormente se compara el valor obtenido con el valor esperado para la edad gestacional del feto al momento del estudio y se multiplica por 100 (Figura 45).

$$LHR \text{ observado} = \frac{\text{Diámetro mayor} \times \text{diámetro menor (pulmón contralateral a la hernia)}}{\text{Circunferencia cefálica}}$$

$$LHR \text{ O/E} = \frac{LHR \text{ observado}}{LHR \text{ esperado}} \times 100$$



**F45** *Lung-to-head ratio* (LHR observado/esperado). Se muestra los distintos cortes ultrasonográficos fetales, axial del tórax (A y B) y axial de la cabeza (C) que se utilizan para calcular la relación observada / esperada entre el área pulmonar y la circunferencia cefálica fetal.

Archivo clínico Dra. Cruz, 2019

En general un LHR observado  $< 1$  y un LHR O/E menor del 25 % se correlaciona con peor pronóstico, con una supervivencia aproximada  $< 10$  % cuando el hígado está herniado y del 60 % cuando no lo está.<sup>26</sup>

Recientemente se ha propuesto con base en un estudio de supervivencia del Grupo Latinoamericano de estudio de la HDC que en países en vías de desarrollo aquellas con índice O/E del 26 al 35 % deben ser consideradas como graves (supervivencia 3.4 %) y las del 35 al 45 % deben ser consideradas como moderadas (supervivencia del 28 % hígado arriba y del 50 % hígado abajo).<sup>27</sup>

## DIAGNÓSTICO POSNATAL Y UP

El diagnóstico posnatal se realiza mediante radiografía simple de tórax y abdomen con la demostración de asas intestinales llenas de aire en el tórax y escasez de gas en el abdomen. Hay un desplazamiento del mediastino hacia el lado opuesto, y solo se puede ver una pequeña porción del pulmón en el lado ipsilateral.

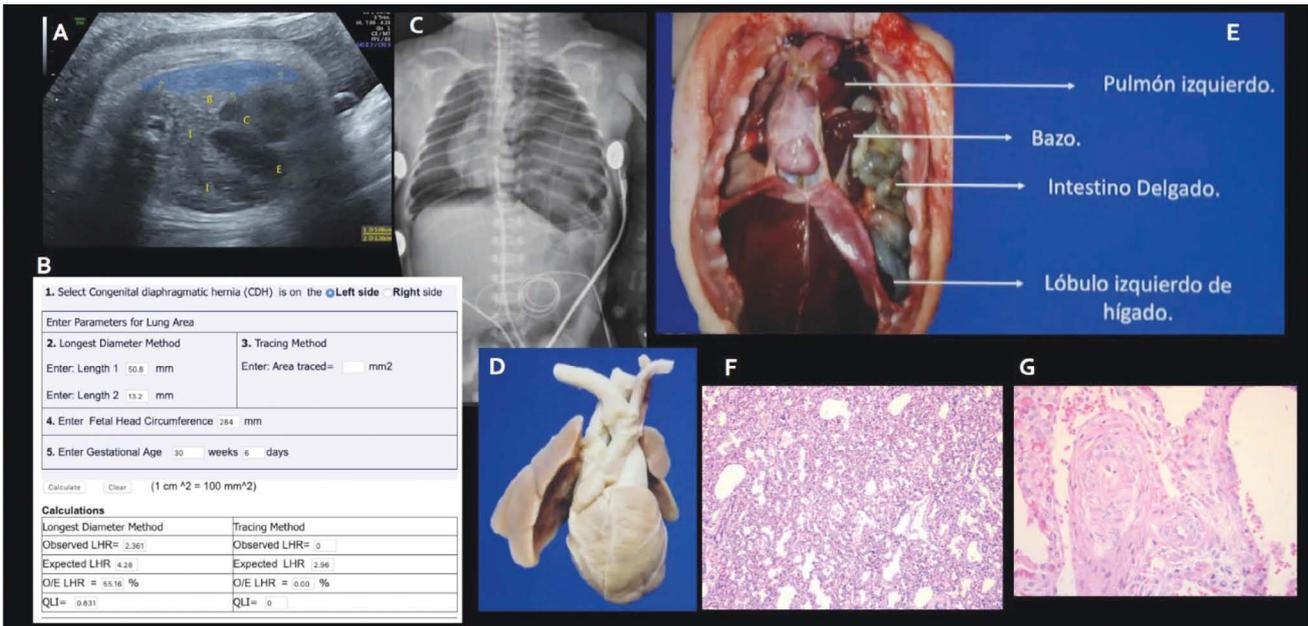
En Canadá (país que tiene amplios programas de ultrasonido manejado por el clínico) se publicaron

en 2016 dos casos diagnosticados por ultrasonido en urgencias.<sup>28</sup> El mismo año se publicó otro caso con diagnóstico en urgencias por ultrasonido en Los Ángeles.<sup>29</sup>

En 2019 el Dr. Iuri Corsini publicó la descripción de 7 casos (6 izquierdas y 1 derecha) describiendo el patrón de HDC como:<sup>30</sup>

1. Ausencia parcial de la línea hiperecogénica que representa el borde diafragmático normal.
2. Ausencia parcial de la Línea Pleural en el hemitórax afectado.
3. Ausencia de Líneas A en el área afectada.
4. Presencia de imágenes multicapa con contenido hiperecogénico en su interior en movimiento (intestino).
5. Presencia de órganos de consistencia parenquimatosa dentro del tórax (hígado o bazo).

El **Video 24** muestra casos de HDC donde podemos observar los criterios diagnósticos. Así mismo, se puede observar la utilidad del ultrasonido para corroborar la intubación. Se profundiza en el Capítulo 9.



**F46** HDC severa. A. Ultrasonido fetal en azul marcada la circunferencia del pulmón sano. B. Calculadora que estima el pulmón observado y esperado de acuerdo al LHR a las 31 SDEG. C. Radiografía postnatal con hernia diafragmática severa con desplazamiento a la derecha del corazón. D Crecimiento de cavidades derechas. E, Espécimen de patología demostrando intestino, bazo y lóbulo izquierdo del hígado. F, Atelectasias, congestión, membranas hialinas y hemorragia pulmonar. G, Hiperplasia concéntrica arteriolar.

Imágenes de Patología cortesía del Dr. Guillermo Ramón García, Patología, HIMFG.

## MANEJO PROTOCOLIZADO

Desde el 2012 se inició en el HIMFG un protocolo de atención para recibir pacientes con HDC con hipoplasia pulmonar severa incluyendo algunas con Cirugía Fetal. Recientemente se publicó un ensayo de casos y controles (incluyendo pacientes del HIMFG) que comparó 25 neonatos operados de oclusión traqueal fetal (FETO) con 25 controles no operados. La supervivencia en el grupo FETO fue de 32 % y ningún sobreviviente en el grupo control ( $p < 0.01$ ).<sup>31</sup>

### Presentación por Medicina Materno Fetal y/o Cirugía Fetal

Todo paciente se presenta en una sesión con todo el equipo presente en la que se define el pronóstico. Se

establece la fecha y hora de la cesárea programada, las condiciones que tendrá de vigilancia la madre hasta ese momento. La Figura 46 muestra un caso grave con presentación prenatal y correlación con Patología.

### Atención en el quirófano

1. En el tiempo de pinzamiento de cordón, se procede a intubación endotraqueal con cánula apropiada e inicio de la ventilación con cordón abierto<sup>32,33</sup> en general bajo influencia de anestésicos administrados a la madre. Un líder (distinto a quien maneja la vía aérea) lleva los tiempos para advertir a los demás si es necesario pasar a otra fase de reanimación.
2. Una vez intubado y que se secciono el cordón umbilical, se procede a la atención de la reani-

mación habitual del neonato. Se puede verificar la intubación y el deslizamiento pleural bilateral por UP.

3. Se coloca sonda gástrica a derivación lo más pronto posible.
4. Se colocan catéteres umbilicales, arterial y venoso, con técnica apropiada. Se controla la inserción de estos por ultrasonido.
5. Se dejan soluciones de base a 50 mL/kg/día, de ser posible con fórmula estándar con glucosa y aminoácidos.
6. Se solicita apoyo a Clínica de manejo de dolor, para sedo-analgésia.
7. Se mantiene un ambiente térmico neutro.
8. Se envía la placenta a patología y un cultivo de líquido amniótico.

### Ventilatorio<sup>34</sup>

1. Al inicio del apoyo ventilatorio se usará ventilación convencional, sincronizada, siempre que exista ventilación espontánea del paciente, puede considerarse la modalidad de volumen garantizado.
2. La oxigenación se manejará para tener saturación preductal de 80 a 95 %. La saturación posductal se trata de mantener por arriba del 70 %.
3. La presión positiva máxima, se tratará de no pasar de 25 cm H<sub>2</sub>O, con PEEP de 3 o menos.
4. De ser necesario mayores presiones, será conveniente uso de otra modalidad de ventilación, como es alta frecuencia donde se intentan mantener una presión media de la vía aérea menor a 16 cm H<sub>2</sub>O.
5. En caso de HAP pulmonar grave que se demuestre adecuada función ventricular sin sospecha de hipertensión venosa<sup>35</sup> se tendrá como alternativa óxido nítrico inhalado (ONi).<sup>36</sup> Si hay disfunción ventricular izquierda o ventrículo izquierdo pequeño se utiliza Milrinona evitando el uso de ONi.
6. Con respecto al pCO<sub>2</sub> se ha referido que puede ser tolerado de 60-65 mm Hg.
7. Se debe evitar hiperoxia y un CO<sub>2</sub> de 50 o menos obliga a disminuir las variables de ventilación.
8. Debe evitarse usar relajación muscular como apoyo a la ventilación.
9. Se debe evitar el uso de surfactante salvo en prematuridad que lo amerite ponderando riesgo benéfico.<sup>37</sup>
10. Debe considerarse en pacientes muy graves la determinación de al menos una gasometría arterial para tener documentado CO<sub>2</sub> e índice de oxigenación.<sup>38</sup>

### Hemodinámico

1. El apoyo de la presión arterial sistémica debe ser continuo. En caso de hipotensión se usará volumen muy cauteloso 10 mL/kg con monitorización ecocardiográfica continua.<sup>39</sup>
2. De no haber respuesta al inciso anterior se usará amins para normalizar la presión arterial y frecuencia cardíaca.
3. El manejo de la HAP debe ser paralelo, puede usarse para ello, la disminución de estímulos, mantener calor, aporte de líquidos, buena PA sistémica y si es necesario, Milrinona evitando el uso de óxido nítrico si hay disfunción ventricular o ventrículo izquierdo pequeño.<sup>40</sup>
4. Debe vigilarse en forma continua: monitor de signos vitales, coloración de la piel, estado de alerta, gasto urinario, saturación pre y posductal.
5. Se realizará estudio de ecocardiografía funcional, para determinar necesidades de apoyo hemodinámico agregado.<sup>41</sup>
6. De ser necesario se usan vasopresores sin acción sobre resistencias vasculares pulmonares, se preferirá norepinefrina (con excepción si hay FiO<sub>2</sub> al 100 %) y/o vasopresina, dependiendo de evolución y condiciones de su vigilancia clínica y ecocardiográfica. No se usa Dopamina en este grupo de pacientes debido a que incrementa resistencias vasculares pulmonares.

7. Otros medicamentos como sildenafil y bosentán<sup>42</sup> se usan en casos especiales tras decisión colegiada.
8. En caso de colapso por disfunción ventricular derecha se debe intentar abrir/mantener abierto el conducto arterioso con prostaglandinas.<sup>43</sup>

## MANEJO QUIRÚRGICO

La reparación quirúrgica del defecto diafragmático debe realizarse después de la estabilización fisiológica (con o sin apoyo vital extracorpóreo o ECMO por sus siglas en inglés). Las metas terapéuticas incluyen  $FiO_2 \leq 50\%$ , normalización de la PA, lactato  $< 3$  mmol/L, gasto urinario  $> 1$  mL/kg/hora y resolución de HAP (presiones pulmonares sistólicas menores que las presiones sistémicas). Este proceso suele tardar entre 2 y 10 días.

La HDC se puede reparar mediante laparotomía, laparoscopia, toracotomía o toracoscopia. Los pasos operatorios incluyen la reducción del contenido abdominal herniado, evaluación del tamaño del defecto (es altamente recomendable clasificar el tamaño del defecto acorde con el CDHSG), disección del borde posterior del diafragma, cierre del defecto (primario, parche o reparación de tejido) y cierre de la laparotomía o incisión torácica.

En todos los defectos A y la mayoría de los B se pueden realizar cierre primario (nylon trenzado 3-0 +/- cojinetes). Defectos grandes B y todos los defectos C o D requieren un parche.<sup>44</sup>

## EVENTRACIÓN DIAFRAGMÁTICA

### INTRODUCCIÓN Y EPIDEMIOLOGÍA

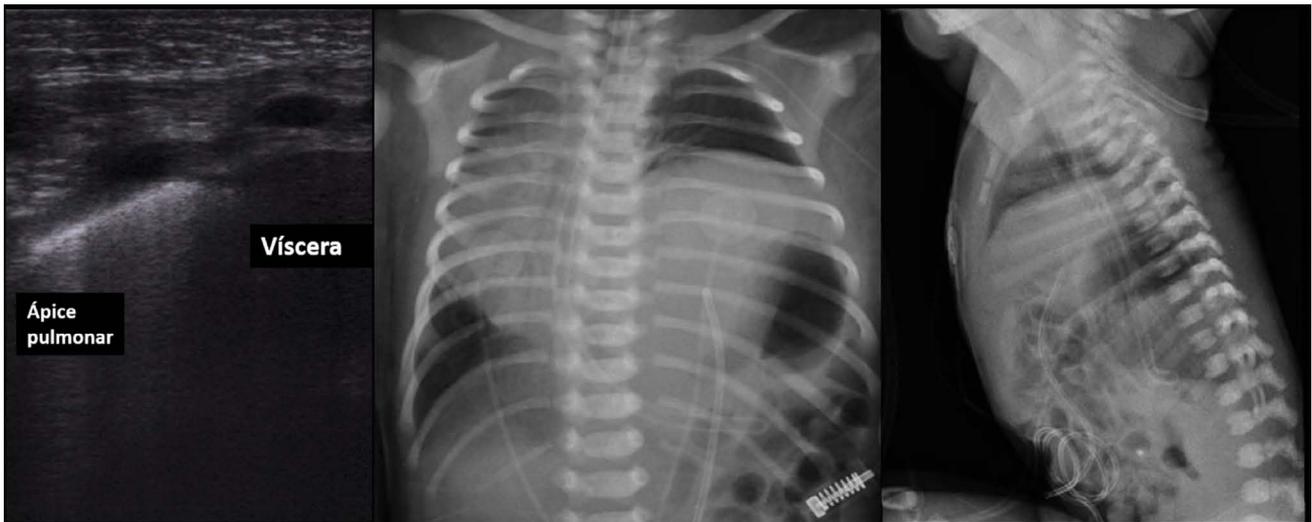
La Eventración del Diafragma (ED) es característica de una posición atípicamente alta o desviada de la

totalidad o partes de la hemidiafragma, que puede ocurrir de forma congénita o adquirirse como resultado de una parálisis del nervio frénico. La ED congénita es una anomalía del desarrollo que conduce a la aplasia muscular del diafragma, que principalmente tiene una musculatura completamente desarrollada y se vuelve atrófica secundaria al daño y al desuso del nervio frénico. En su forma congénita, las células precursoras nerviosas y musculares no pueden poblar el diafragma en desarrollo. La incidencia de ED congénita es de 1 por 1,400 pacientes, con mayor prevalencia en varones.<sup>45</sup>

La parálisis del diafragma adquirida puede ser el resultado de una lesión congénita del nervio frénico/plexo braquial con parálisis de Erb o después de cirugías cardíacas u oncológicas en las que el nervio frénico ha sido lesionado o sacrificado inadvertidamente para lograr la resección del tumor mediastínico. También puede ocurrir una lesión del nervio frénico durante exploraciones quirúrgicas de cuello en RN pretérmino (venodisecciones).

## DIAGNÓSTICO

Las características clínicas de la ED varían mucho desde ser asintomático hasta dificultad respiratoria grave, bronquitis, neumonía o bronquiectasias. Los síntomas gastrointestinales como vómitos o malestar epigástrico también se informan en la infancia posterior. Los pacientes con parálisis del nervio frénico pueden tener antecedentes de parto difícil, con taquipnea, dificultad respiratoria o cianosis. Durante la exploración física, los ruidos respiratorios pueden reducirse en el lado afectado y se observa un desplazamiento del mediastino durante la inspiración y un abdomen escafoides. Ocasionalmente, los pacientes con ED congénita presentan malformaciones asociadas como pulmón hipoplásico, cardiopatía congénita o criptorquidia.<sup>46</sup>



**F47** | Eventración diafragmática diagnosticada al ingreso del paciente complementando la exploración física con UP.  
 Archivo clínico Dr. Ibarra, 2018

La ED suele diagnosticarse mediante radiografía de tórax, que revela un diafragma elevado con un contorno liso e ininterrumpido en las radiografías de tórax frontal y lateral. La fluoroscopia es útil para distinguir una eventración completa de una hernia. La eventración completa puede conducir a movimientos diafragmáticos paradójicos. El UP es la herramienta más útil para diagnosticar la ED y para identificar los órganos debajo de la eventración. En el Capítulo 9 se describe la técnica y valores normales para evaluar la excursión diafragmática. La Figura 47 muestra una ED izquierda diagnosticada con UP como complemento de la exploración física al ingreso del paciente.

## TRATAMIENTO

Los pacientes asintomáticos sin anomalías pulmonares significativas se pueden observar. Asimismo, se recomienda el tratamiento conservador para pacientes con parálisis incompleta del nervio frénico sin movimiento paradójico, ya que la función normal generalmente se recupera. Por el contrario, los pacientes sintomáticos, pacientes que no pueden dejar la ventilación deben someterse a una reparación quirúrgica que implica la colocación en serie o el "rizado" del diafragma flexible para que quede plano con una hilera de suturas no absorbibles trenzadas interrumpidas. Esta maniobra inmoviliza el diafragma debilitado reduciendo el movimiento paradójico y mejora la mecánica respiratoria. Cuando la eventración es una sección muy adelgazada de la escisión del diafragma y en ocasiones es posible la reparación primaria (como en el caso de la HDC) con o sin incorporación de parche protésico. Se recomienda uso de sutura no absorbible calibre 3-0. En pacientes con ED o parálisis secundaria a lesión adquirida del nervio frénico el abordaje toracoscópico puede resolver adecuadamente y con poca morbilidad.<sup>47</sup> Los pacientes con ED congénita sin hipoplasia pulmonar subyacente suelen tener un pronóstico excelente. La mortalidad está relacionada con la hipoplasia pulmonar.

## CONCLUSIONES

El UP prenatal tiene alta sensibilidad para el diagnóstico de la mayoría de las malformaciones pulmonares. Tiene un papel fundamental en el seguimiento de la MCPVA, SBP, lesiones híbridas y HD. Los índices ecográficos ayudan a establecer el pronóstico y permiten la planeación del nacimiento y traslado a tercer nivel. El UP posnatal tiene un papel importante para corroborar el diagnóstico y seguimiento de estas lesiones. Los criterios diagnósticos para una MCPVA son la ausencia de la línea pleural en el área afectada, consolidación y lesiones quísticas de diversos tamaños. Con ultrasonido Doppler se puede localizar la irrigación de la lesión. La HD se identifica por UP por ausencia parcial de la línea hiperecogénica que representa el borde diafragmático normal, ausencia parcial de la línea pleural en el hemotórax afectado, ausencia de Líneas A, presencia de imágenes multicapa con contenido hiperecogénico en su interior en movimiento y presencia de órganos de consistencia parenquimatosa dentro del tórax. El UP es la herramienta más útil para diagnosticar la ED y para identificar los órganos debajo de la eventración.

## REFERENCIAS

1. Salomon LJ, Alfirevic Z, Berghella V, et al. Practice guidelines for performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011;37(1):116-126. doi:10.1002/uog.8831
2. Clements BS, Warner JO. Pulmonary sequestration and related congenital bronchopulmonary-vascular malformations: nomenclature and classification based on anatomical and embryological considerations. *Thorax.* 1987;42(6):401-408. doi:10.1136/thx.42.6.401
3. Morotti RA, Cangiarella J, Gutierrez MC, et al. Congenital cystic adenomatoid malformation of the lung (CCAM): evaluation of the cellular components. *Hum Pathol.* 1999;30(6):618-625. doi:10.1016/s0046-8177(99)90084-9
4. Bentur L, Gur M, Pollak M, Masarweh K, Solt I, Bronshtein M. Early prenatal ultrasound diagnosis of congenital thoracic malformations. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2019;32(21):3531-3536

5. Wilson RD, Hedrick HL, Liechty KW, et al. Cystic adenomatoid malformation of the lung: review of genetics, prenatal diagnosis, and in utero treatment. *Am J Med Genet A.* 2006;140(2):151-155. doi:10.1002/ajmg.a.31031
6. Curran PF, Jelin EB, Rand L, et al. Prenatal steroids for microcystic congenital cystic adenomatoid malformations. *J Pediatr Surg.* 2010;45(1):145-150. doi:10.1016/j.jpedsurg.2009.10.025
7. Vijayaraghavan SB, Rao PS, Selvarasu CD, Rao TM. Prenatal sonographic features of intralobar bronchopulmonary sequestration. *J Ultrasound Med.* 2003;22(5):541-544. doi:10.7863/jum.2003.22.5.541
8. Cavoretto P, Molina F, Poggi S, Davenport M, Nicolaidis KH. Prenatal diagnosis and outcome of echogenic fetal lung lesions. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2008;32(6):769-783. doi:10.1002/uog.6218
9. Kane SC, Ancona E, Reidy KL, Palma-Dias R. The Utility of the Congenital Pulmonary Airway Malformation-Volume Ratio in the Assessment of Fetal Echogenic Lung Lesions: A Systematic Review. *Fetal Diagn Ther.* 2020; 47:171
10. Calvert JK, Boyd PA, Chamberlain PC, Syed S, Lakhoo K. Outcome of antenatally suspected congenital cystic adenomatoid malformation of the lung: 10 years' experience 1991-2001 [published correction appears in *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2006 Jul;91(4):F312] [published correction appears in *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2006;91(6):547. Said, S [corrected to Syed, S]]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2006;91(1):F26-F28. doi:10.1136/adc.2004.068866
11. Merli L, Nanni L, Curatola A, et al. Congenital lung malformations: a novel application for lung ultrasound? [published online ahead of print, 2019 Sep 5]. *J Ultrasound.* 2019;10.1007/s40477-019-00406-0. doi:10.1007/s40477-019-00406-0
12. Yousef N, Mokhtari M, Durand P, et al. Lung Ultrasound Findings in Congenital Pulmonary Airway Malformation. *Am J Perinatol.* 2018;35(12):1222-1227. doi:10.1055/s-0038-1645861
13. Quercia M, Panza R, Calderoni G, Di Mauro A, Laforgia N. Lung Ultrasound: A New Tool in the Management of Congenital Lung Malformation. *Am J Perinatol.* 2019;36(S 02):S99-S105. doi:10.1055/s-0039-1692131
14. Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol.* 2020;55(7):1550-1562. doi:10.1002/ppul.24792
15. Mon RA, Johnson KN, Ladino-Torres M, et al. Diagnostic accuracy of imaging studies in congenital lung malformations. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2019;104(4):F372-F377. doi:10.1136/archdischild-2018-314979
16. Makhija Z, Moir CR, Allen MS, et al. Surgical management of congenital cystic lung malformations in older patients. *Ann*

- Thorac Surg. 2011;91(5):1568-1573. doi:10.1016/j.athorac-surg.2011.01.080
17. Parikh DH, Rasiyah SV. Congenital lung lesions: Postnatal management and outcome. *Semin Pediatr Surg.* 2015;24(4):160-167. doi:10.1053/j.sempedsurg.2015.01.013
  18. McBride JT, Wohl ME, Strieder DJ, et al. Lung growth and airway function after lobectomy in infancy for congenital lobar emphysema. *J Clin Invest.* 1980;66(5):962-970. doi:10.1172/JCI109965
  19. Stanton M, Njere I, Ade-Ajayi N, Patel S, Davenport M. Systematic review and meta-analysis of the postnatal management of congenital cystic lung lesions. *J Pediatr Surg.* 2009;44(5):1027-1033. doi:10.1016/j.jpedsurg.2008.10.118
  20. Papagiannopoulos KA, Sheppard M, Bush AP, Goldstraw P. Pleuropulmonary blastoma: is prophylactic resection of congenital lung cysts effective? *Ann Thorac Surg.* 2001;72(2):604-605. doi:10.1016/s0003-4975(00)02539-x
  22. McHoney M. Congenital diaphragmatic hernia, management in the newborn. *Pediatr Surg Int.* 2015;31(11):1005-1013. doi:10.1007/s00383-015-3794-9
  23. Lally KP, Lasky RE, Lally PA, et al. Standardized reporting for congenital diaphragmatic hernia-an international consensus. *J Pediatr Surg.* 2013;48(12):2408-2415. doi:10.1016/j.jpedsurg.2013.08.014
  24. Logan JW, Rice HE, Goldberg RN, Cotten CM. Congenital diaphragmatic hernia: a systematic review and summary of best-evidence practice strategies. *J Perinatol.* 2007;27(9):535-549. doi:10.1038/sj.jp.7211794
  25. Zimmer J, Puri P. Congenital Diaphragmatic Hernia. En: Puri P. (eds) *Pediatric Surgery.* Springer, Berlin, Heidelberg; 2020. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-43588-5\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43588-5_57)
  26. Hellmund A, Berg C, Geipel A, et al. Prenatal Diagnosis and Evaluation of Sonographic Predictors for Intervention and Adverse Outcome in Congenital Pulmonary Airway Malformation. *PLoS One.* 2016;11(3):e0150474. Published 2016 Mar 15. doi:10.1371/journal.pone.0150474
  27. Cruz-Martínez R, Etchegaray A, Molina-Giraldo S, et al. A multicentre study to predict neonatal survival according to lung-to-head ratio and liver herniation in fetuses with left congenital diaphragmatic hernia (CDH): Hidden mortality from the Latin American CDH Study Group Registry [published correction appears in *Prenat Diagn.* 2019;39(10):940]. *Prenat Diagn.* 2019;39(7):519-526. doi:10.1002/pd.5458
  28. Desjardins MP, Weerdenburg KD, Fischer JW. Emergency Point-of-Care Ultrasound Diagnosis of Diaphragmatic Hernia in the Pediatric Emergency Department. *Pediatr Emerg Care.* 2016;32(10):685-687. doi:10.1097/PEC.0000000000000924
  29. Rankin JH, Elkhunovich M, Seif D, Chilstrom M. Point-of-Care Ultrasound Diagnosis of Diaphragmatic Hernia in an Infant With Respiratory Distress. *Pediatr Emerg Care.* 2016;32(10):731-733. doi:10.1097/PEC.0000000000000933
  30. Corsini I, Parri N, Coviello C, Leonardi V, Dani C. Lung ultrasound findings in congenital diaphragmatic hernia. *Eur J Pediatr.* 2019;178(4):491-495. doi:10.1007/s00431-019-03321-y
  31. Cruz-Martínez R, Martínez-Rodríguez M, Gámez-Varela A, et al. Survival outcomes in severe left diaphragmatic hernia with and without fetoscopic tracheal occlusion in a country with suboptimal neonatal management [published online ahead of print, 2020 Feb 18]. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2020;10.1002/uog.21993. doi:10.1002/uog.21993
  32. Kashyap AJ, Hodges RJ, Thio M, et al. Physiologically based cord clamping improves cardiopulmonary haemodynamics in lambs with a diaphragmatic hernia *Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition* Published Online First: 23 May 2019. doi: 10.1136/archdischild-2019-316906
  33. Horn-Oudshoorn EJJ, Knol R, Te Pas AB, et al. Perinatal stabilisation of infants born with congenital diaphragmatic hernia: a review of current concepts. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2020;105(4):449-454. doi:10.1136/archdischild-2019-318606
  34. van den Hout L, Tibboel D, Vijfhuizen S, et al. The VICI-trial: high frequency oscillation versus conventional mechanical ventilation in newborns with congenital diaphragmatic hernia: an international multicentre randomized controlled trial. *BMC Pediatr.* 2011;11:98. doi:10.1186/1471-2431-11-98
  35. Kinsella JP, Steinhorn RH, Mullen MP, et al. The Left Ventricle in Congenital Diaphragmatic Hernia: Implications for the Management of Pulmonary Hypertension. *J Pediatr.* 2018;197:17-22. doi:10.1016/j.jpeds.2018.02.040
  36. Campbell BT, Herbst KW, Briden KE, Neff S, Ruscher KA, Hagadorn JI. Inhaled nitric oxide use in neonates with congenital diaphragmatic hernia. *Pediatrics.* 2014;134(2):e420-6. doi:10.1542/peds.2013-2644.
  37. Lally KP, Lally PA, Langham MR, et al. Surfactant does not improve survival rate in preterm infants with congenital diaphragmatic hernia. *J Pediatr Surg.* 2004;39(6):829-833. doi:10.1016/j.jpedsurg.2004.02.011
  38. Patel MJ, Bell CS, Lally KP, Lally PA, Katakam LI; Congenital Diaphragmatic Hernia Study Group. Lowest PaCO<sub>2</sub> on the first day of life predicts mortality and morbidity among infants with congenital diaphragmatic hernia. *J Perinatol.* 2019;39(2):229-236. doi:10.1038/s41372-018-0269-6
  39. Deeney S, Howley LW, Hodges M, et al. Impact of Objective Echocardiographic Criteria for Timing of Congenital Diaphragmatic Hernia Repair. *J Pediatr.* 2018;192:99-104.e4. doi:10.1016/j.jpeds.2017.09.004
  40. Lakshminrusimha S, Keszler M, Kirpalani H, et al. Milrinone in congenital diaphragmatic hernia a randomized pilot trial: study protocol, review of literature and survey

- of current practices. *Matern Health Neonatol Perinatol*. 2017;3:27. doi:10.1186/s40748-017-0066-9
41. Sanchez Mejia AA, Rodgers NJ. Evaluation and Monitoring of Pulmonary Hypertension in Neonates With Congenital Diaphragmatic Hernia. *Curr Treat Options Cardiovasc Med*. 2019;21(2):11. doi:10.1007/s11936-019-0711-x
42. Steinhorn RH, Fineman J, Kusic-Pajic A, et al. Bosentan as Adjunctive Therapy for Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn: Results of the Randomized Multicenter Placebo-Controlled Exploratory Trial. *J Pediatr*. 2016;177:90-96.e3. doi:10.1016/j.jpeds.2016.06.078
43. Shiyanagi S, Okazaki T, Shoji H, et al. Management of pulmonary hypertension in congenital diaphragmatic hernia: nitric oxide with prostaglandin-E1 versus nitric oxide alone. *Pediatr Surg Int*. 2008;24(10):1101-1104. doi:10.1007/s00383-008-2225-6
44. Puligandla PS, Skarsgard ED, et al, Canadian Congenital Diaphragmatic Hernia Collaborative. Diagnosis and management of congenital diaphragmatic hernia: a clinical practice guideline. *CMAJ*. 2018;190(4):E103-E112. doi:10.1503/cmaj.170206
45. Corbett HJ, Losty PD. Congenital diaphragmatic hernia. En: Parikh DK, Crabbe DCG, Auld AW, Rothenberg S. *Pediatric thoracic surgery*. London: Springer; 2009. p. 483-500.
46. Wu S, Zang N, Zhu J, Pan Z, Wu C. Congenital diaphragmatic eventration in children: 12 years' experience with 177 cases in a single institution. *J Pediatr Surg*. 2015;50(7):1088-1092. doi:10.1016/j.jpedsurg.2014.09.055
47. Borruto FA, Ferreira CG, Kaselas C, et al. Thoracoscopic treatment of congenital diaphragmatic eventration in children: lessons learned after 15 years of experience. *Eur J Pediatr Surg*. 2014;24(4):328-331. doi:10.1055/s-0033-1349054

# Capítulo 8. Conducto arterioso permeable relacionado con la prematuridad, hipertensión arterial pulmonar y otras cardiopatías congénitas con flujo pulmonar aumentado

*Dr. Daniel Ibarra Ríos*

*Dra. Adriana Apolonio Martínez*

*Dr. Alfonso de Jesús Martínez García*

*Dr. Horacio Márquez González*

## INTRODUCCIÓN

El UP es una herramienta útil para detectar y estratificar la gravedad del edema pulmonar. Diversas cardiopatías con flujo pulmonar aumentado y el conducto arterioso permeable determinan este escenario frecuente en UCIN. Así mismo, las características de las Líneas B pueden ayudar a diferenciar entre edema cardiogénico y neumogénico. En el caso de la hipertensión arterial pulmonar es conocido que en la vasta mayoría de los casos está determinada por patología del parénquima pulmonar por lo que el UP es de extrema utilidad para hacer diagnóstico diferencial.

## VALORACIÓN DEL CONDUCTO ARTERIOSO PERMEABLE RELACIONADO CON LA PREMATURIDAD

Un 65 % de prematuros entre 25 a 28 SDEG tendrán un conducto arterioso permeable (CAP) al día 7 de vida; en los menores de 24 SDEG lo anterior se presentará en un 87 %.<sup>1</sup> Michelle-Macias y Martínez-García han propuesto el término Conducto Arterioso Permeable relacionado con la prematuridad para definir esta entidad, término que utilizaremos para este capítulo.<sup>2</sup>

El diagnóstico y tratamiento del CAP es uno de los temas más controversiales en neonatología. Existen tres tipos de manejos: profiláctico, dirigido temprano y sintomático. Habitualmente se tratan después de la primera semana de vida. El profiláctico incluye

dar medicamento para cierre farmacológico en las primeras 24 horas típicamente sin la realización de un ecocardiograma. Esto derivado de los hallazgos del TIPP trial (Trial of Indomethacin Prophylaxis in Preterm Infants) que demostró disminución de Hemorragia Intraventricular (HIV) grave en los neonatos que recibieron indometacina profiláctica.<sup>3</sup> Centros perinatales importantes adoptaron esta estrategia<sup>4</sup> que se ha desaconsejado con el tiempo por efectos adversos del medicamento, así como el surtimiento irregular de indometacina. El dirigido temprano implica hacer un ecocardiograma y decidir tratar el CAP Hemodinámicamente Significativo (HS); importante resaltar que los criterios son variables, así como las unidades que tratan conductos bidireccionales. A pesar de que hay menor incidencia de hemorragia pulmonar<sup>5</sup> no se ha logrado disminuir la morbimortalidad con este abordaje,<sup>6,7</sup> sin embargo, sigue siendo una inquietud en el neonatólogo ya que la mayoría de las complicaciones hemorrágicas graves asociadas a CAP se presentan en las primeras 72 horas de vida. El tratamiento sintomático se da en general después de la primera semana de vida cuando hay síntomas y un ecocardiograma compatible con un CAP Hemodinámicamente Significativo (CAPHS). Se recalca que los autores no recomiendan el manejo profiláctico.

Para su manejo se ha utilizado indometacina, ibuprofeno y paracetamol. En la revisión más completa que existe al momento y que realizó un análisis Bayesiano con los tres fármacos se encontró que el manejo vía oral con dosis altas de ibuprofeno vs. ibuprofeno intravenoso o indometacina se asoció con mayores probabilidades de constricción del conducto. El recibir placebo o

no tratamiento no aumentó la probabilidad de muerte, enterocolitis necrosante o hemorragia intraventricular.<sup>8</sup>

Como se mencionó con anterioridad, al solo haberse demostrado reducción de las complicaciones hemorrágicas generalmente con un abordaje profiláctico o muy temprano, existen grupos que no tratan el CAP. Recientemente Clyman y colaboradores compararon el manejo farmacológico vs tratamiento conservador “PDA-TOLERATE” (the PDA: TO LEave it alone or Respond And Treat Early Trial) en neonatos con conductos moderados a grandes < 28 semanas al final de la primera semana. En su estudio el tratamiento farmacológico no redujo los conductos quirúrgicos, la presencia de un CAP al alta y no disminuyó enterocolitis, displasia broncopulmonar, complicaciones hemorrágicas y muerte.<sup>9</sup> Sin embargo, los criterios ecocardiográficos fueron limitados y en un análisis posterior de los neonatos en los cuales su neonatólogo tratante decidió no enrolar (al considerar que estaban muy enfermos y prefirieron dar tratamiento) se encontró que a pesar de que fue un grupo con menor edad gestacional y recibir mayor soporte respiratorio tuvieron menores tasas de complicaciones respiratorias tardías incluyendo displasia broncopulmonar y muerte cuando se trataron  $\geq$  del día 6.<sup>10</sup> Actualmente hay un ensayo en curso en Europa tratando de demostrar la no inferioridad de un manejo conservador vs. tratar el conducto.<sup>11</sup>

En 2020, Isayama y colaboradores estudiaron la asociación entre las tasas de tratamiento (farmacológico o quirúrgico) en una cohorte de RN entre 24 y 28 SDEG; 39 096 neonatos fueron estudiados con una tasa de tratamiento promedio del 45 %. Se encontró que tanto las tasas bajas como altas de tratamiento se asociaron con muerte o alteraciones en el neurodesarrollo por lo que se recomienda un abordaje moderado cuidando la selección de pacientes.<sup>12</sup>

Uno de los principales problemas con los ensayos clínicos de tratamiento existentes (68 al momento)

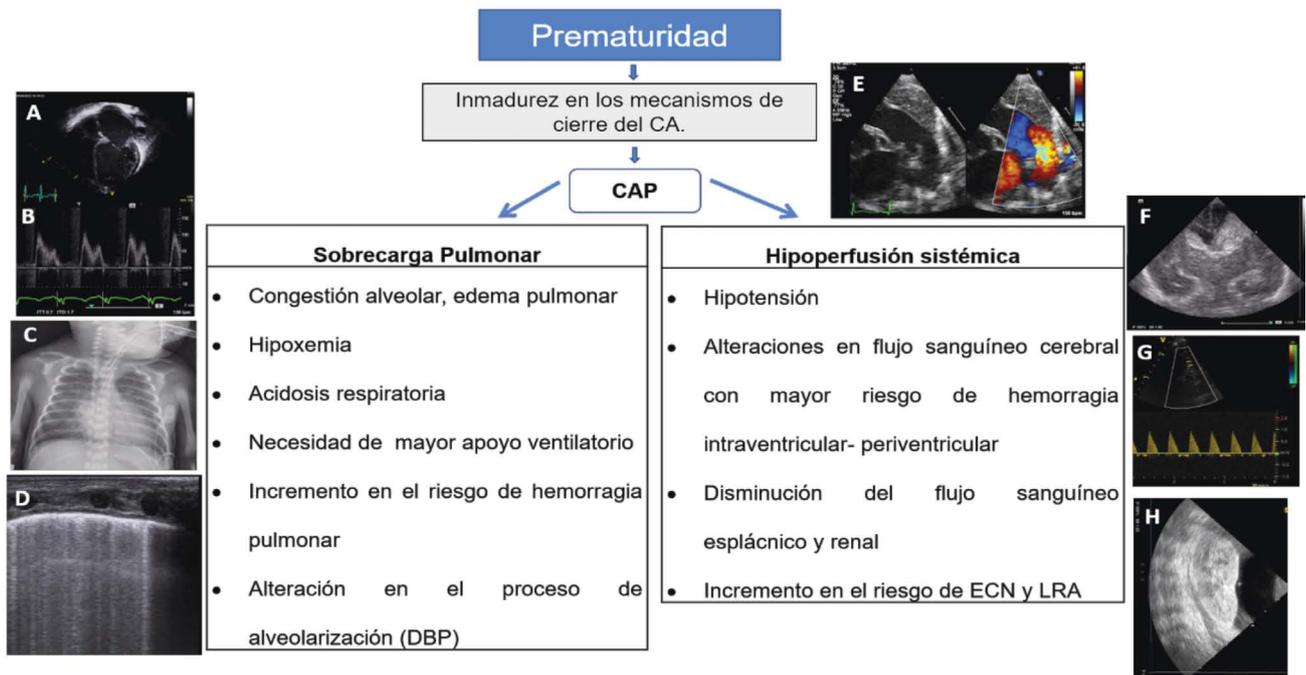
es la definición de un CAPHS. La mayoría de los estudios se basan únicamente en el diámetro. A partir del 2005, se comenzó a considerar otros marcadores (volumen del cortocircuito) que reflejaran la fisiopatología del CAP que genera sobrecarga pulmonar e hipoperfusión sistémica. La Figura 48 muestra la fisiopatología y algunos de los marcadores ultrasonográficos utilizados para establecer su significancia.

Con el advenimiento del ultrasonido manejado por el clínico y la ecocardiografía funcional (EfN) se ha intentado refinar el diagnóstico con un abordaje multimodal. El considerar la presencia del CAP como una variable dicotómica tanto para su manejo como para el desarrollo de ensayos clínicos es riesgoso y se debe individualizar a cada neonato.<sup>13</sup>

Clásicamente la valoración del CAP se realiza en conjunción con el servicio de Cardiología integrando la clínica del prematuro, los hallazgos del ecocardiograma y datos de crecimiento de cavidades izquierdas e hiperflujo pulmonar detectado por radiografía simple de tórax y UP.

La EfN realizada por el neonatólogo es un examen del corazón orientado a la valoración hemodinámica integrando la clínica con el ultrasonido.<sup>14</sup> Siempre es necesario que la primera valoración estructural sea realizada o revisada por un servicio de Cardiología Pediátrica. En la UCIN del HIMFG se estableció el programa el 2017 tras el entrenamiento de uno de los miembros del equipo de neonatólogos.<sup>15</sup>

En la última década, se ha incrementado el uso del UP en la UCIN por la utilidad en la toma de decisiones clínicas en escenarios de emergencia. Tras la incorporación rutinaria del UP 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*).



**F48** **Fisiopatología del CAP.** **A.** Corte de cuatro cámaras que muestra dilatación de cavidades izquierdas, **B.** Relación E/A con una onda E incrementada por el aumento de flujo, **C.** Radiografía de tórax con edema intersticial difuso, **D.** Ultrasonido pulmonar con edema moderado, **E.** Persistencia de conducto arterioso, **F.** Hemorragia intraventricular grado 2 derecha y 4 izquierda, **G.** Doppler reverso de la arteria cerebral media, **H.** Riñón hiperecogénico que indica hipoperfusión.

Adaptado de: McNamara PJ, Sehgal A. Towards rational management of the patent ductus arteriosus: the need for disease staging. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2007;92(6):F424-7. doi: 10.1136/adc.2007.118117.

El POCUS NEO es una herramienta que permite una valoración inmediata en la cama del paciente, sin tener que movilizarlo y que puede ser repetida, simple, económica, precisa y no emite radiaciones ionizantes. Complementa y puede disminuir la toma de radiografías simples.<sup>16</sup>

## DIAGNÓSTICO

Existen varios marcadores clínicos, de laboratorio y radiográficos que pueden sugerir el diagnóstico de CAPHS, sin embargo, el ecocardiograma es el estándar de oro.

En 1981 Yeh, diseñó una escala de valoración clínica, en la cual una puntuación mayor de 3 es signi-

ficativa para CAP con repercusión clínica.<sup>17</sup> A pesar de que no ha sido validada incluye los datos clínicos y radiológicos tomados en cuenta habitualmente (Cuadro 7).

El Cuadro 8 muestra diferentes subrogados de hiperflujo pulmonar e hipoperfusión sistémica y lo que sucede al aumentar el volumen del cortocircuito.<sup>18</sup>

Diversas instituciones en México han ampliado los parámetros ecocardiográficos utilizados incluyendo los siguientes parámetros en concordancia con la escala del Dr. Patrick McNamara y el grupo de Toronto y el grupo europeo de interés especial de ecocardiografía realizada por el neonatólogo (NPE por sus siglas en inglés).<sup>19,20</sup> Se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 7

Escala de valoración de repercusión clínica de CAP de Yeh			
Parámetro	0	1	2
Frecuencia cardíaca	< 160 lpm	161-180 x'	> 181x'
Soplo	Ausente	Sistólico	Continuo
Pulsos amplios	Ausentes	Braquiales	Braquiales + Pedios
Precordio hiperdinámico	Ausente	Palpable	Visible
Índice cardiotorácico	< 0.64	0.65	>0.66

Fuente: Yeh TF, Raval D, Luken J, et al. Clinical evaluation of premature infants with patent ductus arteriosus: a scoring system with echocardiogram, acid-base, and blood gas correlations. Crit Care Med. 1981;9(9):655-7.

Cuadro 8

Parámetros por evaluar en la EfN y su efecto en el volumen del corto circuito		
Medida	Efecto del aumento del volumen del cortocircuito	Valor de corte
Diámetro del conducto arterioso (mm)	↑	Pequeño ≤ 1.5, moderado ≥ 1.5, grande ≥ 2
Proporción AI:Ao	↑	< 1.5
Proporción E/A	↑	< 1
TRIV (ms)	↓	≥ 45
GCI (mL/kg/min)	↑	≤ 200
Onda D de Doppler de vena pulmonar (cm/s)	↑	< 30
Flujo diastólico de la AP izquierda (cm/s)	↑	≤ 20
Diástole en aorta descendente	Reverso o ausente	Presente anterógrada
Diástole en tronco celiaco	Reverso o ausente	Presente anterógrada
Diástole en arteria cerebral media	Reverso o ausente	Presente anterógrada

AI:Ao: Atrio izquierdo, Raíz de la aorta, E/A: onda E (Temprana del inglés early)/ onda A (Sístole atrial), TRIV: Tiempo de Relajación Isovolumétrica, GCI: Gasto Cardíaco Izquierdo, AP: Arterial Pulmonar.

Fuente: Modificado de: Jain A, Shah PS. Diagnosis, Evaluation, and Management of Patent Ductus Arteriosus in Preterm Neonates. JAMA Pediatr. 2015 Sep;169(9):863-72. doi: 10.1001/jamapediatrics.2015.0987

El Dr. Fernando de Freitas Martins y colaboradores analizaron la relación de los elementos de esta escala y el tamaño del conducto arterioso. Estudiaron 104 neonatos menores de 30 SDEG con conducto arterioso de > de 7 días y encontraron que la técnica para establecer el tamaño ductal que mejor correlacionaba con marcadores de volumen del cortocircuito fue el diámetro no indizado. La mejor correlación se vio con flujo reverso diastólico en aorta descendente y

tronco celiaco que son marcadores de hipoperfusión. Existió una asociación débil entre marcadores del volumen del cortocircuito y el diámetro del conducto sugiriendo que el gradiente de presión transductal puede influenciar más los índices de carga de volumen/presión más que el tamaño del vaso.<sup>21</sup>

Es muy importante tomar en cuenta la proporción de la velocidad máxima de flujo durante la sístole y la diás-

Cuadro 9

Valoración multimodal del CAP			
Medida	CAP Pequeño	CAP Moderado	CAP Grande
<b>Tamaño del CAP</b>			
Diámetro (mm)	< 1.5	1.5 - 2.0	>2.0
Proporción velocidad sistólica pico: velocidad diastólica mínima	< 2	2-4	> 4
<b>Subrogados de sobrecarga pulmonar</b>			
Proporción AI:Ao	< 1.5	1.5 - 2	> 2
Proporción E:A	< 1	1.0	> 1.0
TRIV (ms)	> 40	30 - 40	< 30
GCI (mL/kg/min)	< 200	200 - 300	> 300
Onda D de Doppler de vena pulmonar (m/s)	< 0.3	0.3 - 0.5	≥ 0.5
Flujo diastólico de la AP izquierda (m/s)	< 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
<b>Marcadores de hipoperfusión sistémica (flujo diastólico)</b>			
Aorta descendente	Anterógrado	Ausente	Reverso
Tronco celiaco	Anterógrado	Ausente	Reverso
Arteria cerebral media	Anterógrado	Anterógrado	Reverso

AI:Ao: Atrio Izquierdo, Raíz de la aorta, E/A: onda E (Temprana del inglés early)/ onda A (Sístole atrial), TRIV: Tiempo de Relajación Isovolumétrica, GCI: Gasto Cardíaco Izquierdo, AP: Arterial Pulmonar.

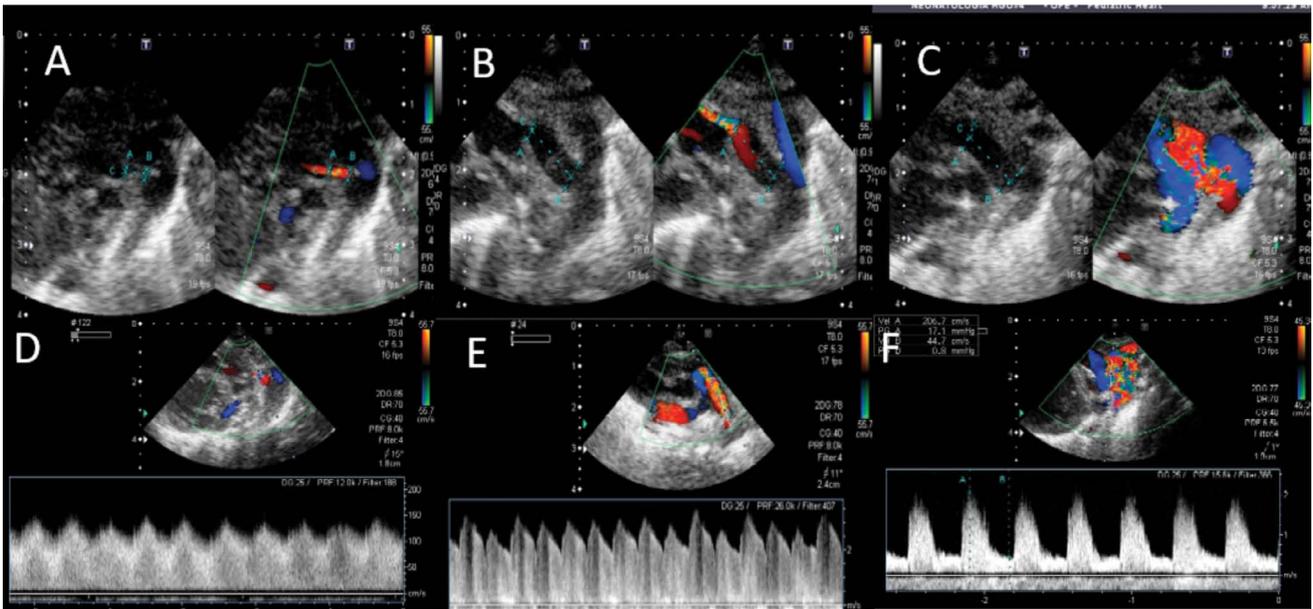
Fuente: Modificado de: McNamara PJ, Sehgal A. Towards rational management of the patent ductus arteriosus: the need for disease staging. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2007 Nov;92(6):F424-7. Erratum in: Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2008 Jan;93(1):F78.

tole, evaluada mediante Doppler continuo en el flujo transductal, considerando que el CAP sin Repercusión Hemodinámica (RH) tiene una alta velocidad de flujo durante la sístole y la diástole con una velocidad máxima superior a 2 m/seg al final de la diástole; a lo que se denomina “flujo transductal continuo restrictivo”. Si el CAP presenta moderada RH, el patrón de flujo Doppler tiene una velocidad diastólica máxima de menos de 2 m/seg y se denomina “flujo transductal no restrictivo”. Cuando el CAP es grande con RH, se observa un “flujo transductal pulsátil no restrictivo”, donde la velocidad diastólica final máxima es inferior a 1 m/seg. Además de los valores absolutos, también es posible medir la relación entre las velocidades sistólica y diastólica. Si la velocidad diastólica máxima es más del

50 % de la velocidad sistólica máxima, el patrón de flujo es restrictivo. Si esta relación es inferior al 50 %, el patrón de flujo es pulsátil, lo que sugiere un CAPHS<sup>22</sup>. La Figura 49 muestra los patrones mencionados.

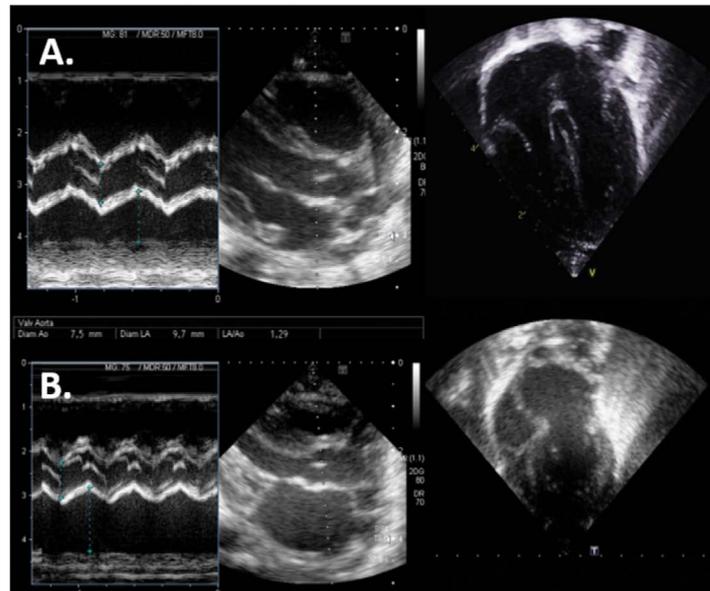
La proporción del atrio izquierdo comparado con la raíz de la aorta es un marcador del crecimiento de cavidades izquierdas. Se considera que comienza a haber dilatación con valores mayores de 1.5. La Figura 50 compara un corazón sin dilatación y uno con dilatación.

La proporción E/A es útil para determinar el incremento en el flujo a través de la válvula mitral. En los neonatos el miocardio es menos distensible resultan-



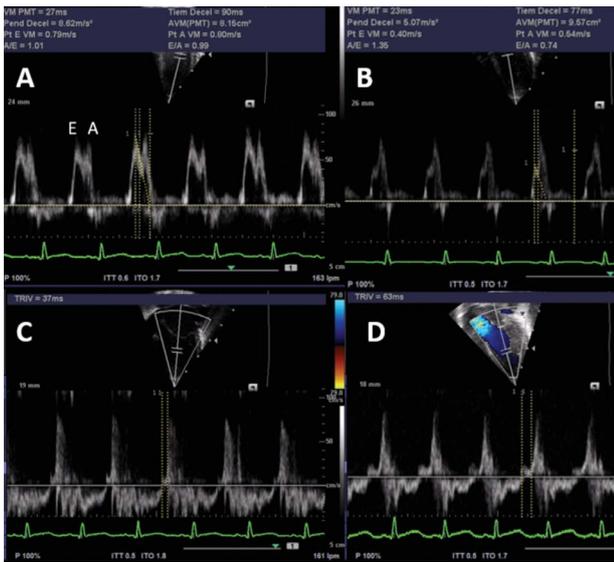
**F49** **Características del CAP.** Tamaño: Fila superior. **A)** CAP pequeño, cabo pulmonar 1.3 mm. **B)** CAP moderado, cabo pulmonar 1.9 mm. **C)** CAP grande, cabo pulmonar 4.4 mm. Gradiente medido por doppler continuo: Fila inferior. **D)** Restrictivo. **E)** Parcialmente restrictivo. **F)** No restrictivo.

Archivo clínico Dra. Apolonio, 2020.



**F50** **A)** Relación AI/Ao 1.29 normal (AI 9.7 mm, Ao 7.5 mm). **B.** Relación AI/Ao 1.84 incrementada (AI 14.5 mm, Ao 7.9 mm).

Archivo clínico Dra. Apolonio, 2020.



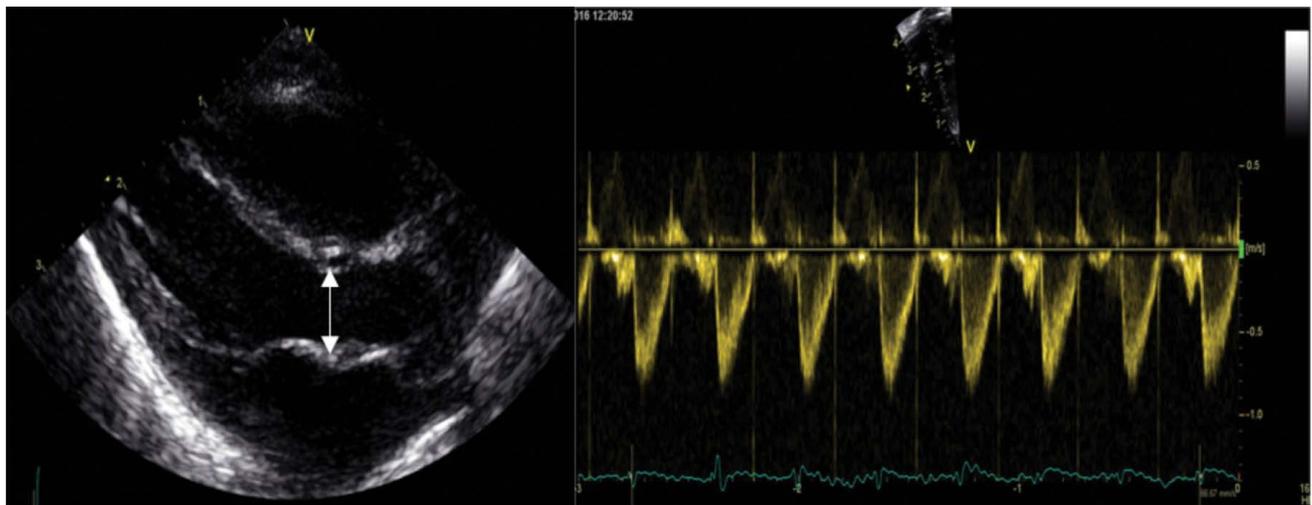
**F51** Flujo transmitral antes A y C y después B y D de cierre farmacológico de CAP. Relación E/A pasa de 0.99 a 0.74 y el tiempo de relajación isovolumétrica incrementa de 37 a 63 mseg.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2017.

do en una relajación diastólica y llenado pasivo alterados (Onda E). Al depender de la contracción atrial para el llenado del VI (Onda A) un neonato normal tiene una proporción E/A < 1. Al tener un volumen de cortocircuito incrementado por el conducto arterioso la presión del atrio izquierdo al final de la sistole lleva a un incremento del llenado temprano (E de early) pasivo resultando en un E/A mayor de 1.

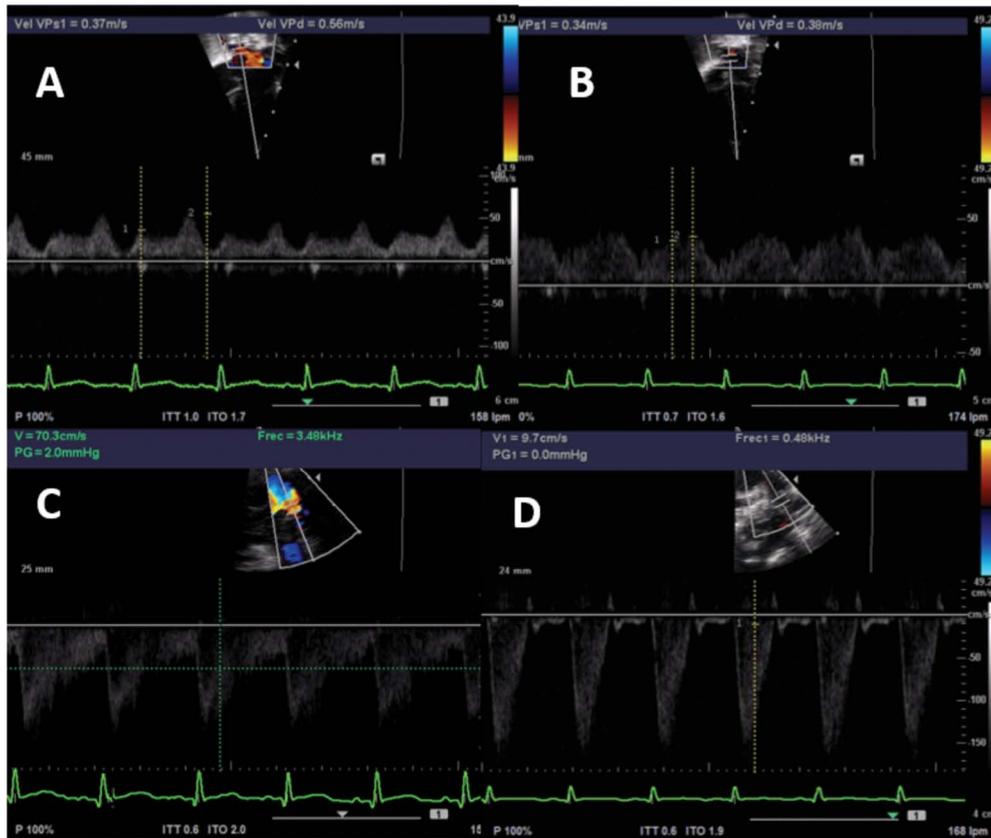
El Tiempo de Relajación Isovolumétrica (TRIV), es el que transcurre entre el cierre de la aorta y apertura de la mitral. En caso de un cortocircuito importante este tiempo se acorta ya que se abre más rápido la mitral por el incremento del gradiente de presión entre la aurícula y el ventrículo izquierdo. La Figura 51 muestra el flujo transmitral antes y después de cierre farmacológico de CAP en prematuro extremo.

El gasto cardiaco izquierdo en caso de CAP se incrementa ya que hay un cortocircuito de izquierda a derecha que va directamente a pulmón incremen-



**F52** Gasto cardiaco izquierdo. Se obtiene el diámetro de la aorta en eje largo y se divide entre 2, calculándose el área multiplicando  $3.1416 \times \text{radio}^2$ . Posteriormente se trazan generalmente 3 latidos y se promedian obteniendo el área bajo la curva que es la integral velocidad tiempo (IVT). Se multiplica el área  $\times$  IVT  $\times$  frecuencia cardiaca y se obtiene el gasto cardiaco en mL/kg/min.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.



F53

Retorno venoso pulmonar y velocidad diastólica de la arteria pulmonar izquierda (API) antes A y C y después B y D de cierre farmacológico de CAP. Onda D de la vena pulmonar pasa de 56 a 34 cm/s y velocidad diastólica de la API baja de 70.3 cm/s a 9.7 cm/s.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2017.

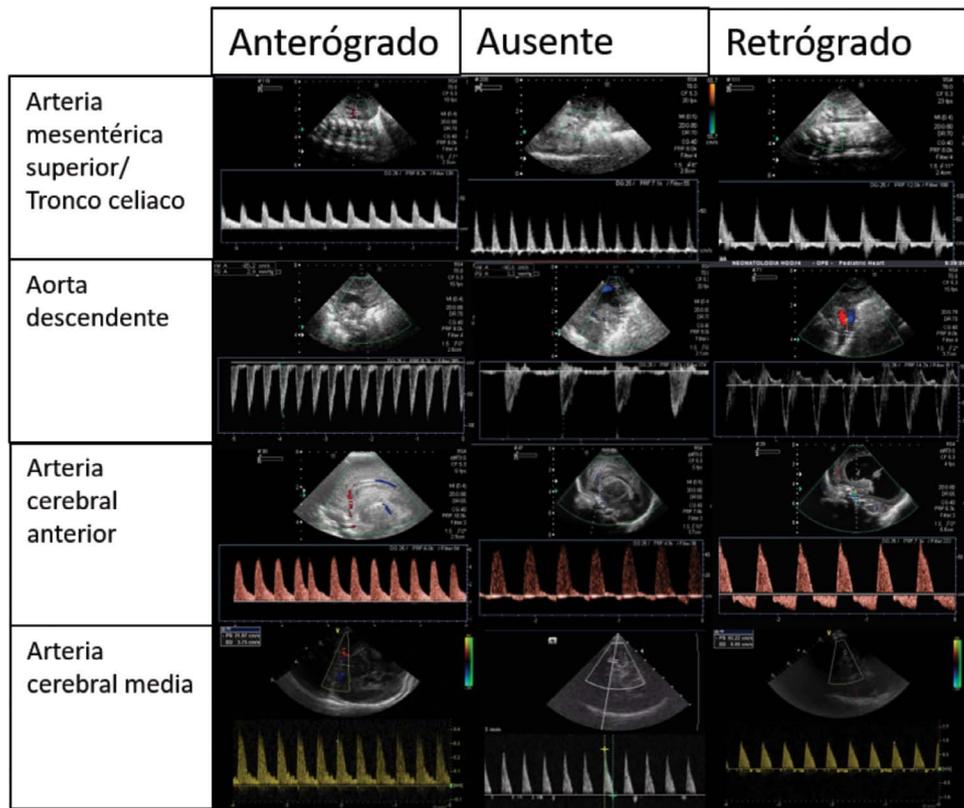
tando el retorno venoso pulmonar al atrio izquierdo. Para calcularlo se mide el área de la válvula aórtica en los puntos de inserción de la valva en eje largo y se divide entre 2 (radio), se miden tres integrales velocidad tiempo del Doppler pulsado de la AP a nivel de la válvula y se promedian y se obtiene la FC de ese momento. La fórmula es la siguiente:  $(3.1416 \times \text{radio}^2) \times \text{IVT} \times \text{FC}$  y se muestra de manera gráfica en la Figura 52.

Al incrementar el retorno venoso pulmonar típicamente crece la onda D de la vena pulmonar. De la misma manera al generarse un flujo turbulento por el CAP se obtiene un incremento en la velocidad

diastólica de la Arteria Pulmonar Izquierda (API). La Figura 53 muestra estos parámetros antes y después de cierre farmacológico.

La hipoperfusión sistémica, también denominada robo diastólico por algunos autores se analiza evaluando la diástole en vasos sistémicos como lo muestra la Figura 54.

Con variaciones menores este sistema de clasificación ha demostrado poder predecir muerte y desenlace neurológico adverso a los 2 años (valoración ecocardiográfica junto con péptido natriurético auricular a las 48 horas de vida<sup>23</sup>), el desarrollo de displa-



F54 Evaluación mediante Doppler pulsado del flujo diastólico de diversas arterias sistémicas.

Archivo clínico Dra. Apolonio, 2020.

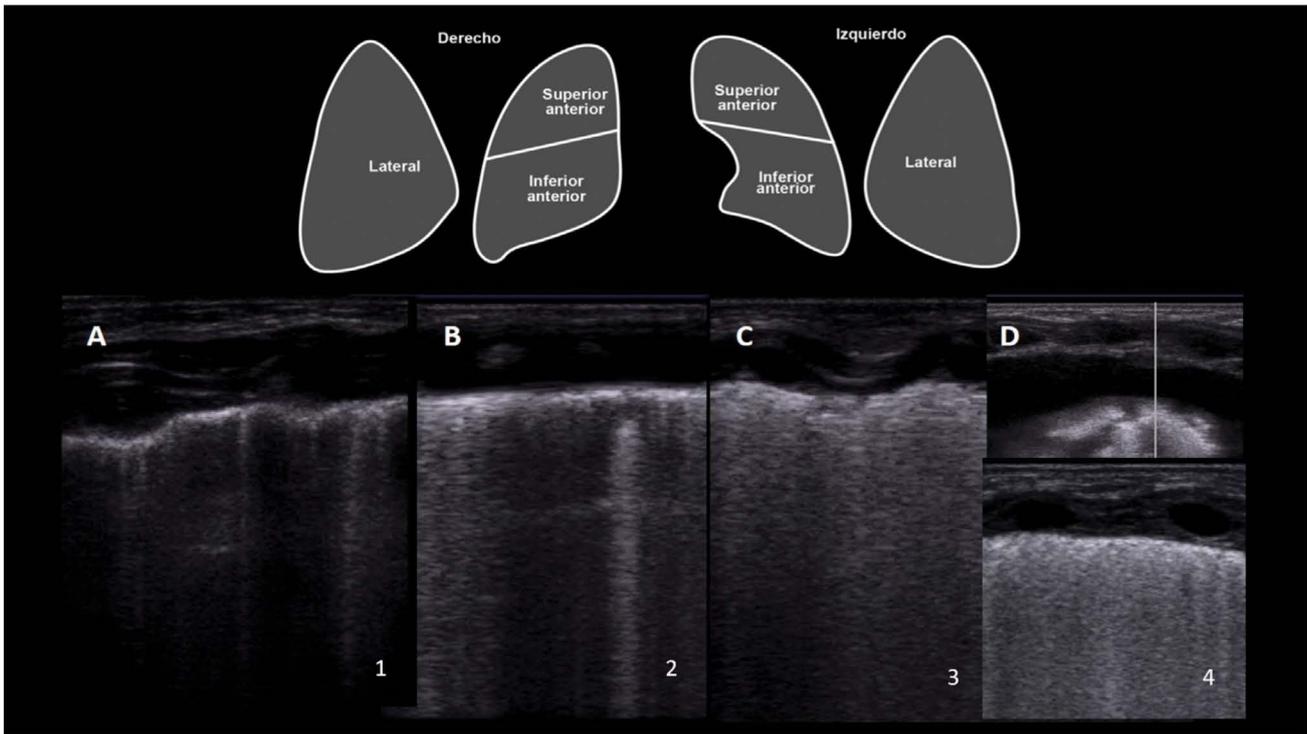
sia broncopulmonar<sup>24</sup> y el desenlace compuesto de muerte o displasia broncopulmonar.<sup>25</sup>

### Ultrasonido pulmonar en CAP

En cuanto al conducto arterioso permeable y el uso del UP Afshar y colaboradores del grupo de Winnipeg presentaron en PAS 2018<sup>26</sup> un trabajo de 12 neonatos < 30 SDEG utilizando la misma escala de la Dra. Brat y colaboradores<sup>27</sup> encontrando que el UP podía detectar la mejoría del edema pulmonar al disminuir la escala semicuantitativa conforme el conducto se cerraba.

En China el Dr. Min Zhao estudió 221 neonatos menores de 2500 g (94 con CAP y 127 controles). Utilizó la misma escala de la Dra. Brat,<sup>27</sup> realizando el estudio al cuarto día posnatal, encontrando un puntaje más alto en el grupo de CAP  $8.8 \pm 3.56$  vs  $6.75 \pm 3.66$ . Encontró un corte de 9.5 con una sensibilidad de 50 % y especificidad de 76.4 % con un ABC de 0.66 para predecir CAP.<sup>28</sup>

En el HIMFG se utiliza junto con la valoración ecocardiográfica una adaptación de la escala reportada por Girona-Alarcón clasificando el grado de edema de la siguiente manera: (Figura 55).<sup>29</sup>



F55

Valoración del edema pulmonar. Superior: 6 zonas a evaluar. Inferior: **A** Edema leve (1 punto) **B** Edema moderado (2 puntos) **C**. Edema grave (3 puntos) **D**. Derrame pleural. 4 puntos. Score: 6-9 puntos: edema leve, 10-14 puntos edema moderado.  $\geq 15$  puntos edema grave.

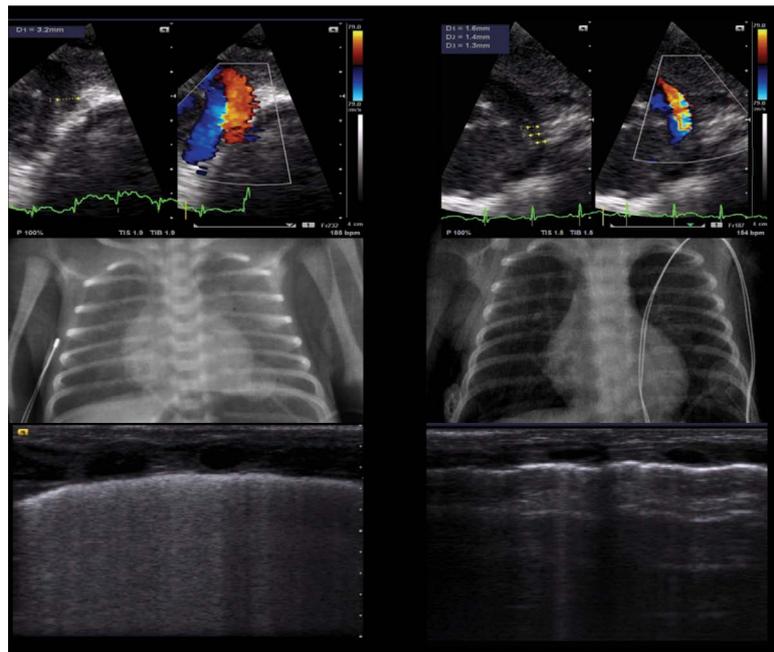
Adaptado de la escala LUCAS (Lung Ultrasonography in Cardiac Surgery). Girona-Alarcón M, Cuaresma-González A, Rodríguez-Fanjul J, Bobillo-Perez S, Inarejos E, Sánchez-de-Toledo J, Jordan I, Balaguer M. LUCAS (lung ultrasonography in cardiac surgery) score to monitor pulmonary edema after congenital cardiac surgery in children. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2020;1-6. doi: 10.1080/14767058.2020.1743660

- Edema leve (un punto). Detección de 3 o más líneas entre dos espacios intercostales con prevalencia de áreas respetadas.
- Edema moderado. Detección de 3 a 7 Líneas B entre dos espacios intercostales con aproximadamente el 50 % de áreas respetadas.
- Edema grave. Detección de más de 7 Líneas B entre dos espacios intercostales generando áreas de pulmón blanco con aproximadamente el 25 % de áreas respetadas.
- Pulmón blanco con consolidaciones subpleurales. Pulmón blanco con broncograma de colapso.

La Figura 56 muestra el caso de un conducto arterioso en los que se documentó mejoría en el UP tras el cierre farmacológico. El **Video 25** muestra un caso que requirió cierre quirúrgico documentándose el empeoramiento en el UP:

## HIPERTENSIÓN ARTERIAL PULMONAR EN EL RECIÉN NACIDO

El nacimiento es una de las transiciones fisiológicas más difíciles, implica la adaptación del entorno intrauterino al extrauterino, siendo los sistemas pul-



**F56** CAP y edema pulmonar. Mejoría en el grado de edema pulmonar antes y después de manejo farmacológico. Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2018.

monar y cardiovascular los más expuestos a esta transición.<sup>30</sup>

La Hipertensión Arterial Pulmonar del Recién Nacido (HAPRN) es una alteración que se presenta secundaria a una mala adaptación a dicha transición, caracterizada por una elevación sostenida de la resistencia vascular pulmonar. Esta impide que exista un rápido aumento del flujo sanguíneo pulmonar, necesario para llevar a cabo el intercambio de gases.<sup>31</sup> Como consecuencia puede existir un cortocircuito de derecha a izquierda en el foramen oval permeable, conducto arterioso permeable o ambos, lo que a su vez ocasiona hipoxemia importante.

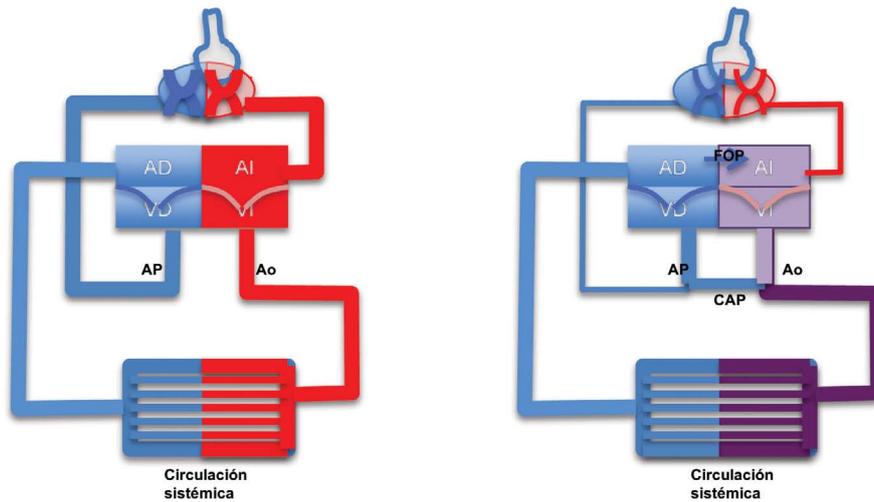
Su incidencia es de 1 a 2 por cada 1 000 nacidos vivos, con una morbilidad y mortalidad significativa.<sup>32</sup> La Figura 57 muestra la diferencia entre una transición normal y una alterada. La Figura 58 muestra

la transición fisiológica del flujo a través del CAP al disminuir las resistencias vasculares pulmonares.

Dentro de la fisiopatología se han descrito cuatro tipos de alteración: mala adaptación secundaria a enfermedades del parénquima pulmonar, mal desarrollo por alteración en la vasculatura pulmonar (idiopática), subdesarrollo, derivado de alguna de las causas de hipoplasia pulmonar y obstrucción intrínseca, como la observada en pacientes con policitemia.<sup>33</sup>

## DIAGNÓSTICO

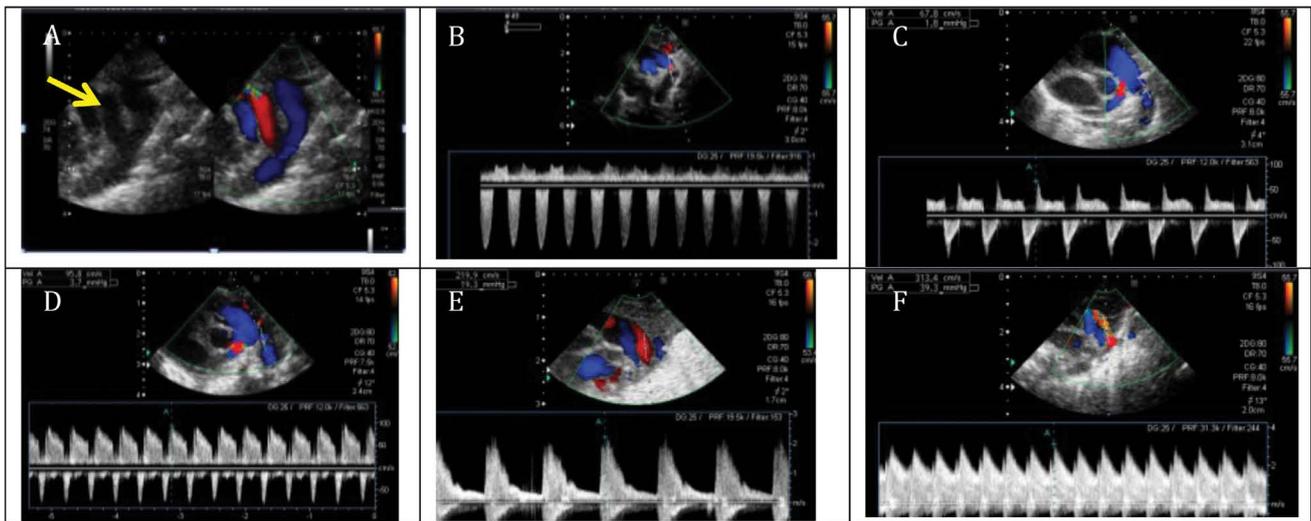
El diagnóstico clínico se basa en la presencia de hipoxemia marcada, lo que obliga a realizar un diagnóstico diferencial con una cardiopatía congénita cianógena. La evaluación de la saturación pre y posductal es una herramienta útil para la



F57

Se muestra la diferencia entre una transición normal vs alterada. **A)** Circulación postnatal con una adecuada adaptación, las resistencias vasculares pulmonares disminuyeron permitiendo un adecuado flujo a la circulación pulmonar, con una adecuada oxigenación de la circulación sistémica. **B)** HPPRN con incremento de las resistencias vasculares pulmonares, por lo que el gasto cardiaco es mantenido por el flujo de derecha a izquierda a través del foramen oval y el conducto arterioso permeable, con hipoxemia severa secundaria.

Archivo clínico Dra. Apolonio, 2020.



F58

**Transición fisiológica del flujo a través del CAP al disminuir la resistencia vascular pulmonar. A)** Imagen del conducto arterioso permeable en bidimensional (flecha) y Doppler color. Doppler continuo del flujo a través del CAP. **B)** Cortocircuito bidireccional, predominio derecha a izquierda (AP-Ao). **C)** Cortocircuito bidireccional. **D)** Cortocircuito bidireccional predominio izquierda a derecha (Ao-AP). **E)** Cortocircuito de izquierda a derecha con flujo pulsátil. **F)** Cortocircuito izquierda a derecha con flujo restrictivo.

Archivo clínico Dra. Apolonio, 2020.

sospecha diagnóstica inicial, teniendo como hallazgo una diferencia de saturación mayor del 5 al 10 % o una diferencia de PaO<sub>2</sub> mayor de 10 a 20 mm Hg, tomando en cuenta que resultados similares pueden encontrarse en pacientes con coartación de aorta y CAP. El ecocardiograma es el estándar de oro para la confirmación del diagnóstico, ya que permite descartar la presencia de alguna cardiopatía congénita estructural y muestra datos ecocardiográficos directos e indirectos de dicha alteración.<sup>34</sup>

El Cuadro 10 muestra los parámetros utilizados para su valoración integral incluyendo los marcadores de incremento de la poscarga, así como del desempeño del ventrículo derecho (Cuadro 10).

El Cuadro 11 muestra la evolución del compromiso hemodinámico por HAP y las estrategias de manejo.

### UP en hipertensión arterial pulmonar

El UP una herramienta muy útil para diagnosticar alteraciones del parénquima pulmonar o descartar compromiso. La Dra. Beatriz Hurtado de Mendoza del grupo español estudió 17 neonatos que ingresaron a ECMO para detectar la etiología de la hipertensión pulmonar realizando el UP antes de la canulación y de manera cegada a los investigadores radiografía de tórax. Encontraron que el UP mostró una mejor sensibilidad (89 %) y especificidad (85 %) que la radiografía para mostrar enfermedad no parenquimatosa (neumotórax, displasia alveolocapilar, sepsis) que los rayos X.<sup>36</sup>

### UP en cardiopatías congénitas que generan hiperflujo pulmonar

En la etapa neonatal nos podemos enfrentar a diversas cardiopatías que generan hiperflujo pulmonar. Estas son: Canal Atrioventricular, Comunicación Interauricular o Interventricular grandes, Ventana Aor-

topulmonar, Origen Anómalo de la Arteria Pulmonar Derecha de la Aorta Ascendente, CAP, Malformaciones Arteriovenosas, Conexión Anómala Total de Venas Pulmonares no obstruida, fisiología de Ventrículo Único SIN obstrucción al tracto de salida (Doble Entrada del Ventrículo Izquierdo generalmente con Aorta L malpuesta y Atresia/estenosis de Válvulas AV con Defecto Septal Ventricular grande) y Tronco Arterioso.

### UP en Cardiopatías congénitas que generan hiperflujo pulmonar

El UP puede ser de relevancia para el Cardiólogo<sup>37</sup> ya que el análisis de Líneas B puede ayudar para diagnosticar edema pulmonar hemodinámico.<sup>38</sup>

Se han descrito en medicina de adultos características sonográficas útiles para distinguir entre edema cardiogénico o pulmonar (Cuadro 12)<sup>39</sup>.

El Dr. Javier Rodríguez-Fanjul y colaboradores del grupo español, describieron la utilidad del UP para detectar hiperflujo pulmonar en neonatos cardiopatas. Estudiaron 51 pacientes de los cuales 36 (70.6 %) fueron susceptibles de presentar hiperflujo pulmonar por su tipo de cardiopatía. Se comparó el resultado del UP con la exploración física, rayos X simples y ecocardiografía. Los pacientes con cardiopatías susceptibles a presentar hiperflujo pulmonar tuvieron un puntaje mayor después de las 72 horas ( $p = < 0.05$ ) con una buena correlación con ecocardiografía y con mejor sensibilidad que la exploración física y los Rayos X.<sup>40</sup>

En Finlandia el Dr. Anu Kaskinen estudió 61 niños (rango de 3 días a 7.4 años) quienes fueron sometidos a cirugía cardiovascular por cardiopatía congénita. Compararon el UP vs radiología simple posquirúrgica para diagnosticar edema pulmonar. Encontraron menor variabilidad inter observador al utilizar el UP versus rayos X simples. Tanto el UP como los rayos X

Cuadro 10

Parámetros utilizados para la valoración integral de la hipertensión arterial pulmonar en el recién nacido

Medición indirecta del incremento de la poscarga del ventrículo derecho (VD)

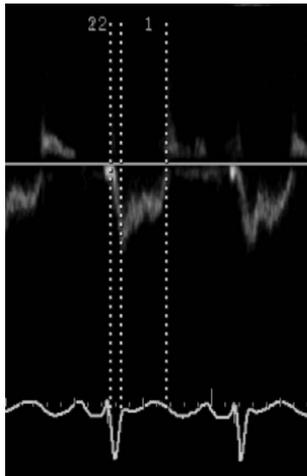
Medida	Interpretación
Configuración del septo interventricular	Plano al final de la sístole indica presión sistólica del ventrículo derecho (PSVD) > 50% de la presión sistémica



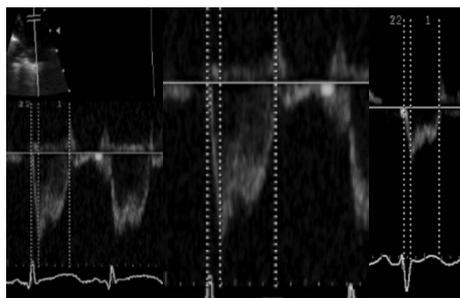
Movimiento septal paradójico (en U hacia el ventrículo izquierdo) PSVD supra sistémica



Tiempo de eyección de la Arteria Pulmonar (AP)	Inversamente relacionada a la distensibilidad de la AP
--	--

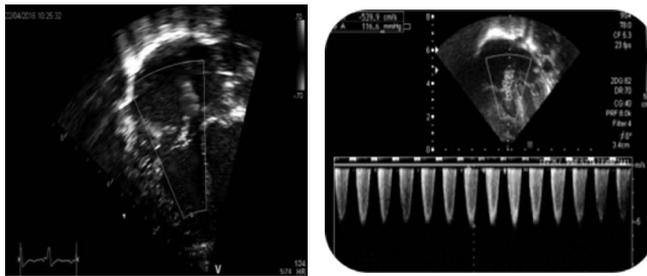


Tiempo de Aceleración de la Arteria Pulmonar	Correlación inversa con resistencias vasculares pulmonares (RVP) y presión media de la AP.
--	--



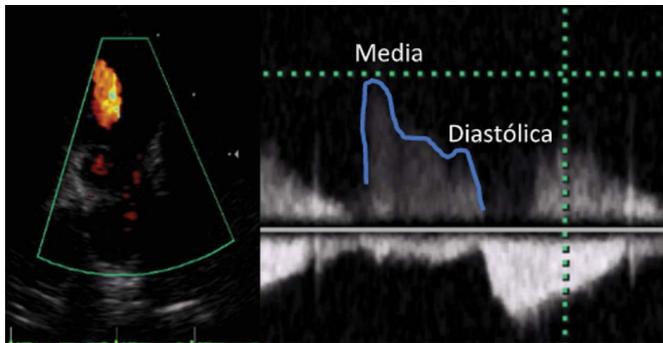
Presión Sistólica del Ventriculo Derecho (PSVD) por insuficiencia tricuspídea.

Estimación por jet regurgitante de la tricúspide con espectro completo de la velocidad máxima por ley de Bernoulli ( $4V^2$ )



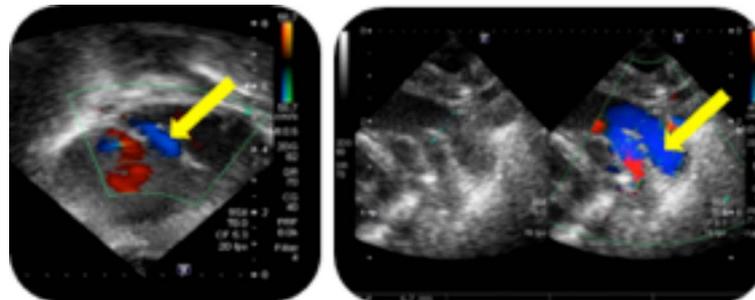
Presión media y diastólica de la AP

Estimación por jet regurgitante de la válvula pulmonar con espectro completo por ley de Bernoulli ( $4V^2$ )



Flujo a través del foramen oval y CAP

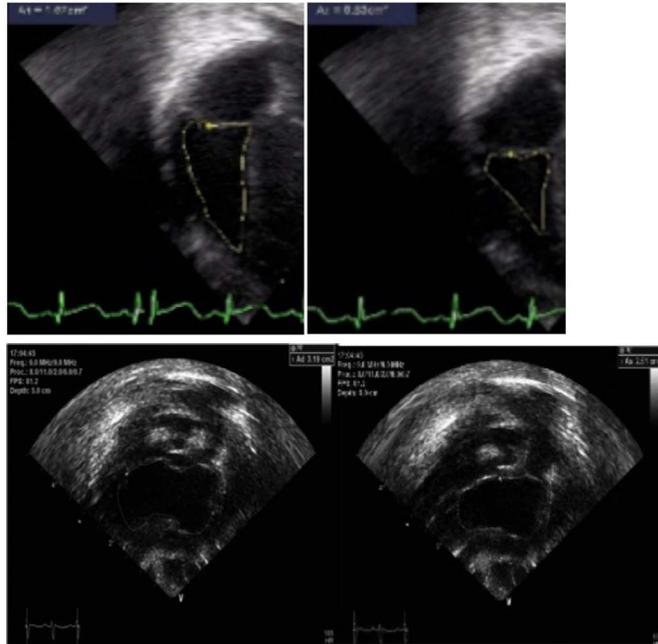
Clásicamente se va a encontrar un flujo bidireccional (derecha a izquierda en sistole) o de derecha a izquierda puro en caso graves.



**Desempeño del ventrículo derecho**

Cambio fraccional de área del ventrículo derecho

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.



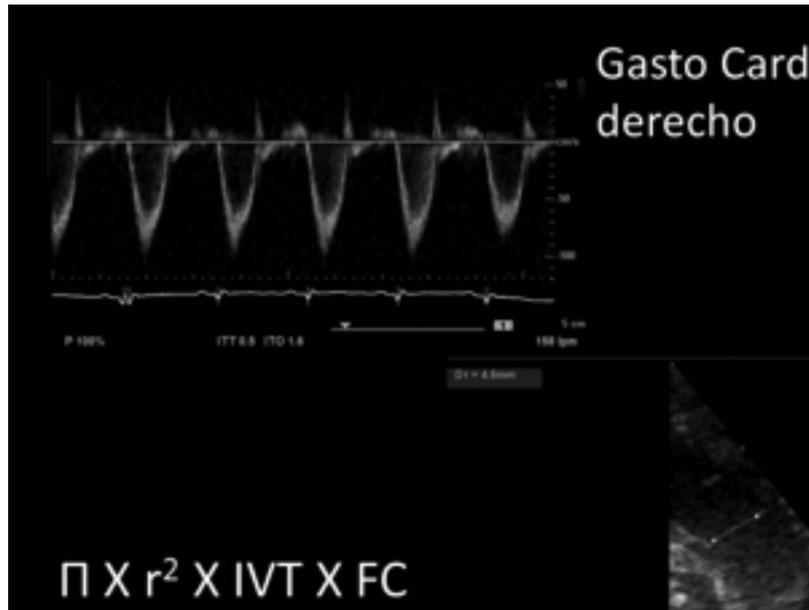
TAPSE (de las siglas en inglés de Excursión Sistólica del Anillo Tricuspeideo)

Contractilidad longitudinal (base al ápex) del VD.



Gasto cardiaco del ventriculo derecho.

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. El gasto cardiaco se calcula  $(3.1416 \times \text{radio}^2) \times \text{IVT} \times \text{FC}$



Adaptado de: de Boode WP, Singh Y, Molnar Z, et al. Application of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of persistent pulmonary hypertension of the newborn. *Pediatr Res.* 2018;84(Suppl 1):68-77. doi:10.1038/s41390-018-0082-0

alterados predijeron el tiempo de soporte ventilatorio y la estancia en Cuidados Intensivos.<sup>41</sup> También del grupo español Girona-Alarcón y colaboradores estudiaron 17 pacientes menores a dos meses<sup>29</sup> utilizando la escala de la Figura 55 para detectar edema tras cirugía cardiaca. Encontraron que el UP tuvo mayor sensibilidad que los rayos X simples (92 vs. 44 %) y un VPN mayor (88 vs. 53 %). Puntajes más altos de la escala LUCAS se correlacionaron con mayor tiempo de bypass cardiopulmonar, soporte inotrópico y necesidades de  $\text{FiO}_2$ . El **Video 26** muestra ejemplos de cardiopatías con flujo pulmonar aumentado.

## CONCLUSIONES

El diagnóstico y tratamiento del CAPHS se basa en una escala ecocardiográfica que determina el tamaño de este, subrogados de hiperflujo pulmonar y marcadores de hipoperfusión sistémica. El UP en CAP permite establecer el grado de edema pulmonar y correlaciona con el tamaño del conducto y la magnitud del cortocircuito de izquierda a derecha. El ecocardiograma es fundamental para confirmar el diagnóstico de la HAPRN y descartar cardiopatías congénitas. El UP es una herramienta muy útil al abordar un RN con HAPRN para diagnosticar alteraciones del parénquima pulmonar o descartar compromiso. El UP tiene un papel significativo en el seguimiento de cardiopatías con flujo pulmonar aumentado y en el post quirúrgico de Cirugía Cardiovascular en UCIN.

**Manifestaciones hemodinámicas de la hipertensión pulmonar aguda y manejo propuesto.<sup>35</sup>**

Tipo de hipotensión	Fisiopatología	Hallazgos ecocardiográficos	Terapia propuesta
PAS y PAD normal (etapa prehipotensiva)	Disminución en el flujo sanguíneo pulmonar (disminución en la precarga del VI) El VI compensa incrementando la contractilidad y/o la frecuencia cardiaca para mantener flujo sanguíneo sistémico	Crítico: ↓ GCD, ↑FE y GCI normal. Otros: ↓ flujo de las VP, ↓ Flujo trans mitral, ↓ E y E<A ± ↓ leve de la contractilidad del VD	Primera línea ONi, volumen Optimizar sedación y ventilación Segunda línea: Milrinona
↓ PAS, PAD normal	Disminución en el flujo sanguíneo pulmonar (baja precarga del VI) Función sistólica del VI normal (falla en la compensación miocárdica) ↓ Flujo sanguíneo sistémico.	Crítico: ↓ GCD, FE normal y ↓ GCI. Otros: ↓ flujo de las VP, ↓ Flujo trans mitral, ↓ E y E<A ± ↓ leve de la contractilidad del VD	Primera línea: ONi, volumen ↓ PMVA, optimizar sedación Segunda línea Milrinona Vasopresina Dobutamina
↓↓ PAS, PAD normal	Flujo sanguíneo pulmonar severamente comprometido Muy baja precarga del VI Reducción de la función sistólica del VI ↓↓ flujo sanguíneo sistémico Disfunción ventricular derecha	Crítico: ↓↓ GCD, ↓FE y ↓GCI, ↓ moderada a severa de la contractilidad del VD Otros: ↓ flujo de las VP, ↓Flujo trans mitral, ↓ E y E<A	Primera línea: ONi, volumen ↓ PMVA, optimizar sedación Segunda línea: Vasopresina Dobutamina Tercera línea: Prostaglandinas Epinefrina Esteroides
↓↓ PAS, PAD ↓ Hipotensión profunda	Flujo sanguíneo pulmonar severamente comprometido Muy baja precarga del VI Reducción de la función sistólica del VI y VD ↓↓↓ flujo sanguíneo sistémico Paro cardiaco inminente	Crítico: ↓↓ GCD, ↓↓ FE y ↓↓ GCI, ↓ severa de la contractilidad del VD Otros: ↓↓ flujo de las VP, ↓Flujo trans mitral, ↓↓ E y A RT frecuentemente ausente	Primera línea ONi, volumen, ↓ PMVA Segunda línea: Vasopresina Prostaglandinas Epinefrina Esteroides Referencia temprana a ECMO

PAS: Presión arterial sistólica, PAD: Presión arterial diastólica, VI: Ventriculo izquierdo, GCD: gasto cardiaco derecho, FE: Fracción de eyección, GCI: Gasto cardiaco izquierdo, VP: venas pulmonares, VD: Ventriculo derecho, ONi: óxido nítrico inhalado, PMVA: presión media de la vía aérea. RT: Regurgitación tricúspidea. ECMO: Circulación por membrana extracorpórea. Adaptado de: Jain A, McNamara PJ. Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn: Physiology, Hemodynamic Assessment and Novel Therapies. Current Pediatric Reviews 2013, 9(1), 55-66.doi:10.2174/157339613805289514

**Comparación entre edema cardiogénico o de causa pulmonar en el UP**

Cardiogénico	Pulmonar
Líneas B típicas (semejando un láser) con disposición septal	Disposición septal inusual (Líneas Borrosas, desiguales, coalescentes o pulmón blanco)
Línea pleural regular	Línea pleural irregular
Deslizamiento pulmonar +++++	Disminución en el deslizamiento pulmonar
Involucro homogéneo	Involucro heterogéneo mono, multifocal o en parches.
No hay consolidación o irregularidades pleurales	Consolidaciones pequeñas o extendidas

Adaptado de: Soldati G, Demi M. The use of lung ultrasound images for the differential diagnosis of pulmonary and cardiac interstitial pathology. *J Ultrasound*. 2017;20(2):91-96. Published 2017 Apr 7. doi:10.1007/s40477-017-0244-7

**REFERENCIAS**

1. Benitz WE, Committee on Fetus and Newborn. Patent ductus arteriosus in preterm infants. *Pediatrics*. 2016;137:e20153730. doi: 10.1542/peds.2015-3730
2. Michel-Macias C, Martínez-García A. Proposal for a specific classification code in the International Classification of Diseases for patent ductus arteriosus of the premature infant. *Cardiol Young*. 2020;1. doi: 10.1017/S1047951120001225.
3. Schmidt B, Davis P, Moddemann D, Ohlsson A, Roberts RS, Saigal S, et al.; Trial of Indomethacin Prophylaxis in Preterms Investigators. Long-term effects of indomethacin prophylaxis in extremely-low-birth-weight infants. *N Engl J Med*. 2001; 344(26):1966-72.
4. Yllescas-Medrano E, Fernández-Carrocera LA, San Miguel-Armenta A. Indometacina intravenosa en la prevención de la hemorragia intraventricular en RN con peso menor o igual a 1,750 g, sometidos a ventilación asistida. *Perinatol Reprod Hum*. 2001;15(3):176-180.
5. Kluckow M, Jeffery M, Gill A, Evans N. A randomised placebo-controlled trial of early treatment of the patent ductus arteriosus. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2014;99(2):F99-F104. doi: 10.1136/archdischild-2013-304695.
6. Sosenko IR, Fajardo MF, Claire N, Bancalari E. Timing of patent ductus arteriosus treatment and respiratory outcome in premature infants: a double-blind randomized controlled trial. *J Pediatr*. 2012;160(6):929- 35.e1.
7. Edstedt Bonamy AK, Gudmundsdottir A, Maier RF, Toome L, Zeitlin J, Bonet M, et al. collaborators from the EPICE Research Group. Patent ductus arteriosus treatment in very preterm infants: a European population based cohort study (EPICE) on variation and outcomes. *Neonatology*. 2017;111(4):367-75.
8. Mitra S, Florez ID, Tamayo ME, Mbuagbaw L, Vanniyasingam T, Veroniki AA, et al. Association of placebo, indomethacin, ibuprofen, and acetaminophen with closure of hemodynamically significant patent ductus arteriosus in preterm infants: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2018;319(12):1221-38.
9. Clyman RI, Liebowitz M, Kaempf J, Erdeve O, Bulbul A, Håkansson S, Lindqvist J, Farooqi A, Katheria A, Sauberan J, Singh J, Nelson K, Wickremasinghe A, Dong L, Hassinger DC, Aucott SW, Hayashi M, Heuchan AM, Carey WA, Derrick M, Fernandez E, Sankar M, Leone T, Perez J, Serize A; PDA-TOLERATE (PDA: TO LEave it alone or Respond And Treat Early) Trial Investigators. PDA-TOLERATE Trial: An Exploratory Randomized Controlled Trial of Treatment of Moderate-to-Large Patent Ductus Arteriosus at 1 Week of Age. *J Pediatr*. 2019;205:41-48.e6. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.09.012.
10. Liebowitz M, Katheria A, Sauberan J, Singh J, Nelson K, Hassinger DC, Aucott SW, Kaempf J, Kimball A, Fernandez E, Carey WA, Perez J, Serize A, Wickremasinghe A, Dong L, Derrick M, Wolf IS, Heuchan AM, Sankar M, Bulbul A, Clyman RI; PDA-TOLERATE (PDA: TOLEave it alone or Respond And Treat Early) Trial Investigators. Lack of Equipoise in the PDA-TOLERATE Trial: A Comparison of Eligible Infants Enrolled in the Trial and Those Treated Outside the Trial. *J Pediatr*. 2019;213:222-226.e2. doi: 10.1016/j.jpeds.2019.05.049.
11. Hundscheid T, Onland W, van Overmeire B, Dijk P, van Kaam AHLC, Dijkman KP, Kooi EMW, Villamor E, Kroon AA, Visser R, Vijlbrief DC, de Tollenaer SM, Cools F, van Laere D, Johanson AB, Hocq C, Zecic A, Adang E, Donders R, de Vries W, van Heijst AFJ, de Boode WP. Early treatment versus expectative management of patent ductus arteriosus in preterm infants: a multicentre, randomised, non-inferiority trial in Europe (BeNeDuctus trial). *BMC Pediatr*. 2018;18(1):262. doi: 10.1186/s12887-018-1215-7

12. Isayama T, Kusuda S, Reichman B, et al. Neonatal Intensive Care Unit-Level Patent Ductus Arteriosus Treatment Rates and Outcomes in Infants Born Extremely Preterm. *J Pediatr.* 2020;220:34-39.e5. doi:10.1016/j.jpeds.2020.01.069
13. Elgin TG, McNamara PJ, Giesinger RE. Dichotomizing the spectrum of ductal shunt places long-term outcomes research at risk. *J Pediatr.* 2019;209:257. doi: 10.1016/j.jpeds.2019.02.006
14. Singh Y. Ecocardiographic Evaluation of Hemodynamics in neonates and children. *Front pediatr.* 2017; 5:201. doi:10.3389/fped.2017.00201
15. Ibarra-Ríos D, Márquez-González H, Quiroga-Valdés A, Guzmán-Arce AE, Villanueva-García D, Villegas-Silva R. Análisis de los resultados del programa de ecocardiografía funcional neonatal en un hospital pediátrico de tercer nivel. *Bol Med Hosp Infant Mex.* 2020;77(4):178-185. doi:10.24875/BMHIM.20000036
16. Escourrou G, De Luca D. Lung ultrasound decreased radiation exposure in preterm infants in a neonatal intensive care unit. *Acta Paediatr.* 2016;105(5):e237-e239. doi:10.1111/apa.13369
17. Yeh TF, Raval D, Luken J, et al. Clinical evaluation of premature infants with patent ductus arteriosus: a scoring system with echocardiogram, acid-base, and blood gas correlations. *Crit Care Med.* 1981;9(9):655-7.
18. Jain A, Shah PS. Diagnosis, Evaluation, and Management of Patent Ductus Arteriosus in Preterm Neonates. *JAMA Pediatr.* 2015;169(9):863-72. doi: 10.1001/jamapediatrics.2015.0987.
19. van Laere D, van Overmeire B, Gupta S, El-Khuffash A, Savoia M, McNamara PJ, Schwarz CE, de Boode WP; European Special Interest Group 'Neonatologist Performed Echocardiography' (NPE). Application of NPE in the assessment of a patent ductus arteriosus. *Pediatr Res.* 2018;84(Suppl 1):46-56. doi: 10.1038/s41390-018-0077-x
20. McNamara PJ, Sehgal A. Towards rational management of the patent ductus arteriosus: the need for disease staging. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2007;92(6):F424-7. doi: 10.1136/adc.2007.118117
21. de Freitas Martins F, Ibarra Ríos D, F Resende MH, Javed H, Weisz D, Jain A, de Andrade Lopes JM, McNamara PJ. Relationship of Patent Ductus Arteriosus Size to Echocardiographic Markers of Shunt Volume. *J Pediatr.* 2018;202:50-55.e3. doi: 10.1016/j.jpeds.2018.06.045
22. Arlettaz R. Echocardiographic Evaluation of Patent Ductus Arteriosus in Preterm Infants. *Front Pediatr.* 2017;5:147. Published 2017 Jun 21. doi:10.3389/fped.2017.00147
23. El-Khuffash AF, Slevin M, McNamara PJ, Molloy EJ. Troponin T, N-terminal pro natriuretic peptide and a patent ductus arteriosus scoring system predict death before discharge or neurodevelopmental outcome at 2 years in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2011;96:F133-F137
24. Sehgal A, Paul E, Menahem S. Functional echocardiography in staging for ductal disease severity: role in predicting outcomes. *Eur J Pediatr.* 2013;172:179-184.
25. El-Khuffash A, James AT, Corcoran JD, et al. A Patent Ductus Arteriosus Severity Score Predicts Chronic Lung Disease or Death before Discharge. *J Pediatr.* 2015;167(6):1354-1361.e2. doi:10.1016/j.jpeds.2015.09.028
26. Afshar N. A lung ultrasound severity score predicts the response to treatment of patent ductus arteriosus in preterm infants. *E-PAS2019:4131.030.*
27. Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Shankar Aguilera S, De Luca D. Lung Ultrasonography Score to Evaluate Oxygenation and Surfactant Need in Neonates Treated With Continuous Positive Airway Pressure. *JAMA Pediatr.* 2015;169(8):e151797. doi:10.1001/jamapediatrics.2015.1797
28. Zhao M, Huang XM, Niu L, Ni WX, Zhang ZQ. Lung Ultrasound Score Predicts the Extravascular Lung Water Content in Low-Birth-Weight Neonates with Patent Ductus Arteriosus. *Med Sci Monit.* 2020;26:e921671. doi:10.12659/MSM.921671
29. Girona-Alarcón M, Cuaresma-González A, Rodríguez-Fanjul J, Bobillo-Perez S, Inarejos E, Sánchez-de-Toledo J, Jordan I, Balaguer M. LUCAS (lung ultrasonography in cardiac surgery) score to monitor pulmonary edema after congenital cardiac surgery in children. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2020:1-6. doi: 10.1080/14767058.2020.1743660
30. Swanson J, Sinkin Robert. Transition from Fetus to Newborn. *Pediatr Clin N Am* 2015;62: 329-343. doi: 10.1016/j.pcl.2014.11.002
31. Lakshminrusimha S, Keszler M. Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn. *NeoReviews.* 2015;16: e680-692. doi: 10.1542/neo.16-12-e680
32. Gasque GJJ. Hipertensión pulmonar persistente en niños recién nacidos. *Conceptos recientes. Rev Mex Pediatr.* 2014;81(5); 183-193.
33. Sharma V, Berkelhamer S, Lakshminrusimha S. Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn. *Maternal Health, Neonatology and Perinatology* 2015; 1. doi: 10.1186/s40748-015-0015-4
34. de Boode WP, Singh Y, Molnar Z, et al. Application of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of persistent pulmonary hypertension of the newborn. *Pediatr Res.* 2018;84(Suppl 1):68-77. doi:10.1038/s41390-018-0082-0
35. Jain A, McNamara PJ. Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn: Physiology, Hemodynamic Assessment and

- Novel Therapies. *Current Pediatric Reviews*. 2013;9(1), 55-66. doi:10.2174/157339613805289514
36. 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
37. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound*. 2011;9:6. Published 2011 Feb 27. doi:10.1186/1476-7120-9-6
38. Lichtenstein DA. Lung ultrasound for the cardiologist-a basic application: The B-profile of the Bedside Lung Ultrasound in Emergencies protocol for diagnosing haemodynamic pulmonary oedema [published online ahead of print, 2020 Jul 29]. *Arch Cardiovasc Dis*. 2020;S1875-2136(20)30155-8. doi:10.1016/j.acvd.2020.05.005
39. Soldati G, Demi M. The use of lung ultrasound images for the differential diagnosis of pulmonary and cardiac interstitial pathology. *J Ultrasound*. 2017;20(2):91-96. Published 2017 Apr 7. doi:10.1007/s40477-017-0244-7
40. Rodríguez-Fanjul J, Llop AS, Balaguer M, Bautista-Rodríguez C, Hernando JM, Jordan I. Usefulness of Lung Ultrasound in Neonatal Congenital Heart Disease (LUSNEHD): Lung Ultrasound to Assess Pulmonary Overflow in Neonatal Congenital Heart Disease. *Pediatr Cardiol*. 2016;37(8):1482-1487. doi:10.1007/s00246-016-1461-0
41. Kaskinen AK, Martelius L, Kirjavainen T, Rautiainen P, Andersson S, Pitkänen OM. Assessment of extravascular lung water by ultrasound after congenital cardiac surgery. *Pediatr Pulmonol*. 2017;52(3):345-352. doi:10.1002/ppul.23531

# Capítulo 9. Método de adquisición de imágenes y algoritmos

Dr. Daniel Ibarra Ríos

Dra. Alejandra Sánchez Cruz

Dr. Yasser N Elsayed

## INTRODUCCIÓN

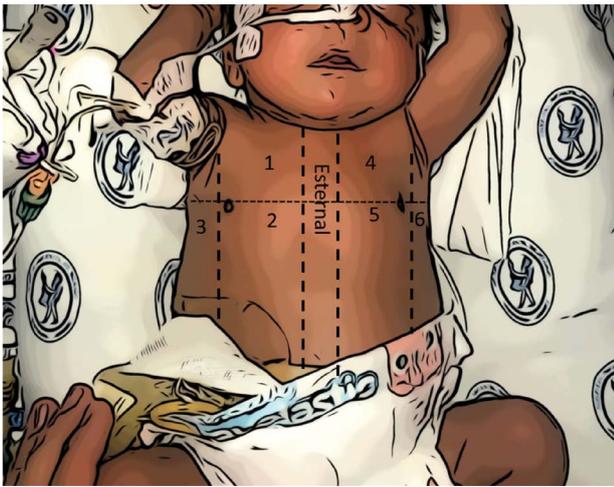
El ultrasonido es una técnica de mucha utilidad a la cama del paciente. Se puede considerar como el quinto pilar de la exploración física al ser una extensión de los sentidos. Las enfermedades que pueden ser diagnosticadas y seguidas incluyen el déficit de surfactante, taquipnea transitoria del recién nacido, hemorragia pulmonar, neumonía, atelectasias, neumotórax, síndrome de aspiración meconial, derrame pleural, displasia broncopulmonar y malformaciones pulmonares. Permite evaluar la efectividad de las maniobras de reclutamiento y dar seguimiento a la ventilación mecánica y sus complicaciones. Así mismo, se utiliza para estudiar el grado de edema pulmonar en el neonato con CAP relacionado con la prematuridad y otras cardiopatías congénitas con flujo pulmonar aumentado. Al ser una técnica joven en neonatología es de suma importancia la sistematización en su obtención, así como la estandarización en su comunicación y reporte. A continuación, se muestra el protocolo de adquisición de imágenes, así como técnicas complementarias para evaluar la intubación, el timo (Ver también Capítulo 1) y la excursión diafragmática.

## ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Para realizar el ultrasonido pulmonar en neonatos o prematuros lo ideal es usar un transductor lineal de alta frecuencia (10 MHz o superior), el cual proporciona una alta resolución y poca penetración.

Se recomienda generar una configuración pre establecida de UP; esto se puede realizar cuando se adquiere el equipo con el especialista de aplicaciones. Si no hay una configuración preestablecida se puede iniciar con "Partes blandas". Si el foco no es automático se debe colocar a nivel de la línea pleural. Se deben desactivar filtros sofisticados que están diseñados para suprimir artefactos como imagen armónica de tejidos (*Tissue Harmonic Imaging*) o multihaz compuesto (*Compounding/multibeam*) o reducción de manchas (*Speckle Reduction*). Ajustar la profundidad a 3 cm. Esta se puede aumentar si es necesario explorar más profundo (Neumonías, derrames) o si hay edema de tejidos blandos importante (Hidrops).

Se debe utilizar gel tibio. En la mayoría de los centros se hace el estudio dependiendo de la posición en la que se encuentre el neonato. El estudio es más fiable si lleva una hora en esa posición de acuerdo con Louis y colaboradores que estudiaron la posición prona vs supina en neonatos  $\geq 29$  SDEG con dificultad respiratoria (retención de líquido pulmonar fetal 53 %, déficit de surfactante 41 %). Compararon la escala semicuantitativa en prono y en supino encontrando que era posible realizarla en ambas posiciones con puntajes mayores inmediatamente al cambiar de posición (recordando que el líquido sigue las reglas de la gravedad) pero equiparándose tras una hora del cambio de posición<sup>1</sup>. A pesar de que algunos autores recomiendan estudiar todo el tórax (anterior, lateral y posterior) no hay mucha evidencia al respecto. La mayoría de los estudios se han realizado en el tórax anterior y lateral y es muy importante en neonatos inestables no alterar la posición si esto compromete su estabilidad. Una excepción podría darse es cuando se sospecha



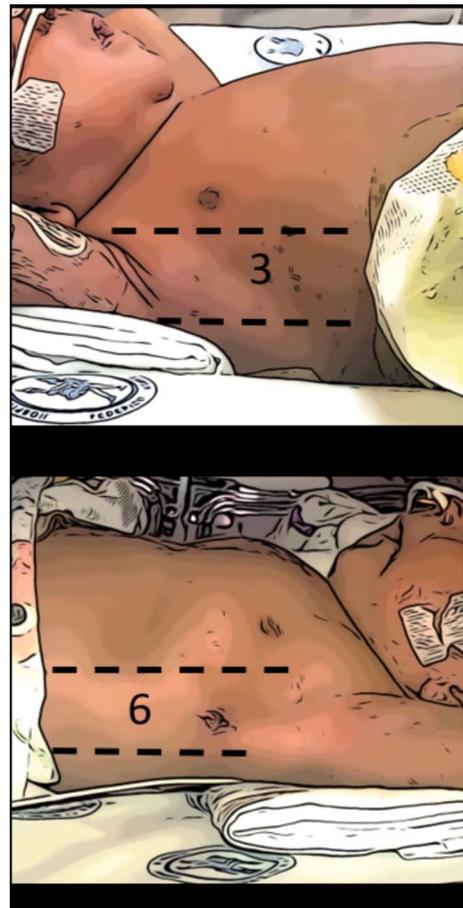
**F59** Regiones del tórax anterior. De la línea paraesternal a la línea axilar anterior. Está a su vez dividida por la línea inter mamaria se divide en superior e inferior.

Adaptado de: Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol.* 2020 Jul;55(7):1550-1562. doi: 10.1002/ppul.24792

una condición heterogénea y al buscar consolidación o atelectasias<sup>2</sup>. En este caso debe existir una segunda persona encargada de movilizar cuidadosamente al neonato y el grado de edema debe tomarse con reserva. Es deseable en muchas situaciones el cambio de posición y pronar a los pacientes por lo que el estudio se puede adaptar a la dinámica de enfermería. En general el estudio no debe tomar más de 5 minutos.

Se debe dividir el tórax en tres regiones utilizando la línea axilar anterior y posterior, así como las líneas para esternales y para vertebrales. De esa manera tenemos:

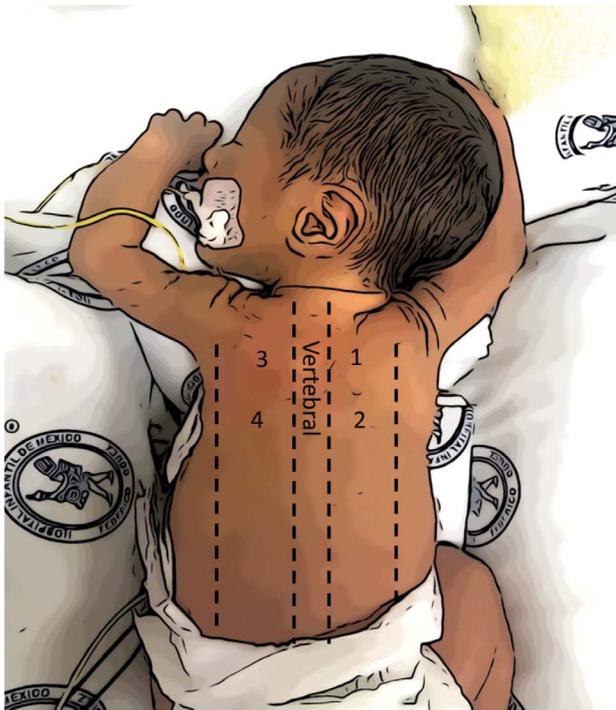
1. **Región anterior** (Figura 59). De la línea para esternal a la línea axilar anterior. Esta a su vez dividida por la línea inter mamaria se divide en:



**F60** Región lateral de la línea axilar anterior a la posterior. Adaptado de Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives.

Adaptado de: Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol.* 2020 Jul;55(7):1550-1562. doi: 10.1002/ppul.247922

- a) Superior
  - b) Inferior
2. **Región lateral** (Figura 60). De la línea axilar anterior a la posterior.
  3. **Región posterior** de la línea paravertebral a la línea axilar posterior (Figura 61).

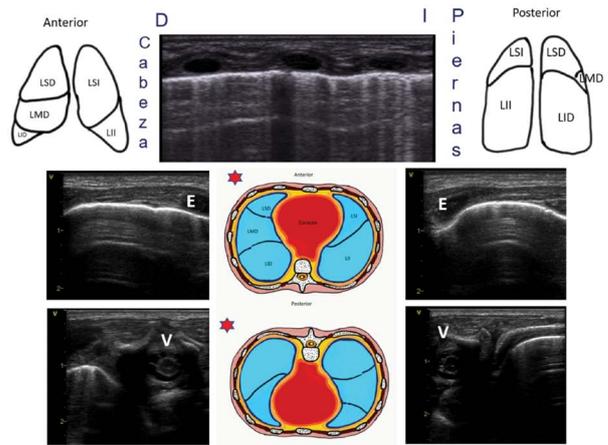


**F61** Región posterior. De la línea paravertebral a la línea axilar posterior.

Adaptado de: Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol.* 2020 Jul;55(7):1550-1562. doi: 10.1002/ppul.24792

**Vista transdiafragmática.** Se recomienda también una vista poniendo el transductor bajo la región xifoidea con la escotadura viendo hacia la derecha y barrer de abajo hacia arriba para ver los pulmones a través del hígado como ventana acústica. **Video 27.**

Se debe realizar primero el escaneo longitudinal con la escotadura hacia arriba (perpendicular a las costillas) con deslizamiento de medial a lateral tanto en la región anterior como posterior. Se recomienda hacer clips de por lo menos 6 segundos. Posteriormente se debe girar el transductor 90° para escanear de arriba abajo a través de los espacios intercostales. Se recomienda que en los cortes



**F62** Orientación anatómica. La estrella representa la dirección de la escotadura. E: esternón, V: vértebra. LSD: Lóbulo superior derecho, LMD: Lóbulo medio derecho, LID: Lóbulo inferior derecho, LSI: Lóbulo superior izquierdo, LLI: Lóbulo inferior izquierdo. D: derecha, I: izquierda.

*Adaptado de:* 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

anteriores la escotadura se dirija hacia la derecha (hígado del paciente) y en las posteriores hacia la izquierda (corazón del paciente).<sup>3</sup> De esa manera en los cortes longitudinales la derecha de la pantalla es superior y la izquierda es inferior. En los cortes transversales anteriores en los derechos el esternón está a la izquierda de la pantalla y en los izquierdos el esternón está a la derecha de la pantalla (anatómicamente correspondientes). De la misma manera en los posteriores derechos la columna está a la izquierda de la pantalla mientras que en los posteriores izquierdos la columna está a la derecha de la pantalla. (anatómicamente correspondientes) (Figura 62 y **Videos 28 y 29**).

Se recomienda tomar una imagen fija en caso de querer realizar una escala semicuantitativa.

En la región lateral se realiza el barrido de la línea posterior a la anterior.

## LÍNEA PLEURAL

En general en RN de término y prematuros una línea pleural normal mide menos de 1 mm<sup>4</sup>. Valores mayores a 1 mm se observan en aspiración de meconio, déficit de surfactante y es un importante signo en displasia broncopulmonar, se considera una línea pleural engrosada cuando mide  $\geq 0.5$  mm.

## ALGORITMO DIAGNÓSTICO CON BASE EN LÍNEAS B

En el Capítulo 1 se muestra el algoritmo básico general que parte de la identificación del signo del murciélago.<sup>5</sup>

A continuación, se muestra el algoritmo diagnóstico con base en las Líneas B en dificultad respiratoria aguda durante la transición o "crónica" después de esta etapa (Algoritmo 2).<sup>6</sup>

## INTUBACIÓN

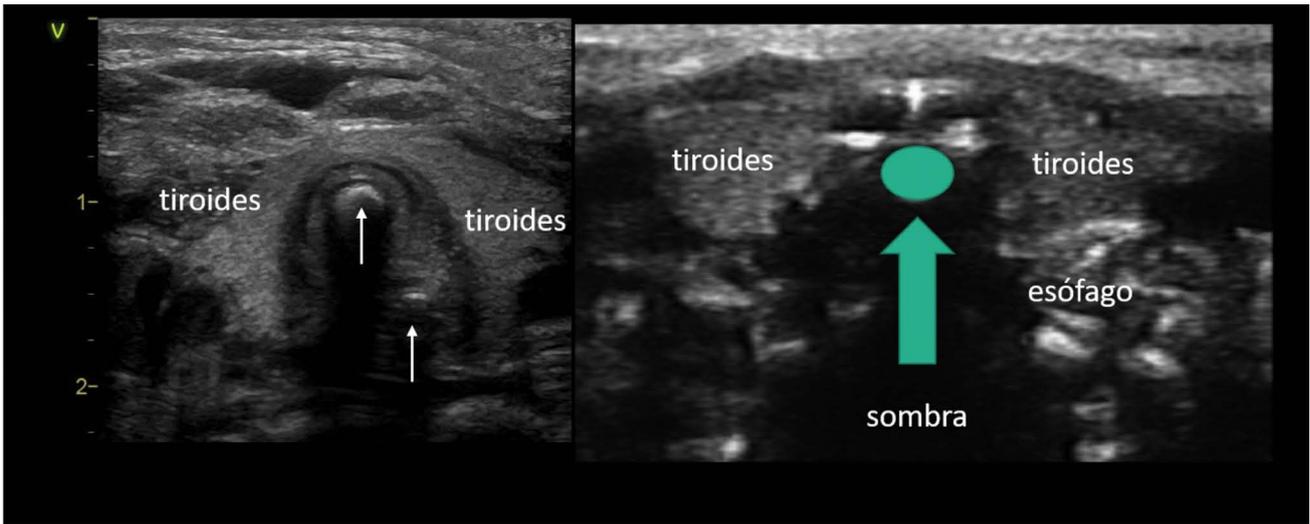
Con el transductor lineal con la escotadura viendo hacia la derecha colocar el transductor sobre el cuello del neonato (se recomienda una segunda persona cuidando la vía aérea). A nivel del cricoides se deben localizar los dos lóbulos tiroideos, cuando el paciente está correctamente intubado, se puede observar el contorno del tubo (en doble riel) generando sombra posterior.<sup>7</sup> El esófago a la izquierda de la pantalla generalmente está colapsado. En caso de verlo dilatado con sombra posterior puede corresponder a intubación esofágica o que tenga una sonda. La Figura 63 muestra las relaciones anatómicas y una

intubación correcta. La ecografía transtraqueal tiene una sensibilidad de 98.7 % y una especificidad del 97.1 %.<sup>8</sup>

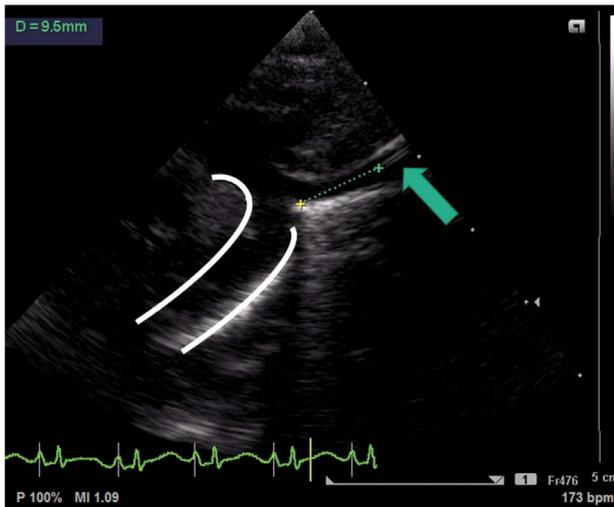
Para evaluar la profundidad de inserción se requieren habilidades adicionales. El arco aórtico se considera un punto de orientación para localizar la carina. Con un transductor micorconvexo se debe obtener la vista del arco aórtico en una vista supraesternal (generalmente la escotadura viendo hacia la 1 en dirección de las manecillas del reloj hasta obtener la vista del tubo y el arco aórtico. Se debe medir la distancia entre ellos (Figura 64). Dependiendo de la edad gestacional es deseable que se encuentre entre 0.5-2 cm de distancia.<sup>9,10</sup> Para procedimientos de urgencia es útil verificar que el tubo está dentro de la tráquea, que hay deslizamiento pleural bilateral y que hay excursión diafragmática bilateral y como lo demostró el Dr. Rodríguez Fanjul en neonatos intubados para INSURE; la presencia de pulso pulmonar (ausencia de deslizamiento pleural y visualización clara de las pulsaciones cardiacas a nivel de la línea pleural) es un dato de intubación bronquial selectiva contralateral.<sup>11</sup>

Si se identifica un tubo profundo (menos de 1 cm aunque en prematuros puede ser menos de 0.5 cm) se recomienda verificar por clínica la profundidad de inserción y después realizar movimiento gentiles de 0.5 a 1 cm y verídica deslizamiento pleural bilateral. El considerar un tubo "profundo" o pasado menos de 1 cm comparado con rayos X en un estudio con neonatos de  $1282 \pm 866$  gramos mostraron una sensibilidad del 86 % y una especificidad (para detectar un tubo que no está pasado o profundo) del 96 %.<sup>12</sup>

El **Video 30** muestra la utilidad del ultrasonido para verificar la intubación en pacientes con vía aérea difícil.



**F63** Relaciones anatómicas e intubación correcta. La primera imagen muestra la tráquea intubada y el esófago con sonda nasogástrica. En la segunda imagen el círculo verde muestra la posición del tubo y la flecha representa la sombra acústica. El esófago a la izquierda se observa colapsado ya que no hay sonda y no se produce la sombra posterior.  
 Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2020.



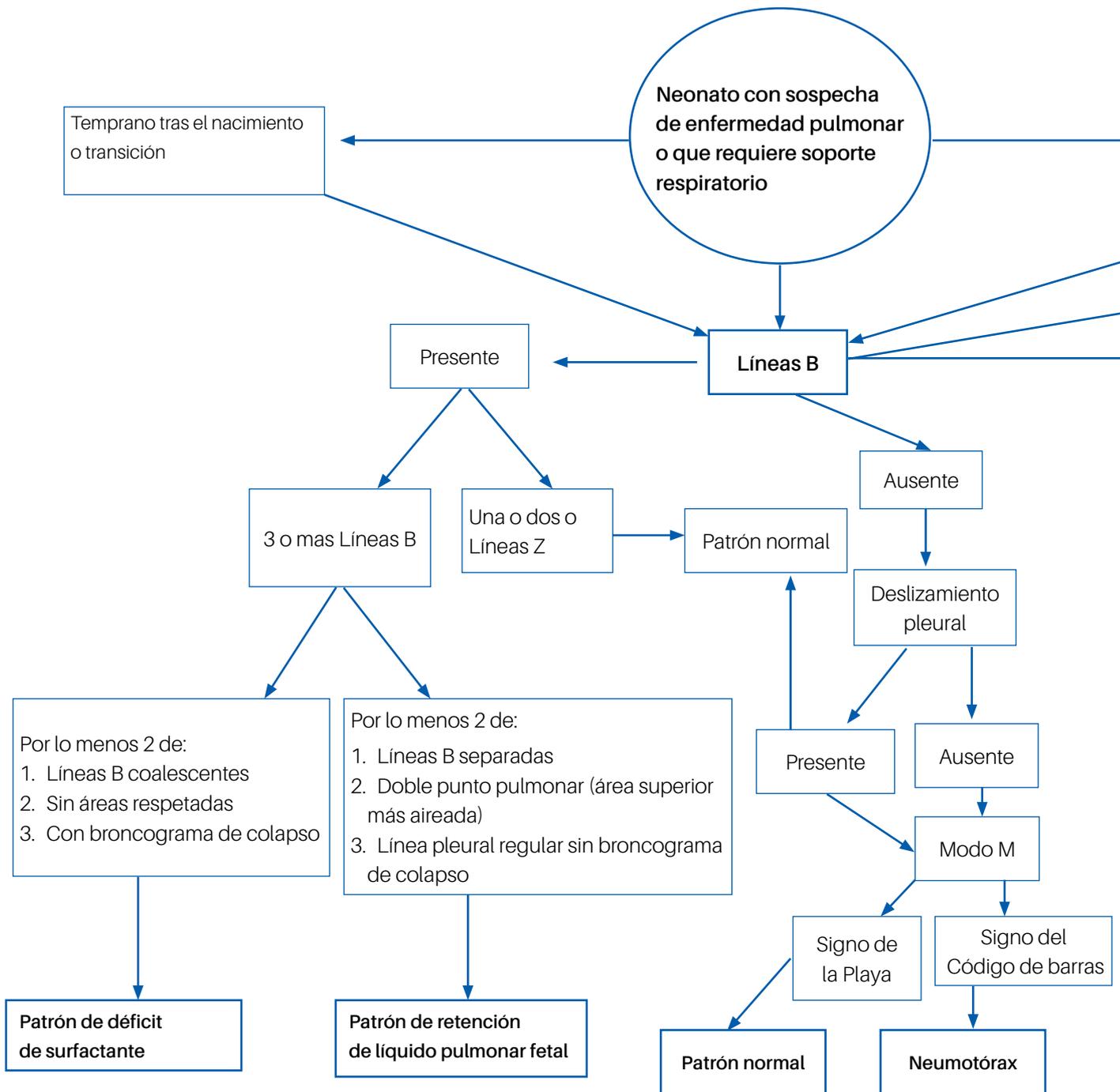
**F64** Corte supraesternal mostrando el arco aórtico y el tubo endotraqueal (flecha) con una distancia entre ambos de 9.5 mm. El arco aórtico se considera un punto de orientación para localizar la carina. Dependiendo la edad gestacional es deseable que se encuentre entre 0.5-2 cm de distancia.  
 Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2019.

## TIMO

En todo ultrasonido pulmonar en la región anterior al desplazarse de la región derecha a la izquierda aparecerá el timo. Está localizado en el mediastino anterior y superior, sobreponiéndose al pericardio, el arco aórtico, la arteria pulmonar, la vena innominada izquierda y la tráquea: puede extenderse superiormente al borde inferior de la tiroides o inferiormente al diafragma, rara vez al mediastino posterior. No debe desplazar estructuras. Tiene una ecogenicidad homogénea, con múltiples láminas. Su ecogenicidad es similar a la del hígado o bazo.<sup>13</sup> En el capítulo de generalidades se explican las medidas habituales. El Cuadro 13 muestra valores de referencia.

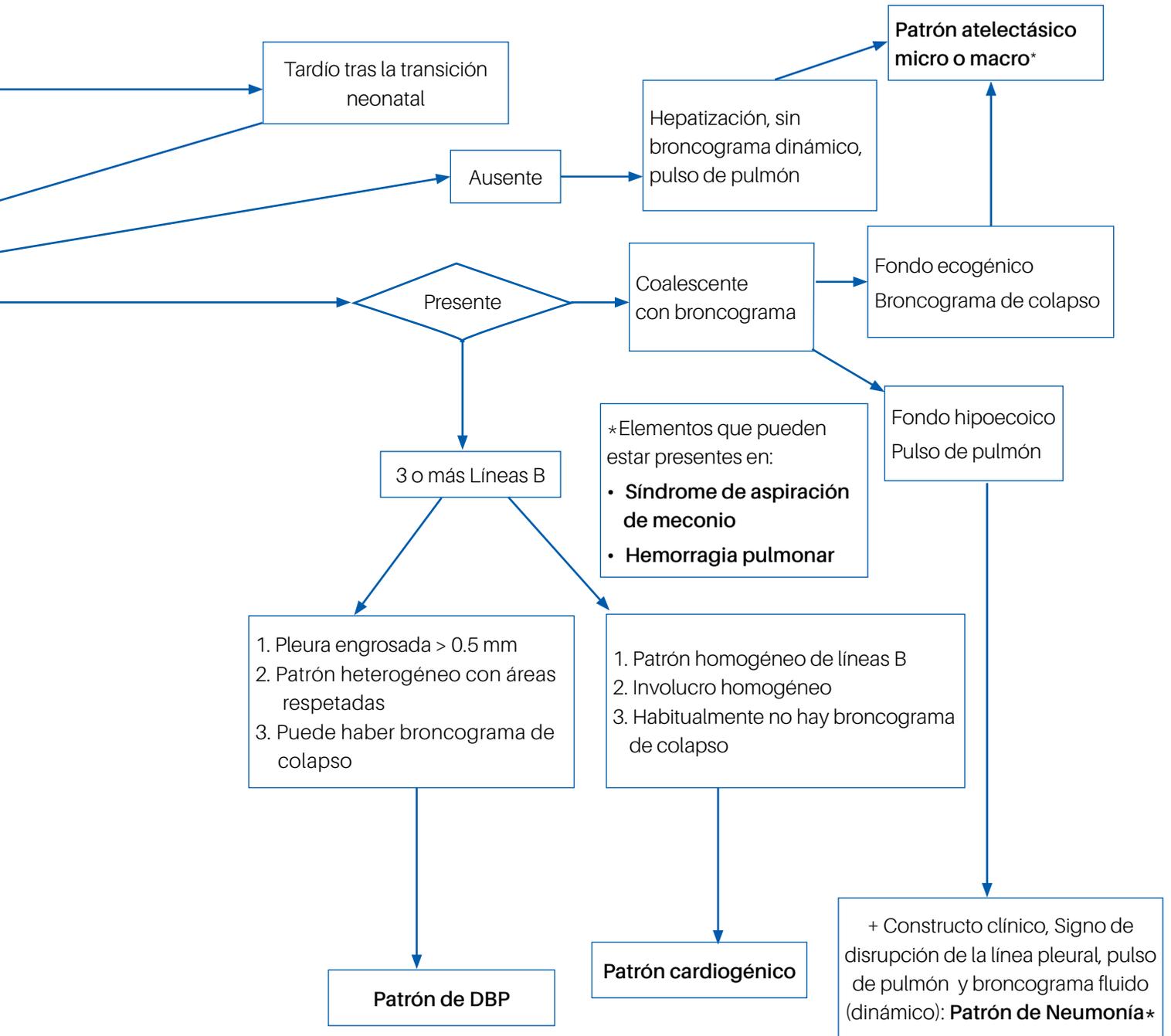
## EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA

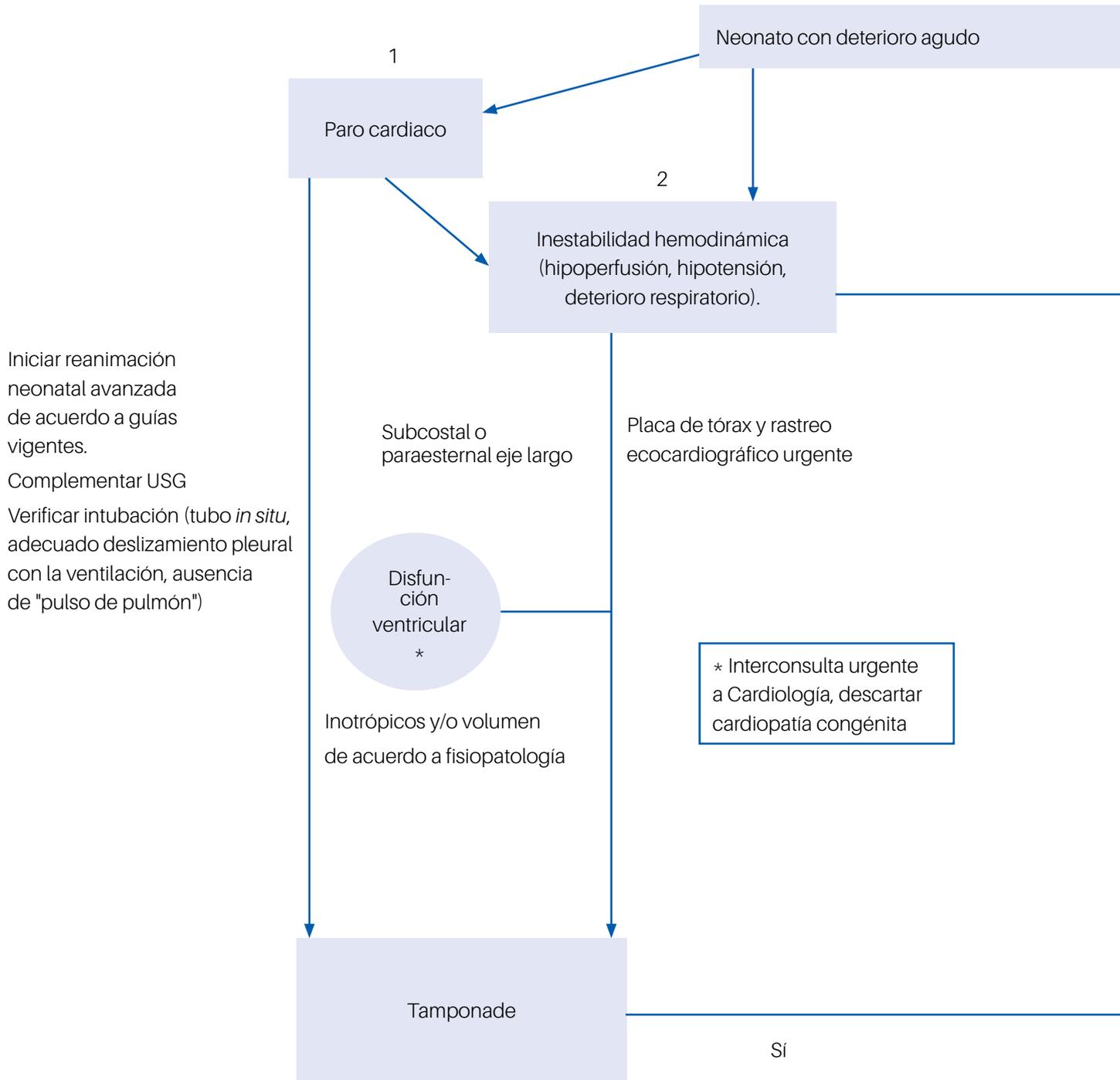
Se recomienda obtener una vista longitudinal con el transductor posicionado en la línea axilar posterior



**A2** Algoritmo diagnóstico con base en las Líneas B

Adaptado de: 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

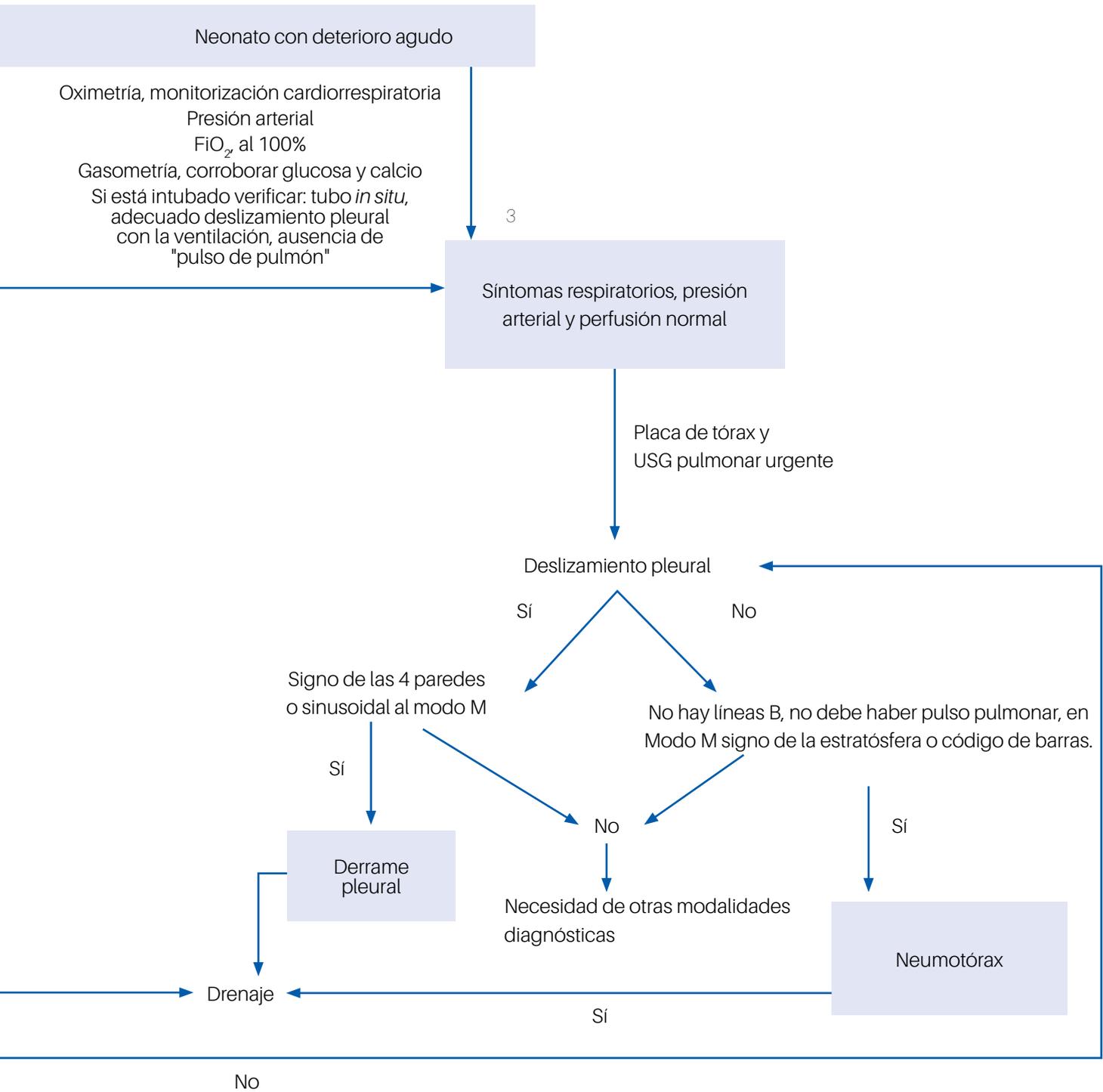




A3

Ultrasonido en la Reanimación Neonatal y el neonato con descompensación súbita.

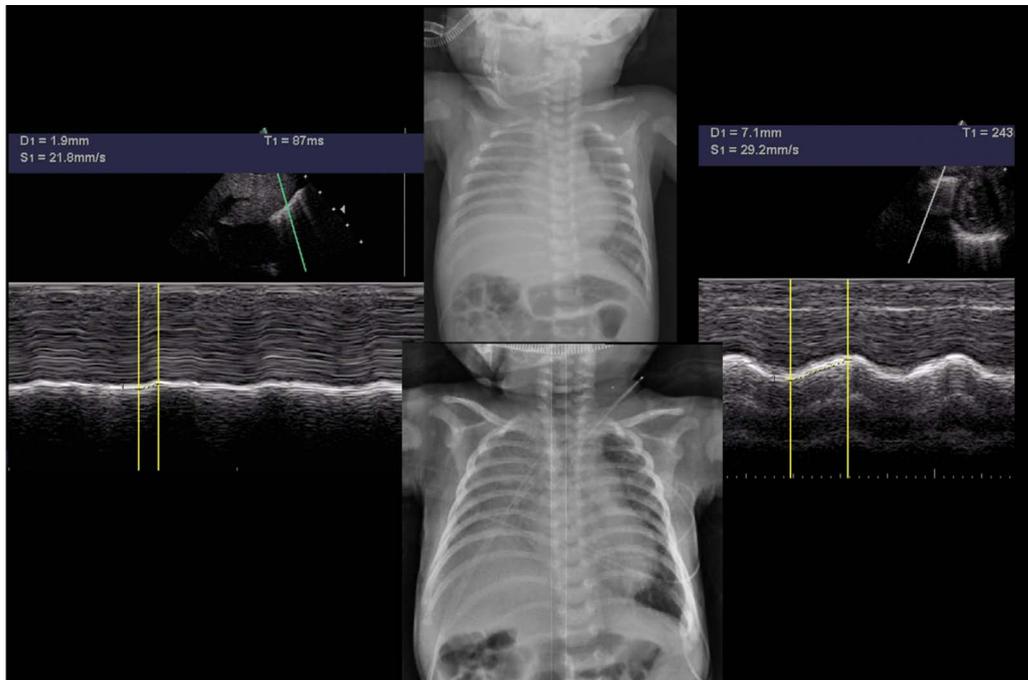
Adaptado de: Raimondi F, Yousef N, Migliaro F, Capasso L, De Luca D. Point-of-care lung ultrasound in neonatology: classification into descriptive and functional applications. *Pediatr Res.* 2018 Jul 20:1-8. doi: 10.1038/s41390-018-0114-9



**Valores de referencia evaluando el timo neonatal**

Diámetro AP	Diámetro transversal	Índice tímico
1.43 ± 0.3 cm	2.16 ± 0.54	24 a 36 SDEG: 5.214 32.6 ± 2.3 SDEG: 4.11 ± 2.1 en niños y 4.36 ± 2.05 en niñas Término: 2.98 ± 0.6416

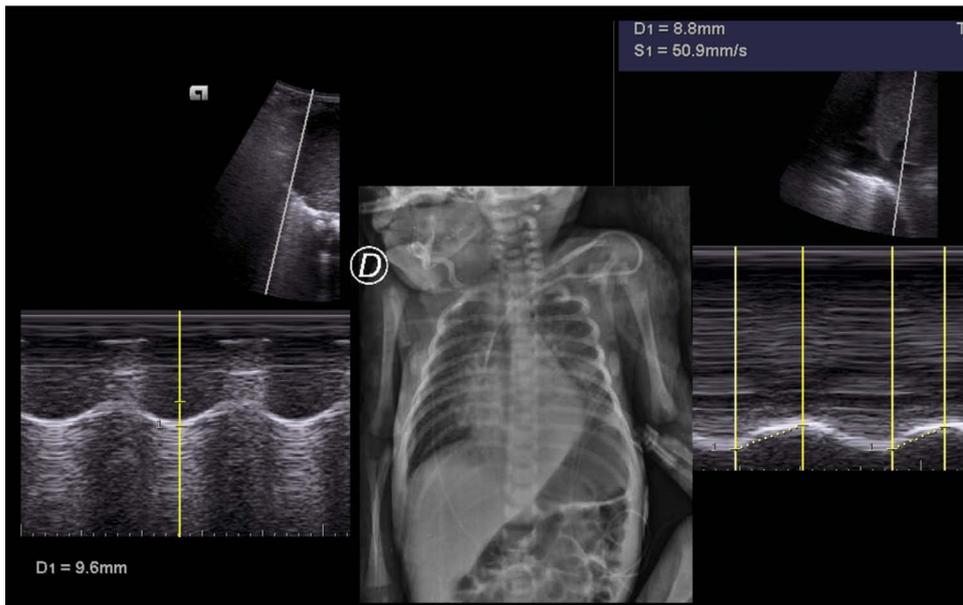
Adaptado de: Jeppesen DL, Hasselbalch H, Nielsen SD, et al. Thymic size in preterm neonates: a sonographic study. Acta Paediatr. 2003;92(7):817-822. Magu S, Gathwala G, Agarwal S, Parihar A. Sonographic measurement of thymic size in preterm infants: prediction model for thymic size in the Indian subcontinent. Indian J Pediatr. 2012;79(6):764-768. doi:10.1007/s12098-011-0594-7. Mehta S. Assessment of thymus size in healthy term neonates using sonography - A study from tertiary care hospital of Central India. J Neonatal Perinatal Med. 2015;8(2):143-147. doi:10.3233/NPM-15814067.



**F65** Paresia derecha posquirúrgica con excursión de 1.9 mm y diferencia entre el diafragma derecho al izquierdo mayor a 50 %. Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2019.

con la escotadura viendo hacia arriba. Se considera normal  $\geq 4$  mm con el movimiento durante la inspiración que se acerca al transductor y la diferencia entre ambos diafragmas es menor del 50 %.<sup>17</sup> Se debe referir como parético cuando el desplazamiento es menor a 4 mm y la diferencia entre ambos diafragmas es mayor

del 50 %, acinético si no hay movimiento en el modo M o paradójico si durante la inspiración el diafragma se aleja del transductor. Existen dos publicaciones que cuentan con nomogramas para el peso y edad posnatal<sup>18,19</sup>. La Figura 65 muestra un caso de paresia derecha posquirúrgica con excursión de 1.9 mm y dife-



F66

Excursión bilateral normal. Al equipo de Neonatólogos le llamó la atención la posición de la burbuja gástrica pero el ultrasonido demuestra excursión normal.

Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2017. Archivo clínico HIMFG. Ibarra, 2019.

rencia entre el diafragma derecho al izquierdo mayor del 50 %. La Figura 66 muestra un caso donde llamó la atención la burbuja gástrica alta pero ambos diafragmas tienen adecuada excursión. El **Video 31** muestra la técnica para obtener excursión diafragmática.

## ULTRASONIDO EN LA REANIMACIÓN NEONATAL Y EL NEONATO CON DESCOMPENSACIÓN SÚBITA

Se han propuesto distintos protocolos para el uso del ultrasonido en condiciones críticas, el Algoritmo 3 muestra el abordaje del neonato con descompensación súbita adaptado del protocolo SAFE<sup>20,21</sup> así como los pasos centrales del Cuidado Agudo del Neonato en Riesgo (*Acute Care Of at Risk Newborn*). En este escenario es de utilidad corroborar la adecuada intubación del paciente. El **Video 32** muestra la aplicación

de este algoritmo en situaciones críticas (alteración de la contractilidad, neumotórax, tamponade, derrame pleural y en asistencia a paro cardiorrespiratorio).

El Dr. Javier Rodríguez Fanjul reportó una serie de dos casos donde el ultrasonido ayudó a reconocer la causa del paro cardiorrespiratorio (hipovolemia y neumotórax).<sup>22</sup> El mismo grupo español de investigadores publicó el estudio DELIROUS donde compararon el uso de ultrasonido para determinar la frecuencia cardíaca en la sala de reanimación encontrando que es un método rápido con buena correlación con el estetoscopio y el electrocardiograma.<sup>23</sup>

## CONCLUSIONES

Con una secuencia estructurada de adquisición de imágenes, el UP permite detectar la mayoría de las enfermedades pulmonares presentes en el periodo

neonatal. A través de un algoritmo de diagnóstico diferencial a través de Líneas B se presenta un abordaje práctico en la UCIN. El UP tiene un papel importante en la reanimación neonatal y en el neonato con descompensación súbita. Es útil para determinar la correcta intubación de los pacientes y documentar movimiento diafragmático.

## REFERENCIAS

1. Louis D, Belen K, Farooqui M, et al. Prone versus Supine Position for Lung Ultrasound in Neonates with Respiratory Distress [published online ahead of print, 2019 Sep 3]. *Am J Perinatol*. 2019;10.1055/s-0039-1695776. doi:10.1055/s-0039-1695776
2. Corsini I, Parri N, Ficial B, Dani C. Lung ultrasound in the neonatal intensive care unit: Review of the literature and future perspectives. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(7):1550-1562. doi:10.1002/ppul.24792
3. Liu J, Copetti R, Sorantin E, Lovrenski J, Rodríguez-Fanjul J, Kurepa D, Feng X, Cattaross L, Zhang H, et al. Protocol and Guidelines for Point-of-Care Lung Ultrasound in Diagnosing Neonatal Pulmonary Diseases Based on International Expert Consensus. *J Vis Exp*. 2019;(145). doi: 10.3791/58990
4. Alonso-Ojembarrena A, Lechuga-Sancho A, Ruiz-González E, González-Haba B, Lubián López S. Pleural line thickness reference values for preterm and term newborns [published online ahead of print, 2020 Jun 23]. *Pediatr Pulmonol*. 2020;10.1002/ppul.24920. doi:10.1002/ppul.24920
5. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659-1670. doi:10.1378/chest.14-1313
6. 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
7. Sharma D, Tabatabaai SA, Farahbakhsh N. Role of ultrasound in confirmation of endotracheal tube in neonates: a review. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2019;32(8):1359-1367. doi:10.1080/14767058.2017.1403581
8. Gottlieb M, Holladay D, Peksa GD. Ultrasonography for the Confirmation of Endotracheal Tube Intubation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Emerg Med*. 2018;72(6):627-636. doi:10.1016/j.annemergmed.2018.06.024
9. Ethawi Y, Tube CE. Confirming endotracheal tube (ETT) position in pediatric and neonatology using a bedside ultrasound (US); an emerging tool. *J Neonatal Biol*. 2016;5(3):5-7. http://dx.doi.org/10.4172/2167-0897.1000229
10. De Kock SH, Otto SF, Joubert G. The feasibility of determining the position of an endotracheal tube in neonates by using bedside ultrasonography compared with chest radiographs. *S Afr J Child Health*. 2015;9(1):3-5. http://dx.doi.org/10.7196/SAJCH.740
11. Rodríguez-Fanjul J, Balcells Esponera C, Moreno Hernando J, Sarquella-Brugada G. La ecografía pulmonar como herramienta para guiar la surfactación en neonatos prematuros [Lung ultrasound as a tool to guide the administration of surfactant in premature neonates]. *An Pediatr (Barc)*. 2016;84(5):249-253. doi:10.1016/j.anpedi.2015.09.003
12. Chowdhry R, Dangman B, Pinheiro JM. The concordance of ultrasound technique versus X-ray to confirm endotracheal tube position in neonates. *J Perinatol*. 2015;35(7):481-484. doi:10.1038/jp.2014.240
13. López Maure E. Radiología Neonatal. 1ª Edición. Ediciones Journal 2019. ISBN 978-987-4922-17-5
14. Jeppesen DL, Hasselbalch H, Nielsen SD, et al. Thymic size in preterm neonates: a sonographic study. *Acta Paediatr*. 2003;92(7):817-822.
15. Magu S, Gathwala G, Agarwal S, Parihar A. Sonographic measurement of thymic size in preterm infants: prediction model for thymic size in the Indian subcontinent. *Indian J Pediatr*. 2012;79(6):764-768. doi:10.1007/s12098-011-0594-7
16. Mehta S. Assessment of thymus size in healthy term neonates using sonography - A study from tertiary care hospital of Central India. *J Neonatal Perinatal Med*. 2015;8(2):143-147. doi:10.3233/NPM-15814067
17. Gil-Juanmiquel L, Gratacós M, Castilla-Fernández Y, et al. Bedside Ultrasound for the Diagnosis of Abnormal Diaphragmatic Motion in Children After Heart Surgery. *Pediatr Crit Care Med*. 2017;18(2):159-164. doi:10.1097/PCC.0000000000001015
18. Rehan VK, Laiprasert J, Wallach M, Rubin LP, McCool FD. Diaphragm dimensions of the healthy preterm infant. *Pediatrics*. 2001;108(5):E91. doi:10.1542/peds.108.5.e91
19. El-Halaby H, Abdel-Hady H, Alsawah G, Abdelrahman A, El-Tahan H. Sonographic Evaluation of Diaphragmatic Excursion and Thickness in Healthy Infants and Children. *J Ultrasound Med*. 2016;35(1):167-175. doi:10.7863/ultra.15.01082
20. Raimondi F, Yousef N, Migliaro F, Capasso L, De Luca D. Point-of-care lung ultrasound in neonatology: classification into descriptive and functional applications. *Pediatr Res*. 2018 Jul 20:1-8. doi: 10.1038/s41390-018-0114-9
21. Kharrat A, Jain A. Guidelines for the management of acute unexpected cardiorespiratory deterioration in neonates with central venous lines in situ. *Acta Paediatr*. 2018;107(11):2024-2025. doi: 10.1111/apa.14440.
22. Rodríguez-Fanjul J, Perez-Baena L, Perez A. Cardiopulmonary resuscitation in newborn infants with ultrasound in the delivery room [published online ahead of print, 2019 Sep 10]. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2019;1-4. doi:10.1080/14767058.2019.1661379
23. Bobillo-Perez S, Balaguer M, Jordan I, et al. Delivery room ultrasound study to assess heart rate in newborns: DELIROUS study [published online ahead of print, 2020 Aug 22]. *Eur J Pediatr*. 2020;10.1007/s00431-020-03776-4. doi:10.1007/s00431-020-03776-4

## Evaluación

**1. Es la base del ultrasonido pulmonar:**

- a. Los artefactos generados por la diferencia acústica entre el aire y el líquido en el tórax
- b. Las ondas ultrasónicas que se usan para generar una representación (corregida por tiempo) anatómica precisa del órgano
- c. Los artefactos generados por la diferencia acústica entre el corazón y el pulmón
- d. La impedancia determina que tan bien se forma una imagen en el ultrasonido (agua y tejidos dan malas imágenes mientras que el aire y el hueso dan buenas imágenes)

**2. ¿A qué hace referencia el signo del murciélago?**

- a. Es la reverberación de la línea pleural
- b. Identifica la línea pleural y las costillas
- c. Es un reflejo hiperecoico que se forma por la diferencia en la impedancia entre la pleura y el pulmón
- d. Se refiere a los artefactos que derivan de la línea pleural

**3. ¿Cuáles son los dos principales artefactos para identificar en el ultrasonido pulmonar?**

- a. Líneas Z y Líneas A
- b. Líneas B y Líneas Z
- c. Líneas A y Líneas B
- d. Líneas C y Líneas Z

**4. Un hallazgo en el UP que nos debe hacer descartar el diagnóstico de TTRN es:**

- a. Doble punto pulmonar
- b. Línea pleural regular y sin consolidaciones
- c. Consolidación con broncograma aéreo
- d. Líneas B

**5. Son hallazgos del UP en el SDR:**

- a. Ausencia de áreas ventiladas (Líneas A) y Líneas B coalescentes
- b. Imagen de doble punto pulmonar y Líneas A
- c. Signo de las 4 paredes y ausencia del deslizamiento pulmonar
- d. Signo del punto pulmonar y Líneas A

- 6. En el recién nacido se observa consolidación en el ultrasonido pulmonar en los siguientes padecimientos:**
  - a. En atelectasias grandes, neumonía, hemorragia pulmonar y síndrome de aspiración de meconio
  - b. Únicamente en neumonía
  - c. En taquipnea transitoria del recién nacido y neumonía
  - d. Solamente en malformaciones pulmonares congénitas
  
- 7. Son signos del UP en neumotórax:**
  - a. Signo de las 4 paredes y Líneas A
  - b. Doble punto pulmonar y línea pleural normal
  - c. Desaparición del deslizamiento pulmonar, ausencia de Líneas B y punto pulmonar
  - d. Pulmón blanco y línea pleural engrosada
  
- 8. Si se encuentra este hallazgo en el UP se descarta neumotórax:**
  - a. Líneas B
  - b. Líneas A
  - c. Punto pulmonar
  - d. Desaparición del deslizamiento pulmonar
  
- 9. Estos dos signos son altamente sensibles y específicos de derrame pleural:**
  - a. Signo del "código de barras" y ausencia de Líneas B
  - b. Doble punto pulmonar y línea pleural engrosada
  - c. Signo de las 4 paredes y signo de senoide
  - d. Desaparición del deslizamiento pleural y ausencia de Líneas B
  
- 10. Hallazgos de edema de tipo cardiogénico en el ultrasonido pulmonar:**
  - a. Signo de las 4 paredes y signo de senoide en modo M
  - b. Línea pleural regular, Líneas B, deslizamiento pulmonar normal y ausencia de consolidaciones
  - c. Línea pleural irregular, Líneas B, consolidaciones, disminución del deslizamiento pulmonar
  - d. Líneas A, ausencia de deslizamiento pulmonar y signo de la estratósfera en modo M

