

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO DE ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN**



UTILIDAD DEL ULTRASONIDO PULMONAR EN EL PERIOPERATORIO

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN**

**AUTORA: DRA. HAZEL DEMERGASSI SOLÍS
RESIDENTE DE ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN
HOSPITAL MÉXICO**

**TUTOR: DR. ROY ROJAS ZELEDÓN
LECTORA: DRA. ADRIANA QUIRÓS RODRÍGUEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO
SAN JOSÉ, COSTA RICA**

2021

Dedicatoria y Agradecimientos

Cuando eres observador, todo el mundo es tu maestro...
Gracias a todos esos maestros que me encontré en el camino.

DRA. HAZEL DEMERGASSI SOLÍS

Este trabajo final de graduación fue aceptado por la Subcomisión de la Especialidad en Anestesiología y Recuperación del Programa de Posgrado en Especialidades Médicas de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Especialista en Anestesiología y Recuperación Especialidad.

Dra. Lydiana Ávila De Benedicts
Médico Neumóloga Pediatra
Directora del Programa de Posgrado en Especialidades Médicas

Dra. Marielos Morera González
Médico Anestesióloga
Coordinadora del Posgrado de Anestesiología y Recuperación

Dr. Roy Rojas Zeledón
Médico Anestesiólogo
Tutor de tesis

Dra. Adriana Qurós Rodríguez
Médico Anestesióloga
Lectora de tesis

Dra. Hazel Demergassi Solís
Sustentante
Posgrado de Anestesiología y Recuperación



**TRIBUNAL DEFENSA ORAL DEL TFG
POSGRADO ANESTESIOLOGÍA Y RECUPERACIÓN**

Nombre:

Firma:

Dr. Dr. Roy Rojas Zeledón
Tutor de la Investigación o representante

[Handwritten signature]
670

Dr. Luis Gómez Bastos
Lector de la Investigación o representante

[Handwritten signature]
7071

Dr. Iván Méndez Oconitrillo
Representante Postgrado Anestesiología y Recuperación

Dra. Lydiana Ávila o representante
PPEM

Dra. Silvia Quesada o representante
SEP

Dra. Hazel Demergassi Solís
Estudiante

[Handwritten signature]
9170

Observaciones: _____



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

PPEM Programa de Posgrado en
Especialidades Médicas

**CALIFICACION TRABAJOS FINALES DE GRADUACION
POSGRADO ANESTESIOLOGIA Y RECUPERACION**

Estudiante: **Hazel Demergassi Solís**

Tutor: Dr. Roy Rojas Zeledón

Lectora: Dra. Adriana Quirós Rodríguez

Cronograma	15%
I Avance 5%	4.5%
II Avance 5%	5%
Borrador Final 5%	4.5%
Total 15%	14%

Trabajo Escrito	100%
Formato 8%	8
Ortografía, redacción y originalidad 7%	7
Gráficos, tablas, imágenes 20%	19
Calidad 25%	24
Marco teórico. Fuentes bibliográficas 25%	25
Cronograma 15%	14
Total 100%	97

67.9

Defensa Oral	30%
Estudiante	29.7

79

Nota Final TFG	T. Escrito + Defensa Oral 70% + 30%
Estudiante	97.6



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

PPEM Programa de Posgrado en
Especialidades Médicas

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACION

Acta___ TFG-EAR

El *viernes 08* del mes octubre del 2021, la estudiante *Hazel Demergassi Solís* carné universitario A97542, estudiante de la especialidad en Anestesiología y Recuperación presentó su trabajo final de graduación con el proyecto titulado "*Utilidad del ultrasonido pulmonar en el perioperatorio.*"

Nota del TFG parte escrita 97, emitida por el Dr. Roy Rojas Zeledón tutor de la investigación "*Utilidad del ultrasonido pulmonar en el perioperatorio.*"

Nota de la defensa oral del TFG: 99, emitida por el Tribunal de la defensa oral.



Aprobó



Reprobó

Se otorga mención de honor al estudiante



Sí



No

Carta de Aprobación del Tutor

CARTA DE APROBACIÓN TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

San José, 9 agosto de 2021

Señores (as)

Comisión de Trabajos Finales de Graduación

Comité del Posgrado de Anestesiología y Recuperación

SPPEM

SEP

UCR

Datos del residente:

Nombre: Hazel Demergassi Solís.

Cédula: 111120623.

Hospital Base: Hospital México.

Tutor: Dr. Roy Rojas Zeledón.

Título del trabajo final de Graduación: Utilidad del Ultrasonido Pulmonar en el perioperatorio.

Por medio de la presente, confirmo que he leído, revisado y aprobado el trabajo final de graduación correspondiente al tema: Utilidad del Ultrasonido Pulmonar en el perioperatorio.



Dr. Roy Rojas Zeledón.

Tutor de tesis

Carta de Aprobación de Lectora

CARTA DE APROBACIÓN TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

San José, 9 agosto de 2021

Señores (as)

Comisión de Trabajos Finales de Graduación

Comité del Posgrado de Anestesiología y Recuperación

SPPEM

SEP

UCR

Datos del residente:

Nombre: Hazel Demergassi Solís.

Cédula: 111120623.

Hospital Base: Hospital México.

Lectora: Dra. Adriana Quirós Rodríguez.

Título del trabajo final de Graduación: Utilidad del Ultrasonido Pulmonar en el perioperatorio.

Por medio de la presente, confirmo que he leído, revisado y aprobado el trabajo final de graduación correspondiente al tema: Utilidad del Ultrasonido Pulmonar en el perioperatorio.



Dra Adriana Quirós Rodríguez

Lectora



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Hazel Demergassi Solís 111120623

Yo, _____, con cédula de identidad _____, en mi condición de autor del TFG titulado _____

Utilidad del ultrasonido pulmonar en el perioperatorio

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: **Hazel Demergassi Solís**

Número de Carné: **A97542** Número de cédula: **111120623**

Correo Electrónico: **hazeldemergassi@yahoo.com**

Fecha: **23/11/2021** Número de teléfono: **88990130**

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): **Dr. Roy Rojas Zeledón**

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

Carta de Revisión Filológica

28 de julio, 2021

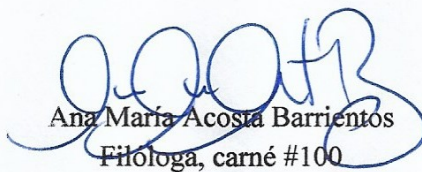
Señores(as)
Sistema de Estudios de Posgrado
Posgrado de Anestesiología y Recuperación
Universidad de Costa Rica

Estimados señores(as):

Por este medio, yo, Ana María Acosta Barrientos, mayor, soltera, filóloga, miembro de la Asociación Costarricense de Filólogos (ACFIL), carné nro. 100, vecina de San José, portadora de cédula de identidad nro. 1-1380-0827, hago constar que:

1. He revisado el trabajo final de graduación denominado "**Utilidad del ultrasonido pulmonar en el perioperatorio**" para optar al grado y título de **Especialista en Anestesiología y Recuperación**.
2. El Trabajo Final de Graduación es sustentado por la estudiante **Hazel Demergassi Solís** portadora de la cédula **1 1112 0623**, carné universitario 9220.
3. Revisé el texto en lo relativo a la ortografía y puntuación, riqueza, propiedad y precisión léxicas, adecuación morfosintáctica, construcción de los párrafos, uso de conectores y cohesión, así como lo correspondiente al formato de estilo y citación APA (7ma. edición) y Vancouver. De igual modo se atendieron las particularidades solicitadas en el documento Lineamientos TFG Anestesiología y Recuperación de la Universidad.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la institución, suscribe atentamente,


Ana María Acosta Barrientos
Filóloga, carné #100
aacoba@gmail.com

cc. Archivo Personal

Tabla de Contenido

<i>Dedicatoria y Agradecimientos</i>	<i>ii</i>
<i>Carta de Aprobación del Tutor</i>	<i>iv</i>
<i>Carta de Aprobación de Lectora</i>	<i>viii</i>
<i>Licencia de publicación</i>	<i>jError! Marcador no definido.</i>
<i>Carta de Revisión Filológica</i>	<i>x</i>
<i>Tabla de Contenido</i>	<i>xi</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>xiv</i>
<i>Índice de Cuadros</i>	<i>xvii</i>
<i>Resumen</i>	<i>xviii</i>
<i>Capítulo I: Introducción</i>	<i>1</i>
<i>1.1 Justificación</i>	<i>2</i>
<i>1.3 Pregunta de Investigación</i>	<i>5</i>
<i>1.4 Objetivo General</i>	<i>6</i>
<i>1.5 Objetivos Específicos</i>	<i>6</i>
<i>Capítulo II: Marco Teórico</i>	<i>7</i>
<i>2.1 Historia</i>	<i>7</i>
<i>2.2 Bases Físicas del Ultrasonido</i>	<i>8</i>
2.2.1 Definiciones.....	9
2.2.1.1 Ciclo.....	9
2.2.1.2. Frecuencia.....	9
2.2.1.3. Longitud de Onda.....	10
2.2.1.4. Velocidad del Sonido	11
2.2.1.5. Amplitud.....	12
2.2.1.6. Transmisión del Sonido.....	12
2.2.2 Propagación de la onda de ultrasonido	14
2.2.2.2. Refracción	14
2.2.2.3. Poder Acústico.	14
2. 2.2.4. Impedancia Acústica.....	14
2.2.3 Producción de las ondas de ultrasonido	15
2.2.4 Características del Transductor	16
2.2.5 Modos Ultrasonográficos.....	17
2.2.5.1 Modo Continuo. Las señales ultrasonográficas se reproducen de manera continua con respecto al tiempo; las unidades piezoeléctricas vibran de manera continua en el tiempo (ver fig.15), un ejemplo de este modo ultrasonográfico es el doppler continuo (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015) ²³	17
2.2.6 Planos de Resolución	21
2.2.6.1 Resolución Axial.	21
2.2.7. Formatos de Escaneo.....	24
2.2.7.1 Lineal.	24
2.2.7.2 Sectorial.....	24

2.2.8. Atenuación de la Señal Ultrasonográfica	25
2.2.9. Escala de Grises	26
2.2.9.1 Hiperecoico.....	26
2.2.9.2 Anecoico.....	27
2.2.9.3 Hipoecoico.....	27
2.2.10 Formación de la Imagen.....	28
2.2.10.1 Modo B (Brightness (Brillo)).....	28
2.2.10.2 Modo M.....	28
2.2.11 Ventana Acústica.....	29
2.2.12. Artefactos ultrasonográficos.....	30
2.2.12.1. Artefacto de Ganancia. La.....	30
2.2.12.5. Artefacto de Reverberación.....	34
2.2.12.6. COLAS DE COMETA.....	35
2.2.3 Principales Indicaciones del Ultrasonido Pulmonar para el Diagnóstico de las Principales Causas de Insuficiencia Respiratoria Aguda e Hipoxemia	36
Capítulo III. Consideraciones técnicas	37
3.1. Limitaciones de la Ecografía Pulmonar	37
3.2. Preparación y Colocación de la Máquina de Ultrasonido.....	37
3.3. Preparación y Posición del Paciente	38
3.4. Escogencia y características del transductor.....	39
3.4.1. Transductor convexo	39
3.4.2. Transductor microconvexo.....	40
3.4.3. Transductor lineal	40
CAPÍTULO IV. ANATOMÍA PLEUROPULMONAR.....	42
Capítulo V. Protocolo de valoración pleuropulmonar ultrasonográfica normal.....	43
5.1. Zonas de exploración pulmonar	43
5.2. Ultrasonido Pulmonar Normal.....	47
5.2.1 Punto 1 y 2: Tórax Anterior	47
5.2.2 Signo del murciélago.....	49
5.2.3 Deslizamiento Pulmonar (Lung Sliding)	49
5.2.2.1 Lung sliding en modo M	50
5.2.3 Punto 3 y 4: Torax Lateral 21,29,30.....	52
5.3. Abordaje Diagnóstico de los Principales Signos y Artefactos en Ultrasonografía Pulmonar	56
Capítulo VI. Perfiles ultrasonográficos de las principales causas de hipoxemia que conllevan a insuficiencia respiratoria aguda en el perioperatorio	60
6.1 Perfiles pulmonares ultrasonográficos de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda	61
6.1.1 Neumotorax.....	61
6.2. Síndrome intersticial	65
6.2.1. Edema pulmonar cardiogénico.....	65
6.2.2.1 PERFIL ULTRASONOGRÁFICO:.....	66
6.2.2. Síndrome de distress respiratorio agudo (SDRA).....	66
6.3. Derrame pleural	67

6.3.1 Tamaño del derrame pleural:.....	68
6.3.1.1 Fórmula de Balik.....	68
6.3.2 Principales Signos Ultrasonográficos en Derrame Pleural	70
6.4. Síndrome de consolidación pulmonar	75
6.4.1. Consolidación pulmonar	75
6.4.2. Neumonía.....	75
6.4.2.1 Perfil ultrasonográfico.	75
6.4.3 Signo del límite irregular (signo de Shred o de los dientes de sierra).....	76
6.4.4 Signo de hepatización pulmonar	77
6.4.4.1 Boncograma aéreo.	78
7.4.4.1.1 Broncograma aéreo dinámico	78
6.5. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica-EPOC/asma	80
6.6. Embolia pulmonar	80
6.7. Valoración ultrasonográfica de la cinética diafragmática	82
6.7.1. Anatomía ultrasonográfica del diafragma	83
6.7.2. Técnica ultrasonográfica de evaluación diafragmática	83
6.7.2.1. Exploración de la ventana intercostal.	84
6.7.2.2. Exploración de la ventana subcostal anterior.....	84
6.7.3. Hallazgos ultrasonográficos	85
6.7.3.2. Excursión diafragmática.	87
6.7.4. Cinética diafragmática por ultrasonido	88
Capítulo VII. Protocolo Blue	89
7.1 Perfil A.....	91
7.1.1 Deslizamiento pulmonar presente	91
7.1.2 Deslizamiento pulmonar ausente.....	91
7.2 PERFIL B	91
7.2.1 Deslizamiento pulmonar presente	91
7.2.2 Deslizamiento pulmonar ausente.....	91
7.3. PERFIL A / B	92
7.3.1 Deslizamiento pulmonar presente	92
Capítulo VIII. Discusión.....	93
Capítulo IX. Conclusiones y Recomendaciones	94
Capítulo VIII. Anexos y Ficha Técnica	95
Anexo 1. Ficha Técnica 1: Perfiles Pulmonares Ultrasonográficos	96
Anexo 2. Semiología Pulmonar Ultrasonográfica	97
Anexo 3. Flujograma diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda	99
Referencias Bibliográficas	100

Índice de Figuras

Figura 1. Historia del ultrasonido de pulmón, Doctor Lichtenstein.....	7
Figura 2. El aire es un medio altamente reflectante.....	8
Figura 3. Ciclo:Oscilaciones periódicas repetitivas.....	9
Figura 4. Frecuencia.....	9
Figura 5. Tipos de Frecuencia.....	10
Figura 6. Longitud de Onda.....	11
Figura 7. Velocidad del Sonido.....	11
Figura 8. Densidad.....	12
Figura 9. Flexibilidad.....	13
Figura 10. Densidad y flexibilidad del hueso.....	13
Figura 11. Bases Físicas del Ultrasonido.....	14
Figura 12. Efecto piezoeléctrico.....	15
Figura 13. Digitalización de la señal ultrasonográfica.....	16
Figura 14. Tipos de transductor.....	17
Figura 15. Modo Continúo.....	17
Figura 16. Modo Pulsado.....	18
Figura 17. Las Ondas Ultrasonográficas.....	19
Figura 18. Tiempo Total Ciclado.....	19
Figura 19. Altas Frecuencias.....	20
Figura 20. Bajas Frecuencias.....	20
Figura 21. Planos de resolución ultrasonográfica. Modo 2d (bidimensional).	21
Figura 22. Plano de resolución axial.....	21
Figura 23. Resolución axial de un objeto en el plano axial.....	22
Figura 24. Transductores de baja frecuencia, mayor penetración a estructuras profundas.....	22
Figura 25. Transductores de alta frecuencia: mejor resolución, pero menor penetración a estructuras profundas.....	23
Figura 26. Resolución axial y lateral.....	23
Figura 27. Transductor lineal de alta frecuencia.....	24
Figura 28. Transductor sectorial de baja frecuencia.....	25
Figura 29. Atenuación de la señal ultrasonográfica: al tener contacto con la interfase tisular, parte de la señal es absorbida.....	25
Figura 30. Pérdida de la señal al atravesar los tejidos profundos.....	26
Figura 31. Hiperecoico.....	26
Figura 32. Anecoico.....	27
Figura 33. Hipoecoico.....	27
Figura 34. Modo B. Imagen ecográfica de pulmón normal.....	28
Figura 35. Modo M. Pulmón Normal.....	29
Figura 36. Ventana Acústica.....	29
Figura 37. Artefacto de Ganancia.....	31
Figura 38. Tiempo de compensación de ganancia.....	31
Figura 39. Reforzamiento acústico: se produce una señal incrementada de la imagen de la estructura insonada.....	32
Figura 40. Sombra acústica de las costillas.....	33
Figura 41. Imagen en espejo.....	33

Figura 42. Imagen refleja o en espejo.....	34
Figura 43. Artefacto de reverberación.....	34
Figura 44. Señales de reverberación.....	35
Figura 45. Artefactos de reverberación. Colas de cometa.....	35
Figura 46. Aplicación clínica del ultrasonido pleuropulmonar.....	36
Figura 47. Preparación y colocación de la máquina de ultrasonido para la exploración ultrasonográfica pulmonar.....	37
Figura 48. Posición del paciente en decúbito supino con el brazo elevado detrás de la cabeza.....	38
Figura 49. Posición del paciente sentado.....	38
Figura 50. Exploración región posterior del tórax.....	39
Figura 51. Transductor Sectorial.....	39
Figura 52. Transductor Microconvexo.....	40
Figura 53. Transductor Lineal.....	40
Figura 54. Anatomía Ultrasonográfica Pleuropulmonar.....	42
Figura 55. Anatomía Pleuropulmonar.....	42
Figura 56. Zonas Pulmonares.....	43
Figura 57. Puntos de Exploración Recomendados por el American College Of Chest Physicians (ACCP).....	44
Figura 58. Posición de las Manos en el Protocolo Blue.....	45
Figura 59. Punto "Plaps" del Protocolo Blue.....	45
Figura 60. Zonas de Exploración.....	46
Figura 61. Exploración Tórax Anterior.....	47
Figura 62. Colocación del Transductor en Tórax Anterior.....	48
Figura 63. Estructuras en la Exploración del Tórax Anterior.....	48
Figura 64. Signo del Murciélago en Modo B con Sonda Lineal.....	49
Figura 65. Línea Pleural Hiperecogénica en Medio del Espacio Intercostal.....	50
Figura 66. <i>Lung sliding</i> o deslizamiento pulmonar con el transductor colocado en un signo del murciélago en la posición 1.....	50
Figura 67. Signo de la playa en modo M.....	51
Figura 68. Líneas A: Artefactos de Reverberación Equidistantes de la Línea Pleural.....	51
Figura 69. Líneas A.....	52
Figura 70. Puntos de Exploración Tórax Lateral.....	53
Figura 71. Exploración del Tórax Posterior. Punto Plaps: (Posterior/Alveolar Lateral).....	53
Figura 72. Eje largo: se coloca el transductor en una posición perpendicular a la pared torácica con el indicador apuntando a cefálico.....	54
Figura 73. Signo de la Espina.....	54
Figura 74. Signo de la Cortina.....	55
Figura 75. Imagen en Espejo.....	55
Figura 76. Imagen en Espejo.....	56
Figura 77. <i>Lung sliding</i> en modo B: deslizamiento entre la pleura parietal y la pleura visceral durante el ciclo respiratorio.....	57
Figura 78. Signo de la estratósfera o código de barras en Modo M característico de neumotórax.....	57
Figura 79. Líneas B: presencia de líneas B flechas rojas. A) sonda sectorial. B) sonda lineal.....	58
Figura 80. Líneas B confluentes en Modo B.....	59
Figura 81. Deslizamiento Pulmonar en Modo B.....	62
Figura 82. Deslizamiento Pulmonar en Modo M (Signo de la Playa).....	62
Figura 83. Ausencia de deslizamiento pulmonar en Modo M (signo del código de barras).....	63

Figura 84. Punto Pulmonar.....	64
Figura 85. Punto pulmonar en Modo M, se observa el punto de transición del neumotórax.....	64
Figura 86. Edema Pulmonar: Patrón de Líneas B Confluentes.	66
Figura 87. Síndrome de Distress Respiratorio Agudo.....	67
Figura 88. Derrame Pleural.....	68
Figura 89. Fórmula De Balik para Cuantificación del Líquido de Derrame Pleural.....	69
Figura 90. Cuantificación del Derrame Pleural.....	69
Figura 91. Signo de la Espina.....	70
Figura 92. Signo de la cabeza de medusa.....	71
Figura 93. Signo del senoide.....	71
Figura 94. Signo del cuadrado.....	72
Figura 95. Signo del cuadrado.....	72
Figura 96. Signo de plancton.....	73
Figura 97. Derrame pleural complicado.....	73
Figura 98. Signo del hematocrito.....	74
Figura 99. Derrame pleural loculado con múltiples septos en su interior.....	74
Figura 100. Líneas B Confluentes.....	76
Figura 101. Consolidación Subpleural.....	76
Figura 102. Signo del límite irregular.....	77
Figura 103. Signo de hepatización pulmonar con broncograma aéreo dinámico, compatibles con consolidación pulmonar.....	77
Figura 104. Broncograma aéreo dinámico en el punto plaps.....	78
Figura 105. Atelectasia.....	79
Figura 106. Patrón A.....	80
Figura 107. Signo de Mcconell'S.....	81
Figura 108. Trombosis venosa profunda en miembros inferiores.....	81
Figura 109. A. Posición del transductor para la medición del grosor diafragmático. B. Capas de ecogenicidad diafragmática.....	85
Figura 110. A. Excursión diafragmática en modo M. B. Evaluación del grosor del diafragma.....	86
Figura 111. Protocolo Blue.....	90
Figura 112. Perfiles pulmonares.....	92

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Tipos y características de transductores para ultrasonido pulmonar	41
Cuadro 2. Zonas de Exploración Pulmonar	46
Cuadro 3. Ultrasonido Pulmonar vs Radiografía de Torax	65
Cuadro 4. Diagnóstico diferencial ultrasonográfico entre neumonía y atelectasia	79

Resumen

En las últimas décadas, el uso del ultrasonido y sus aplicaciones tanto diagnósticas como terapéuticas, se ha extendido a nivel mundial, su utilidad radica principalmente, en que se realiza un estudio rápido, muchas veces en condiciones de emergencia, a la cabecera de la cama del paciente, en tiempo real, sin someter a los pacientes a radiaciones ionizantes o a traslados en condiciones críticas o con inestabilidad hemodinámica. La mayor utilización del ultrasonido en la práctica clínica actual, se realiza por parte de los especialistas en diversas áreas como: emergencias, medicina interna, pacientes hospitalizados en Unidades de Cuidados Intensivos y en el perioperatorio, por parte de los especialistas en Anestesiología y Recuperación. Específicamente, el siguiente trabajo final de graduación se enfoca en incentivar la utilización del ultrasonido pulmonar en conjunto con la ecocardiografía, para mejorar la práctica médica, promover la realización de diagnósticos más certeros y rápidos, los cuales en condiciones críticas o de emergencia, pueden ayudar a disminuir la morbimortalidad de los pacientes.

La utilidad del ultrasonido pulmonar en el perioperatorio constituye una herramienta que posee una elevada sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda que se pueden presentar en el pre, trans y posoperatorio (neumotórax, edema pulmonar y síndrome intersticial, derrame pleural, síndromes de consolidación, atelectasia, embolia pulmonar y disfunción del diafragma). El principal objetivo de esta investigación es incentivar y fomentar el aprendizaje del ultrasonido pulmonar por parte de los Especialistas en Anestesiología y Recuperación; la ecografía pulmonar es de gran ayuda en situaciones que ponen en peligro la vida y en pocos minutos y a la cabecera de la cama del paciente, se pueden plantear intervenciones terapéuticas y de manejo.

Asimismo, la revisión bibliográfica se centra en una explicación detallada, de lectura y comprensión sencilla, que tiene como objetivo fomentar el aprendizaje para la adecuada interpretación de diversos artefactos ultrasonográficos durante la exploración pleuropulmonar; lo anterior, al tomar en cuenta que el trabajo se enfoca en la utilidad del ultrasonido pulmonar para el diagnóstico de las principales causas de hipoxemia e insuficiencia respiratoria aguda que se pueden presentar en el perioperatorio. Al final del texto se presentan flujogramas, fichas técnicas y cuadros con los elementos de aprendizaje más relevantes a considerar al poner en práctica la utilización y aplicación del ultrasonido pulmonar.

Capítulo I: Introducción

Durante muchos años, la valoración semiológica pleuropulmonar se ha realizado con la ayuda del estetoscopio y con el apoyo diagnóstico de la radiografía de tórax. De esta manera se ha enfocado el seguimiento de los pacientes en los centros hospitalarios, aunque actualmente se considera a la tomografía axial computarizada de tórax, el procedimiento diagnóstico *gold standard*. Muchos estudios han demostrado la utilidad del ultrasonido pulmonar para diagnosticar diferentes enfermedades pleuropulmonares y se ha destacado su aplicación para el diagnóstico diferencial de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda; su uso se ha extendido en los últimos años en los servicios de emergencias, pacientes hospitalizados, unidades de cuidados intensivos y ha surgido un mayor interés sobre su utilidad en el contexto perioperatorio (Goffi, Kruisselbrink y Volpicelli, 2018)¹.

El enfoque de esta revisión bibliográfica será dirigido a incentivar el aprendizaje y la aplicación del ultrasonido pulmonar para el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda que se pueden presentar en el perioperatorio.

El ultrasonido pulmonar es cada vez más utilizado porque no solamente es de utilidad para la valoración de enfermedades de la pleura, parénquima pulmonar, pared torácica, diafragma, sino también, sirve como guía para procedimientos intervencionistas, tanto diagnósticos como terapéuticos. Los diagnósticos se realizan en tiempo real a la cabecera de la cama del paciente, los cuales ayudan a tomar decisiones de manejo rápidas y eficientes (Diaz-Gomez, Ripoll, Ratzlaff et ál., 2017)², no hay exposición a radiaciones ionizantes, no se realizan traslados de pacientes que podrían estar en condiciones críticas o con inestabilidad hemodinámica, lo cual tiene un impacto en la morbimortalidad.

El Dr. Daniel Lichtenstein, quien es considerado el pionero o el padre de la ultrasonografía pleuropulmonar, plantea en sus investigaciones 7 principios básicos (Lichtenstein, Goldstein, Mourgeon, Cluzel et ál., 2004)³ para la aplicación del ultrasonido pulmonar:

1. Una máquina de ultrasonido sencilla, con transductores lineal y convexo o microconvexo, podrían ser suficientes para la valoración ecográfica pulmonar.
2. A nivel del tórax, el aire y el agua libre tienen tendencias gravitacionales opuestas (el aire va arriba y el agua abajo).

3. La superficie pulmonar debe ser evaluada por áreas estandarizadas para garantizar una adecuada exploración ultrasonográfica pulmonar.
4. Los principales signos o artefactos ultrasonográficos, parten de la línea pleural.
5. Los signos pulmonares están basados en el análisis e interpretación de artefactos.
6. El pulmón tiene características dinámicas específicas.
7. Casi todos los desórdenes o enfermedades agudas del pulmón tienen contacto con la superficie pleural.

El ultrasonido pulmonar a partir de la evidencia clínica actual, está dirigido principalmente a la orientación diagnóstica de las causas más frecuentes de insuficiencia respiratoria aguda (90.5% de las causas corresponden a neumotórax, neumonía o síndromes de consolidación pulmonar, embolia pulmonar, congestión pulmonar y síndrome intersticial); todo esto ha permitido posicionar el ultrasonido pulmonar en un lugar cada vez más preponderante en la patología crítica (Díaz-Gómez, Ross, Ratzlaff et ál., 2018)⁴, a sabiendas que permite realizar una valoración clínica más dinámica y funcional; por tanto, es de suma importancia para los Especialistas en Anestesiología y Recuperación atender los avances tecnológicos y obtener conocimientos sobre la aplicación de la ultrasonografía en su práctica clínica (Jones, Duce, Reed et ál.)⁵.

De esta manera, en el siguiente trabajo final de graduación se brindan las principales herramientas para la adecuada realización del ultrasonido pulmonar y su aplicación para el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda que se pueden presentar en el perioperatorio.

1.1 Justificación

Durante los últimos 10 años, múltiples diagnósticos y aplicaciones de monitoreo mediante la ecografía pulmonar se han venido implementando en la formación y educación de los especialistas en Anestesiología y Recuperación, para su aplicación en el ámbito perioperatorio, principalmente en situaciones de emergencia y durante el transoperatorio. En el siguiente trabajo final de graduación se describen las múltiples utilidades clínicas y diagnósticas de la ecografía pleuropulmonar, especialmente en el contexto de hipoxemia perioperatoria y cómo los especialistas en Anestesiología se beneficiarán del uso del ultrasonido para la toma de decisiones de manejo rápidas y adecuadas

ante cuadros de insuficiencia respiratoria o compromiso ventilatorio que se pueden presentar durante la práctica clínica diaria (Arbelot, Dexheimer, Gao et ál., 2020 y Diaz-Gómez, Ross, Ratzlaff et ál., 2018)^{6, 4}.

De manera tradicional y por muchos años, el abordaje diagnóstico por imágenes del tórax se ha basado en las realización de radiografías simples de tórax; sin embargo, con la existencia de múltiples patologías que pueden afectar o producir enfermedad pleuropulmonar, las radiografías de tórax presentan grandes limitaciones en la precisión diagnóstica (Tran, Hlaing y Krause, 2021)⁷, por lo cual, la introducción de la tomografía axial computarizada resolvió en gran medida dichas limitaciones, no obstante, en contexto de situaciones de emergencia y en diversas situaciones durante el perioperatorio, no es factible utilizar estudios tomográficos que impliquen traslados y movilizaciones de pacientes. En este escenario, el advenimiento de la ecografía pleuropulmonar se ha convertido en una técnica útil, que se realiza a la cabecera de la cama del paciente, es fácilmente reproducible, posee una curva de aprendizaje rápida (Chui, Lavi, Hegazy et ál., 2019)⁸, sin radiaciones ionizantes o uso de medios de contraste, es no invasiva y en cuestión de minutos se puede obtener un diagnóstico que brinda la capacidad de iniciar un tratamiento o manejo de la condición clínica que muchas veces va a disminuir la morbimortalidad de los pacientes (Khan, 2019)⁹.

El ultrasonido pulmonar es una herramienta que posee una alta sensibilidad y especificidad diagnóstica de las principales causas de hipoxemia que se pueden presentar tanto en situaciones de emergencia como en pacientes críticos (Deshpande, Akhtar y Haddadin, 2014)¹⁰ que requieran ser llevados a sala de operaciones. Mediante la realización de la ecografía pulmonar, se pueden identificar las principales causas de hipoxemia que se presentan en el perioperatorio, por ejemplo: edema pulmonar, neumotórax, derrame pleural, síndromes consolidativos, síndrome intersticial, atelectasia; cada una de estas entidades tiene hallazgos ultrasonográficos característicos que muchas veces son más difíciles de diferenciar mediante la clínica y estudios radiológicos (De Marchi y Meineri, 2017)¹¹. A su vez, la ecografía pulmonar es una herramienta de apoyo a la ecocardiografía para monitoreo hemodinámico e incluso, es sumamente útil para el monitoreo de la ventilación mecánica en pacientes en los que se requiera realizar maniobras para mejorar los índices de oxigenación.

En el contexto perioperatorio y con mucha más frecuencia en el transoperatorio o en la unidad de recuperación posanestésica, hay posibilidad de encontrarse ante pacientes hipoxémicos; en este escenario, la utilización del ultrasonido pulmonar va a ayudar a realizar un diagnóstico adecuado y rápido de las diversas patologías de origen pleuropulmonar que podrían estar provocando la hipoxemia

y conllevar a cuadros de insuficiencia respiratoria aguda (Matyal, Mitchell, mahmood, 2019; belamaric, Martinelli, Van Rensburg et ál., 2019 y Rebel, Holzberger, DiLorenzo et ál, 2018)^{12,13,14}.

Todas estas ventajas que ofrece la aplicación del ultrasonido pulmonar permitirán realizar diagnósticos adecuados a la cabecera de la cama del paciente, tomar decisiones inmediatas y efectivas de manejo; al ser operador dependiente es importante ir desarrollando destrezas de aprendizaje y fomentar la utilización de la ecografía pulmonar en el perioperatorio en diversas situaciones en las que no es factible o podrían incrementarse la morbimortalidad de los pacientes ante la espera de estudios radiológicos o tomográficos para la toma de decisiones de manejo (Rebel, Holzberger, DiLorenzo et ál, 2018)¹⁴.

Durante los últimos años, el ultrasonido pulmonar ha venido adquiriendo mayor aceptación entre los especialistas en anestesiología, medicina de emergencias y cuidados intensivos, al tener múltiples ventajas: elevada sensibilidad y especificidad diagnóstica, baja invasividad, portabilidad, interpretación rápida y sin riesgos para el paciente como la necesidad de radiación, uso de medios de contraste o traslados que retrasen el adecuado manejo de las condiciones clínicas del paciente (Rebel, Srour, Dilorenzo et ál., 2016)¹⁵.

Por las ventajas mencionadas, el siguiente trabajo de graduación tiene como objetivos principales recalcar la importancia de incentivar el aprendizaje de la ecografía pulmonar y realizar un protocolo de manejo que sea sencillo de aplicar en el contexto perioperatorio para el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda. Lo anterior, tomando en cuenta que tanto la ecocardiografía como el ultrasonido pleuropulmonar deben ser parte de los conocimientos y aprendizaje de los especialistas en Anestesiología y Recuperación. En los últimos años han surgido grandes avances en lo que respecta a la utilidad de esta herramienta diagnóstica y definitivamente a futuro, irán surgiendo mayores los datos y posiblemente se descubran nuevas claves que confirmen cada vez más que la ultrasonografía pulmonar en conjunto con la ecocardiografía, constituyen una herramienta que definitivamente llegaron para quedarse y mejorar los diagnósticos clínicos en situaciones de emergencia. Gracias a la evolución de la medicina, a los avances y aplicación adecuada de la tecnología, aspectos que en conjunto con el conocimiento teórico-práctico, se ha mejorado la calidad del ejercicio de la práctica médica en los diversos contextos clínicos a los que se enfrentan los especialistas de diversas áreas. De esta manera, el siguiente trabajo final de graduación se enfoca en la utilidad del ultrasonido pulmonar en el ámbito perioperatorio de la especialidad en Anestesiología y Recuperación.

1.3 Pregunta de Investigación

¿Por qué se debería incluir el ultrasonido pulmonar como herramienta para realizar el diagnóstico de las principales causas de hipoxemia que pueden conllevar a insuficiencia respiratoria aguda en el perioperatorio?

1.4 Objetivo General

En este trabajo final de graduación se tiene como principal objetivo recalcar la importancia de incentivar el aprendizaje de la ecografía pulmonar por parte de los especialistas en Anestesiología y Recuperación, para así fomentar la aplicación del ultrasonido pulmonar como herramienta diagnóstica en pacientes que presentan cuadros de hipoxemia tanto en el preoperatorio, transoperatorio como en las Unidades de Recuperación Posanestésica.

1.5 Objetivos Específicos

1. Describir cómo realizar un protocolo de ultrasonido pulmonar enfocado para su uso en el ámbito perioperatorio.
2. Conocer las principales implicaciones técnicas para el uso del ultrasonido pulmonar y la adecuada escogencia y colocación del transductor para la realización del ultrasonido.
3. Conocer la anatomía pulmonar y aplicar las consideraciones técnicas para la adecuada realización de la ecografía pulmonar.
4. Conocer las principales posiciones para la adecuada exploración ultrasonográfica pulmonar, según los diversos escenarios clínicos.
5. Conocer e interpretar los principales signos y artefactos ultrasonográficos presentes en un pulmón normal.
6. Identificar cómo diagnosticar la mayoría de causas de insuficiencia respiratoria aguda e hipoxemia en el perioperatorio.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Historia

La ecografía pulmonar data desde 1970; sin embargo, durante esa época se utilizó principalmente para el estudio de la caja torácica y la pleura. Hasta inicios de 1990, se empezaron a realizar mayores investigaciones y descripciones de la semiología ultrasonográfica pulmonar, por lo que la gran mayoría del crédito a la aplicación del ultrasonido pulmonar para el diagnóstico de diversas entidades clínicas se atribuye al Dr. Daniel Lichtenstein, un médico especialista en cuidados intensivos de origen francés, quien lo empezó a utilizar en la Unidad de Cuidados Intensivos para la realización del diagnóstico diferencial de pacientes que presentaban cuadros de dificultad respiratoria aguda. Por medio de sus investigaciones se realizó un mejor reconocimiento de los patrones ecográficos normales y posteriormente, se han venido brindando una amplia variedad de recomendaciones para su aplicación en la práctica clínica (Lichtensein, Mezière, Biderman et ál., 1999; Lichtensein, Goldstein, Mourgeon et ál., 1999 y Lichtensetein, 2012)^{16,17,18}.

El Dr. Lichtenstein desarrolló el protocolo BLUE (a partir de la publicación original Bed Side Lung Ultrasound in Emergencies) (ver fig.1), el cual colaboró con la mayor comprensión de los diferentes artefactos pulmonares en condiciones normales y patológicas, con la consecuente extensión de su uso clínico tanto en servicios de emergencias, unidades de cuidados intensivos, como en el perioperatorio por parte de especialistas en Anestesiología y Recuperación (Lichtenstein y Mezière, 2008 y 2019)^{19,20}.



Figura 1. Historia del ultrasonido de pulmón, Doctor Lichtenstein.

Nota: Padre del ultrasonido pulmonar, desarrolló el protocolo Blue.

Fuente: Imagen tomada de internet: Google imágenes "Doctor Lichtenstein", 2021.

2.2 Bases Físicas del Ultrasonido

La aplicación y utilización del ultrasonido pulmonar requieren la comprensión de lo que ocurre cuando las ondas de ultrasonido se ponen en contacto con el aire.

Cuando una señal ultrasonográfica tiene contacto con el aire, una parte se dispersa en varias direcciones y otra es reflejada más allá del transductor, el aire como medio conductor se considera altamente reflectante (ver fig.2).

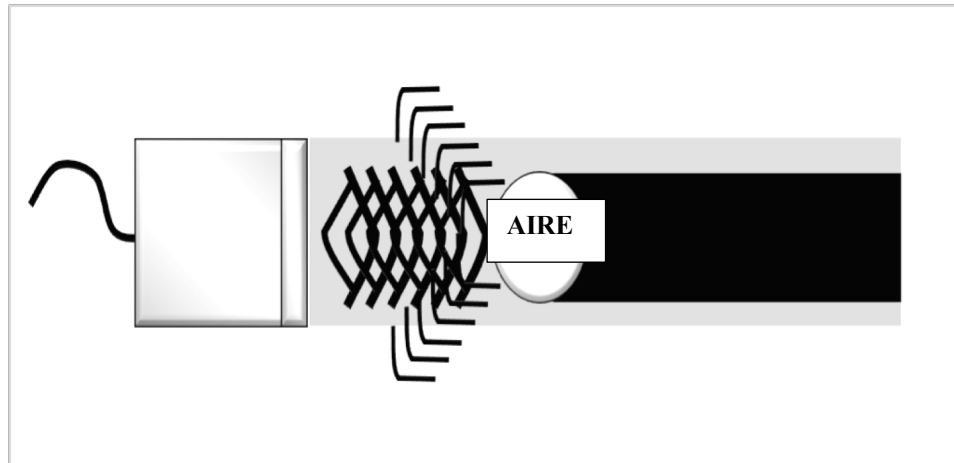


Figura 2. El aire es un medio altamente reflectante

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3RD Rock Ultrasound.

La señal del transductor no va a ser transmitida al entrar en contacto con el aire, por lo tanto, la información de los tejidos profundos no se obtiene, ya que, al chocar con el aire, no se devuelve hacia el transductor. Este artefacto es conocido como sombra acústica, la comprensión de las bases físicas ultrasonográficas es importante para la adecuada interpretación de los diferentes artefactos, durante la valoración de los diversos hallazgos durante la exploración ultrasonográfica pulmonar. Es importante a su vez, conocer las siguientes definiciones que ayudan a comprender las bases físicas del ultrasonido (emergencyultrasound.com)²¹:

1. Ciclo.
2. Frecuencia.
3. Longitud de onda.
4. Velocidad del sonido.
5. Amplitud.
6. Transmisión del sonido.

2.2.1 Definiciones

2.2.1.1 Ciclo. Las señales ultrasonográficas se propagan en ciclos (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}, un ciclo es una oscilación periódica repetitiva, representa un fragmento de la onda comprendida entre dos puntos (ver fig.3).

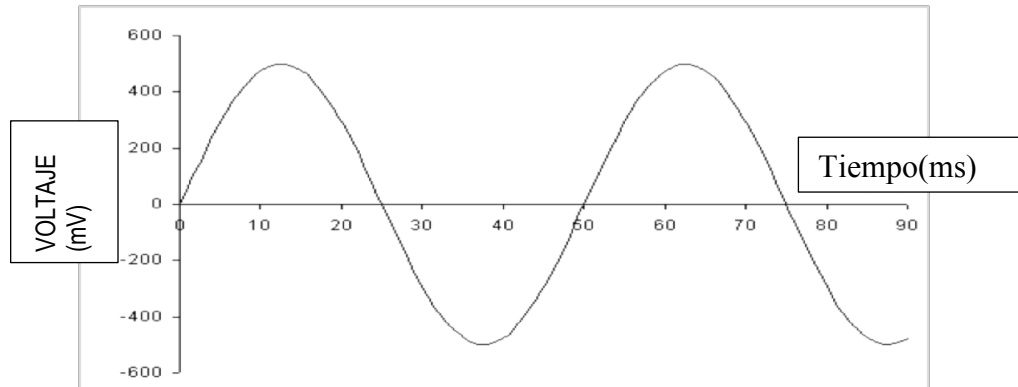


Figura 3. Ciclo:Oscilaciones periódicas repetitivas.

Fuente: Clinical ultrasound course online. 3RD Rock ultrasound.

2.2.1.2. Frecuencia. La frecuencia corresponde al número de ciclos por unidad de tiempo (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22} generalmente por segundo y se mide en unidades Hertz (1 Hz= 1 ciclo de onda /seg). En ultrasonografía, la frecuencia generalmente es de 2-20 millones de mega Hertz (MHz) (ver fig.4).

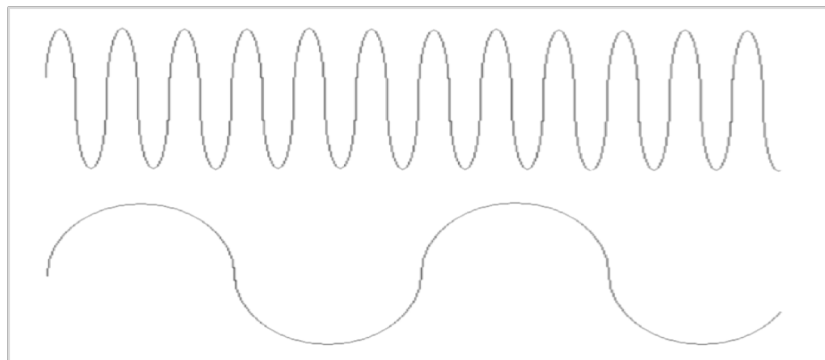


Figura 4. Frecuencia

Nota: Arriba: Oscilaciones de alta frecuencia. Abajo: oscilaciones de baja frecuencia.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3RD Rock ultrasound.

El oído humano escucha frecuencias entre los 20 – 20.000 Hz. Los diferentes rangos de frecuencias (ver fig.5) se pueden clasificar en (emergencyultrasound.com y NASA.com) ^{21,22}:

- a) Infrasonido: frecuencias menores a 20 Hz.
- b) Ultrasonido: frecuencias por encima de 20.000 Hz.

Las frecuencias ultrasonográficas diagnósticas se encuentran típicamente por encima de 1 millón de Hz (o MegaHertz (MHz)).

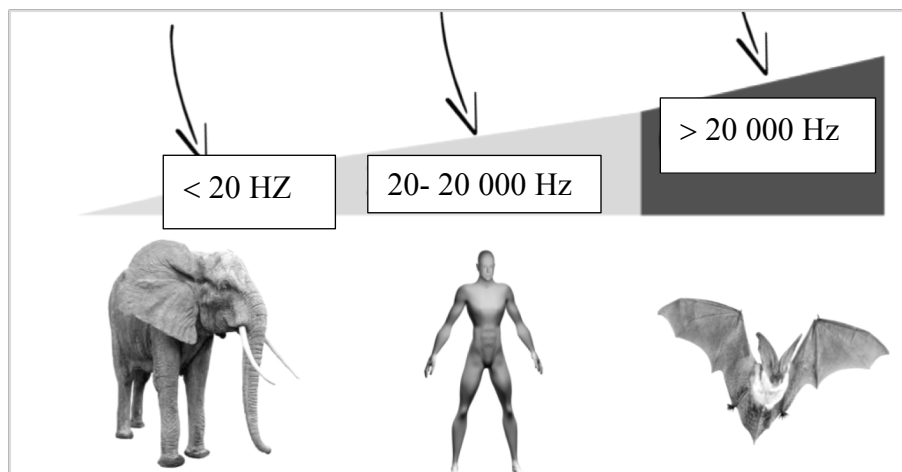


Figura 5. Tipos de Frecuencia.

Nota: Infrasonido: menos de 20 Hz. Audible oído humano: 20-20.000 Hz. Ultrasonido: por encima de 20.000 Hz.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.1.3. Longitud de Onda. Longitud del ciclo ultrasonográfico (ver fig.6). Representa la distancia que una onda de ultrasonido hace entre el inicio y el final de un ciclo respiratorio (emergencyultrasound.com y NASA.com) ^{21,22}.

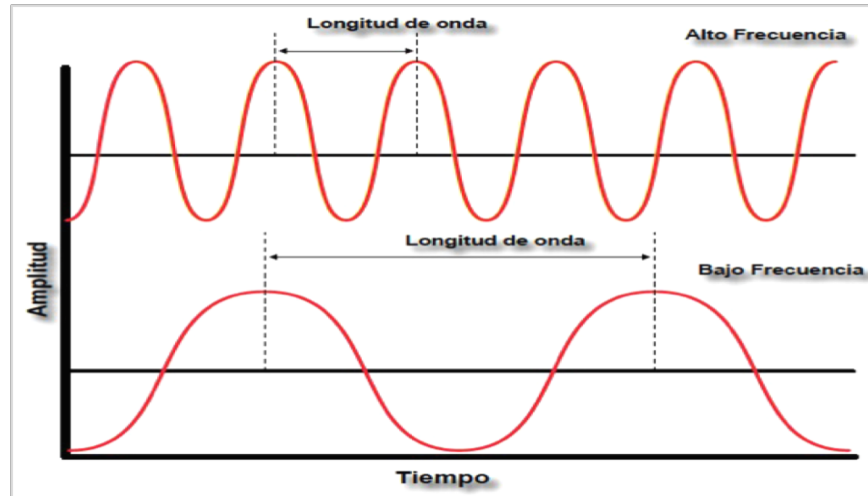


Figura 6. Longitud de Onda.

Nota: Longitud de onda = velocidad / frecuencia. A mayor frecuencia, mayor longitud de onda y viceversa.

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo online. www.nasa.com.

2.2.1.4. Velocidad del Sonido. El sonido es energía y la energía se transmite a través de un medio; la velocidad en que viaja la onda de ultrasonido a través de un medio depende de la densidad del medio (emergencyultrasound.com y NASA.com) ^{21, 22} y a su vez de la frecuencia y la longitud con la que se propaga la onda (ver fig.7). La velocidad del sonido para los tejidos blandos, es habitualmente de 1540 m/seg.

$$c = \lambda \cdot f$$

Figura 7. Velocidad del Sonido

Nota: La velocidad del sonido = longitud de onda multiplicada por la frecuencia. λ (del griego "lambda"): longitud de onda

La unidad de medida de la velocidad del sonido es m/seg (metros por segundo).

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

A medida que se incrementa la frecuencia, la longitud de onda decrece y viceversa. A mayor longitud de onda, la onda viaja más lejos, por tanto, a mayor frecuencia menor longitud de onda y las ondas recorren distancias más cortas.

2.2.1.5. Amplitud. La presión pico o altura de la onda de ultrasonido representa la amplitud que se detecta en la onda de retorno más brillante, representa la intensidad o el volumen del sonido (emergencyultrasound.com y NASA.com) ^{21,22}.

2.2.1.6. Transmisión del Sonido. La densidad y la flexibilidad, son factores que influyen en la transmisión del sonido a través de un medio (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.

A) *Densidad.* El agua es un excelente transmisor del sonido por su elevada densidad a diferencia del aire (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}, el cual posee una muy baja densidad por lo cual, las ondas son completamente reflejadas (ver fig.8).

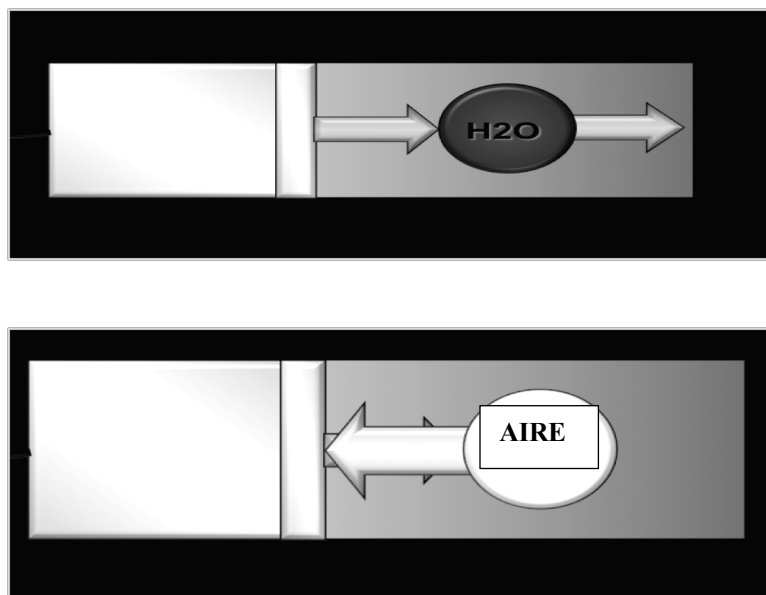


Figura 8. Densidad

Nota: Densidad: el aire en comparación con el agua tiene una baja densidad por lo que es un mal transmisor del sonido.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

- B) *Flexibilidad*. Los tejidos presentan diversos rangos de flexibilidad, por ejemplo, el hígado tiene una alta densidad y a su vez es compresible y flexible (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}, por tanto, cuando las ondas ultrasonográficas tienen contacto con el hígado, estas se transmiten a través del tejido (ver fig.9).

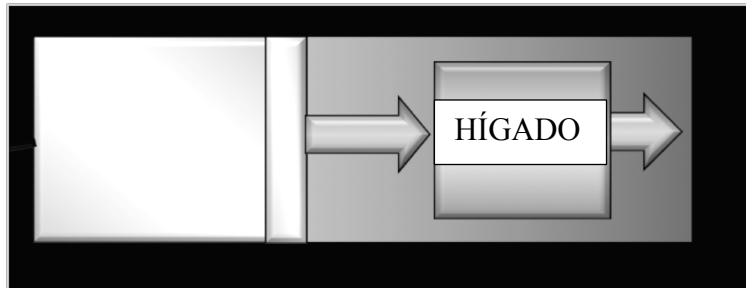


Figura 9. Flexibilidad

Nota: El hígado posee una alta densidad y flexibilidad por lo cual las ondas se transmiten a través del tejido.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

En contraste con el hígado, el hueso posee una alta densidad y es poco flexible, por tanto, cuando las ondas ultrasonográficas tienen contacto con el hueso se reflejan completamente (ver fig. 10). Las dos sustancias o los dos medios del cuerpo humano que no permiten la transmisión del sonido son: el aire y el hueso.

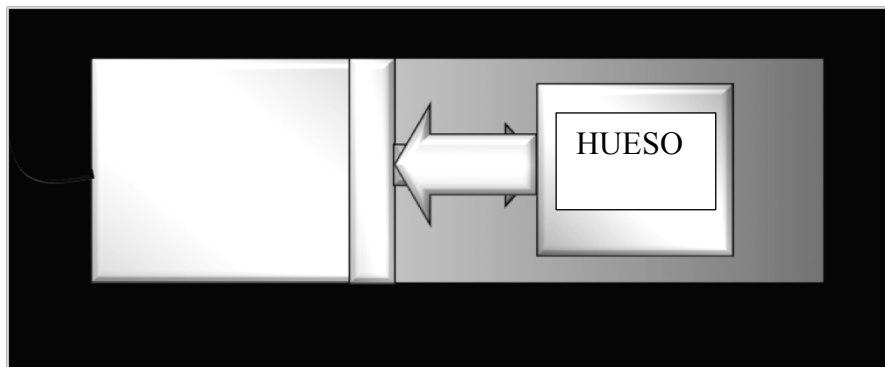


Figura 10. Densidad y flexibilidad del hueso

Nota: El hueso tiene una alta densidad, pero una baja flexibilidad por lo que las ondas son reflejadas.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.2 Propagación de la onda de ultrasonido

Para comprender la propagación de las ondas de ultrasonido, (fig.11) es importante conocer las siguientes definiciones (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³:

2.2.2.1 Reflexión. Reorientación de la onda de ultrasonido a su fuente. Dirigir el haz de ultrasonido, perpendicular a la estructura mejora la reflexión y la visualización.

2.2.2.2. Refracción. La onda de ultrasonido se reorienta cuando atraviesa un medio con densidades diferentes, de acuerdo a las propiedades acústicas.

2.2.2.3. Poder Acústico. El poder acústico representa la energía emitida por el transductor.

2. 2.2.4. Impedancia Acústica. Resistencia que un medio opone, al paso de las ondas ultrasonográficas.

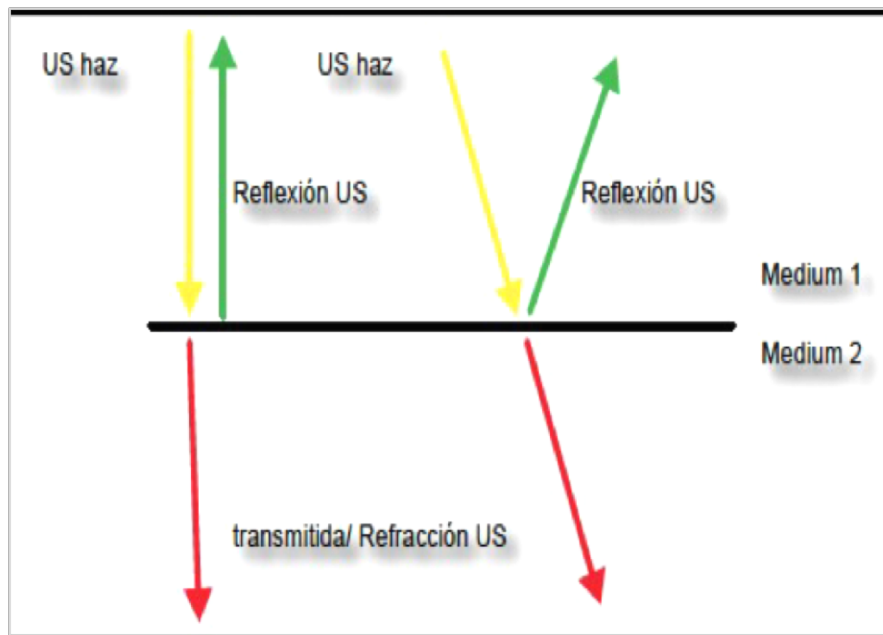


Figura 11. Bases Físicas del Ultrasonido

Fuente: Libro de Ultrasonido de Bolsillo, www.nasa.com.

2.2.3 Producción de las ondas de ultrasonido

Las ondas de ultrasonido se producen, cuando una corriente eléctrica es aplicada a una serie de cristales con material piezoeléctrico estos vibran y transmiten las ondas ultrasonográficas, (ver fig.12) este proceso se conoce cómo efecto piezoeléctrico (emergencyultrasound.com y nasa.com)^{21,22}.

Cuando las ondas de ultrasonido se reflejan al golpear el transductor (superficie de cristal), el cristal se deforma y cambia la energía mecánica de presión a señales eléctricas (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³.

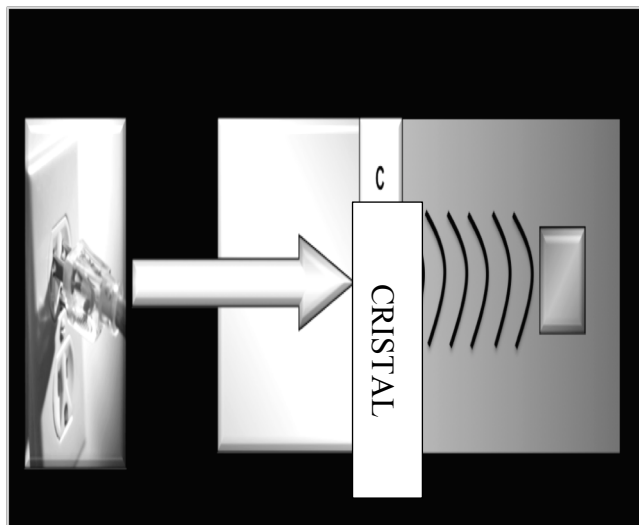


Figura 12. Efecto piezoeléctrico

Nota: la corriente eléctrica es aplicada a una serie de cristales con material piezoeléctrico, estos vibran y transmiten las ondas ultrasonográficas.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Si las ondas de ultrasonido se reflejan de un objeto y se mueven a través de los cristales, esto los hace vibrar, esta señal es transmitida a una computadora (ver fig.13), posteriormente, es digitalizada y los datos obtenidos se presentan en el monitor (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³.

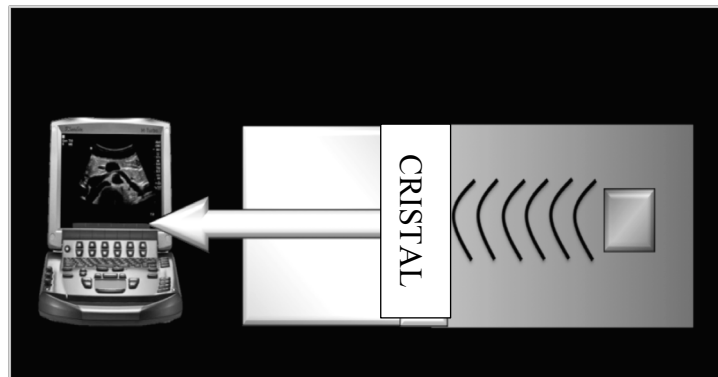


Figura 13. Digitalización de la señal ultrasonográfica

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd Rock Ultrasound.

2.2.4 Características del Transductor

Cómo se describió con anterioridad en el texto, el transductor envía las señales ultrasonográficas y recibe los ecos u ondas reflejadas. Está constituido por pequeñas unidades piezoeléctricas cada una de las cuales envía las ondas y recibe los ecos; estos son proyectados y en conjunto, forman una imagen en el monitor (emergencyultrasound.com y nasa.com) ^{21,22}.

Los transductores más modernos son transductores de matriz con grupos de cristales dispuestos a lo largo de las huellas, en los cuales se da la activación secuencial de los cristales, los transductores lineales y sectoriales poseen estas características (ver fig.14). Este tipo de transductores utiliza un grupo de cristales y en cada pulso un grupo de cristales, envía una onda de ultrasonido y espera la onda de retorno antes de cambiar de ángulo para enviar una nueva onda (emergencyultrasound.com y nasa.com) ^{21,22}.

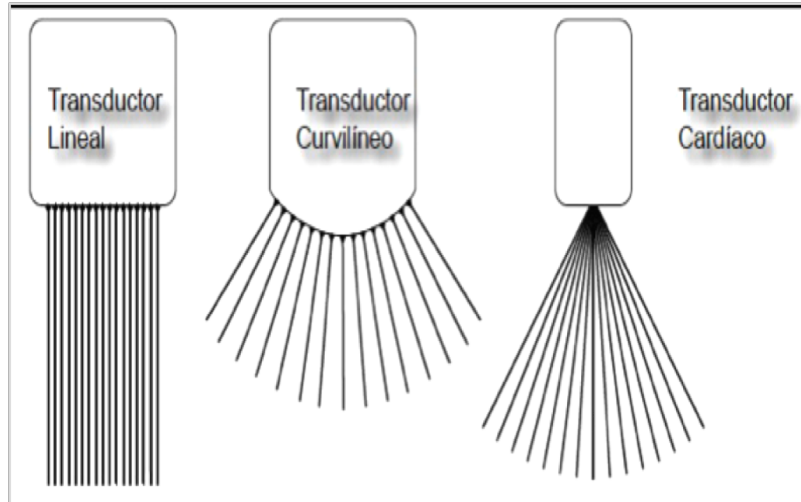


Figura 14. Tipos de transductor

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo, www.nasa.com

2.2.5 Modos Ultrasonográficos

Según la generación de las ondas ultrasonográficas, se pueden clasificar en dos modos: continuo y pulsado (emergencyultrasound.com y nasa.com)^{21,22}.

2.2.5.1 Modo Continuo. Las señales ultrasonográficas se reproducen de manera continua con respecto al tiempo; las unidades piezoeléctricas vibran de manera continua en el tiempo (ver fig.15), un ejemplo de este modo ultrasonográfico es el doppler continuo (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³

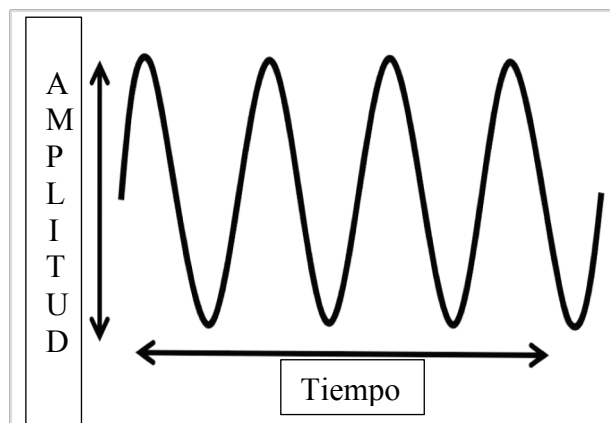


Figura 15. Modo Continuo

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

a. **Doppler continuo.** El modo continuo se utiliza para medir el flujo sanguíneo, utilizando un dispositivo de daptones que utiliza la tecnología doppler cómo se describirá más adelante en el texto.

23

2.2.5.2 Modo Pulsado. En el modo pulsado, las señales ultrasonográficas son producidas en segmentos cortos, separados por el tiempo y en estos espacios no continuos el transductor recibe las ondas reflejadas (ver fig.16).

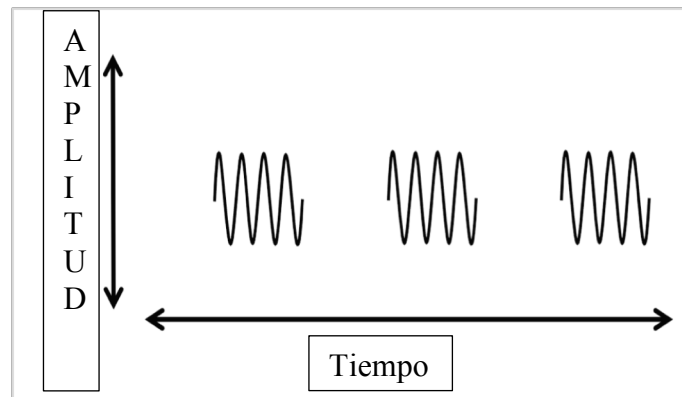


Figura 16. Modo Pulsado

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Cada segmento de ondas ultrasonográficas producidas por el transductor se conoce con las siglas de SPL, por su nombre en inglés (Spatial Pulse Length: longitud espacial pulsada) (ver fig.17). El tiempo desde el inicio de la onda espacial pulsada al inicio de otra se conoce cómo Tiempo Total Ciclado (TTC); este tiempo total ciclado (ver fig.18) es constante y no cambia con las diferentes frecuencias de las señales (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³.

El espacio de tiempo en que el transductor no envía, sino que solamente recibe los ecos de retorno ultrasonográficos, se conoce cómo tiempo fuera de pulso.

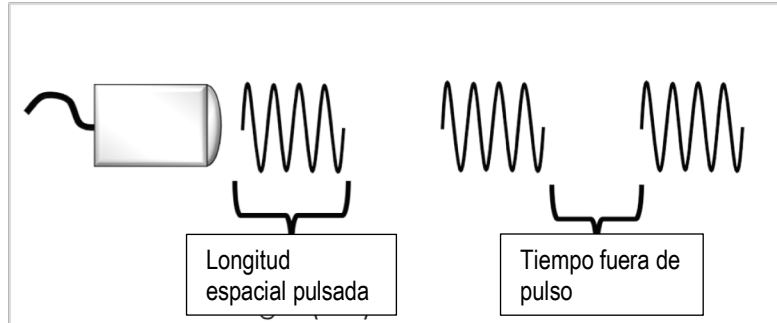


Figura 17. Las Ondas Ultrasonográficas

Nota: Longitud espacial pulsada (SPL de sus siglas en inglés Spatial Pulse Length). Las ondas ultrasónicas conocidas como longitud espacial pulsada (SPL), están conformadas por un número fijo de ciclos que tampoco cambian con las diversas frecuencias, pero la longitud sí va a depender de la frecuencia transmitida por el ultrasonido.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

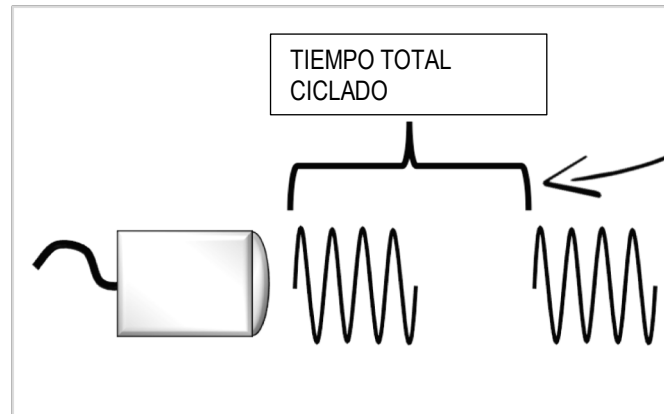


Figura 18. Tiempo Total Ciclado

Nota: Se mantiene constante y no cambia con las diferentes frecuencias de las señales.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Con frecuencias altas, la longitud de onda es corta, por tanto, la longitud espacial pulsada también es corta y hay un tiempo fuera de pulso más prolongado (ver fig.19), donde el transductor recibe una mayor cantidad de ecos de retorno (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015 y emergencyultrasound.com)^{23,21}.

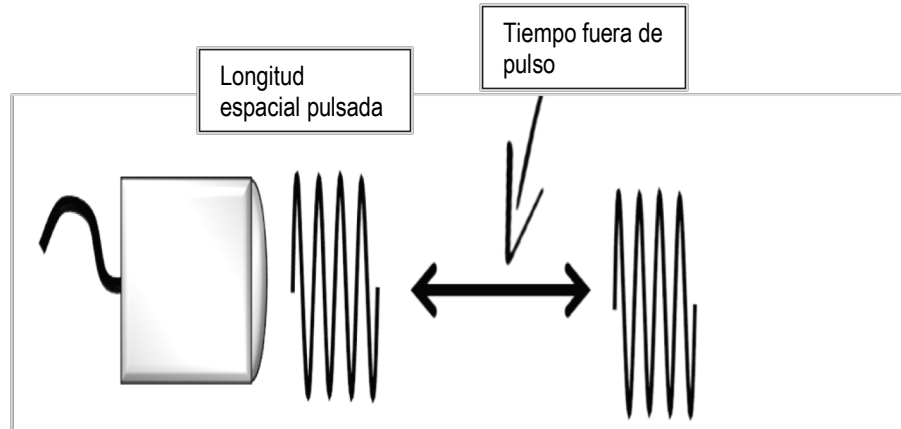


Figura 19. Altas Frecuencias

Nota: Longitud de onda corta, longitud espacial pulsada corta. Flecha: Tiempo fuera de pulso prolongado.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Con frecuencias bajas, la longitud de onda es mayor, al igual que la longitud espacial pulsada, el tiempo fuera de pulso se acorta y el transductor tiene menos tiempo para recibir los ecos de retorno (ver fig.20).

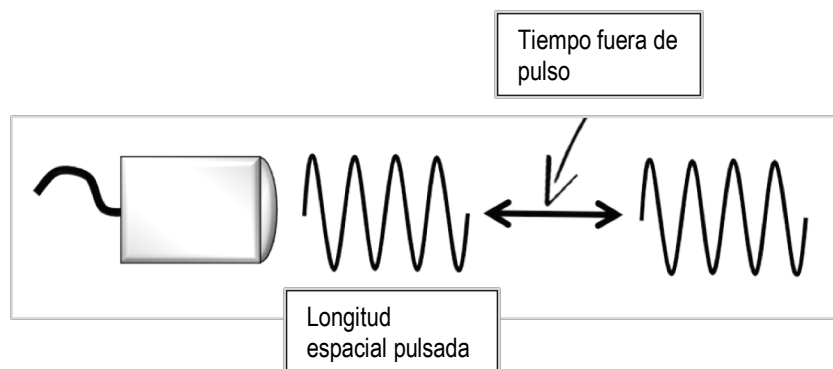


Figura 20. Bajas Frecuencias

Nota: Mayor Longitud De Onda Y Longitud Espacial Pulsada, Tiempo Fuera De Pulso Acortado(Flecha).

Fuente: Clinical ultrasound course online. 3rd rock ultrasound.

2.2.6 Planos de Resolución

Los dos planos de resolución de la imagen ultrasonográfica (Modo 2D: bidimensional) corresponden al plano axial y lateral (ver fig.21).

El plano axial es paralelo a la señal ultrasonográfica y el plano lateral es perpendicular a la señal ultrasonográfica (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015 y emergencyultrasound.com)^{23,21}.



Figura 21. Planos de resolución ultrasonográfica. Modo 2d (bidimensional).

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound

2.2.6.1 Resolución Axial. Se define como la habilidad para diferenciar dos objetos en el plano axial, paralelos al haz de ultrasonido (ver fig.22). Si se requiere mejorar la resolución axial se puede incrementar la frecuencia de la señal ultrasonográfica, por lo que se recomienda un transductor de alta frecuencia (ver fig.23).



Figura 22. Plano de resolución axial

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

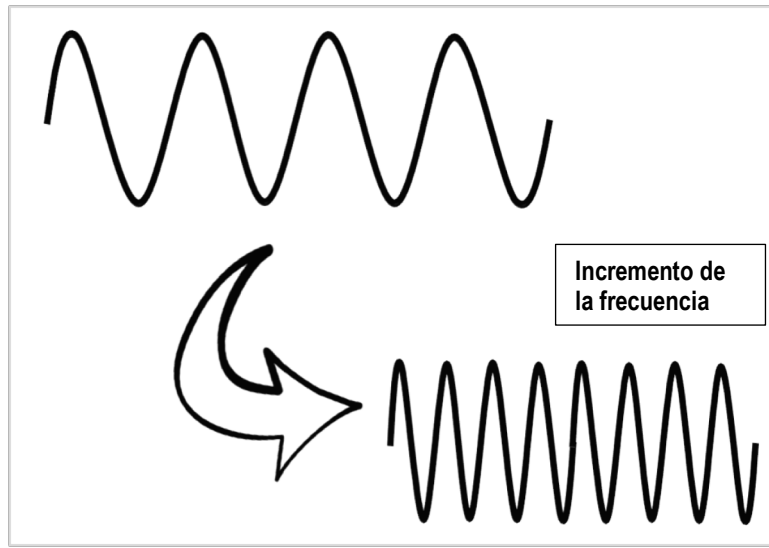


Figura 23. Resolución axial de un objeto en el plano axial

Nota: se puede mejorar incrementando la frecuencia de la señal ultrasonográfica.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Los transductores de baja frecuencia 2-4 MHz poseen mayor longitud de onda, menor resolución, pero mayor penetración por lo cual se pueden valorar mejor estructuras profundas (ver fig.24).

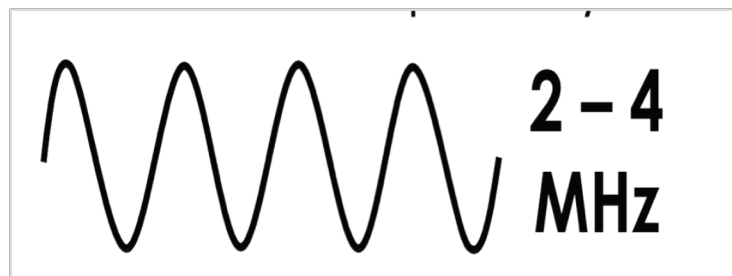


Figura 24. Transductores de baja frecuencia, mayor penetración a estructuras profundas

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Los transductores de alta frecuencia 8-12 MHz poseen mejor resolución, pero menor penetración, por lo cual son más recomendados para valorar estructuras superficiales (ver fig.25).

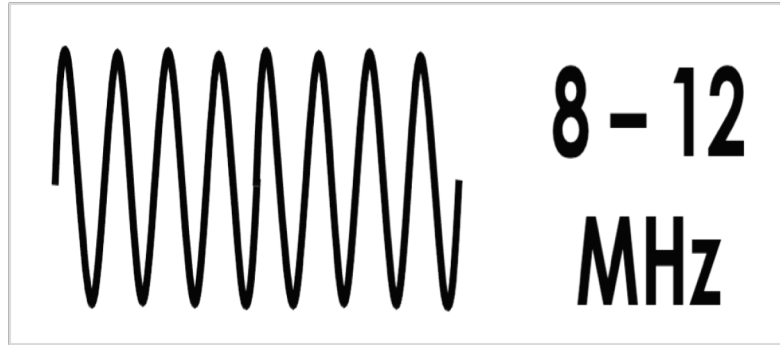


Figura 25. Transductores de alta frecuencia: mejor resolución, pero menor penetración a estructuras profundas

Fuente: Clinical ultrasound course online. 3rd rock ultrasound.

2.2.6.2 Resolución Lateral. Es la capacidad de diferenciar entre dos estructuras espaciadas a la misma profundidad. La resolución lateral se puede mejorar mediante el ajuste de la zona focal (ver fig.26).

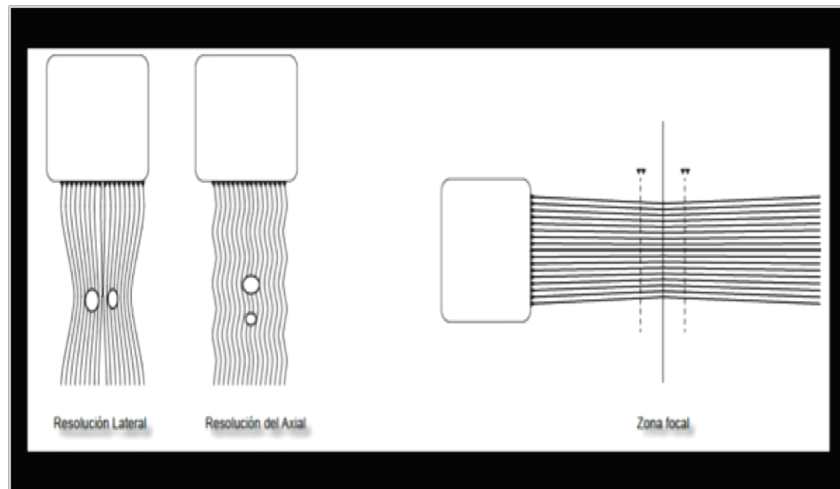


Figura 26. Resolución axial y lateral

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo, www.NASA.com

2.2.7. Formatos de Escaneo

Las señales ultrasonográficas son enviadas hacia las estructuras del cuerpo, en dos formatos:

2.2.7.1 Lineal. Frecuencia: 7-13 MHz. Por la forma del transductor, el campo visual es estrecho y de forma rectangular, a su vez, las señales de cada unidad piezoeléctrica se mantienen equidistantes la una de la otra. La resolución lateral con un transductor lineal es igual ante un campo visual cercano o lejano, esto puede conferir una ventaja, pero con un campo visual estrecho (ver fig.27). Es un transductor de alta definición para estructuras superficiales, mala penetración para estructuras profundas, se utiliza para exámenes vasculares, pulmonares, músculoesquelético, nervios (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³.

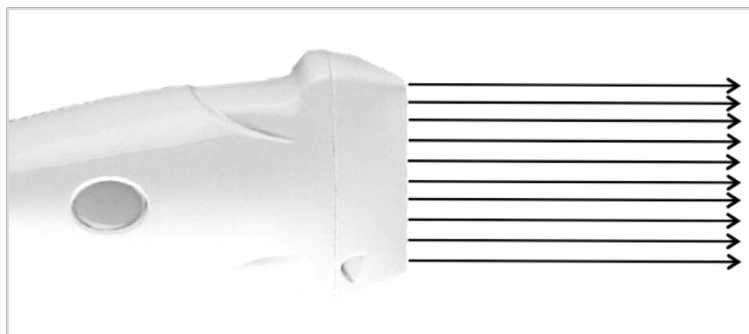


Figura 27. Transductor lineal de alta frecuencia

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.7.2 Sectorial. Frecuencia: 2-5 MHz. Con el transductor sectorial, la imagen que se obtiene es triangular, esta imagen se obtiene por la superficie curva del transductor, las señales de las unidades piezoeléctricas se dispersan hacia fuera del transductor, por lo cual el campo visual se ensancha (ver fig.28). El transductor sectorial o curvilíneo posee una excelente resolución lateral, pero va disminuyendo a medida que la señal se aleja del transductor, por lo cual, si se quiere mejorar la resolución lateral, se debe ajustar la amplitud del rayo; la gran mayoría de ultrasonidos realizan esta compensación focal de manera automática. Este tipo de transductor tiene buena penetración para estructuras para profundas (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015)²³.

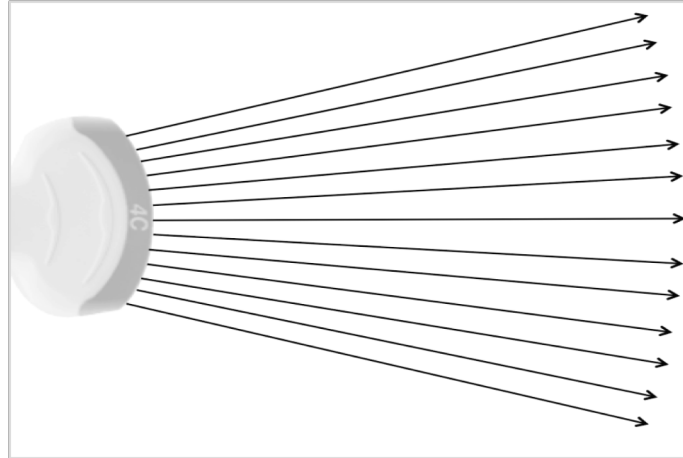


Figura 28. Transductor sectorial de baja frecuencia

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.8. Atenuación de la Señal Ultrasonográfica

Cuando una señal ultrasonográfica es generada por el transductor, se mueve a través del cuerpo y tiene contacto con una variedad de tejidos e interfaces (ver fig.29); al tener contacto con cada interfase, parte de la señal es absorbida, reflejada, dispersada o pasa hacia los tejidos profundos (García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2015 y emergencyultrasound.com)^{23,21}

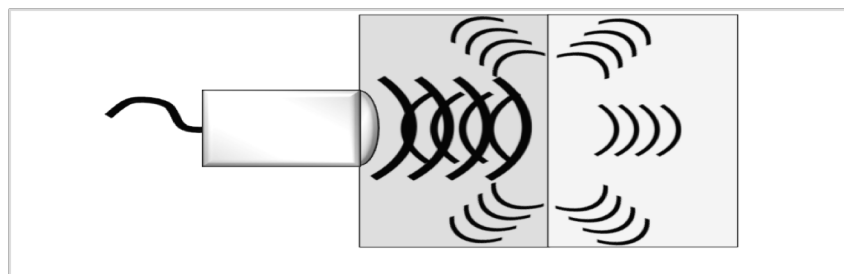


Figura 29. Atenuación de la señal ultrasonográfica: al tener contacto con la interfase tisular, parte de la señal es absorbida

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

La señal se va perdiendo a medida que atraviesa los tejidos profundos (ver fig.30); lo mismo sucede con los ecos de retorno al transductor. Por tanto, el mecanismo de compensación ante este fenómeno se realiza mediante la amplificación de los ecos de retorno, este proceso se conoce como incremento de la ganancia (NASA. com y García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015) ²²⁻

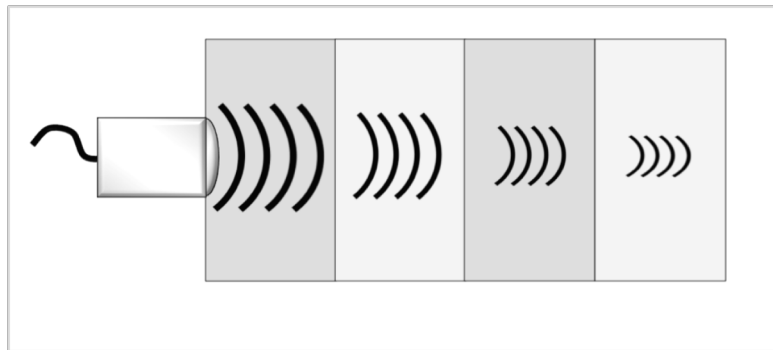


Figura 30. Pérdida de la señal al atravesar los tejidos profundos

Fuente: Clinical ultrasound course online. 3rd rock ultrasound.

2.2.9. Escala de Grises

Las imágenes ultrasonográficas son creadas mediante pixeles; a cada pixel se le da un valor mediante la escala de grises. Mediante esta escala se puede clasificar si el material es reflectante o según la medida del fenómeno de atenuación, de acuerdo a esto se clasifica cómo: hiperecoico, anecoico, hipoeicoico (Nasa.com y emergencyultrasound.com) ²²⁻²¹.

2.2.9.1 Hiperecoico. Sí el material es altamente reflectante se le denomina hiperecoico y se le da un valor cómo blanco en la escala de grises (ver fig.31).

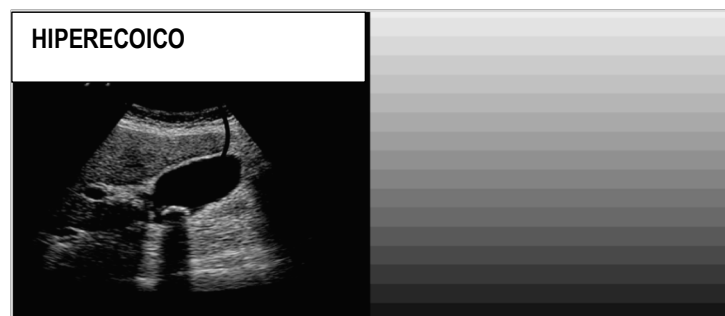


Figura 31. Hiperecoico

Nota: La imagen del hígado se utiliza como punto de referencia y corresponde a las áreas de grises más claras en comparación con el tejido circundante.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.9.2 Anecoico. Si la señal ultrasonográfica pasa a través de los tejidos sin presentar el fenómeno de atenuación, se conoce como anecoico y se le da el valor de negro en la escala de grises (ver fig.32).

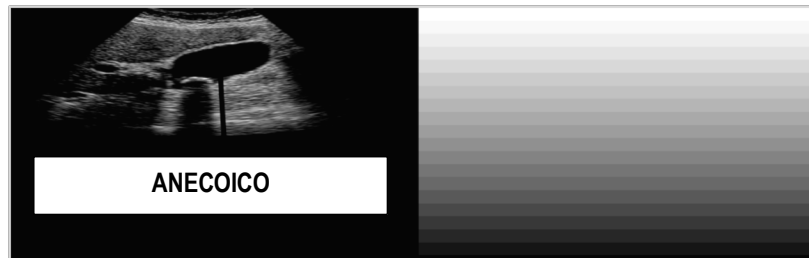


Figura 32. Anecoico

Nota: Generalmente las áreas anecoicas corresponden a áreas llenas de líquido uniforme, se representan con las áreas de la imagen sin ecos (negro).

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.9.3 Hipoecoico. Si el tejido refleja y a la vez permite el paso de la señal ultrasonográfica, se le da un valor intermedio en la escala de grises y se conoce como hipoecoico (ver fig.33).

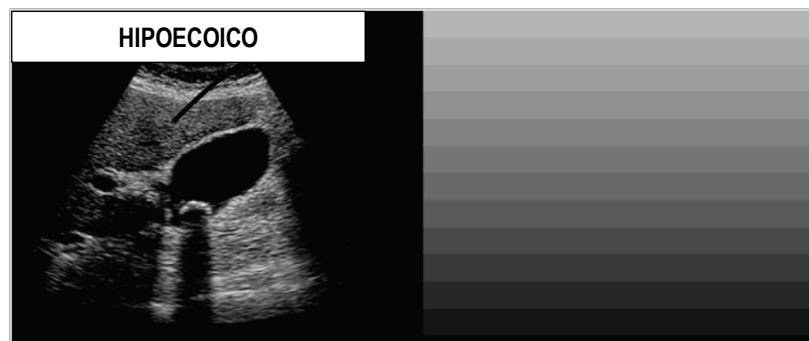


Figura 33. Hipoecoico

Nota: Son áreas grises más oscuras en comparación con el hígado como punto de referencia.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.10 Formación de la Imagen

Una vez que los ecos de retorno son captados por el sistema de ultrasonido para ser interpretados por el examinador, se pueden recoger estos datos en varios modos ultrasonográficos (NASA. com y García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015) ^{22, 23}. Los dos principales modos que se utilizan en ultrasonido pulmonar y que se describirán a continuación son: modo B y modo M

2.2.10.1 Modo B (Brightness (Brillo)). El modo ultrasonográfico más utilizado comúnmente, corresponde al modo B designado así en referencia al nombre acortado proveniente del término en inglés “brightness mode”. Este modo representa las estructuras observadas en tiempo real (ver fig.34).

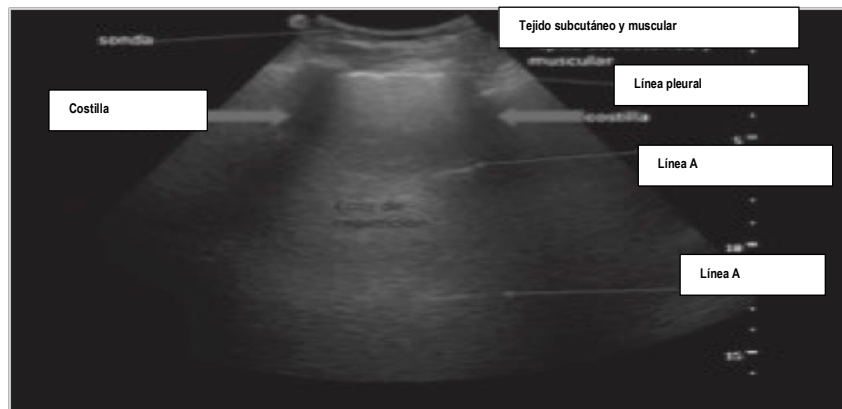


Figura 34. Modo B. Imagen ecográfica de pulmón normal

Fuente: S. B. Heili, G. Peces-Barba. Rev Medicina Respiratoria, 2014.

2.2.10.2 Modo M. Otro formato de modo ultrasonográfico, corresponde al modo M, en este modo, la señal ultrasonográfica, se presenta como un sólo rayo paralelo al eje largo y se representa dicho haz con respecto al tiempo; corresponde a la evaluación del movimiento de una estructura con el paso del tiempo (ver fig.35). Generalmente, las dimensiones de distancia y profundidad se realizan en Modo M.

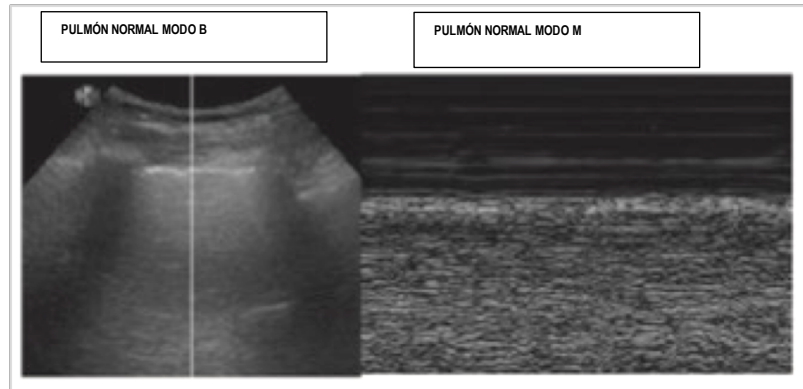


Figura 35. Modo M. Pulmón Normal

Fuente: S. B. Heili, G. Peces-Barba. Rev Medicina Respiratoria, 2014.

2.2.11 Ventana Acústica

Las diversas estructuras o tejidos del cuerpo poseen diversas sensibilidades y flexibilidades, lo cual es conocido como ventana acústica (ver fig.36), ejemplos:

- El hígado y el bazo poseen una ventana acústica densa y flexible.
- Las ventanas acústicas del corazón y la vejiga son estructuras llenas de líquido (Nasa.com y emergencyultrasound.com)^{22,21}.
- El aire y el hueso poseen pobres ventanas acústicas, debido al bloqueo de la señal acústica, por lo cual deben interpretarse diversas imágenes o artefactos durante la exploración ultrasonográfica.

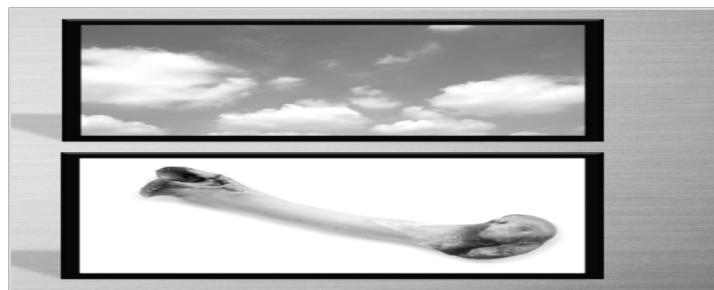


Figura 36. Ventana Acústica

Nota El aire y el hueso poseen mala ventana acústica, lo cual es una de las razones por las que el ultrasonido pulmonar se basa en la interpretación de artefactos.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.12. Artefactos ultrasonográficos

El ultrasonido pulmonar, se basa en la interpretación de artefactos; al momento de realizar la interpretación de la exploración pulmonar, es importante conocer que existen patrones ultrasonográficos falsos en la imagen que no se corresponden topográficamente con las estructuras anatómicas, generalmente se observan en la parte superior de la pantalla, están interrumpidas por aire o estructuras óseas y se mueven con el movimiento del transductor, algunos de estos artefactos son:

1. Artefacto de ganancia.
2. Reforzamiento acústico.
3. Sombra acústica.
4. Artefacto en espejo.
5. Artefacto de reverberación (García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015)²³.

2.2.12.1. Artefacto de Ganancia. La ganancia ayuda a contrarrestar la atenuación de las ondas ultrasonográficas, mediante la amplificación de los ecos de retorno; sin embargo, es importante recalcar que se produce el artefacto de ganancia al amplificar todavía más la señal más cercana al transductor.

Si la ganancia es muy alta, la resolución es pobre, por lo tanto, es ideal amplificar los ecos del campo más alejado al transductor (ver fig.37). Se puede utilizar una técnica conocida como tiempo de compensación de ganancia (TGC, por sus siglas en inglés de Time Gain Compensation) (Nasa.com y emergencyultrasound.com)^{22,21}.

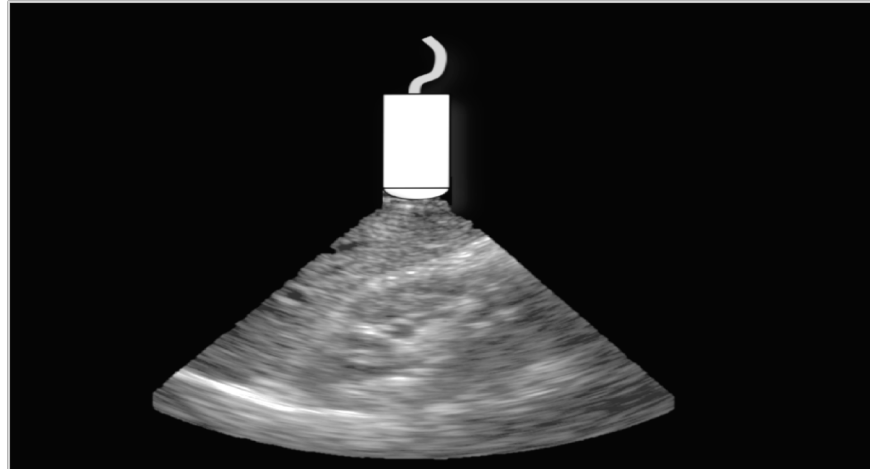


Figura 37. Artefacto de Ganancia

Nota: Si la ganancia es alta, la resolución es pobre.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

Sin el tiempo de compensación de ganancia, los ecos más lejanos al transductor presentan mayor atenuación y se observan más oscuros en el monitor (ver fig.38); con el tiempo de compensación de ganancia, las señales tanto cercanas como lejanas al transductor se observan de manera similar y esto mejora la resolución de la imagen (Nasa.com y emergencyultrasound.com)^{22,21}.

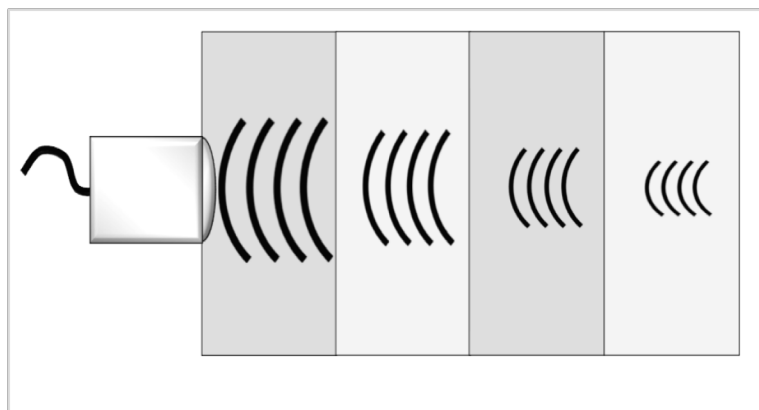


Figura 38. Tiempo de compensación de ganancia

Nota: Con el tiempo de compensación de ganancia las señales cercanas y lejanas presentan similar atenuación.

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.12.2. Reforzamiento Acústico. Este artefacto se produce cuando la señal transmitida a través de un medio no presenta atenuación, esto crea en un área profunda a la estructura donde la

señal no atenuada impacta; un incremento en la señal reflejada relativa a las áreas adyacentes donde la señal sí está atenuada. Esta señal incrementada de la imagen se presenta como un falso valor en la escala de grises, llamado así reforzamiento acústico (ver fig.39).

La solución para este artefacto es incrementar el tiempo de compensación de ganancia, para disminuir la amplificación de los ecos de retorno (Nasa.com y emergencyultrasound.com)^{22,21}

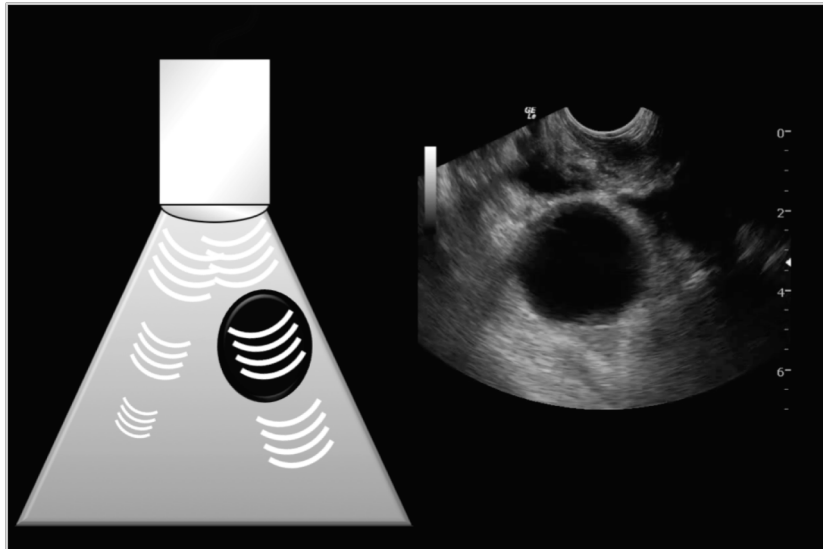


Figura 39. Reforzamiento acústico: se produce una señal incrementada de la imagen de la estructura insonada

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.12.3. Sombra Acústica. Este artefacto se produce cuando la señal ultrasonográfica tiene contacto con una estructura que refleja completamente la señal (ver fig.40); al reflejarse completamente la señal, se crea un área en las estructuras profundas donde la señal ultrasonográfica no llega, dicha área se denomina sombra acústica (Nasa.com y emergencyultrasound.com)^{22,21} .

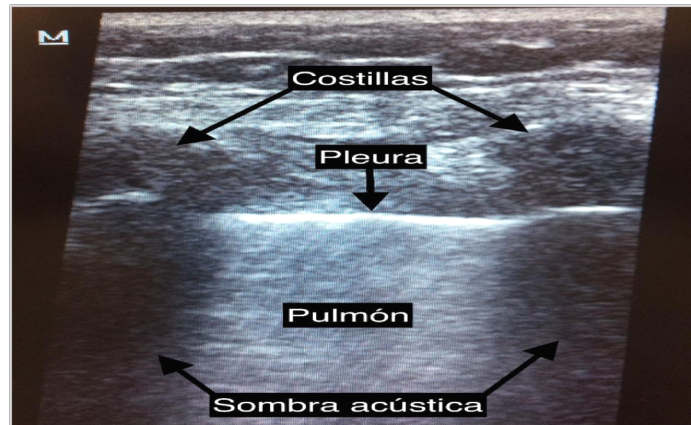


Figura 40. Sombra acústica de las costillas

Fuente: S. B. Heili, G. Peces-Barba. Rev Medicina respiratoria 2014.

2.2.12.4. Artefacto en Espejo. Este artefacto se produce por la apariencia de estructuras similares a ambos lados de una estructura altamente reflectante (ver fig.41); el diafragma es una estructura altamente reflectante y aparece la falsa imagen del hígado al otro lado del diafragma (ver fig.42), por las múltiples ondas de retorno reflejadas al transductor (Nasa.com y emergencyultrasound.com)^{22,21}.

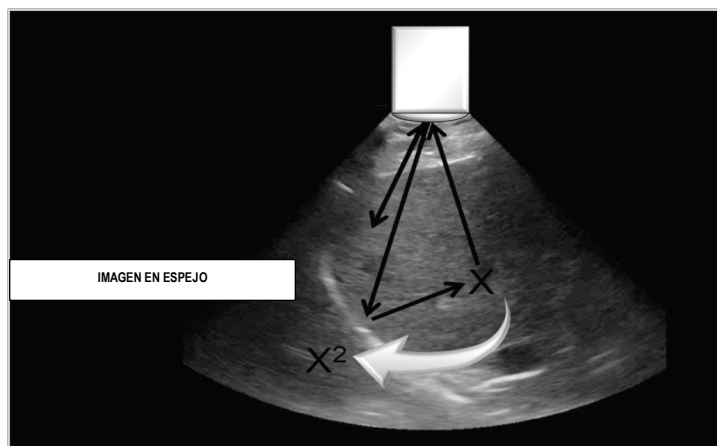


Figura 41. Imagen en espejo

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

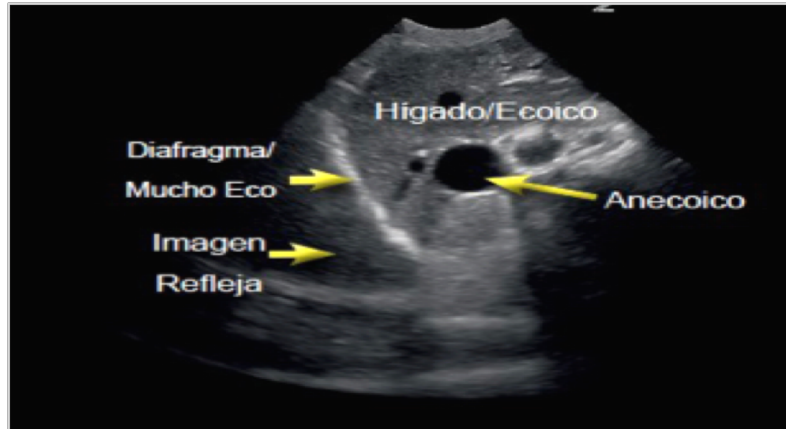


Figura 42. Imagen refleja o en espejo

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

2.2.12.5. Artefacto de Reverberación. El artefacto de reverberación se produce por la señal ultrasonográfica que queda entre dos estructuras altamente reflectantes. Este artefacto se presenta cuando una interfase líquida queda atrapada entre dos burbujas de aire (ver fig.43). Cuando existe edema alveolar se producen artefactos de reverberación por la acumulación de aire y agua a nivel alveolar. Dichas señales de reverberación se escapan a través de las burbujas y retornan al transductor en diferentes tiempos y niveles de atenuación (emergencyultrasound.com, Nasa.com y García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015)^{21,22,23}.

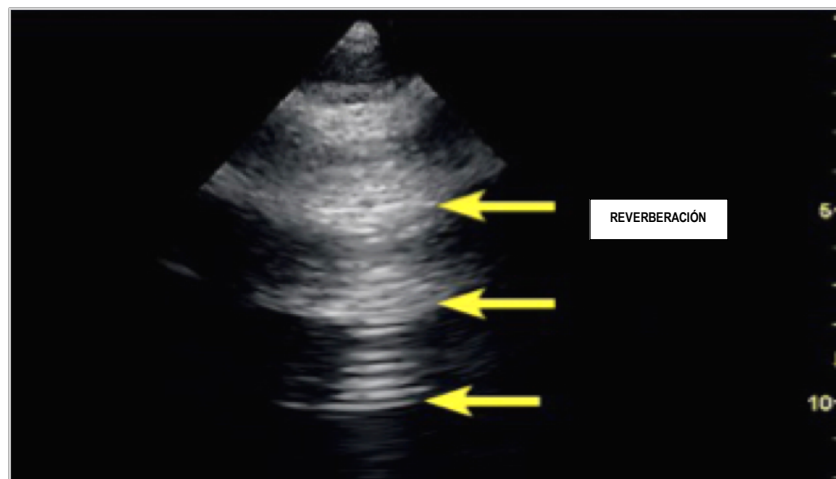


Figura 43. Artefacto de reverberación

Fuente: Lichtenstein da. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care, 2014.

Estas señales de retorno se van debilitando progresivamente, a medida que se alejan de la estructura donde se produjo la reverberación (ver fig.44).

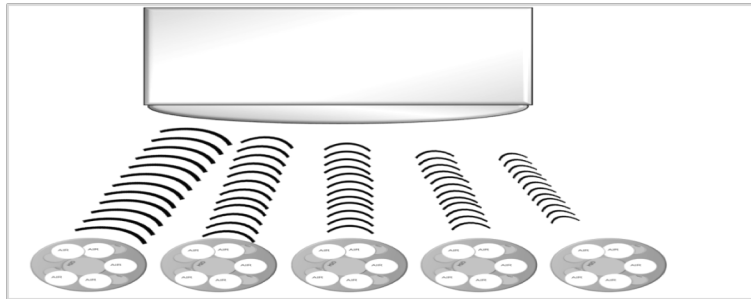


Figura 44. Señales de reverberación

Fuente: Clinical Ultrasound Course Online. 3rd rock ultrasound.

2.2.12.6. COLAS DE COMETA. Las colas de cometa corresponden a artefactos de reverberación que se presentan por la interfase aire/líquido a nivel alveolar y pulmonar (ver fig.45), las cuales se presenta en pacientes con edema pulmonar (García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015)²³.

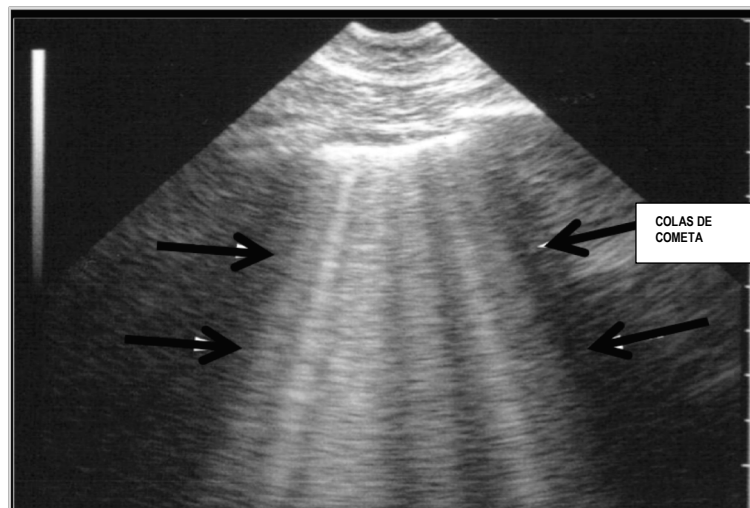


Figura 45. Artefactos de reverberación. Colas de cometa.

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care, 2014.

2.2.3 Principales Indicaciones del Ultrasonido Pulmonar para el Diagnóstico de las Principales Causas de Insuficiencia Respiratoria Aguda e Hipoxemia

El ultrasonido pulmonar es una herramienta de gran utilidad cuando se requiere realizar de manera rápida y a la cabecera de la cama del paciente el diagnóstico diferencial ante un cuadro de disnea, ¹⁵ hipoxemia e insuficiencia respiratoria (ver fig.46), donde se sospechen las siguientes entidades clínicas:

1. Edema pulmonar: cardiogénico y no cardiogénico.
2. Neumotórax.
3. Síndromes consolidativos.
4. Derrame pleural/hemotórax.
5. Atelectasia.
6. EPOC/Asma.
7. Embolia pulmonar.
8. Disfunción del diafragma.

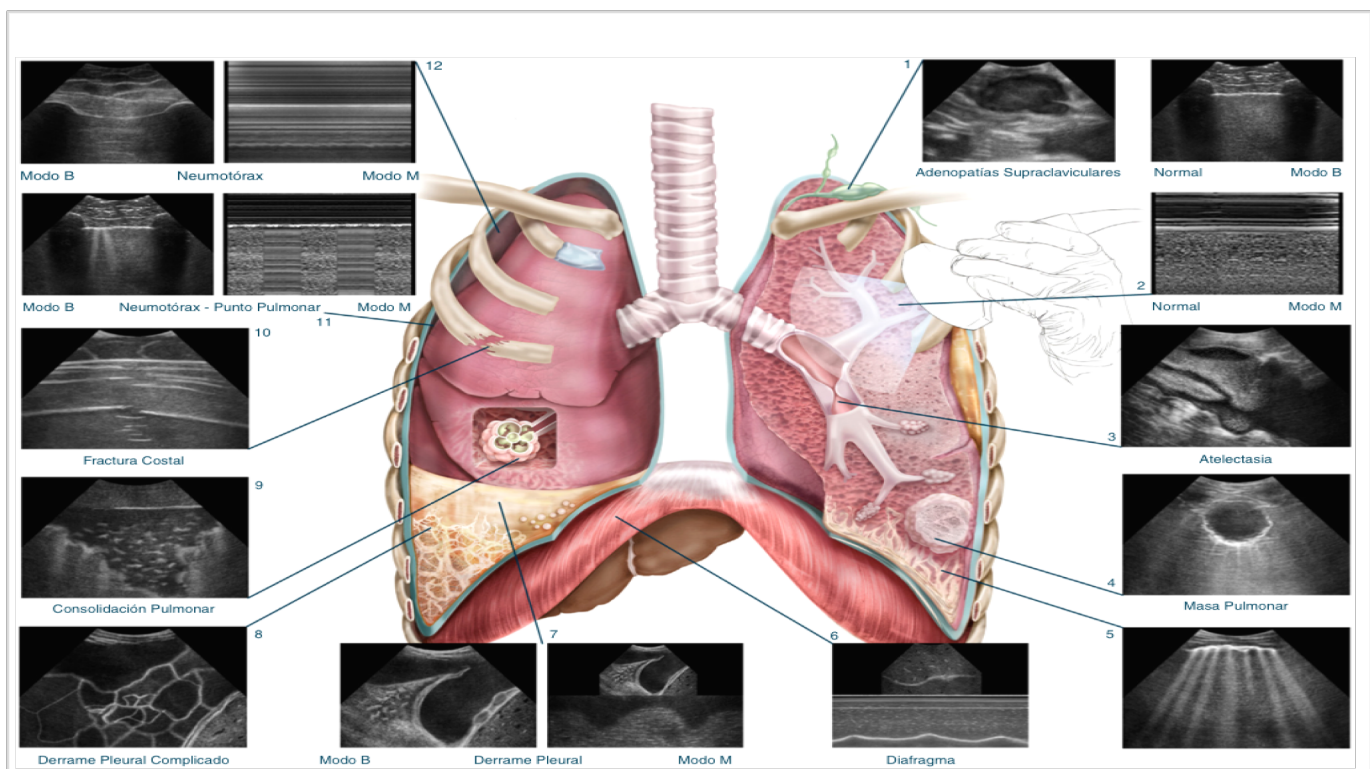


Figura 46. Aplicación clínica del ultrasonido pleuropulmonar

Fuente: A.L. Wangüemert Pérez / Med Clin (Barc), 2020.

Capítulo III. Consideraciones técnicas

3.1. Limitaciones de la Ecografía Pulmonar

Las principales limitaciones de la ecografía pulmonar son las siguientes:

1. Enfisema subcutáneo: las ondas ultrasonográficas se transmiten con dificultad través del aire en el tejido subcutáneo, lo cual dificulta la valoración pulmonar.
2. Obesidad: limita la adecuada valoración pulmonar.
3. Operador dependiente (García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015)²³.

3.2. Preparación y Colocación de la Máquina de Ultrasonido

Se debe colocar a la derecha del paciente, la manipulación del transductor se realiza con la mano derecha y la botonería con la mano izquierda (ver fig.47). El *preset* se puede configurar tanto en pulmonar como abdominal (Adler, Greeley, Conlin y Feldman, 2016)²⁴.



Figura 47. Preparación y colocación de la máquina de ultrasonido para la exploración ultrasonográfica pulmonar

Fuente: De la Quintana Gordon FB, Nacarino Alcorta B. Ecografía pulmonar básica. Rev Esp Anestesiol Reanim, 2015.

3.3. Preparación y Posición del Paciente

El ultrasonido pulmonar se puede realizar con el paciente en decúbito supino, sentado, decúbito lateral o posición prona. Si se está escaneando el lado derecho se coloca el brazo derecho del paciente por detrás de la cabeza (ver figs.48-49-50) y viceversa para la valoración del pulmón izquierdo (García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015 y Adler, Greeley, Conlin & Feldman, 2016)^{23,24}..



Figura 48. Posición del paciente en decúbito supino con el brazo elevado detrás de la cabeza
Fuente: De la Quintana Gordon FB, Nacarino Alcorta B. Ecografía pulmonar básica. Rev Esp Anestesiol Reanim, 2015.

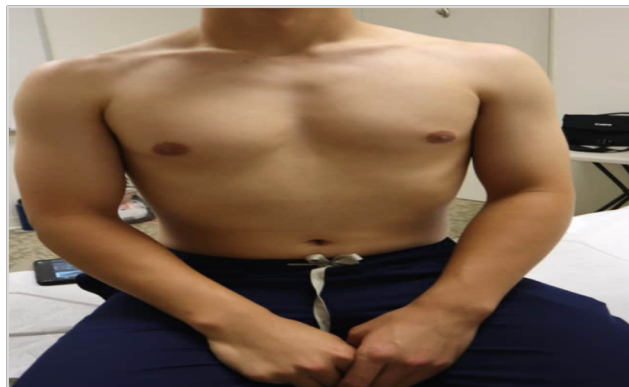


Figura 49. Posición del paciente sentado
Fuente: De la Quintana Gordon FB, Nacarino Alcorta B. Ecografía pulmonar básica. Rev Esp Anestesiol Reanim, 2015.

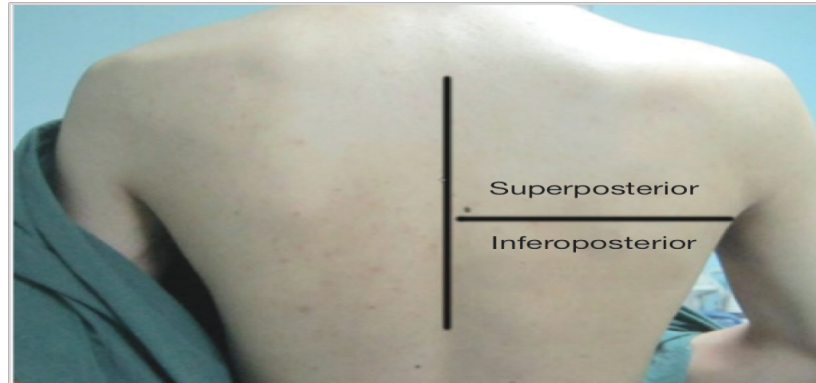


Figura 50. Exploración región posterior del tórax

Fuente: Ann Palliat Med 2020;9(4):1506-1517 | <http://dx.doi.org/10.21037/apm-19-595b>.

3.4. Escogencia y características del transductor

Se puede utilizar el transductor convexo, microconvexo y el transductor lineal (ver cuadro 1). Las principales características de los transductores se describieron previamente en el texto.

3.4.1. Transductor convexo

Transductores de baja frecuencia 2-5 MHz, estos poseen mayor longitud de onda, menor resolución, pero mayor penetración, por lo cual se pueden valorar mejor estructuras profundas. Se pueden utilizar para valorar colecciones, derrame pleural o consolidaciones a nivel pulmonar (ver fig.51). Tienen la ventaja de que se pueden observar múltiples espacios intercostales simultáneamente (emergencyultrasound.com, García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015 y Adler, Greeley, Conlin & Feldman, 2016)^{21,23,24}.



Figura 51. Transductor Sectorial

Fuente: Hoskins P, Martin K, Thrush A. Diagnostic ultrasound: Physics and equipment. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

3.4.2. *Transductor microconvexo*

El transductor microconvexo es de baja frecuencia 2-4 MHz, tiene un formato sectorial que permite observar estructuras de mediana a larga profundidad, pero posee una baja resolución (ver fig.52). Una de sus ventajas es que requiere una ventana acústica pequeña aunque , por esta razón es poco útil para valorar la pleura. Por otro lado, es de gran utilidad para valorar derrames pleurales y a su vez, es de fácil colocación entre espacios intercostales (emergencyultrasound.com, García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015 y Adler, Greeley, Conlin & Feldman, 2016) ^{21,23,24}.

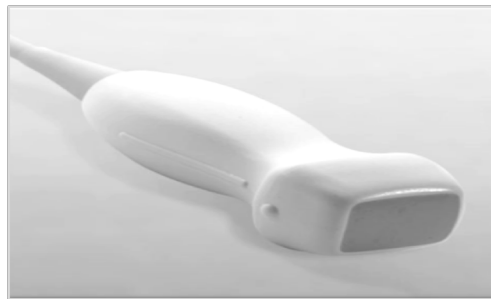


Figura 52. Transductor Microconvexo

Fuente: Hoskins P, Martin K, Thrush A. Diagnostic ultrasound: Physics and equipment. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

3.4.3. *Transductor lineal*

Este corresponde a un transductor de alta frecuencia 8-14 MHz, posee mejor resolución, pero menor penetración, por lo cual es más recomendado para valorar estructuras superficiales (ver fig.53) (ej. Deslizamiento pleural, derrame pleural o líquido en el parénquima pulmonar (emergencyultrasound.com, García-Araque, Aristizábal-Linares & Ruíz-Ávila, 2015 y Adler, Greeley, Conlin & Feldman, 2016) ^{21,23,24}.

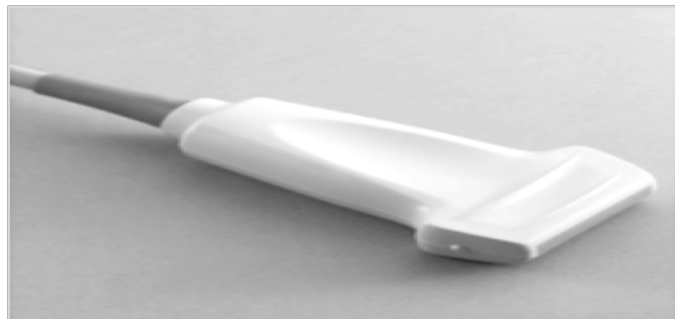
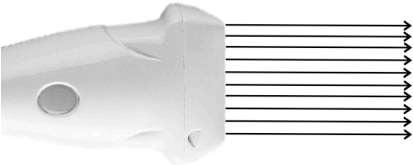
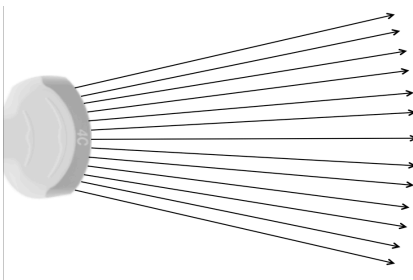



Figura 53. Transductor Lineal

Fuente: Hoskins P, Martin K, Thrush A. Diagnostic ultrasound: Physics and equipment. Cambridge: Cambridge University Press; 2010.

Cuadro 1. Tipos y características de transductores para ultrasonido pulmonar

TIPO DE TRANSDUCTOR	FRECUENCIA	CARACTERÍSTICAS DEL TRANSDUCTOR
LINEAL 	7-13 Hz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Campo visual es estrecho y de forma rectangular. 2. Menor longitud de onda. 3. Alta frecuencia con mayor resolución para estructuras superficiales. 4. Mala penetración a estructuras profundas. 5. Se utiliza para exámenes vasculares, pulmonares, músculo esquelético y nervios. 6. Ideal para valorar pleura (deslizamiento pulmonar, signo del murciélago), líquido o aire pulmonar.
CONVEXO 	2-5 MHz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Campo visual se ensancha, formato de imagen triangular por la superficie curva del transductor. 2. Mayor longitud de onda. 3. Baja frecuencia, con mayor resolución de estructuras profundas. 4. Se pueden valorar varios espacios intercostales simultáneamente. 5. Mala resolución para estructuras superficiales. 6. Se utiliza para valorar abdomen, pero en ultrasonido pulmonar es de gran utilidad para evaluar zonas laterales y posteriores (derrame pleural, atelectasia, síndrome intersticial y consolidaciones).
MICROCONVEXO O CARDIACO 	2-4 MHz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiene un formato sectorial. 2. Utilidad para estructuras de mediana a gran profundidad. 3. Baja frecuencia y resolución. 4. Ventaja: requiere una ventana acústica pequeña, por lo que es de utilidad para valorar derrames pleurales y es de fácil colocación entre espacios intercostales.

Fuente: Elaboración personal y modificado de Hoskins P, Martin K, Thrush A. Diagnostic ultrasound: Physics and equipment. Cambridge: Cambridge University Press; 2010.

CAPÍTULO IV. ANATOMÍA PLEUROPULMONAR

Mediante la ecografía pulmonar se pueden diagnosticar múltiples patologías que comprometen tanto la pleura, el alveolo o el intersticio pulmonar (ver figs.54-55).

La pleura parietal y la pleura visceral presentan un movimiento de deslizamiento durante la respiración, dicho movimiento es conocido en ultrasonografía como *lung sliding* o el signo de deslizamiento pulmonar, el cual puede estar ausente en ciertas patologías. Se brindará una descripción detallada más adelante en el texto, dicha interfase que se presenta entre la pleura visceral y parietal se denomina línea pleural (Makris y Tsagkaris, 2019).²⁵

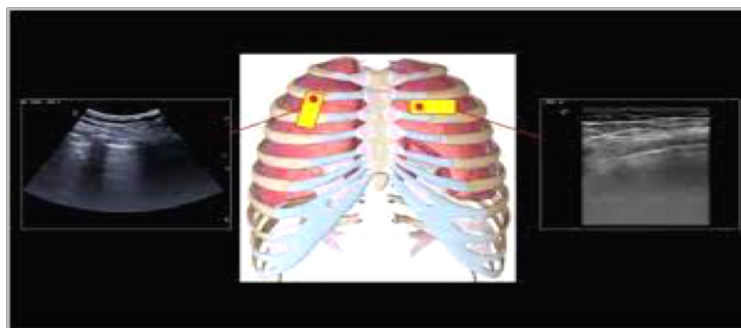


Figura 54. Anatomía Ultrasonográfica Pleuropulmonar

Fuente: Google imágenes anatomía pulmonar.

Diversas patologías pueden cursar con ocupación alveolar, como lo son: los síndromes consolidativos o el edema pulmonar; se van a presentar como artefactos característicos durante la exploración ultrasonográfica (ver fig.55). La ocupación o la acumulación de líquido de edema pulmonar en el intersticio a nivel de los septos interlobulares se pueden observar como artefactos ultrasonográficos conocidos como líneas B (Bouchez y Wouters, 2020)²⁶.

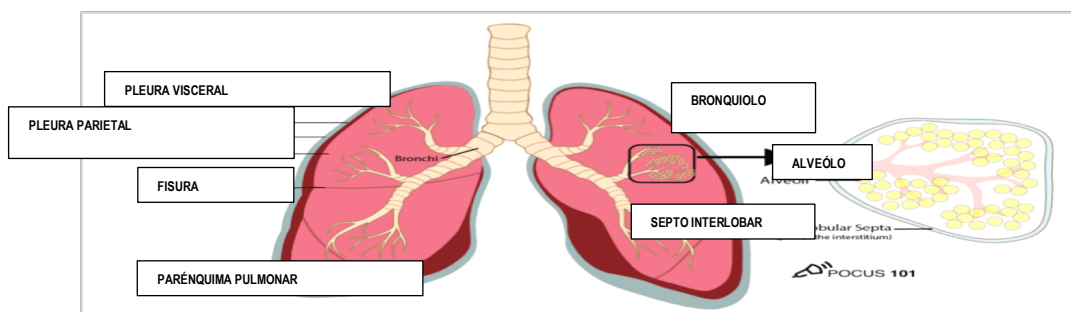


Figura 55. Anatomía Pleuropulmonar

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

Capítulo V. Protocolo de valoración pleuropulmonar ultrasonográfica normal

El conocimiento de los diferentes artefactos ultrasonográficos que se encuentran en un pulmón normal, constituye la base para lograr las 4 metas principales de valoración o escaneo, las cuales permiten realizar rápidamente un diagnóstico diferencial entre las principales entidades clínicas que cursan con disnea y cuadros de insuficiencia respiratoria aguda e hipoxemia. Estos 4 aspectos fundamentales de valoración ultrasonográfica son los siguientes:

1. Deslizamiento pleural.
2. Acumulación del líquido en el espacio pleural.
3. Acumulación de líquido en el parénquima pulmonar.
4. Documentación de consolidación pulmonar (Chen, 2019) ²⁷.

5.1. Zonas de exploración pulmonar

De manera general para la valoración ultrasonográfica, se puede dividir cada hemitórax en 2 zonas (ver fig. 56): la anterior y la posterolateral.

Cada una de estas zonas se divide en segmentos superiores e inferiores (emergencyultrasound.com, Bouchez y Wouters, 2020 y Chen, 2019)^{21,26,27}.

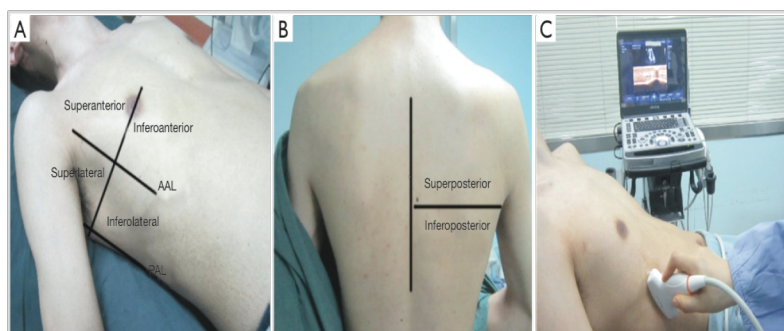


Figura 56. Zonas Pulmonares

Nota: Cada hemitórax se divide en 6 cuadrantes delimitados por la línea axilar anterior y posterior (A y B). La valoración del diafragma se realiza a nivel de ambos márgenes costales entre la línea axilar anterior y posterior (C).

Fuente: Ann Palliat Med 2020;9 (4):1506-1517 | <http://dx.doi.org/10.21037/apm-19-595b>.

El American College of Chest Physicians (ACCP) recomienda enfatizar en el escaneo de 4 áreas específicas en cada hemitorax; el escaneo se inicia desde la región infraclavicular, explorando cada espacio intercostal hasta el diafragma (ver fig.57), como se denota a continuación:

1. Lóbulo superior. Para valorar el hemitorax derecho, se coloca el transductor en posición infraclavicular, a nivel de la línea medioclavicular; en el caso del hemitorax izquierdo, el transductor puede dirigirse hacia la línea axilar anterior para evitar la imagen de la silueta cardiaca.
2. Lóbulo medio en hemitórax derecho y língula en hemitorax izquierdo: lateral al pezón a nivel de T4.
3. Lóbulos inferiores. Base del pulmón a nivel de la línea axilar anterior y posterior. A nivel de hemitorax derecho se utiliza el hígado como sombra acústica para guiar la exploración y el bazo en el hemitorax izquierdo (emergencyultrasound.com, Bouchez y Wouters, 2020 y Chen, 2019) ^{21,26,27}.



Figura 57. Puntos de Exploración Recomendados por el American College Of Chest Physicians (ACCP)

Nota: Recomiendan enfatizar en el escaneo de 4 áreas específicas en cada hemitorax, el escaneo se inicia desde la región infraclavicular, explorando cada espacio intercostal hasta el diafragma.

Fuente: Manual de ecografía torácica. Sociedad Española de Neumología y Cirugía torácica. 2017 SEPAR.

El protocolo BLUE es uno de los instrumentos más utilizados en la actualidad, descrito por el Dr. Linchtenstein, quien a su vez ha propuesto varios puntos de valoración ultrasonográfica en cada hemitórax; dichas zonas de exploración, se conocen como puntos BLUE (ver figs.58-59) y en cada uno de estos se describen diferentes signos o artefactos ultrasonográficos (Chen, 2019)²⁷.



Figura 58. Posición de las Manos en el Protocolo Blue

Fuente: Manual de ecografía torácica. Sociedad Española de Neumología y Cirugía torácica. 2017 SEPAR.

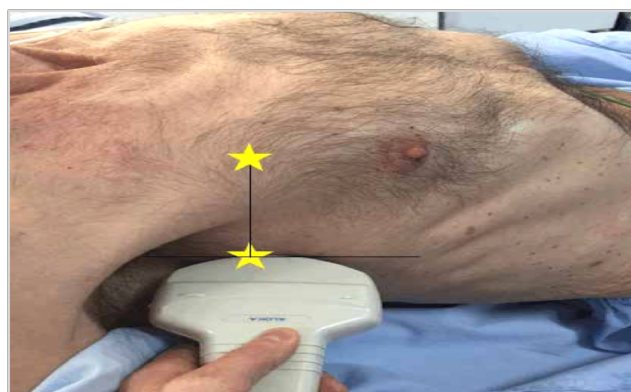


Figura 59. Punto "Plaps" del Protocolo Blue

Fuente: Manual de ecografía torácica. Sociedad Española de Neumología y Cirugía torácica. 2017 SEPAR.

Tal como se ha descrito en el texto, existen muchas metodologías de valoración ultrasonográfica pulmonar publicadas en la literatura; sin embargo, en la siguiente revisión bibliográfica se describirá paso a paso la valoración pulmonar de 6 puntos al realizar el protocolo de evaluación e identificación de estructuras básicas en cada hemitórax (ver cuadro.2), para un total de 12 puntos de exploración ultrasonográfica pulmonar. En adelante se hará referencia a estos seis puntos como 1 y 2 región anterior, puntos 3 y 4 región lateral, puntos 5 y 6 región posterior (ver fig.60). Se deben valorar varias zonas pulmonares para incrementar la agudeza diagnóstica y el transductor se debe colocar en el plano sagital con la guía en posición cefálica (Meineri et ál., 2020 y emergencyultrasound.com)^{28,21}.

Cuadro 2. Zonas de Exploración Pulmonar

ZONAS DE EXPLORACIÓN PULMONAR	LOCALIZACIÓN
ZONA 1: delimitada por la línea paraesternal y la línea axilar anterior.	Superior de la pared anterior del tórax.
ZONA 2: delimitada por la línea paraesternal y la línea axilar anterior.	Inferior de la pared anterior del tórax.
ZONA 3: delimitada por la línea axilar anterior y la línea axilar posterior.	Superior de la pared lateral del tórax.
ZONA 4: delimitada por la línea axilar anterior y la línea axilar posterior.	Inferior de la pared lateral del tórax.
ZONA 5: delimitada por la línea axilar posterior y la línea paravertebral.	Superior de la pared posterior del tórax.
ZONA 6: delimitada por la línea axilar posterior y la línea paravertebral.	Inferior de la pared posterior del tórax.

Fuente: Modificado de Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et ál. International evidence-based recommendations for point-of care lung ultrasound. Intensive Care Med. 2012.

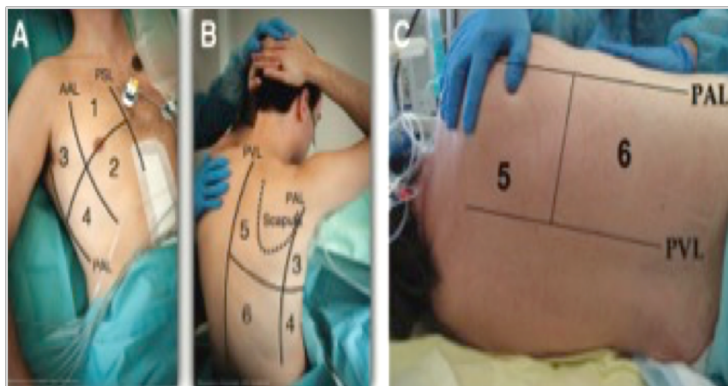


Figura 60. Zonas de Exploración

Nota: Seis puntos de exploración en cada hemitórax, en total 12 zonas de exploración ultrasonográfica pulmonar. Con el transductor en posición cefálica en cada espacio intercostal. A. Zona anterior: regiones 1 y 2 (delimitada por la línea paraesternal (PSL) y la línea axilar anterior (AAL)), zona lateral: regiones 3 y 4 (delimitada por la línea axilar anterior (AAL) y la línea axilar posterior (PAL)). B. Zona posterior: regiones 5 y 6 (delimitada por la línea axilar posterior (PAL) y la línea paravertebral (PVL)). C. Exploración de las zonas posteriores en decúbito lateral.

Fuente: Arbelot et ál. Anesthesiology, 2020.

5.2. Ultrasonido Pulmonar Normal

Para la realización del ultrasonido pulmonar es importante primero conocer los diversos signos y artefactos ultrasonográficos que se observan en un pulmón normal; se analizará cada uno de estos hallazgos ultrasonográficos de acuerdo con la zona del tórax a evaluar (Nasa.com y Meineri et ál.,2020)^{28,22}.

5.2.1 Punto 1 y 2: Tórax Anterior

El punto 1 de valoración ecográfica nos permite valorar a nivel del tórax anterior y es la localización más relevante para diagnosticar neumotórax y edema intersticial (ver fig.61).

- A. Se dirige el indicador del transductor hacia la cabeza del paciente, la profundidad debe estar aproximadamente a los 10-15 cm (ver fig.62).
- B. Se coloca el transductor en el segundo espacio intercostal a nivel de la línea medio claviclar en la posición 1 (cuadrante superior) y 2 (cuadrante inferior).
- C. El transductor se debe colocar en el espacio entre dos arcos costales (ver fig.63) (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020)²⁹.

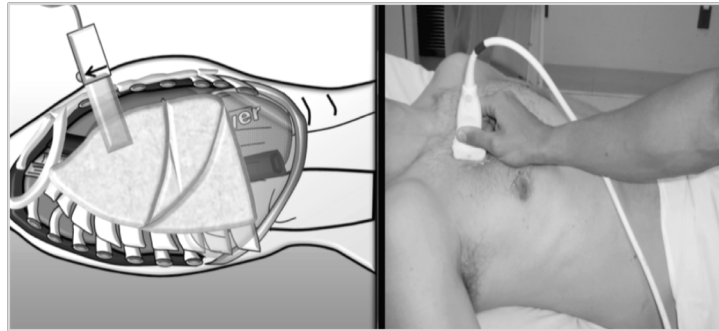


Figura 61. Exploración Tórax Anterior

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.



Figura 62. Colocación del Transductor en Tórax Anterior

Nota Se coloca el transductor en el segundo espacio intercostal a nivel de la línea medio clavicular en la posición 1 (cuadrante superior) y 2 (cuadrante inferior).

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

Las estructuras que se identifican son: pared torácica, pleura, parénquima pulmonar, diafragma, hígado y bazo. Los principales signos ultrasonográficos en la posición 1 y 2 son:

1. Signo del murciélago.
2. *Lung sliding* o deslizamiento pulmonar (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020 y nasa.com)^{29,22}.

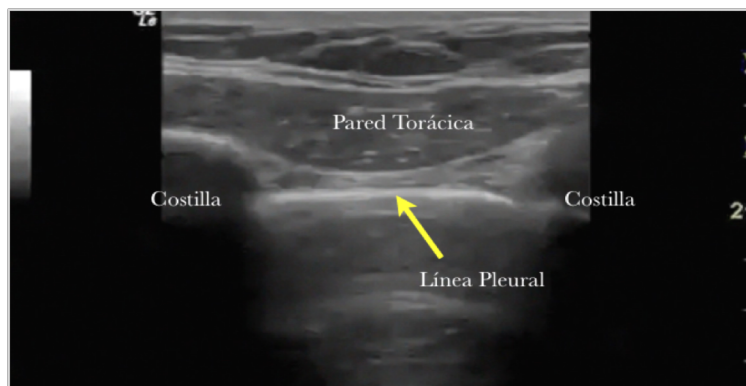


Figura 63. Estructuras en la Exploración del Tórax Anterior

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo online, www.NASA.com

5.2.2 Signo del murciélago

Corresponde al primer signo ultrasonográfico que se debe encontrar para confirmar que se está en la posición correcta, el signo del murciélago (ver fig.64). Se observa por la sombra acústica que producen las costillas, en relación con la línea pleural (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020; Meineri et ál., 2020 y emergencyultrasound.com)^{29,28,21}.

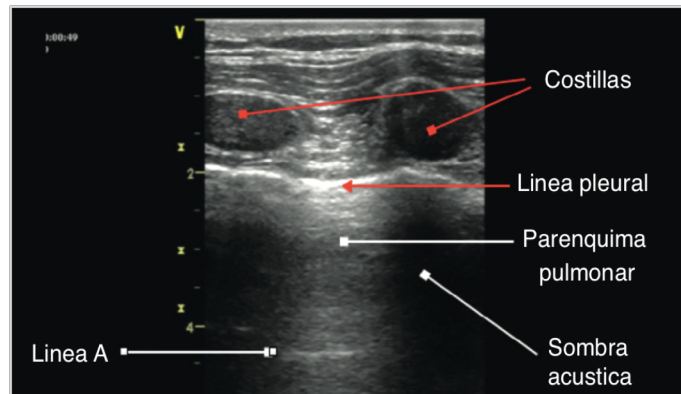


Figura 64. Signo del Murciélago en Modo B con Sonda Líneal.

Fuente: Hans et ál. Rev colomb anestesiología. 2015.

5.2.3 Deslizamiento Pulmonar (*Lung Sliding*)

El deslizamiento pulmonar o *lung sliding* es un signo ultrasonográfico normal que se produce por el movimiento entre la pleura visceral y la pleura parietal durante la respiración (ver figs.65-66). La presencia de *lung sliding* permite por ejemplo, descartar neumotórax en la zona valorada (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020; Meineri et ál., 2020 y emergencyultrasound.com)^{29,28,21}.

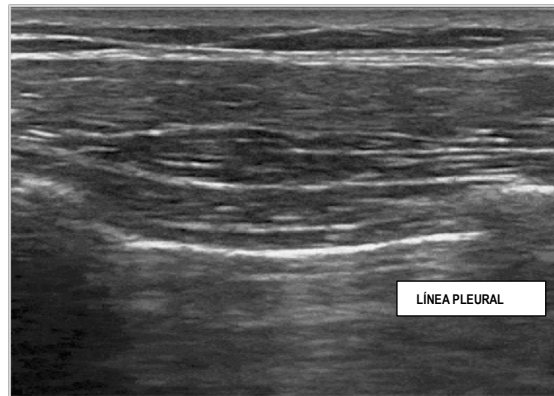


Figura 65. Línea Pleural Hiperecogénica en Medio del Espacio Intercostal

Fuente: Lichtenstein Da. Lung Ultrasound In The Critically Ill. Ann Intensive Care, 2014.

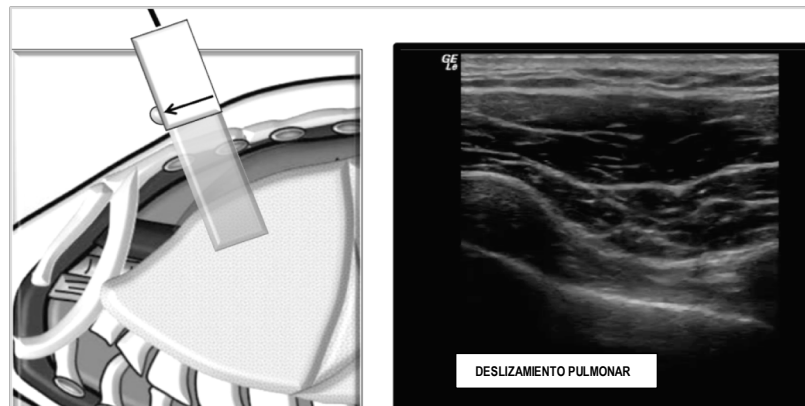


Figura 66. Lung sliding o deslizamiento pulmonar con el transductor colocado en un signo del murciélago en la posición 1

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

5.2.2.1 Lung sliding en modo M

Signo de la playa: (ver fig.67).

Cielo: piel

Mar: tejido subcutáneo.

Arena: Movimiento deslizante del pulmón (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020 y emergencyultrasound.com)^{29,21}.

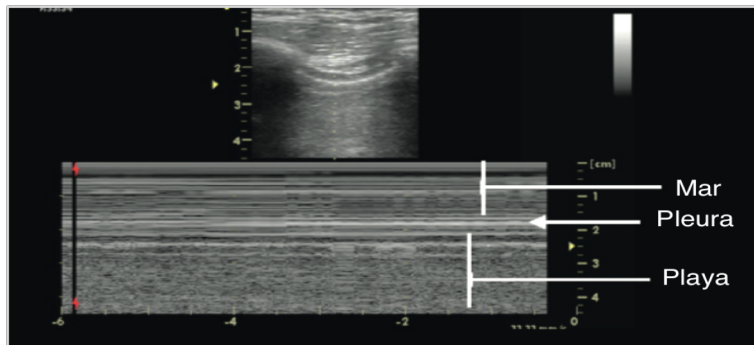


Figura 67. Signo de la playa en modo M.

Fuente: Tomada de Rev Colomb Anestesiol, 2015.

Líneas A

Al colocar el transductor perpendicular a la pleura, las ondas del ultrasonido reflejan el aire de la pleura hacia la superficie del transductor, produciendo una imagen de reverberación de varias líneas pleurales hiperecoicas equidistantes a la línea pleural verdadera (ver fig.68). Estos artefactos de reverberación son conocidos como líneas A y estas se nombran de acuerdo a su aparición (ej. A1, A2, A3, etc.) (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencysound.com y nasa.com)^{29, 21, 22}.

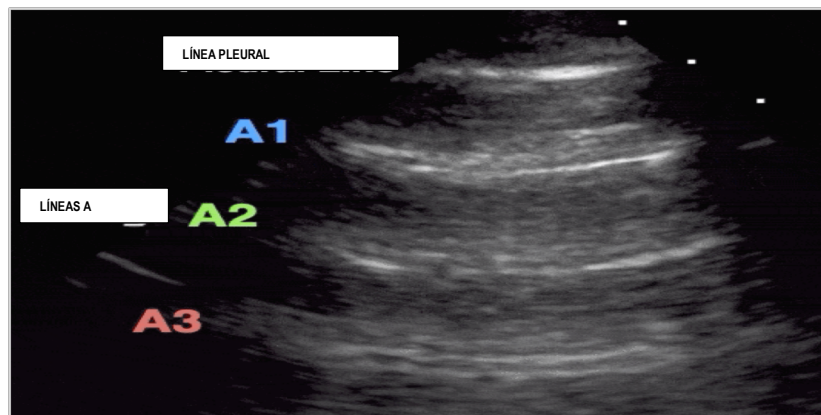


Figura 68. Líneas A: Artefactos de Reverberación Equidistantes de la Línea Pleural

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

Significado de las líneas A

Clínicamente las líneas A indican la aireación normal en un pulmón sano (ver fig.69), sin embargo, también se pueden observar en diversas patologías como neumotórax, lo cual refleja la presencia de aire en la pleura parietal, la diferencia radica que, en presencia de neumotórax,^{29,30} no se observa lung sliding, cada entidad patológica y sus artefactos ultrasonográficos, se irán describiendo a lo largo del texto.

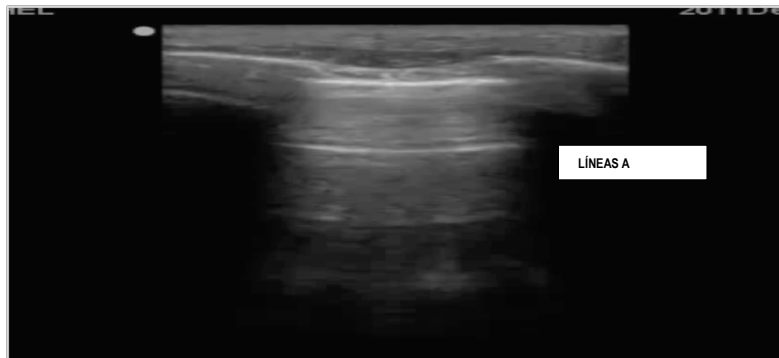


Figura 69. Líneas A.

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care. 2014 .

Las líneas A también pueden presentarse en ciertas condiciones patológicas, por acumulación de aire a nivel de la pleura parietal, algunas de estas entidades clínicas (emergencyultrasound.com)²¹ son:

- a) EPOC
- b) Asma
- c) Embolia pulmonar
- d) Neumotórax

5.2.3 Punto 3 y 4: Torax Lateral 21,29,30

- A. Se coloca el transductor nivel de la línea axilar media entre el 6-7 espacio intercostal (ver fig.70).
- B. Se coloca el transductor entre dos costillas y se localiza el signo del murciélago y el *lung sliding*.



Figura 70. Puntos de Exploración Tórax Lateral

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

5.2.4 Punto 4 y 5: Torax Posterior/ Punto Plaps (Posterior/Alveolar Lateral/Síndrome Pleural)

5.2.4.1 Punto Plaps (Posterior/Alveolar Lateral/Síndrome Pleural). Su utilidad más relevante es para el diagnóstico de derrames pleurales y consolidaciones. El punto PLAPS corresponde a la intersección entre la línea axilar posterior y el espacio entre las costillas 10-12. Se identifican a su vez las siguientes estructuras: hígado, bazo, riñón, diafragma (ver figs.71-72) (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}.

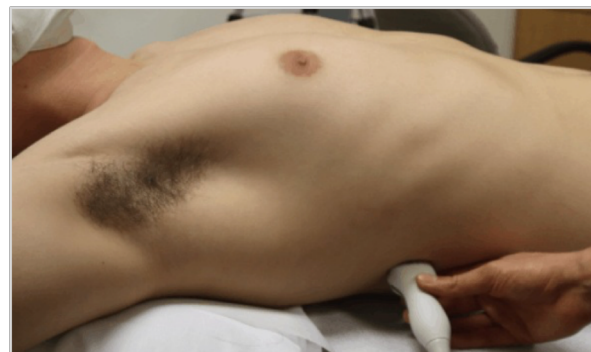


Figura 71. Exploración del Tórax Posterior. Punto Plaps: (Posterior/Alveolar Lateral).

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide.



Figura 72. Eje largo: se coloca el transductor en una posición perpendicular a la pared torácica con el indicador apuntando a cefálico.

Fuente: Libro de Ultrasonido de Bolsillo, www.Nasa.Com.

Signo de la espina: En pulmones sanos, la espina solo se puede observar hasta el borde del diafragma, si su extensión supera el diafragma (ver fig.73) se denomina el signo de la espina y se puede observar en derrames pleurales o consolidaciones pulmonares (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}.

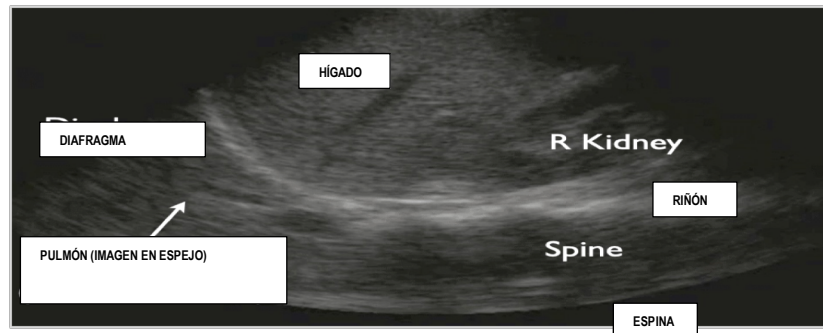


Figura 73. Signo de la Espina

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

Signo de la cortina: Se puede observar este signo en pulmones normales con adecuada aireación (ver fig.74). Durante la inspiración, el pulmón al llenarse de aire cubre los órganos como el diafragma, hígado o el bazo, el cual posteriormente, reaparecen durante la espiración (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}



Figura 74. Signo de la Cortina

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care. 2014.

Imagen en espejo: Artefactos conocidos como imagen en espejo son un hallazgo normal en ultrasonido pulmonar. Este artefacto se produce ya que el aire refleja completamente las ondas de ultrasonido; la imagen en espejo es el resultado de las ondas ultrasonográficas que se producen por una estructura altamente reflectante que crea una falsa imagen por detrás del objeto reflectante (ver fig.75). Este es un hallazgo normal en la posición PLAPS (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}

Un hallazgo característico de la imagen en espejo es que se mueven ambos lados con el ciclo respiratorio (ver fig.76).

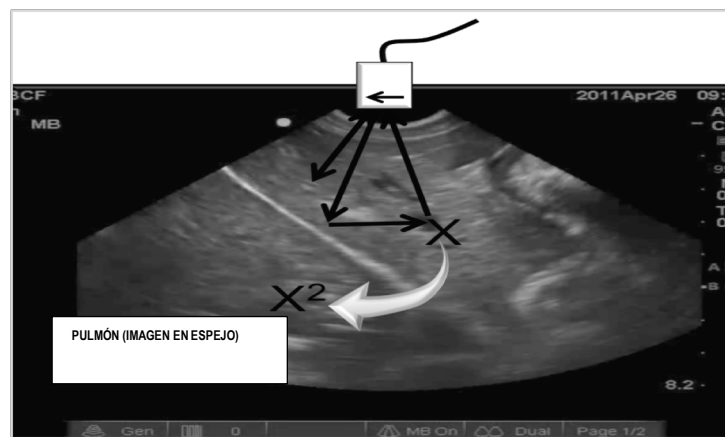


Figura 75. Imagen en Espejo.

Nota: Las ondas de ultrasonido llegan hasta el hígado, estas ondas se reflejan directamente hacia el transductor, lo cual ocasiona la imagen en espejo al otro lado del diafragma.

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

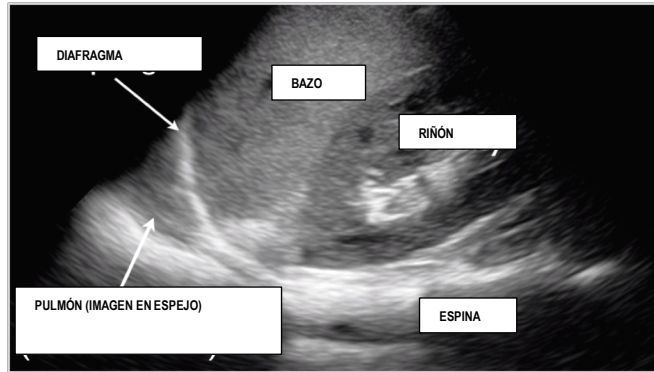


Figura 76. Imagen en Espejo

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide.

5.3. Abordaje Diagnóstico de los Principales Signos y Artefactos en Ultrasonografía Pulmonar

Antes de abordar las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda es importante reconocer los diferentes hallazgos y signos ultrasonográficos, su distribución y la combinación de cada uno de estos para realizar un adecuado diagnóstico mediante la aplicación del ultrasonido pulmonar.

A continuación, se explicarán los diversos signos o artefactos ultrasonográficos, enfocados en el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda, con énfasis en su aplicación en el perioperatorio (García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)³⁰.

5.3.1 *Lung sliding* o deslizamiento pulmonar

Este signo ultrasonográfico se pierde cuando la pleura parietal y visceral se separan por la acumulación de aire o líquido. Se puede observar en modo-B (ver fig.77) y Modo-M (signo del código de barras (ver fig.78) o de la estratosfera) (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}

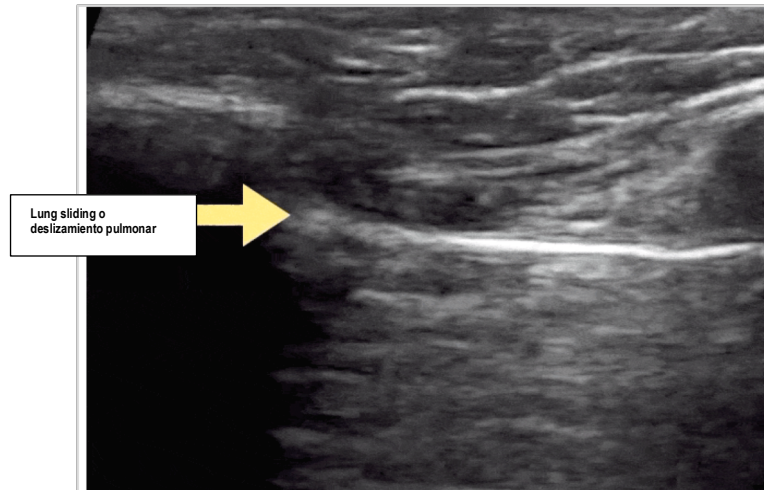


Figura 77. Lung sliding en modo B: deslizamiento entre la pleura parietal y la pleura visceral durante el ciclo respiratorio

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care, 2014

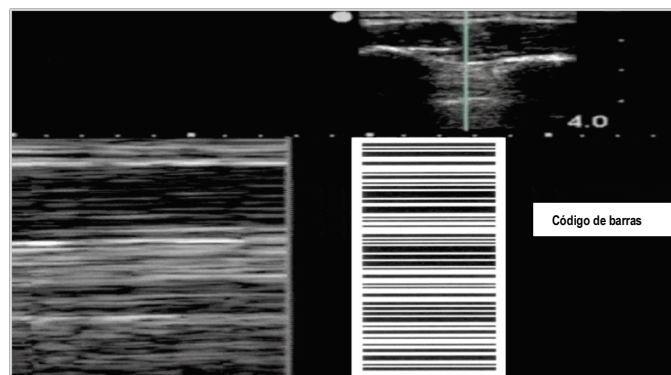


Figura 78. Signo de la estratósfera o código de barras en Modo M característico de neumotórax

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care, 2014.

El signo de deslizamiento pulmonar o *lung sliding* (emergencyultrasound.com y nasa.com)^{21,22}, se encuentra ausente en las siguientes entidades:

1. Neumotórax: Si *lung sliding* está presente, se puede excluir neumotorax con 100% de sensibilidad.
2. Derrame pleural.
3. EPOC.

4. Otros: consolidaciones severas, pleurodesis química, estados inflamatorios o infecciosos agudos, enfermedades pulmonares fibróticas, SDRA (Síndrome de Distress Respiratorio del Adulto), intubación endobronquial.

Líneas B

Líneas de disposición vertical que se presentan en edema pulmonar o síndrome intersticial y se producen cuando el intersticio pulmonar el cual a su vez es la red tisular que da soporte al alveolo y a los vasos sanguíneos, se engrosa o llena de fluido a nivel de los septos interlobulares o el tejido tisular (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}.

Las líneas B presentan las siguientes características (ver figs.79-80):

- a) apariencia de colas de cometa, verticales e hiperecoicas.
- b) se proyectan desde la línea pleural.
- c) se movilizan con el deslizamiento pulmonar.
- d) se expanden hasta la periferia del monitor.
- e) pueden estar asociadas a engrosamiento de la membrana pleural.
- f) las líneas B verdaderas borran las líneas A.

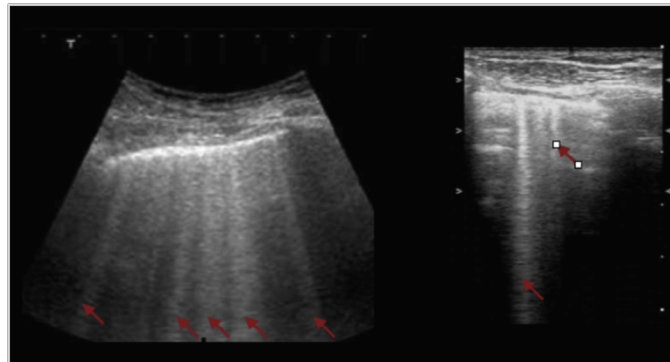


Figura 79. Líneas B: presencia de líneas B flechas rojas. A) sonda sectorial. B) sonda lineal.

Fuente: Hans et ál. Rev colomb anestesiología. 2015.

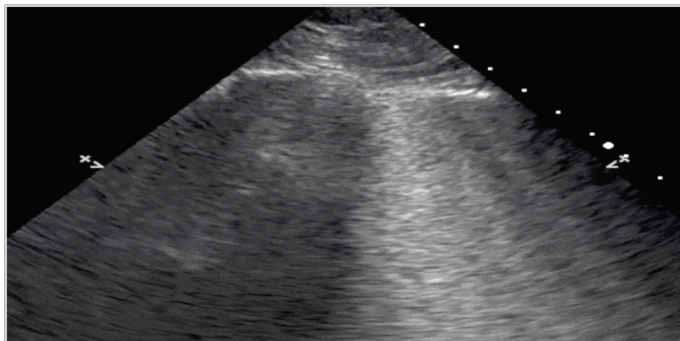


Figura 80. Líneas B confluentes en Modo B

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care*, 2014.

Generalmente se observan las líneas B en diversas entidades clínicas que cursan con pulmones húmedos; sin embargo, se pueden presentar de forma crónica en pacientes con fibrosis pulmonar, procesos infecciosos antiguos o enfermedad pulmonar intersticial. Las principales entidades clínicas que pueden cursar con un patrón de líneas B son las siguientes:

1. Cualquier estado de sobrecarga de volumen o los estados edematosos por excelencia: Insuficiencia cardiaca, enfermedad renal aguda o crónica y fallo hepático tanto agudo como crónico que cursen con descompensación hidrópica.
2. Neumonía.
3. Contusión pulmonar.
4. Síndrome de Distress Respiratorio Agudo (SDRA) (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}.

Menos de tres líneas B en el campo de visión, son consideradas normales y a nivel de lóbulos inferiores pueden considerarse como hallazgo normal por el desequilibrio ventilación/perfusión (V/Q). Cuando existe un incremento en la acumulación de líquido, se vuelve más difícil de diferenciar la separación entre las líneas B, a este patrón se le denomina líneas B confluentes.

A nivel de los lóbulos superiores, generalmente no se observan líneas B; a nivel de lóbulos inferiores puede ser considerado un hallazgo normal (Li, Yong, Kaye & Urman, 2020, emergencyultrasound.com y García-Araque, Aristizábal-Linares, & Ruíz-Ávila, 2014)^{29, 21, 30}.

Capítulo VI. Perfiles ultrasonográficos de las principales causas de hipoxemia que conllevan a insuficiencia respiratoria aguda en el perioperatorio

Cada uno de los signos ultrasonográficos descritos en el texto, permiten diagnosticar diversas entidades clínicas, las cuales se distinguen por sus diversos perfiles o patrones ultrasonográficos (Bainbridge, McConnell & Royse, 2018)³¹.

Mediante el Protocolo BLUE descrito por el Dr. Lichtenstein, el cual consiste en un algoritmo basado en los diferentes perfiles ultrasonográficos, mismo que ha servido de base para realizar el diagnóstico diferencial de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda e hipoxemia, tanto en servicios de emergencias como en unidades de hospitalización o Cuidados Intensivos y en el ámbito perioperatorio, las siguientes entidades clínicas corresponden a las principales causas que se deben sospechar en caso de insuficiencia respiratoria aguda:

- 1) Edema pulmonar: cardiogénico y no cardiogénico/ Síndrome intersticial.
- 2) Neumotórax.
- 3) Síndromes consolidativos.
- 4) Derrame pleural.
- 5) Hemotórax.
- 6) Atelectasia.
- 7) EPOC.
- 8) Asma.
- 9) Disfunción del diafragma (Volpicelli et ál., 2012, Lichtenstein et ál., 2004 y Lichtenstein, 2012)^{32,33,34}.

A continuación, se describe cada una de estas entidades clínicas, con sus principales hallazgos o perfiles ultrasonográficos.

6.1 Perfiles pulmonares ultrasonográficos de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda

6.1.1 Neumotorax

El ultrasonido pulmonar posee una elevada sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de neumotórax, el cual se presenta cuando el pulmón se colapsa por la pérdida de la presión negativa entre la pleura visceral y parietal, lo cual se observa como la pérdida del *lung sliding* o deslizamiento pulmonar. Sin embargo, usualmente existe un punto donde sí se puede apreciar el *sliding* pleural, a esta zona de transición donde convergen las zonas de *sliding* y desaparición del deslizamiento pulmonar, se le conoce como punto pulmonar, el cual, aunque es difícil de encontrar es 100 % específico de neumotórax. Es importante recalcar que a medida que este punto pulmonar desaparece puede ser indicativo de neumotórax a tensión (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein, 2004) ^{32,33}.

En posición supina, el aire que se acumula entre la pleura visceral y parietal, se localiza a nivel anterior, a diferencia del líquido, que al igual que el aire separa las capas pleurales, pero generalmente es de localización posterior (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein, 2004) ^{32,33}.

En los procesos, siempre es importante considerar en conjunto la clínica del paciente y los hallazgos ultrasonográficos para la realización de un diagnóstico adecuado a la cabecera de la cama del paciente (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein, 2004) ^{32,33}.

Las principales manifestaciones clínicas de neumotórax incluyen: dolor torácico pleurítico, disnea, taquicardia, disminución o murmullo vesicular abolido del lado afectado (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein, 2004) ^{32,33}.

6.1.1.1 Perfil ultrasonográfico. Hay características particulares que suelen presentarse en la mayoría de los casos, como:

1. Ausencia de *lung sliding* o deslizamiento pulmonar, se observa en modo B.
2. Signo del código de barras o estratósfera, se observa en modo M.
3. Punto pulmonar, se observa en modo B y modo M.
4. Patrón de líneas A (pleura parietal intacta), se observa en modo B (Lichtenstein, 2012 y Lichtenstein y Mezière, 2008) ^{34,35}.

6.1.1.2 Interpretación de hallazgos ultrasonográficos. En este proceso de deberán tomar en cuenta los siguientes escenarios (Kline et ál., 2013 y Dhir, 2015) ^{36,37}:

1. Si el deslizamiento pulmonar está presente, se puede descartar neumotórax con 100% de certeza en el sitio evaluado; el escaneo debe realizarse en múltiples zonas pulmonares para incrementar la sensibilidad diagnóstica (ver fig.81).
2. El deslizamiento pulmonar se puede valorar tanto en modo B como en modo M (ver figs.82-83).

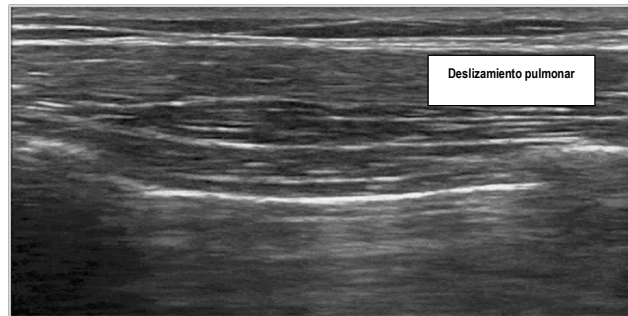


Figura 81. Deslizamiento Pulmonar en Modo B.

Fuente: Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care. 2014.

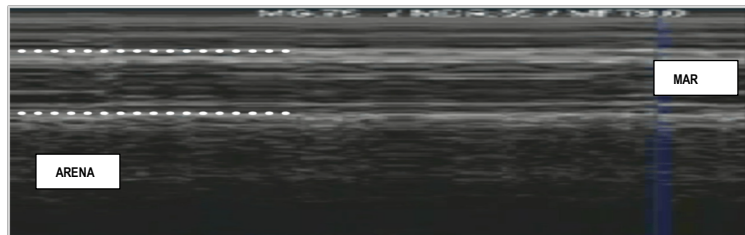


Figura 82. Deslizamiento Pulmonar en Modo M (Signo de la Playa).

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide online.

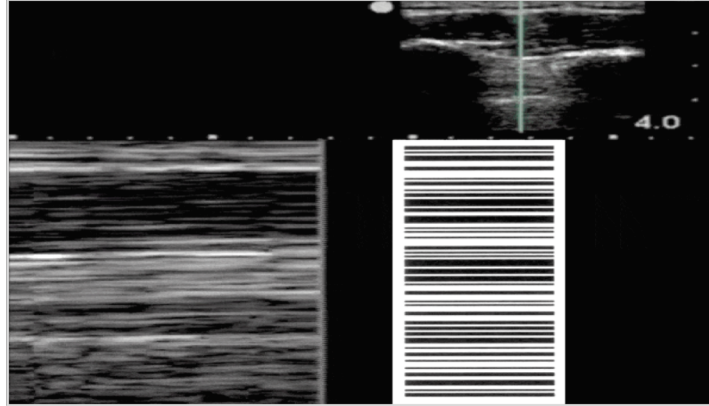


Figura 83. Ausencia de deslizamiento pulmonar en Modo M (signo del código de barras).

NOTA: Serie de líneas horizontales por debajo de la línea pleural.

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide online.

La ausencia de deslizamiento pulmonar no es diagnóstico de neumotórax, deben tomarse en cuenta las siguientes entidades clínicas como diagnóstico diferencial.

- a) Consolidación pulmonar severa/ Neumonía.
- b) Apnea o respiración entrecortada.
- c) Pleurodesis o adhesiones pleurales.
- d) Atelectasia.
- e) Estados inflamatorios o infecciosos agudos.
- f) Enfermedad pulmonar intersticial o fibrosis pulmonar.
- g) Síndrome de distress respiratorio.
- h) Intubación endobronquial (Chen, 2019 y Lichtenstein et ál., 1999)^{38,39}.

Si el punto pulmonar está presente, se puede hacer el diagnóstico de neumotórax con una especificidad del 99%; como se citó, corresponde a la zona de transición entre el pulmón normal. Con presencia de deslizamiento pulmonar y la zona donde no hay deslizamiento pulmonar, específicamente el punto donde se inicia la separación entre la pleura visceral y parietal (ver figs.84-85), se puede observar en modo B y confirmarlo en modo M (Chen, 2019, Lichtenstein et ál., 1999 y Diaz-Gomez, 2017)^{38,39, 2}.

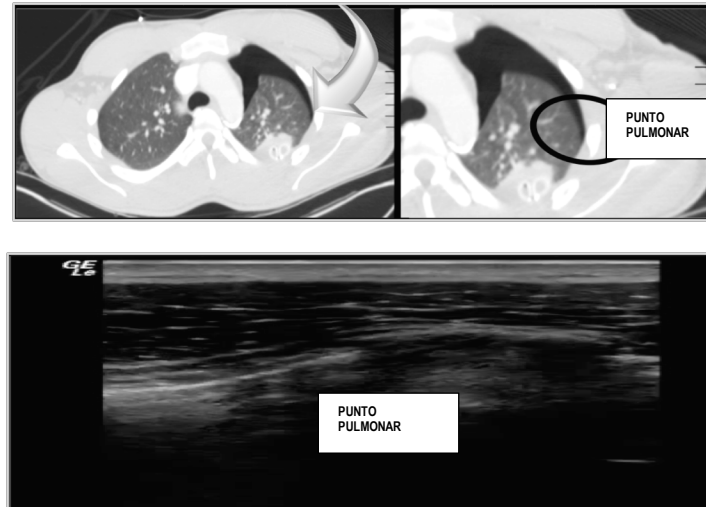


Figura 84. Punto Pulmonar

Nota: Superior: tomografía de tórax con presencia de neumotórax y punto pulmonar (círculo). Inferior: Signo del punto pulmonar en modo B con sonda lineal.

Fuente: Chan S. Emergency Bedside Ultrasound to Detect Pneumothorax. Acad Emerg Med January 2003.

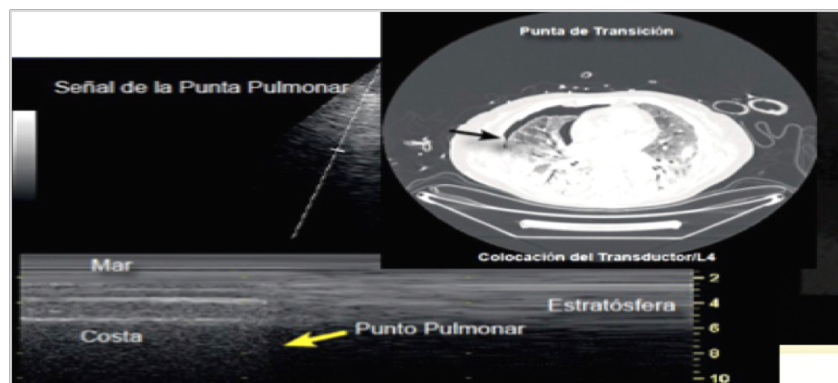


Figura 85. Punto pulmonar en Modo M, se observa el punto de transición del neumotórax

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo online, www.NASA.com.

El ultrasonido pulmonar tiene una alta sensibilidad para el diagnóstico de neumotórax en comparación con la radiografía de tórax (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Ultrasonido Pulmonar vs Radiografía de Torax

	RADIOGRAFÍA DE TORAX	ULTRASONIDO
SENSIBILIDAD	50.2%	90.9%
ESPECIFICIDAD	99.4%	98.2%

Fuente: Modificado de: Alrajhi K. Test characteristics of ultrasonography for the detection of pneumothorax. A systematic review and Meta-analysis. Chest, 2011.

Una vez realizado el diagnóstico de neumotórax, se debe tomar la decisión de colocar o no un sello de tórax, esto basado no solamente en los hallazgos ultrasonográficos, sino también en la integración de los siguientes elementos (Chen, 2019, Lichtenstein et ál., 1999 y Diaz-Gomez, 2017)^{38,39, 2}:

- a) Manifestaciones clínicas.
- b) Valoración cardiaca mediante ecocardiografía (de manera general disminución del tamaño de las cavidades cardiacas en caso de neumotórax a tensión por obstrucción al retorno venoso y disminución del llenado ventricular izquierdo, con hiperdinamia ventricular izquierda). En caso de desviación del mediastino la ventana ecocardiográfica más adecuada es la subcostal, ya que se pierden la ventana paraesternal y apical.
- c) Incremento del diámetro de la vena cava inferior, en caso de neumotórax a tensión.
- d) Si desaparece el punto pulmonar, existe la posibilidad de neumotórax a tensión.

6.2. Síndrome intersticial

6.2.1. Edema pulmonar cardiogénico

El edema pulmonar cardiogénico se presenta cuando ocurre un incremento en las presiones de las cavidades cardiacas izquierdas, generalmente por un fallo de bomba, por lo que ocurre flujo sanguíneo retrógrado hacia los pulmones. Lo anterior incrementa la presión hidrostática, por lo que ocurre fuga de líquido hacia el intersticio pulmonar, lo cual puede ser observado ultrasonográficamente en las líneas B bilaterales (ver fig.86) y a medida que el edema pulmonar cardiogénico se presenta con mayor severidad, las líneas B se vuelven cada vez más confluentes (ver

fig.86). A su vez, puede observarse derrame pleural tipo transudado y atelectasias pulmonares, ambos pulmones están generalmente afectados (Canty et ál., 2017, Wang et ál., 2000 y Chen, 2019)^{40,41,27}.

6.2.2.1 PERFIL ULTRASONOGRÁFICO:

- a) Líneas B bilaterales y simétricas.
- b) Líneas B confluentes indican mayor severidad.
- c) Derrame pleural es indicativo de mayor severidad.
- d) Deslizamiento pulmonar presente.
- e) Es importante realizar en conjunto con ecocardiografía (Gillmann et ál., 2020, Baldi et ál., 2012 y Lichtenstein, 2012)^{42,43,34}.

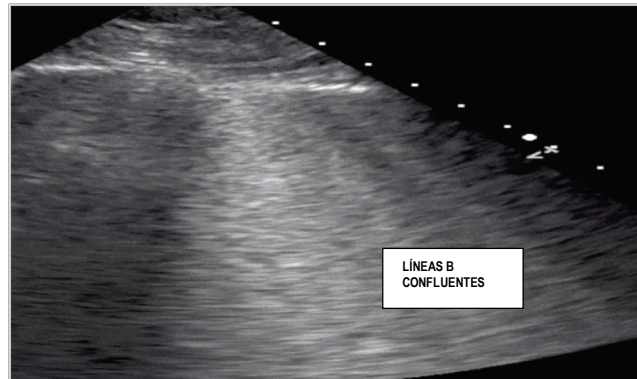


Figura 86. Edema Pulmonar: Patrón de Líneas B Confluentes.

Fuente: pocus101.com-Lung Ultrasound Made Easy Step-By-Step Guide online.

6.2.2. Síndrome de distress respiratorio agudo (SDRA)

El perfil ultrasonográfico del SDRA es similar al edema pulmonar cardiogénico (ver fig.87), por lo que es importante la clínica, los datos ecocardiográficos o de laboratorio que indiquen la sobrecarga ventricular izquierda. El SDRA generalmente se presenta con un proceso séptico asociado, otras etiologías asociadas: inhalación de sustancias tóxicas, pancreatitis, broncoaspiración, neumonía severa, entre otras (Baldi et ál., 2012)⁴³.

6.2.2.1 Perfil ultrasonográfico:

- Líneas B bilaterales o unilaterales.
- Deslizamiento pulmonar presente o disminuido por la inflamación.
- Función diastólica normal mediante ecocardiografía (Stefanidis et ál., 2011, Baldi et ál., 2012 y Lichtenstein et ál., 2004) ^{44,43,33}.

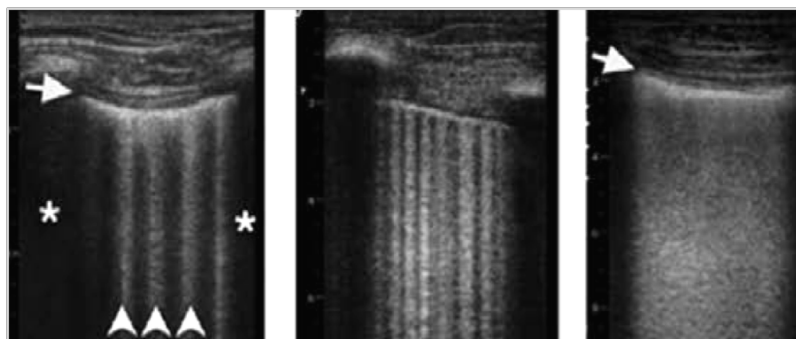


Figura 87. Síndrome de Distress Respiratorio Agudo

Nota: Izquierda: patrón de líneas B. Centro: mayor cantidad de líneas B menos separación entre ellas, parten de la línea pleural y borran las líneas A. Derecha: línea pleural engrosada coalescencia de líneas B (pulmón blanco).

Fuente: G, Storti E, Gulati G, Neri L, Mojoli F, Braschi A. Lung Ultra- Sound In The Icu: From Diagnostic Instrument To Respiratory Monitoring Tool. Minerva Anesthesiol. 2012.

6.3. Derrame pleural

Se presenta principalmente en las bases pulmonares, pueden ser exudados o transudados; se observan mejor en el punto PLAPS pulmonar a nivel de los lóbulos inferiores (ver fig.88). El ultrasonido en el punto de atención tiene una sensibilidad y especificidad del 90% para la detección de derrame pleural, en comparación con la radiografía de tórax que posee una sensibilidad del 47% (Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014 y Bainbridge, McConnell, Royse, 2018) ²⁹⁻³⁰⁻³¹.

Con la ultrasonografía pulmonar se pueden detectar incluso derrames de 50 cc en comparación con la radiografía de tórax que requiere un volumen mínimo de 150 cc; cuando se acumula líquido en el espacio pleural, la señal de ultrasonido no va a ser reflejada o atenuada, por lo que no se observa en la posición PLAPS la imagen en espejo, sino una imagen anecoica por encima del diafragma (Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014 y Chen, 2019) ²⁹⁻³⁰⁻²⁷.

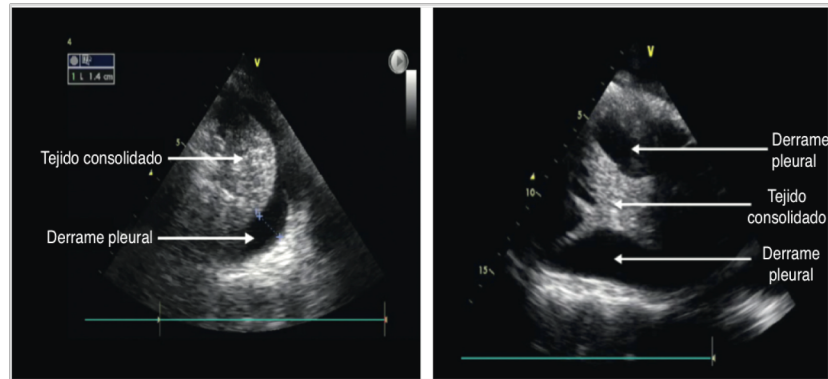


Figura 88.Derrame Pleural

Nota: a) Derrame pleural y tejido pulmonar consolidado. b) Derrame pleural y área de consolidación con algunas membranas.

Fuente: Hans et al. Rev Colomb Anestesiol. 2015.

El ultrasonido de pulmón no solamente es de utilidad con el diagnóstico de derrame pleural, sino que, también permite estimar el tamaño del derrame y de acuerdo con las características, será posible clasificarlo como transudado y exudado.

A continuación, se describe cada una de estas características y los principales signos y artefactos ultrasonográficos que permiten realizar una adecuada clasificación del derrame, lo cual orienta para tomar adecuadas decisiones tanto diagnósticas como terapéuticas (Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014 y Chen, 2019) ²⁹⁻³⁰⁻²⁷.

6.3.1 Tamaño del derrame pleural:

Se han descrito varias formas de medición del tamaño del derrame pleural en la literatura, se registrarán a continuación algunas de estas, las cuales brindan mediciones aproximadas que pueden ayudar a tomar decisiones terapéuticas (emergencyultrasound.com y NASA.com)²¹⁻²²

6.3.1.1 Fórmula de Balik. Se mide el diámetro del derrame pleural entre el diafragma y la base pulmonar con el paciente en posición supina y se multiplica por 20 (ver fig.89). Se hace constar como:

$$\text{VOLUMEN LÍQUIDO PLEURAL (CC): DISTANCIA (mm) x 20.}$$

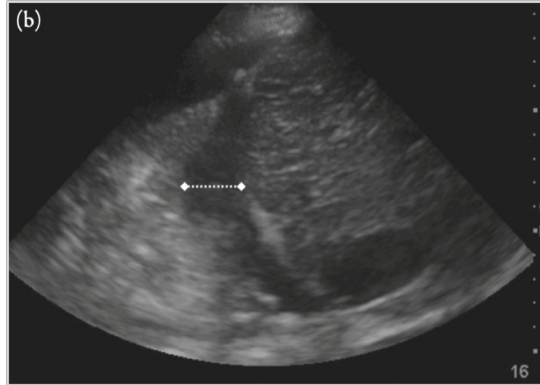


Figura 89. Fórmula De Balik para Cuantificación del Líquido de Derrame Pleural

Nota: Volumen líquido pleural (cc): distancia (mm) x 20.

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online

Otra forma de cuantificar mediante ultrasonografía el líquido de derrame pleural, es midiendo la distancia entre la pleura visceral y la pleura parietal, si es de al menos 3 cm esto equivalente a 500 cc de líquido aproximadamente (fig.90) y generalmente se puede realizar una toracocentesis si la distancia entre la pleura visceral y parietal es mayor a 1 cm (Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014 y Chen, 2019) ²⁹⁻³⁰⁻²⁷



Figura 90. Cuantificación del Derrame Pleural

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo, www.NASA.com

6.3.2 Principales Signos Ultrasonográficos en Derrame Pleural

1. Signo de la espina.
2. Signo de la medusa.
3. Signo del sinusoide.
4. Signo del cuadrado.
5. Signo de plancton.
6. Signo del hemtcrito.
7. Derrame pleural loculado.

6.3.2.1 Signo de la espina. Se puede observar en el punto PLAPS, en un pulmón normal, la columna al borde del diafragma, pero sin sobrepasarlo, esto ocurre porque el aire pulmonar que se encuentra por encima del diafragma, evita el paso de las ondas de ultrasonido, cuando existe un derrame pleural, las ondas de ultrasonido atraviesan el diafragma y esto se conoce como el signo de la espina (ver fig.91) (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}

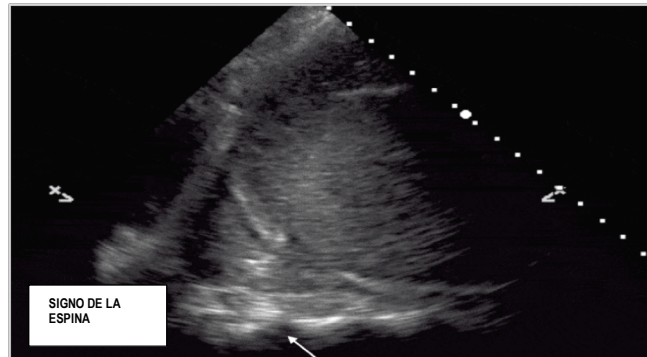


Figura 91. Signo de la Espina

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online.

6.3.2.2 Signo de la cabeza de medusa. El signo de la cabeza de medusa se puede observar en el punto PLAPS por encima del diafragma, en el cuadrante superior derecho. Este signo se observa cuando el segmento del pulmón no consolidado se observa flotando en el derrame pleural (ver fig.92) (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.

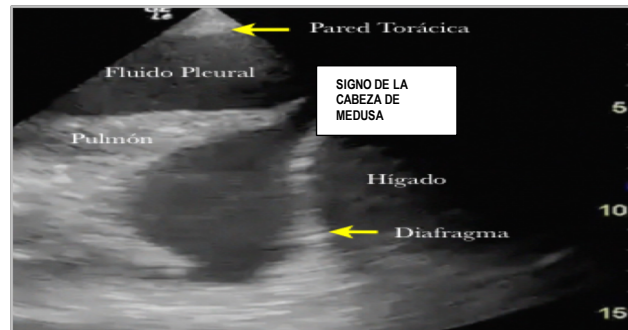


Figura 92. Signo de la cabeza de medusa

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo. www.NASA.com.

6.3.2.3 Signo de senoide. Se puede observar en el modo M, similar a una onda que se produce por el movimiento entre la pleura parietal y visceral, este signo es el equivalente en modo M al signo de la cabeza de medusa (ver fig.93) (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.

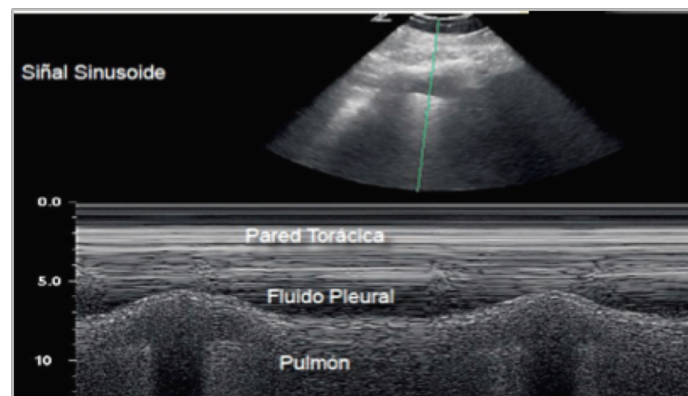


Figura 93. Signo del senoide

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo. www.NASA.com.

6.3.2.3 Signo del cuadrado. Un derrame pleural tiene una apariencia anecoica, de forma cuadrada delimitada por la línea pleural, las sombras costales y la línea pulmonar (ver figs.94-95) (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.

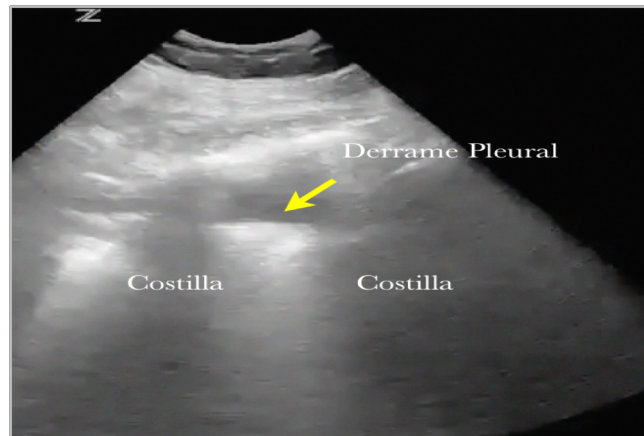


Figura 94. Signo del cuadrado

Fuente: Libro de ultrasonido de bolsillo. www.NASA.com.

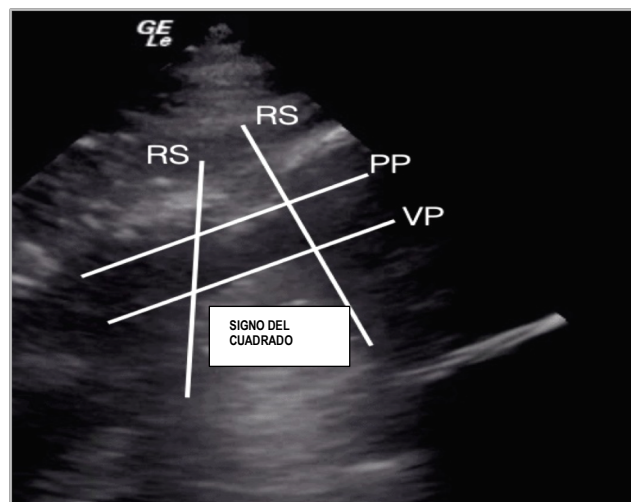


Figura 95. Signo del cuadrado

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online.

6.3.2.4 Signo de plancton. Al realizar una ecografía pulmonar y documentarse un derrame pleural se puede diferenciar entre un transudado y un exudado, la gran mayoría corresponden a transudados, el signo de plancton puede observarse en exudados como zonas de detritos o grumos hiperecoicos (ver fig.96) (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.

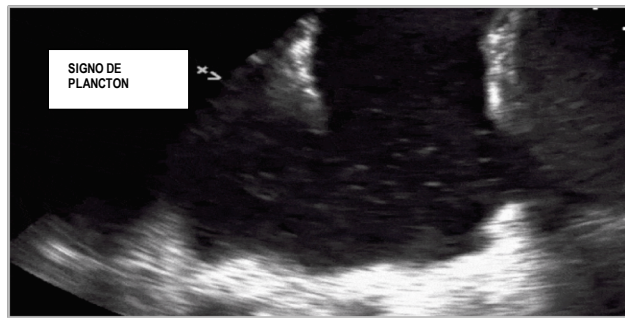


Figura 96. Signo de plancton

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online.

6.3.2.5 Signo del hematocrito. Zonas ecogénicas en capas que se pueden observar en derrame pleural como exudados, de igual forma como en transudados y con mayor frecuencia en hemotorax (ver figs.97-98) (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.



Figura 97. Derrame pleural complicado

Nota: hemotórax secundario por sobreanticoagulación con warfarina, se observan múltiples septos y loculaciones.

Fuente: Youseffard M, Baikpour M, Ghelichkhani P, Asady H, Shahsavari Nia K, Moghadas Jafari A, et al. Screening performance characteristic of ultrasonography and radiography in detection of pleural effusion: A meta-analysis. Emergency. 2016.

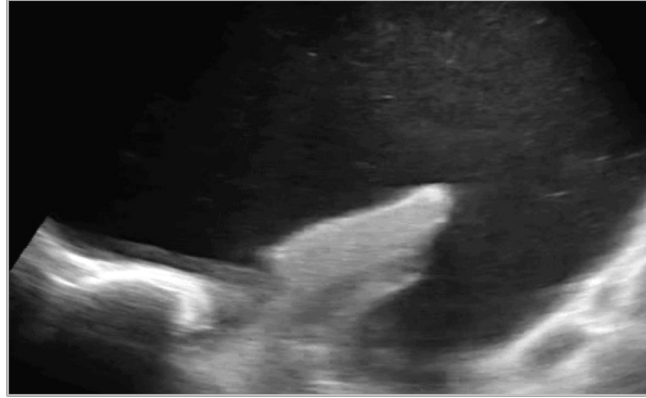


Figura 98. Signo del hematocrito

Fuente: Yousefifard M, Baikpour M, Ghelichkhani P, Asady H, Shahsavari Nia K, Moghadas Jafari A, et al. Screening performance characteristic of ultrasonography and radiography in detection of pleural effusion: A meta-analysis. Emergency. 2016.

6.3.2.6 Derrame pleural loculado. En derrames pleurales tipo exudado se forman lóculos y septos (ver fig.99), los cuales pueden observarse en el interior del material fibrinoso; este tipo de derrame se presenta con más frecuencia en procesos infecciosos, abscesos o zonas de fibrosis. El derrame pleural puede presentarse a su vez con compresión del parénquima pulmonar y atelectasia (emergencyultrasound.com y NASA.com)^{21,22}.

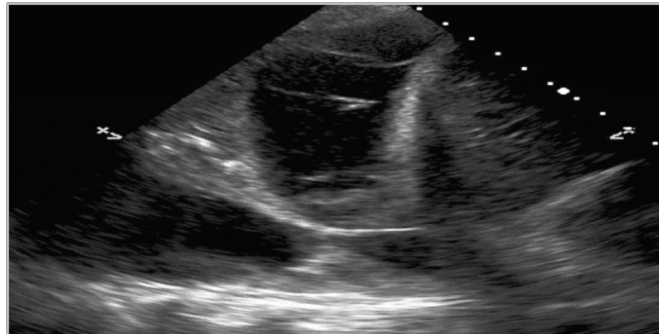


Figura 99. Derrame pleural loculado con múltiples septos en su interior

Fuente: Yousefifard M, Baikpour M, Ghelichkhani P, Asady H, Shahsavari Nia K, Moghadas Jafari A, et al. Screening performance characteristic of ultrasonography and radiography in detection of pleural effusion: A meta-analysis. Emergency. 2016.

6.4. Síndrome de consolidación pulmonar

6.4.1. Consolidación pulmonar

Cuando se acumula completamente líquido a nivel pulmonar se puede observar una consolidación; este es un hallazgo frecuente en neumonías, consolidaciones también se pueden observar en atelectasias por obstrucción de la vía aérea (ej. tapón de moco) o por compresiones extrínsecas (grandes derrames pleurales) (Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014 y Chen, 2019) ²⁹⁻³⁰⁻²⁷.

Una de las características de la consolidación pulmonar es que no hay presencia de aire entre la pleura y el sitio de consolidación.

Diversas entidades clínicas pueden atender consolidaciones como hallazgos en el ultrasonido pulmonar:

- a) Edema pulmonar (agua).
- b) Neumonía (pus).
- c) Contusión (sangre)
- d) Neoplasia (células.)

6.4.2. Neumonía

Se presenta cuando existe inflamación o infección y se acumula líquido a nivel alveolar (emergencyultrasound.com, s.f.)²¹, lo cual mediante el ultrasonido se puede observar en las líneas B uni o bilaterales, según la zona afectada:

6.4.2.1 Perfil ultrasonográfico.

- a) Signo del fragmento.
- b) Consolidación pulmonar con broncograma aéreo dinámico.
- c) Líneas B: unilaterales (bacteriano) o bilaterales (viral).
- d) Neumonía severa: disminución del deslizamiento pulmonar.
- e) Derrame pleural, generalmente pequeño.

El patrón ecográfico que sigue a la acumulación de líquido progresa de la siguiente forma: múltiples líneas B, líneas B confluentes, consolidaciones subpleurales, consolidados densos (ver figs.100-101).

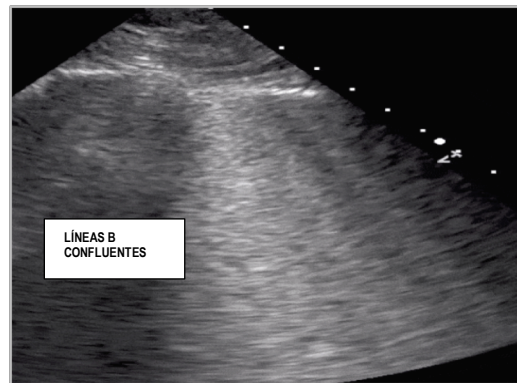


Figura 100. Líneas B Confluentes

Fuente: Picano E, Gargani L. Ultrasound lung comets: The shape of lung water. Eur J Heart Fail. 2012.

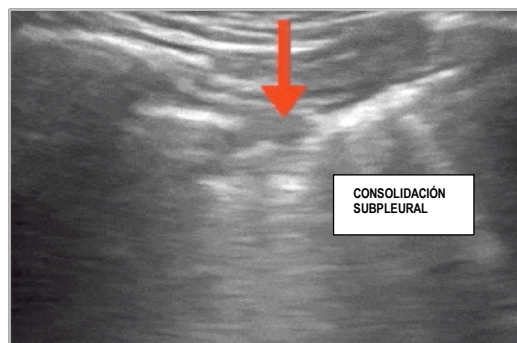


Figura 101. Consolidación Subpleural

Fuente: Picano E, Gargani L. Ultrasound lung comets: The shape of lung water. Eur J Heart Fail. 2012.

6.4.3 Signo del límite irregular (signo de Shred o de los dientes de sierra)

El límite en que el fluido llena el tejido pulmonar el aire toma una apariencia ecoica similar a una sierra (ver fig.102). Este signo o patrón ultrasonográfico es reconocido como signo del límite irregular (emergencyultrasound.com, s.f.)²¹.

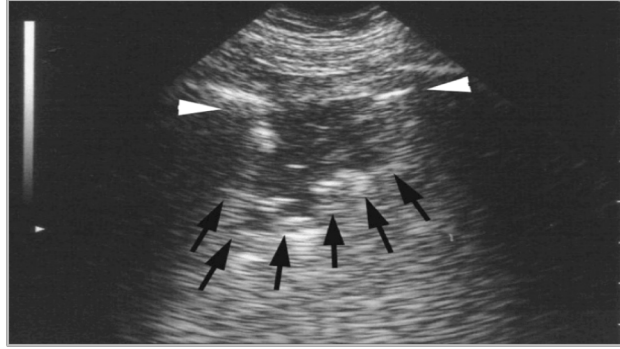


Figura 102. Signo del límite irregular

Fuente: Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. Chest. 2009.

6.4.4 Signo de hepatización pulmonar

Cuando el pulmón está completamente ocupado por líquido o colapsado, toma una apariencia densa de ecogenicidad similar al hígado (ver fig.103). En cambio, cuando el aire en el pulmón ha sido totalmente reemplazado por líquido, esto resulta en un patrón de ecogenicidad similar a la ecogenicidad hepática, lo cual se denomina hepatización pulmonar (emergencyultrasound.com, s.f., Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014)^{21,29,30}.

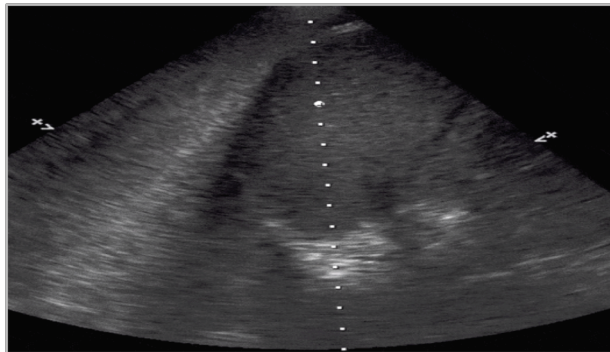


Figura 103. Signo de hepatización pulmonar con broncograma aéreo dinámico, compatibles con consolidación pulmonar.

Fuente: Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. Chest. 2009.

6.4.4.1 Boncograma aéreo. Cuando existe consolidación pulmonar, se puede observar el aire atrapado como pequeñas zonas hiperecoicas, conocidas como broncograma aéreo; este puede ser estático o dinámico (emergencyultrasound.com, s.f., Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014)21,29,30.

7.4.4.1.1 Broncograma aéreo dinámico. Se presenta en procesos bronconeumónicos y presenta movimiento durante la inspiración y la espiración (ver fig.104).

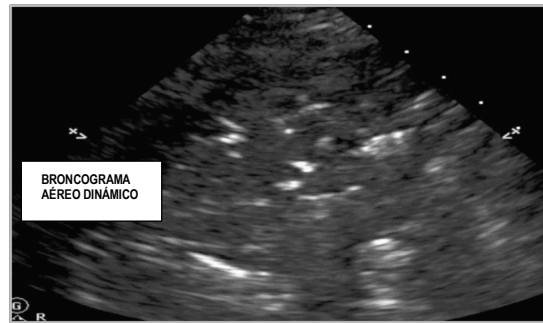


Figura 104. Broncograma aéreo dinámico en el punto plaps

Fuente: Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. Chest. 2009 .

7.4.4.1.2 Broncograma aéreo estático. Se produce cuando las burbujas de aire quedan atrapadas en una zona de obstrucción, por ejemplo, en zonas de atelectasia pulmonar y no presentan movimiento durante la inspiración y la espiración (Monastesse et ál., 2017 y Yu et ál., 2016)⁴⁵⁻⁴⁶.

En muchas ocasiones se debe realizar el diagnóstico diferencial entre neumonía y atelectasia (ver cuadro 4), siempre tomando en cuenta la clínica del paciente y conociendo las principales diferencias ultrasonográficas (Szabó et ál., 2021 y Bouhemad, 2011)^{47,48}.

Cuadro 4. Diagnóstico diferencial ultrasonográfico entre neumonía y atelectasia

	NEUMONÍA	ATELECTASIA (ver fig.105).
HALLAZGOS ULTRASONOGRÁFICOS	Patrón de consolidación. Signo del límite irregular. Broncograma aéreo dinámico. Derrame pleural paraneumónico.	Patrón de consolidación. Broncograma aéreo estático.
MANIFESTACIONES CLÍNICAS	Fiebre. Tos con expectoración. Síntomas de ataque al estado general. Crépitos húmedos, roncus.	Datos de obstrucción de la vía aérea. Disnea. Tapón de moco.

Fuente: Elaboración personal.

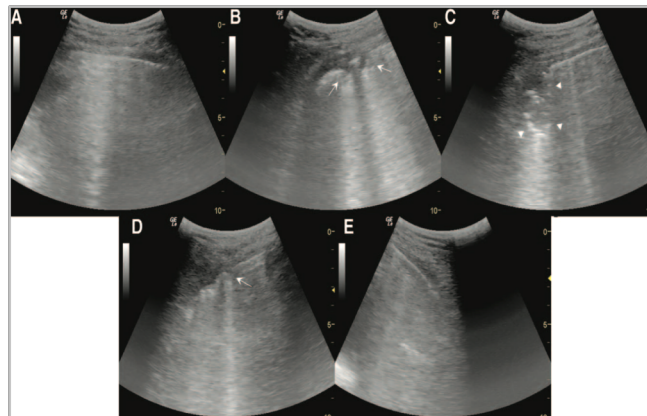


Figura 105. Atelectasia

Nota: Cuadrante posteroinferior. A. Luego de la inducción de la anestesia, ultrasonido pulmonar normal en punto PLAPS. B. Formación inicial de atelectasia, apariencia de consolidación subpleural. C. Con el inicio del neumoperitoneo, mayor deareación con desarrollo de consolidación y E. En servicio de recuperación, reareación parcial, nuevamente imagen de consolidación subpleural.

Fuente: Monastesse et ál. Anesth Analg, 2016.

6.5. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica-EPOC/asma

EPOC/Asma generalmente se caracterizan por obstrucción al flujo aéreo, lo cual conduce a hiperinsuflación pulmonar; el paciente puede presentar respiración entrecortada y superficial, a nivel ultrasonográfico se puede observar la disminución del deslizamiento pulmonar (emergencyultrasound.com, s.f., Li et ál., 2020, García-Araque, Aristizábal-Linares y Ruíz-Ávila, 2014)^{21,29,30}.

6.5.1 Perfil ultrasonográfico

- Patrón de líneas A bilaterales (ver fig.106).
- Deslizamiento pulmonar normal o reducido (en EPOC o crisis de asma severa).

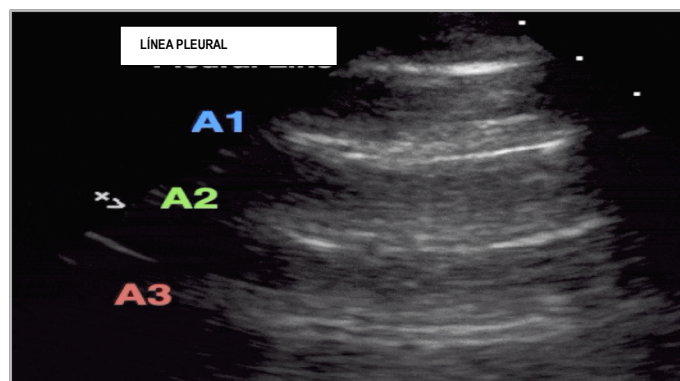


Figura 106. Patrón A.

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online.

6.6. Embolia pulmonar

La embolia pulmonar puede presentar diversos hallazgos ultrasonográficos, se puede presentar a partir de un perfil de ultrasonográfico normal o perfil A (deslizamiento pulmonar presente y patrón de líneas A), por lo cual es importante realizar una evaluación ecocardiográfica concomitante en busca de datos indirectos de tromboembolia pulmonar o repercusión en cavidades cardíacas derechas (ver fig.107). Se ha descrito el signo de McConell's, el cual consiste en alteraciones de la motilidad regional del ventrículo derecho y dilatación de cámaras cardíacas derechas; también, se

pueden observar trombos en la arteria pulmonar y a su vez, se pueden valorar venas de miembros inferiores (ver fig.108), ya que más del 60% de los trombos a nivel pulmonar se pueden originar a nivel de los miembros inferiores (Rincón, 2016, Padra et ál., 2021 y Xie et ál., 2020) ^{49,50,51}.

Se pueden observar también mediante ultrasonido, lesiones pulmonares redondeadas o en forma de cuña, lesiones hipoeoicas que se extienden por la superficie pleural, ocasionalmente con un eco único en su interior.

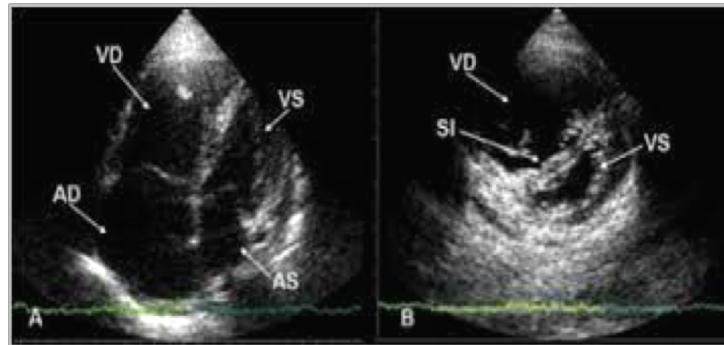


Figura 107. Signo de Mcconell'S

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online.

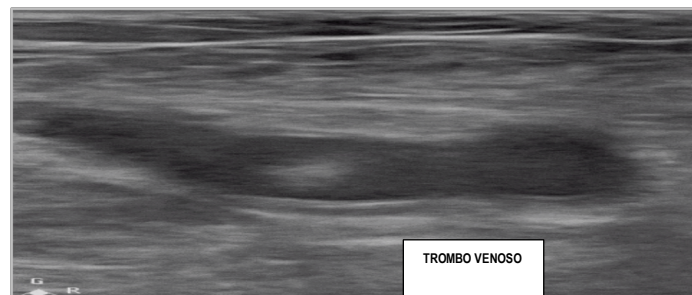


Figura 108. Trombosis venosa profunda en miembros inferiores

Fuente: pocus101.com-lung ultrasound made easy step-by-step guide online.

6.7. Valoración ultrasonográfica de la cinética diafragmática

La disfunción o parálisis diafragmática se debe a diferentes entidades clínicas tanto intrínsecas como extrínsecas (cirugía abdominal, cirugía de tórax, cardíaca, lesión de la médula espinal, lesiones directas del nervio frénico o polirradiculopatía) (Rincón, 2016) ⁴⁹.

La disfunción diafragmática puede conllevar a ventilación mecánica prolongada, dificultad para la deshabitación de la ventilación mecánica y atelectasias recurrentes. Las principales manifestaciones clínicas incluyen: disnea, radiografía de tórax con elevación del hemidiafragma, fallo en el retiro de la ventilación mecánica, dificultad respiratoria postextubación, mal patrón ventilatorio, movimiento paradójico toracoabdominal o neumonía recurrente.

El diagnóstico temprano es importante para prevenir complicaciones y establecer estrategias terapéuticas. La ventilación mecánica puede causar disfunción del diafragma (disfunción diafragmática inducida por el ventilador), el fracaso en el retiro de la ventilación mecánica se presenta en el 20% de los pacientes y esto incrementa la morbimortalidad, principalmente en pacientes que son reintubados, por lo que predecir una extubación exitosa es de vital importancia (Rincón, 2016) ⁴⁹.

En la actualidad, existen diferentes técnicas para el diagnóstico de disfunción del diafragma que valoran tanto la estructura como la función diafragmática; entre estas se pueden citar: radiografías de tórax, fluoroscopia, resonancia magnética dinámica pulmonar, espirometría, medición de la presión transdiafragmática, estudios de conducción del nervio frénico y electromiografía del diafragma; sin embargo, estas técnicas presentan ciertas complicaciones y limitaciones, por ejemplo, el uso de radiación ionizante, poca disponibilidad en algunos centros, algunos son invasivos o requieren el transporte de pacientes o su realización por operadores altamente entrenados.

El ultrasonido neuromuscular es una técnica que se describió en 1969, por Cohen (citado en Rincón, 2016) ⁴⁹, que es utilizada actualmente para valorar el diafragma mediante imágenes de alta resolución para la evaluación de su estructura y función. El ultrasonido ha demostrado ser similar en precisión a la gran mayoría de estudios disponibles para la valoración del diafragma, citados previamente en el texto.

6.7.1. Anatomía ultrasonográfica del diafragma

El diafragma está formado por 4 componentes:

1. Septum transverso.
2. Porción pleuroperitoneal.
3. Mesenterio esofágico.
4. Pared lateral del cuerpo muscular (Rincón, 2016) ⁴⁹.

Mediante el ultrasonido, el diafragma se identifica por su localización profunda, geometría curva y con un patrón de ecogenicidad mixto a nivel longitudinal, formado por fibras musculares hipoecoicas, separadas por un septo fibroadiposo hiperecoico. El diafragma está constituido por dos capas hipoecoicas de peritoneo y pleura, se engrosa durante la inspiración. El engrosamiento y ecogenicidad del diafragma se puede evaluar en modo B y el movimiento en modo M. Mediante ultrasonografía se puede evaluar la excursión diafragmática, la velocidad y la estimulación del nervio frénico. El ultrasonido se enfoca principalmente en las porciones laterales y posteriores del diafragma (músculo crural).

6.7.2. Técnica ultrasonográfica de evaluación diafragmática

Durante la ventilación espontánea, la valoración del movimiento diafragmático se puede realizar de preferencia en decúbito supino, ya que en dicha posición hay una mayor variabilidad, el contenido intraabdominal mueve con más facilidad el diafragma y la relación entre el volumen inspirado y el movimiento diafragmático ha demostrado una mejor correlación en decúbito supino que en posición de sentado. La posición supina también exagera cualquier movimiento paradójico y limita la expiración activa compensatoria por la pared abdominal anterior, lo cual enmascara la parálisis (Rincón, 2016 y Prada et ál., 2021)^{49,50}.

El diafragma derecho se visualiza a nivel de la ventana hepática; la visualización del hemidiafragma izquierdo presenta mayor dificultad por la ventana acústica esplénica más pequeña. Para una adecuada valoración ultrasonográfica es importante una visualización minuciosa tanto de la membrana peritoneal como de la membrana pleural, mientras se realiza la medición del engrosamiento diafragmático. El transductor se debe colocar con un ángulo de insonación cercano a

los 90 grados para mejorar la precisión de las mediciones y se prefiere la utilización de un transductor de alta frecuencia.

La excursión diafragmática se puede realizar con un transductor de baja frecuencia, principalmente cuando se valora el domo posterior del diafragma (Rincón, 2016 y Prada et ál., 2021)^{49,50}.

6.7.2.1. Exploración de la ventana intercostal. Se requiere un transductor de alta frecuencia, se coloca en la línea axilar anterior, con el transductor en posición sagital entre el sétimo y noveno espacio intercostal; la zona de inserción muscular se observa de 0.5-2 cm del seno diafragmático; el tejido se evalúa a una profundidad de 2-6 cm (Prada et ál., 2021)⁵⁰.

Las mediciones del engrosamiento diafragmático se realizan en la zona de yuxtaposición muscular, se observa una estructura con tres capas, incluyendo las dos líneas ecogénicas (la pleura diafragmática y la membrana peritoneal) y el diafragma como una estructura hipoecoica entre estas. Se utiliza el modo M para evaluar el engrosamiento del músculo durante la inspiración.

6.7.2.2. Exploración de la ventana subcostal anterior. Esta ventana ultrasonográfica se utiliza para valorar la excursión diafragmática. Se requiere un transductor de baja frecuencia (convexo 2-5 MHz), el cual se coloca entre la línea axilar media y línea axilar anterior, en la región subcostal. El transductor se dirige en dirección medial, cefálica y dorsal, con el haz de ultrasonido hacia el domo diafragmático derecho, 5 cm lateral al foramen de la vena cava inferior, a 14-16 cm de profundidad aproximadamente.

Se utiliza el modo B para la visualización del movimiento diafragmático hacia el transductor, luego se cambia a modo M, para obtener la medición de la máxima excursión, con el haz de ultrasonido a 70 grados del domo diafragmático. La medición se realiza tomando la elevación que presenta el diafragma hacia el transductor, sobre el eje vertical en la imagen del ultrasonido. También se puede calcular la velocidad del movimiento diafragmático sobre el eje horizontal (Prada et ál., 2021)⁵⁰.

6.7.3. Hallazgos ultrasonográficos

7.7.3.1. Engrosamiento diafragmático. MODO B: Se mide el engrosamiento en la zona de yuxtaposición durante la inspiración o espiración, mediante un abordaje intercostal, (ver fig. 109) es importante recalcar que en las zonas inferiores es más grueso el diafragma; por tanto el grosor es distinto según el espacio intercostal explorado (Rincón, 2016 y Prada et ál., 2021)^{49,50}.

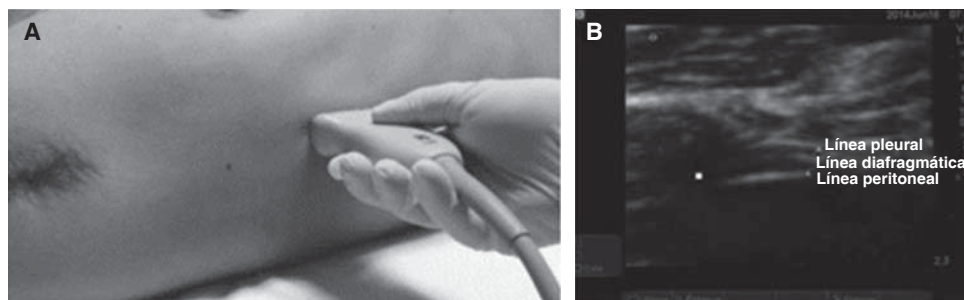


Figura 109. A. Posición del transductor para la medición del grosor diafragmático. B. Capas de ecogenicidad diafragmática.

Fuente: Carrillo ER, Pérez CA, Peña PC. Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática mediante doble abordaje en el paciente grave. Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int. 2016;30:242-245.

- ENGROSAMIENTO DIAFRAGMÁTICO EN REPOSO: El promedio es de 0.13 - 0.19 cm.
- DIAFRAGMA PARALIZADO: Cuando el engrosamiento es menor de 0.13 cm.
- ATROFIA DIAFRAGMÁTICA: El engrosamiento diafragmático es menor a 0.2 cm, medido al final de la espiración.
- CAMBIOS EN EL ENGROSAMIENTO: Con la contracción se acortan las fibras musculares y se engrosa el músculo. El diafragma crónicamente paralizado es delgado y atrófico, durante la inspiración no se engrosa (Xie et ál., 2020 y Camilo-Esper et ál., 2016) ^{51,52}.

Se han propuesto varias mediciones del engrosamiento diafragmático, (ver fig. 110) la fórmula más comúnmente empleada es la siguiente:

Delta del grosor diafragmático (Δtdi) =

$$\frac{\text{grosor al final de la inspiración} - \text{grosor al final de la espiración}}{\text{grosor al final de la espiración}}$$

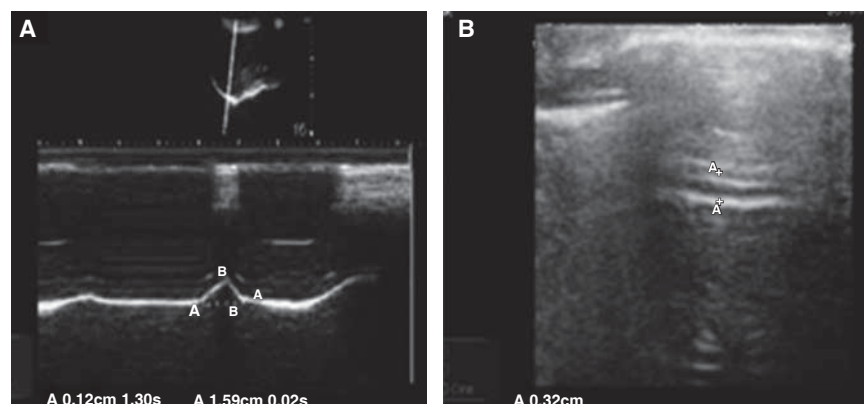


Figura 110.A. Excursión diafragmática en modo M. B. Evaluación del grosor del diafragma

Fuente: Carrillo ER, Pérez CA, Peña PC. Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática mediante doble abordaje en el paciente grave. Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int. 2016;30:242-245.

Es importante recalcar que en individuos sanos, un cambio en el grosor diafragmático de 28-96% se ha reportado como normal; en pacientes con parálisis diafragmática, se presenta un cambio de -35% al 5%, este resultado ha sido comparado con mediciones invasivas de la presión transdiafragmática y ha probado ser sensible y específico para el diagnóstico de parálisis diafragmática.

El engrosamiento diafragmático de < 20% se ha propuesto para el diagnóstico de parálisis y un valor < 16 % se ha asociado a fracaso ventilatorio o fallo en el destete en pacientes a los que se les realiza una prueba de ventilación espontánea.

Los valores normales de engrosamiento diafragmático en sujetos sanos varían de acuerdo a la capacidad residual funcional (CRF), con rangos normales que van de 1.8 a 3 mm. Conforme los volúmenes pulmonares pasan de volumen residual en espiración a capacidad pulmonar total en inspiración, con un Δtdi normal del 42 al 78% durante la contracción muscular.

El delta de grosor diafragmático como predictor de éxito para el retiro de la ventilación mecánica > de 30% presentó una sensibilidad de 88% y una especificidad de 71%, un valor predictivo positivo de 91% y un valor negativo de 63%, con un área bajo la curva de 0.79.

En pacientes traqueostomizados que se someten a una prueba de ventilación espontánea, un engrosamiento de más del 36%, predice un retiro exitoso del ventilador con una sensibilidad del 82% y una especificidad del 88% (Rincón, 2016, Prada et ál., 2021 y Xie, 2020)^{49,50,51}.

6.7.3.2. Excursión diafragmática. MODO M: La excursión diafragmática se valora en modo M, sobre el eje vertical y se realiza el trazado desde la línea basal del punto de máxima inspiración. Mediante la utilización del modo M, el diafragma es visto como una línea ecogénica delgada y su movimiento con la respiración puede ser graficado sobre una curva de tiempo.

Cuando se coloca el transductor, la dirección del movimiento del diafragma hacia el transductor o en su contra, se correlaciona con las fases del ciclo respiratorio, determinando la dirección del movimiento de cada hemidiafragma, se considera que existe movimiento paradójico cuando el diafragma se mueve en contra del tránsito durante la inspiración. La medición de la amplitud de la excursión (desplazamiento en centímetros) se puede utilizar para comparar el movimiento de ambos hemidiafragmas y para evaluar el seguimiento de la función diafragmática.

El rango normal de movimiento entre la fase de expiración a la inspiración completa en adultos es de 1.9 - 9 cm, con valores mucho más elevados durante la inspiración profunda o forzada. Los valores normales de excursión diafragmática en individuos sanos se han reportado de 1.8 - 2.9 cm en hombres y de 1.6 - 2.6 en mujeres.

Cuando se valora la excursión diafragmática pre y posquirúrgica, la evidencia ha demostrado que una amplitud menor a 2.41 cm, se correlaciona con una disminución del 50% de la capacidad vital basal, de aquí se toma como punto de corte una excursión diafragmática mayor a 2.5 cm en adultos para excluir disfunción diafragmática severa.

Estudios realizados en pacientes a los que se les retiró la ventilación mecánica en unidades de cuidados intensivos, se observó una falla en el destete o deshabitación de la ventilación mecánica, en los pacientes que tenían una excursión < 0.8 cm y una extubación exitosa en los que presentaban una excursión diafragmática de > 2.14 , por lo que se ha propuesto un valor de 1.1 cm como predictor de extubación exitosa con una sensibilidad de 84% y especificidad de 82%. El punto de corte para el hemidiafragma derecho es de 1.4 cm y para el izquierdo es de 1.2 cm, rangos menores de excursión diafragmática se asocian a fallo en la extubación (Carrillo, Pérez y Peña, 2016 y Jankowich, 2016)⁵⁴⁻
⁵⁵.La excursión diafragmática en modo M ha demostrado ser un excelente predictor de fallo en el retiro de la ventilación, al igual que el índice de respiración superficial durante una prueba de ventilación espontánea y mucho mejor que la sola cuantificación del volumen tidal, ya que los músculos respiratorios accesorios, logran mantener el volumen de aire corriente en cada ventilación pero en el momento del destete usualmente se fatigan y pueden ocasionar fracaso en el retiro de la ventilación mecánica asistida (ver fig. 110).

6.7.4. Cinética diafragmática por ultrasonido

Los puntos más relevantes durante la exploración ultrasonográfica del diafragma, se pueden realizar tanto una evaluación funcional como estructural de dicha estructura (Rincón, 2016, Xie et ál., 2020, Carrillo, Pérez y Peña, 2016 y Jankowich, 2016) ^{49,51,54,55} y es de utilidad en las siguientes entidades clínicas:

1. El diagnóstico temprano de parálisis diafragmática uni o bilateral para prevenir el fallo en el retiro de la ventilación mecánica asistida y para plantear intervenciones terapéuticas previas a la extubación.
2. La visualización directa del diafragma puede ayudar a diagnosticar patologías extrínsecas o intrínsecas: ej. eventración del diafragma, hernias, derrame plural, absceso subfrénico, absceso hepático, enfermedad metastásica, masas en tórax, ruptura del diafragma.
3. Fracaso en el retiro de la ventilación mecánica asistida: cuando se presenta fallo en el retiro de la ventilación mecánica, se ha demostrado un incremento en la morbimortalidad principalmente por la necesidad de reintubación (Jankowich, 2016)⁵⁵. Después de 48 horas de intubación se presentan alteraciones en el peso y en las propiedades contráctiles del diafragma y se ha demostrado una disminución del grosor del diafragma por día de ventilación mecánica de hasta el 6%.
4. Diagnóstico diferencial: ciertas entidades clínicas pueden cursar con movimiento paradójico del diafragma por lo que hay que descartarlas o confirmarlas y tenerlas presentes durante la exploración ultrasonográfica del diafragma:
 - a) Hidrotórax.
 - b) Neumotórax.
 - c) Fibrosis pulmonar.
 - d) Atelectasia.
 - e) Abscesos subfrénicos.

Capítulo VII. Protocolo Blue

Diversos investigadores han creado protocolos para la aplicación del ultrasonido pulmonar en la práctica clínica. El más utilizado a nivel mundial es el protocolo BLUE (ver fig.110), creado por el Dr. Lichtenstein junto con sus colaboradores y es utilizado actualmente para realizar el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda. El conocimiento de los artefactos ultrasonográficos tanto en pulmón normal como en diversas patologías son de gran utilidad para el diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda con un 90% de sensibilidad. Este protocolo se basa en esquemas que permiten a los especialistas tomar decisiones a partir de la presencia o ausencia de *lung sliding* o deslizamiento pulmonar y al patrón presente, ya sea de líneas A o líneas B (Lichtenstein y Meziere, 2019)²⁰.

Si el deslizamiento pulmonar está presente, existe un patrón ultrasonográfico de líneas A y si el paciente tiene factores de riesgo para embolia pulmonar es importante descartar trombosis venosa profunda a nivel de miembros inferiores. Si no hay datos de trombosis venosa profunda se debe pensar en otras etiologías, por ejemplo, EPOC o crisis de Asma (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein et ál., 2004)^{32,33}.

En caso de haber deslizamiento pulmonar presente y se observa un patrón de líneas B bilaterales, de predominio en lóbulos superiores es indicativo de edema pulmonar y el siguiente paso es diferenciar entre cardiogénico y no cardiogénico, tal y como se describió anteriormente en el texto (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein et ál., 2004)^{32,33}.

Si el deslizamiento pulmonar está ausente y se observa un patrón de líneas A, el siguiente paso es buscar el punto pulmonar; en caso de que el punto pulmonar también está presente, entonces se puede hacer el diagnóstico de neumotórax (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein et ál., 2004)^{32,33}.

En el escenario de un punto pulmonar ausente, es importante descartar la posibilidad de un neumotórax a tensión y a su vez, realizar el diagnóstico diferencial con otras entidades clínicas mediante la realización de otros estudios diagnósticos (ej. tomografía de tórax) (Volpicelli et ál., 2012 y Lichtenstein et ál., 2004)^{32,33}.

Sí no se observa *lung sliding* y hay un patrón tanto de líneas A como de líneas B, se debe pensar en la posibilidad de un infiltrado o consolidación pulmonar (Volpicelli et ál., 2012, Lichtenstein et ál., 2004 y Jankowich, 2016)^{32,33,55}.

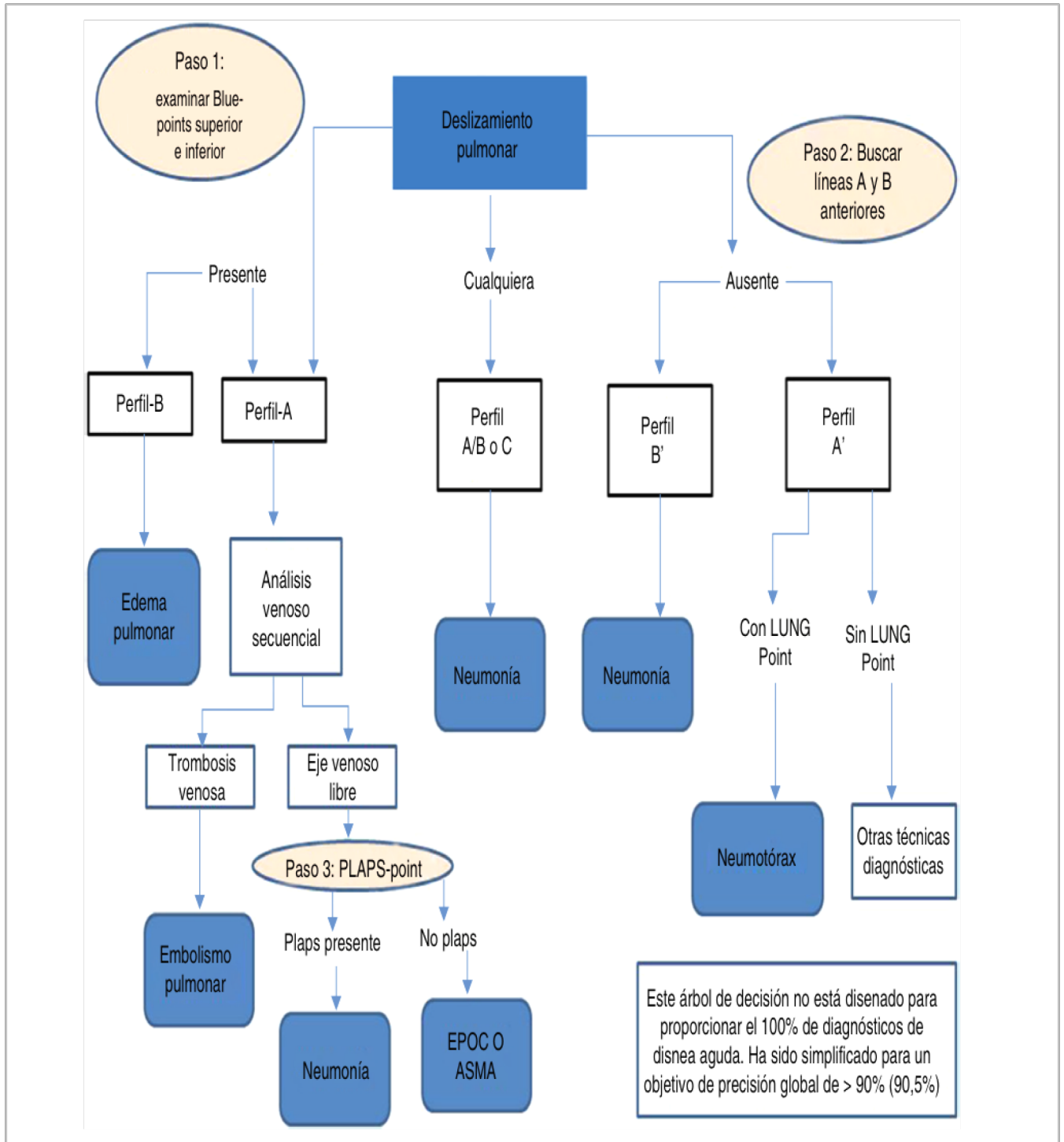


Figura 111. Protocolo Blue

Abreviaturas: EAP = edema agudo de pulmón, TEP = tromboembolia pulmonar, EPOC = enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

Fuente: de la Quintana Gordon FB, et al. Ecografía pulmonar básica. Parte 2. Patología parenquimatosa. Rev Esp Anestesiol Reanim. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.redar.2015.01.011> y modificado de Lichtenstein et al. 2014.

Mediante la aplicación de este algoritmo, puede realizar la clasificación en 3 perfiles ultrasonográficos: (ver fig.111-112).

7.1 Perfil A.

Se refiere a un patrón de líneas A en ambos hemitórax (Lichtenstein, 2012 y Lichtenstein et ál., 2008) ^{34,35}.

7.1.1 Deslizamiento pulmonar presente

Diagnóstico diferencial:

1. Asma /EPOC.
2. Síndrome de hiperventilación.
3. Embolia pulmonar.

7.1.2 Deslizamiento pulmonar ausente

Diagnóstico diferencial:

1. Apnea.
2. Neumotórax

7.2 PERFIL B

Patrón de líneas B, generalmente presente en ambos hemitórax (Lichtenstein, 2012 y Lichtenstein et ál., 2008) ^{34,35}.

7.2.1 Deslizamiento pulmonar presente

Diagnóstico diferencial:

1. Edema pulmonar cardiogénico vs no cardiogénico.

7.2.2 Deslizamiento pulmonar ausente

Diagnóstico diferencial:

1. Consolidación pulmonar.

7.3. PERFIL A / B

Líneas A presentes en un hemitórax y en el otro se pueden observar líneas B (Lichtenstein, 2012 y Lichtenstein et ál., 2008) ^{34,35}.

7.3.1 Deslizamiento pulmonar presente

Diagnóstico diferencial:

1. Neumonía.
2. Neoplasia.
3. Contusión.
4. Derrame pleural complicado (empiema).
5. Combinación de estas patologías (Jankowich, 2016) ⁵⁵.

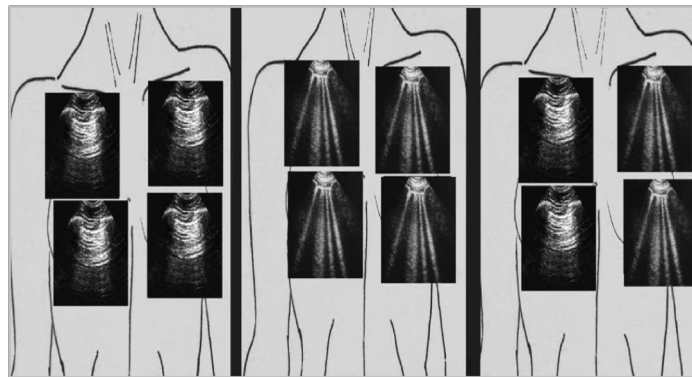


Figura 112. Perfiles pulmonares

Izquierda: Perfil A: Patrón de líneas A con deslizamiento pulmonar presente, sugestivo de: EPOC, TEP, neumonía. Centro: Perfil B: Patrón de líneas B es más sugestivo de edema pulmonar. Derecha: Perfil A/B: Líneas B en un hemitórax, con patrón de líneas A en el otro, hemitórax, este patrón se observa con más frecuencia en neumonía.

Fuente: Lichtenstein et al CHEST.JULY, 2008.

Capítulo VIII. Discusión

El ultrasonido pulmonar ha demostrado tener múltiples ventajas, entre estas su disponibilidad inmediata y seguridad; a diferencia de los estudios radiológicos, el paciente no se expone a radiaciones ionizantes. A su vez, este constituye una herramienta tanto diagnóstica como terapéutica, ya que se logra realizar una exploración pleuropulmonar completa, a la cabecera de la cama del paciente, lo cual permite tomar decisiones de manejo inmediatas y realizar procedimientos invasivos (Díaz-Gómez et ál., 2018, Arbelot et ál., 2020 y Tran et ál., 2021)^{4,6,7}.

En los últimos años, el ultrasonido ha revolucionado la práctica clínica; cada vez se incentiva más a los especialistas que manejan pacientes en situaciones críticas a adquirir conocimientos en ultrasonografía pulmonar, a medida que se fomenta el aprendizaje de la ultrasonografía, especialistas de diversas áreas: medicina de emergencias, cuidados intensivos, internistas, especialistas en Anestesiología y Recuperación, entre otros. Asimismo, se demuestra cada vez más su utilidad y aplicabilidad, pues constituye una herramienta con una alta sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de las principales causas de hipoxemia que conllevan a cuadros de insuficiencia respiratoria aguda (Khan, 2019, Deshpande, Akhtar y Haddadin, 2014 y Matyal et ál., 2019)^{9,10,12}.

Con base en la evidencia clínica actual, se puede concluir que el ultrasonido pulmonar es un procedimiento no invasivo, con beneficios costo-efectivos, que ayuda a disminuir la morbimortalidad en diversas situaciones de emergencia o críticas que se pueden presentar en el perioperatorio. Una gran mayoría de centros hospitalarios tienen accesibilidad al uso de esta herramienta, con pocos o nulos riesgos para el paciente, requiere una sencilla curva de aprendizaje y ante la evidencia científica, se está posicionando cada vez más como una excelente herramienta diagnóstica, que permite tomar decisiones de manejo rápidas y a la cabecera de la cama del paciente, evitando traslados de pacientes con inestabilidad hemodinámica o en condición crítica (Díaz-Gómez, 2017, Jones et ál., 2020 y Rebel et ál., 2018)^{2,5,14}.

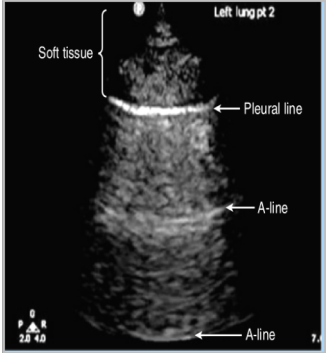

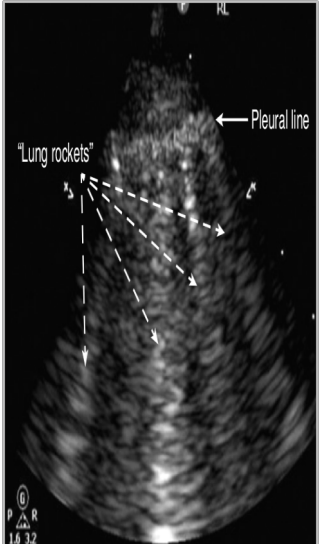
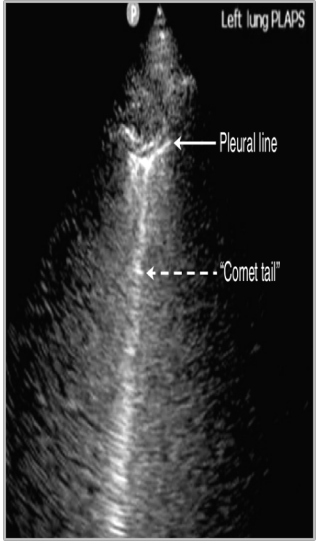
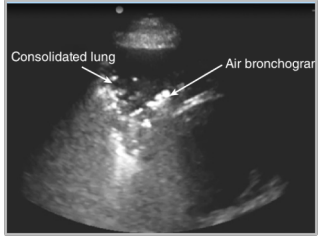
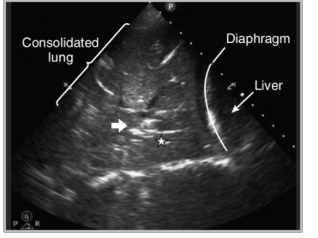
La revisión bibliográfica realizada en la elaboración del presente trabajo final de graduación permite a los especialistas en Anestesiología y Recuperación comprender de manera rápida y óptima, los protocolos actuales propuestos para el diagnóstico y así realizar un adecuado enfoque terapéutico de las principales causas de hipoxemia e insuficiencia respiratoria aguda que se pueden presentar en el ámbito perioperatorio.

Capítulo IX. Conclusiones y Recomendaciones

1. La evidencia clínica actual ha demostrado que en las últimas décadas, es de suma importancia incentivar el aprendizaje de la ecografía pulmonar por parte de los especialistas en Anestesiología y Recuperación, para así fomentar la aplicación del ultrasonido pulmonar como herramienta diagnóstica en pacientes que presentan cuadros de hipoxemia e insuficiencia respiratoria en el perioperatorio.
2. Al realizar un protocolo de ultrasonido pulmonar enfocado para su uso en el ámbito perioperatorio, se facilita la transmisión del conocimiento y la aplicación del ultrasonido en la práctica clínica diaria.
3. Conocer las principales implicaciones técnicas para el uso del ultrasonido pulmonar y la adecuada escogencia y colocación del transductor para la realización del ultrasonido y a su vez, conocer la anatomía pulmonar, debe ser parte de los conocimientos básicos para fomentar el uso de la ultrasonografía.
4. Al conocer las principales posiciones para la adecuada exploración ultrasonográfica pulmonar, según los diversos escenarios clínicos e interpretar los principales signos y artefactos ultrasonográficos presentes en un pulmón normal, es una habilidad que sólo se adquiere unificando tanto la teoría como la práctica, recordando la premisa de que el ultrasonido es operador dependiente y que al fomentar la adquisición de conocimientos e incentivar la utilización del ultrasonido mejorará notablemente ante la evidencia científica actual, la agudeza diagnóstica de la mayoría de causas de insuficiencia respiratoria aguda e hipoxemia en el perioperatorio.
5. La revisión bibliográfica realizada en la elaboración del presente trabajo final de graduación permite a los especialistas en Anestesiología y Recuperación, comprender de manera rápida y óptima, los protocolos actuales propuestos para el diagnóstico y así realizar un adecuado enfoque terapéutico de las principales causas de hipoxemia e insuficiencia respiratoria aguda que se pueden presentar en el ámbito perioperatorio.

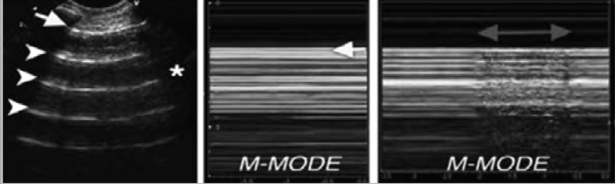

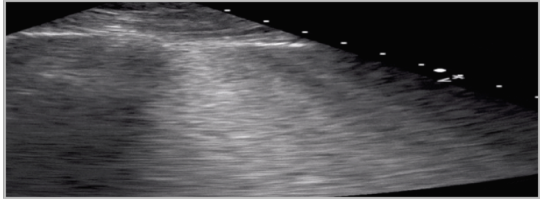
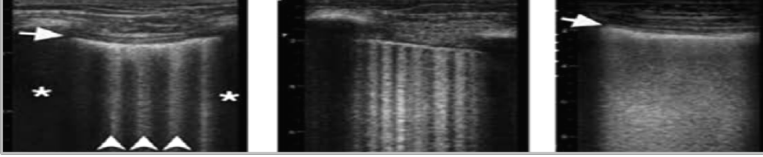
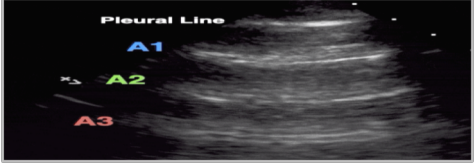
Capítulo VIII. Anexos y Ficha Técnica

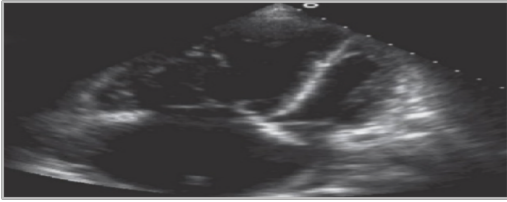
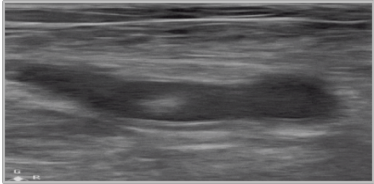
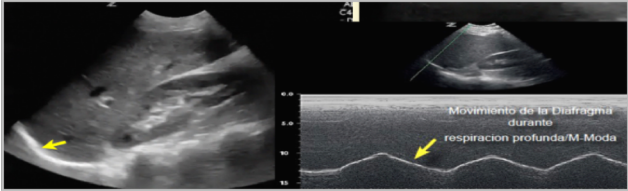
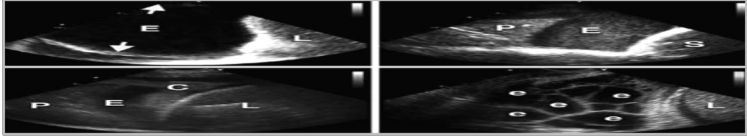
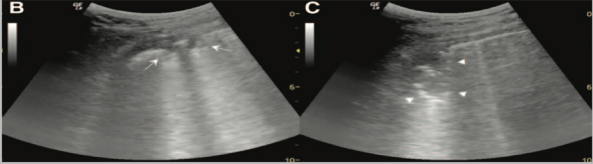
Anexo 1. Ficha Técnica 1: Perfiles Pulmonares Ultrasonográficos

<p>PERFIL A</p>	 <p>Left lung pt 2 Soft tissue Pleural line A-line A-line</p>	 <p>Right lung PLAPS SSET</p>	<p>Perfil A + Lung sliding o deslizamiento pulmonar presente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Embolia pulmonar. EPOC/Asma. <p>Perfil A + Lung sliding o deslizamiento pulmonar ausente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Neumotórax. Pleurodesis química/inflamación, fibrosis. Pérdida de volumen pulmonar (atelectasia, intubación endobronquial, tapón de moco, neumonectomía).
<p>PERFIL B</p>	 <p>Left lung PLAPS Pleural line "Lung rockets"</p>	 <p>Left lung PLAPS Pleural line "Comet tail"</p>	<p>Perfil B + Lung sliding o deslizamiento pulmonar presente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Edema pulmonar. SDRA moderado-grave. <p>Perfil A/B + Lung sliding o deslizamiento pulmonar presente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Neumonía leve. SDRA leve. <p>Perfil B + Lung sliding o deslizamiento pulmonar ausente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Neumonía severa.
<p>PERFIL C</p>	 <p>Consolidated lung Air bronchogram</p>	 <p>Consolidated lung Diaphragm Liver</p>	<p>Perfil C= Patrón de consolidación pulmonar.</p> <ol style="list-style-type: none"> Neumonía. Atelectasia por reabsorción o compresión.

Fuente: Elaboración personal modificado de Point of Care Ultrasound. El Sevier, 2015.

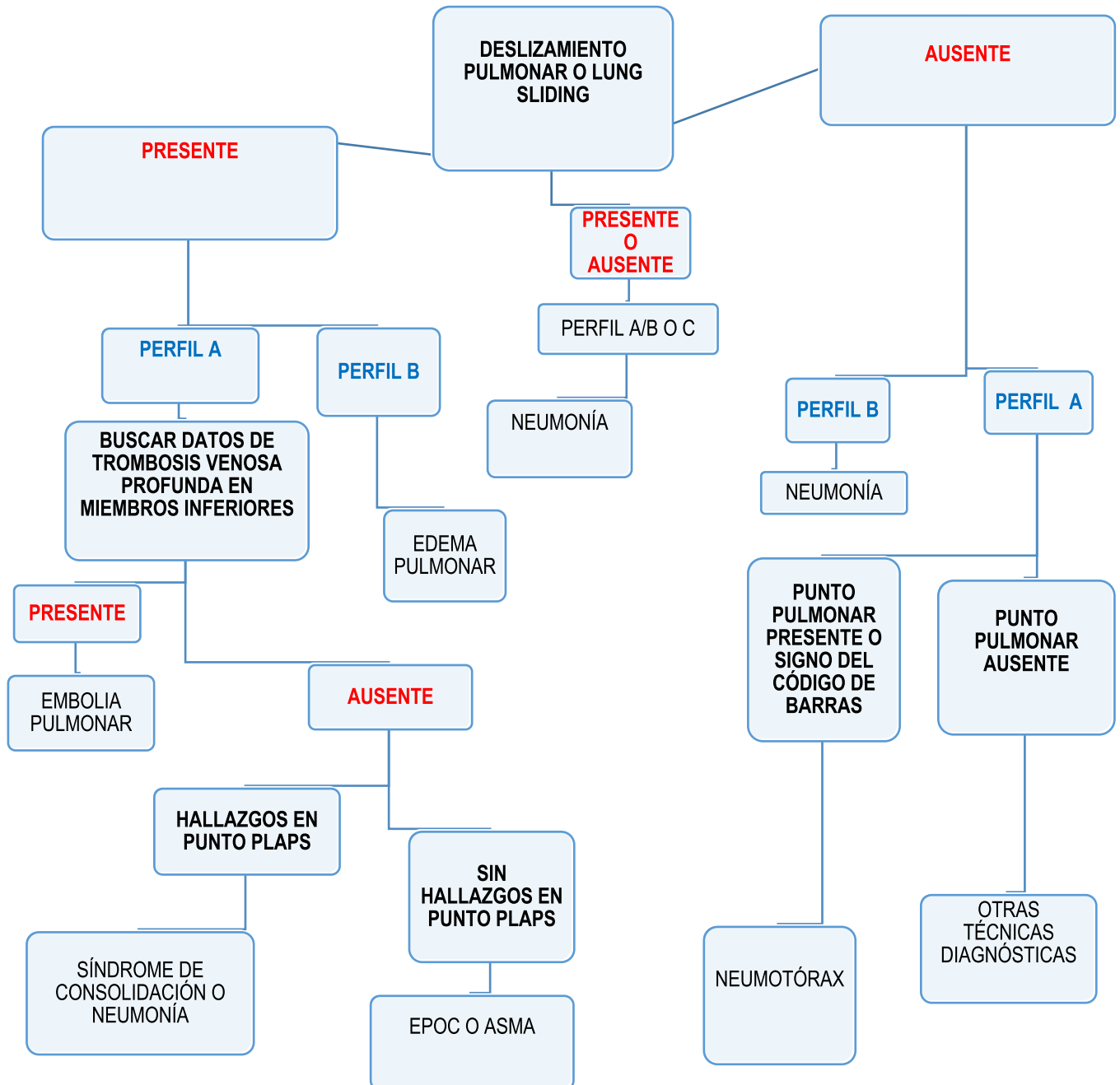
Anexo 2. Semiología Pulmonar Ultrasonográfica

CAUSAS MÁS FRECUENTES DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA AGUDA QUE SE PUEDEN PRESENTAR EN EL PERIOPERATORIO	HALLAZGOS ULTRASONOGRÁFICOS
 <p style="text-align: center;">NEUMOTORAX</p> <p>Izquierda: Línea pleural y patrón de líneas A. Centro: Signo del código de barras. Derecha: punto pulmonar en modo M.</p>	<p>Modo B: <i>Lung sliding</i> o deslizamiento pulmonar ausente. Modo M: Signo del código de barras o de la estratósfera. Modo B y M: Punto pulmonar presente. Modo B: patrón de líneas A.</p>
 <p style="text-align: center;">NEUMONÍA</p> <p>Izquierda: Broncograma aéreo dinámico. Centro: Hepatización(L) pulmonar(P). Derecha: Consolidación subpleural.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consolidación o signo de hepatización pulmonar. 2. Consolidaciones subpleurales. 3. Signo de <i>shred</i> o del límite irregular. 4. Patrón de líneas B. 5. Derrame pleural. 6. Disminución del <i>lung sliding</i> (casos severos por engrosamiento pleural). 7. Broncograma aéreo dinámico.
 <p style="text-align: center;">EDEMA PULMONAR CARDIOGÉNICO</p> <p style="text-align: center;">Patrón de líneas B confluentes.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Líneas B bilaterales y simétricas. 2. Líneas B confluentes indican mayor severidad. 3. Derrame pleural es indicativo de mayor severidad. 4. Deslizamiento pulmonar presente. 5. Es importante realizar en conjunto con ecocardiografía.
 <p>SDRA</p> <p>Izquierda: patrón de líneas B. Centro: Mayor cantidad de líneas B menos separación entre ellas, parten de la línea pleural y borran las líneas A. Derecha: Línea pleural engrosada y coalescencia de líneas B (pulmón blanco).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modo B: Líneas B uni o bilaterales. 2. Deslizamiento pulmonar presente o disminuido por inflamación. 3. Consolidaciones subpleurales. 4. Línea pleural engrosada y segmentada.
 <p style="text-align: center;">EPOC /ASMA</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Patrón de líneas A bilaterales. 2. <i>Lung sliding</i> disminuido en descompensación clínica.

<p style="text-align: center;">Patrón de líneas A.</p>  <p style="text-align: center;">EMBOLIA PULMONAR</p> <p style="text-align: center;">Alteraciones de la contractilidad regional en ventrículo derecho. Dilatación ventricular derecha.</p>  <p style="text-align: center;">Trombosis venosa profunda en miembros inferiores.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Patrón de líneas A bilaterales. 2. Trombosis venosa profunda en extremidades. 3. Dilatación de cavidades derechas (teq masivo o submasivo).
 <p style="text-align: center;">EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA</p> <p style="text-align: center;">Amplitud de la inspiración en Modo M.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modo M: La amplitud de la inspiración en condiciones normales es entre 10-20 mm. 2. Disfunción diafragmática: <ol style="list-style-type: none"> a) Amplitud menor a 5 cm es patológica. b) Movimiento paradójico. c) <i>Lung sliding</i> disminuido.
 <p style="text-align: center;">DERRAME PLEURAL</p> <p>Izquierda superior: Transudado (E) espacio anecoico entre las superficies pleurales. Derecha superior: Exudado (E) complejo, con ecos o partículas en su interior. Derrame pleural complicado (empiema), con sitio de consolidación pulmonar (P). Izquierda abajo: Hemitórax (E), coágulo en su interior (C). Derecha abajo: Derrame pleural complejo con colecciones loculadas (e) en su interior, separadas por septos.</p>	<p>Punto PLAPS:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Signo de la espina. 2. Signo de la medusa. 3. Signo del sinusoide. 4. Signo del cuadrado. 5. Signo de plancton.
 <p style="text-align: center;">ATELECTASIA</p> <p>Atelectasia en punto PLAPS con imagen sugestiva de consolidación subpleural, luego en (C), con formación de consolidación pulmonar y broncograma aéreo estático.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Imagen de consolidación pulmonar o de consolidación subpleural. 2. Broncograma aéreo estático.

Fuente: Elaboración personal y modificado via G, Storti E, Gulati G, Neri L, Mojoli F, Braschi A. Lung ultra- sound in the ICU: from diagnostic instrument to respiratory monitoring tool. *Minerva Anesthesiol.* 2012;78:1282–1296.

Anexo 3. Flujograma diagnóstico de las principales causas de insuficiencia respiratoria aguda.



Fuente: Elaboración personal modificado de Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. Ann Intensive Care. 2014.

Referencias Bibliográficas

1. Goffi, A., Krusselbrink, R., & Volpicelli, G. (2018, April 1st). The sound of air: point-of-care lung ultrasound in perioperative medicine. *Canadian Journal of Anesthesia*. Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s12630-018-1062-x>.
2. Díaz-Gómez, J. L., Ripoll, J.G., Ratzlaff, R. A., Tavazzi, G., Via, G., Mookadam, F. y Ramakrishna, H. (2017, April 1st). Perioperative Lung Ultrasound for the Cardiothoracic Anesthesiologist: Emerging Importance and Clinical Applications. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 31(2), 610–625. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2016.11.031>.
3. Lichtenstein, D., Goldstein, I., Mourgeon, E., Cluzel, P., Grenier, P., & Rouby, J.-J. (2004). Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiology*, 100(1), 9–15. doi:10.1097/00000542-200401000-00006 .
4. Díaz-Gómez, J. L., Ross Renew, J., Ratzlaff, R. A., Ramakrishna, H., Via, G., & Torp, K. (2018). Can lung ultrasound be the first-line tool for evaluation of intraoperative hypoxemia? *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1769–1773. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002578>.
5. Jones, T. E., Duce, L., Reed, H., Peng, K. L., & Peng, Y. G. (2020). Is it time to incorporate point-of-care ultrasound into the anesthesiology resident's training curriculum? *Perioperative Care and Operating Room Management*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.pcorm.2020.100140>.
6. Arbelot, C., Dexheimer Neto, F. L., Gao, Y., Brisson, H., Chunyao, W., Lv, J., Valente Barbas, C. S., Perbet, S., Prior Caltabellotta, F., Gay, F., Deransy, R., Lima, E. J. S., Cebey, A., Monsel, A., Neves, J., Zhang, M., Bin, D., An, Y., Malbouisson, L., Salluh, J., Constantin, J.M., Rouby, J.J. & APECHO Study Group. (2020). Lung ultrasound in emergency and critically ill patients: Number of supervised exams to reach basic competence. *Anesthesiology*, 899–907. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003096>.
7. Tran, T. T., Hlaing, M., & Krause, M. (2021). Point-of-Care Ultrasound: Applications in Low- and Middle-Income Countries. *Current Anesthesiology Reports*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s40140-020-00429-y>.
8. Chui, J., Lavi, R., Hegazy, A. F., Jones, P. M., Arellano, R., Yang, H., & Bainbridge, D. (2019). Identifying barriers to the use of ultrasound in the perioperative period: A survey of southwestern Ontario anesthesiologists. *BMC Health Services Research*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-019-4040-2>.

9. Khan, F. H. (2019). Perioperative ultrasound; fashion, luxury or necessity! *Anaesthesia, Pain and Intensive Care*, 23(2), 115–118. <https://doi.org/10.35975/apic.v23i2.1053>.
10. Deshpande, R., Akhtar, S., & Haddadin, A. S. (2014). Utility of ultrasound in the ICU. *Current Opinion in Anaesthesiology*. Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000057>.
11. De Marchi, L., & Meineri, M. (2017). POCUS in perioperative medicine: a North American perspective. *Critical Ultrasound Journal*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13089-017-0075-y>.
12. Matyal, R., Mitchell, J. D., Mahmood, F., Oren-Grinberg, A., Leibowitz, A., Amador, Y., Wong, V., Khamooshian, A., Mahmood, F., Amir, R., Bortman, J., & Jones, S. B. (2019). Faculty-Focused Perioperative Ultrasound Training Program: A Single-Center Experience. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 33(4), 1037–1043. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2018.12.003>.
13. Belamaric, Z., Martinelli, G., Van Rensburg, G., Giuliano, G., Husain, A. y Sanapala, S. (2019). Survey and monitoring of usage of chest radiography and chest ultrasonography in the cardiothoracic perioperative setting. *Journal of the Intensive Care Society*, 20(2 Supplement), 236.
14. Rebel, A., Holzberger, J., DiLorenzo, A., Sorrell, V., & Schell, R. M. (2018). Integration of point-of-care ultrasound training into an existing clinical base year rotation: How much can be done in 4 weeks. *Anesth Analg*, 126,248250. Retrievedf <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L626090066&from=export>.
15. Rebel, A., Srour, H., DiLorenzo, A., Nguyen, D., Ferrell, S., Dwarakanath, S., Haas, E. & Schell, R. Ultrasound Skill and Application of Knowledge Assessment using an Innovative OSCE Competition-Based Simulation Approach. (2016). *Journal of Education in Perioperative Medicine*, 18 (1). <https://doi.org/10.46374/volxviii-issue1-rebel>.
16. Lichtenstein, D., Mezière, G., Biderman, P., & Gepner, A. (1999). The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Medicine*, 25(4), 383–388. doi:10.1007/s001340050862 .
17. Lichtenstein, D., Goldstein, I., Mourgeon, E., Cluzel, P., Grenier, P., & Rouby, J.-J. (2004). Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiology*, 100(1), 9–15. doi:10.1097/00000542-200401000-00006.
18. Lichtenstein, D. (2012). Fluid administration limited by lung sonography: the place of lung ultrasound in assessment of acute circulatory failure (the FALLS-protocol). *Expert Review of Respiratory Medicine*, 6(2), 155–162. doi:10.1586/ers.12.13 .

19. Lichtenstein, D. A., & Mezière, G. A. (2008). Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure*: The BLUE Protocol. *Chest*, 134(1), 117–125. doi:10.1378/chest.07-2800.
20. Lichtenstein, D., & Meziere, G. A. (2019). Response. *Chest*. American College of Chest Physicians. <https://doi.org/10.1378/chest.08-2734>.
21. 3rd Rock Ultrasound Course On Line. Module 2 - Ultrasound Physics & Principles. www.emergencyultrasound.com.
22. Libro de ultrasonido de bolsillo. www.NASA.com.
23. García-Araque, H. F., Aristizábal-Linares, J. P., & Ruíz-Ávila, H. A. (2015). Semiology of lung ultrasonography - Dynamic monitoring available at the patient's bedside. *Colombian Journal of Anesthesiology*, 43(4), 290–298. <https://doi.org/10.1097/01819236-201543040-00006>.
24. Adler, A. C., Greeley, W. J., Conlin, F., & Feldman, J. M. (2016, April 1). Perioperative anesthesiology ultrasonographic evaluation (PAUSE): A guided approach to perioperative bedside ultrasound. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2015.11.015>.
25. Makris, A., & Tsagkaris, M. (2019). ESRA19-0690 Point of care ultrasonography for anaesthesiologists (pp. A38–A39). *BMJ*. <https://doi.org/10.1136/rapm-2019-esraabs2019.40>.
26. Bouchez, S., & Wouters, P. F. (2020). The role of ultrasound in thoracic surgery. In *Anesthesia in Thoracic Surgery: Changes of Paradigms* (pp. 245–258). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28528-9_17.
27. Chen, R. (2019). Synopsis of the point-of-care ultrasound assessment for perioperative emergencies. *Canadian Journal of Anesthesia*, 66(4), 448–460. <https://doi.org/10.1007/s12630-019-01303-0>.
28. Meineri, M., Arellano, R., Bryson, G., Arzola, C., Chen, R., Collins, P., Denault, A., Desjardins, G., Fayad, A., Funk, D., Hegazy, A.F., Kim, H., Kruger, M., Kruisselbrink, R., Perlas, A., Prabhakar, C., Syed, S., Sidhu, S., Tanzola, R., Van Rensburg, A., Talab, H., Vegas, A. y Bainbridge, D. (2020). Canadian recommendations for training and performance in basic perioperative point-of-care ultrasound: recommendations from a consensus of Canadian anesthesiology academic centres. *Canadian Journal of Anesthesia*. <https://doi.org/10.1007/s12630-020-01867-2>.
29. Li, L., Yong, R. J., Kaye, A. D., & Urman, R. D. (2020, May 1). Perioperative Point of Care Ultrasound (POCUS) for Anesthesiologists: an Overview. *Current Pain and Headache Reports*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s11916-020-0847-0>.

30. García-Araque, H. F., Aristizábal-Linares, J. P., & Ruíz-Ávila, H. A. (2014). Semiología pulmonar por ultrasonido - monitorización dinámica disponible junto al paciente. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 43(4), 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.rca.2015.02.008>.
31. Bainbridge, D., McConnell, B., & Royse, C. (2018, April 1). A review of diagnostic accuracy and clinical impact from the focused use of perioperative ultrasound. *Canadian Journal of Anesthesia*. Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s12630-018-1067-5>.
32. Volpicelli, G., Elbarbary, M., Blaivas, M., Lichtenstein, D. A., Mathis, G., Petrovic, T. (2012). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Medicine*, 38(4), 577–591. doi:10.1007/s00134-012-2513-4.
33. Lichtenstein, D., Goldstein, I., Mourgeon, E., Cluzel, P., Grenier, P., & Rouby, J.-J. (2004). Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiology*, 100(1), 9–15. doi:10.1097/00000542-200401000-00006 .
34. Lichtenstein, D. (2012). Fluid administration limited by lung sonography: the place of lung ultrasound in assessment of acute circulatory failure (the FALLS-protocol). *Expert Review of Respiratory Medicine*, 6(2), 155–162. doi:10.1586/ers.12.13.
35. Lichtenstein, D. A., & Mezière, G. A. (2008). Relevance of Lung Ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure*: The BLUE Protocol. *Chest*, 134(1), 117–125. doi:10.1378/chest.07-2800
36. Kline, J. P., Dionisio, D., Sullivan, K., Early, T., Wolf, J., & Kline, D. (2013). Detection of pneumothorax with ultrasound. *AANA Journal*, 81(4), 265–274.
37. Dhir, S. (2015). Critical Care Ultrasound. *British Journal of Anaesthesia*, 114(6), 1012–1013. <https://doi.org/10.1093/bja/aev120>.
38. Chen, R. (2019). Synopsis of the point-of-care ultrasound assessment for perioperative emergencies. *Canadian Journal of Anesthesia*, 66(4), 448–460. <https://doi.org/10.1007/s12630-019-01303-0>.
39. Lichtenstein, D., Mezière, G., Biderman, P., & Gepner, A. (1999). The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Medicine*, 25(4), 383–388. doi:10.1007/s001340050862 .
40. Canty, D., Ford, J., Heiberg, J., Brennan, A., Royse, C., El-Ansary, D., & Royse, A. (2017). Point-of-care diagnosis of perioperative lung pathology with lung ultrasound in cardiothoracic surgery - comparison with clinical examination and chest x-ray. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 31, S44–S45. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.02.119>.

41. Wang, K., Du, B. X., Zhang, Y., Huan, X., Qiu, Y. L., Chen, C., & Wang, L. W. (2020). The benefits of a variable svv threshold using cardiopulmonary ultrasound to guide perioperative fluid therapy in patients with ards. *International Journal of Clinical & Experimental Medicine*, 13(4), 2421–2430. Retrieved from <https://uhn.idm.oclc.org/login?url=http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&CSC=Y&N EWS=N&PAGE=fulltext&D=cctr&AN=CN->.
42. Gillmann, H. J., Dieding, J., Schrimpf, C., Janssen, H., Sahlmann, B., Rustum, S., Larmann, J. (2020). Prospective evaluation of preoperative lung ultrasound for prediction of perioperative outcome and myocardial injury in adult patients undergoing vascular surgery (IUPPo study). *Minerva Anestesiologica*, 86(11), 1151–1160. <https://doi.org/10.23736/S0375-9393.20.14393-1>.
43. Baldi, G., Gargani, L., Abramo, A., D'Errico, L., Caramella, D., Picano, E., Giunta, F., & Forfori, F. (2012). Lung water assessment by lung ultrasonography in intensive care: a pilot study. *Intensive Care Medicine*, 39(1), 74–84. doi: 10.1007/s00134-012-2694-x.
44. Stefanidis, K., Dimopoulos, S., Tripodaki, E.-S., Vitzilaios, K., Politis, P., Piperopoulos, P., & Nanas, S. (2011). Lung sonography and recruitment in patients with early acute respiratory distress syndrome: A pilot study. *Critical Care*, 15(4), R185. doi:10.1186/cc10338.
45. Monastesse, A., Girard, F., Massicotte, N., Chartrand-Lefebvre, C., & Girard, M. (2017). Lung ultrasonography for the assessment of perioperative atelectasis: A pilot feasibility study. In *Anesthesia and Analgesia* (Vol. 124, pp. 494–504). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001603>.
46. Yu, X., Zhai, Z., Zhao, Y., Zhu, Z., Tong, J., Yan, J., & Ouyang, W. (2016). Performance of Lung Ultrasound in Detecting Peri-Operative Atelectasis after General Anesthesia. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 42(12), 2775–2784. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.06.010>.
47. Szabó, M., Bozó, A., Darvas, K., Soós, S., Özse, M., & Iványi, Z. D. (2021). The role of ultrasonographic lung aeration score in the prediction of postoperative pulmonary complications: an observational study. *BMC Anesthesiology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12871-021-01236-6>.
48. Bouhemad, B., Brisson, H., Le-Guen, M., Arbelot, C., Lu, Q., & Rouby, J.-J. (2011). Bedside Ultrasound Assessment of Positive End-Expiratory Pressure-induced Lung Recruitment. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 183(3), 341–347. doi:10.1164/rccm.201003-0369oc.
49. Rincón Salas, J. *Manual de ultrasonido en Terapia Intensiva y emergencias*. Editorial Prado. 2016; 12: 163 - 171.

50. Prada, G., Vieillard-Baron, A., Martin, A. K., Hernandez, A., Mookadam, F., Ramakrishna, H., & Diaz-Gomez, J. L. (2021, January 1). Tracheal, Lung, and Diaphragmatic Applications of M-Mode Ultrasonography in Anesthesiology and Critical Care. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.11.051>.
51. Xie, C., Sun, N., Sun, K., Ming, Y., You, Y., Yu, L., Huang, J. y Yan, M. (2020). Lung ultrasound and diaphragmatic excursion assessment for evaluating perioperative atelectasis and aeration loss during video-assisted thoracic surgery: A feasibility study. *Annals of Palliative Medicine*, 9(4), 1506–1517. <https://doi.org/10.21037/apm-19-595b>.
52. Carrillo-Esper, R., Pérez-Calatayud, Á.A., Arch-Tirado, E., Díaz-Carrillo, M.A., Garrido-Aguirre, E., Tapia-Velazco, R., Peña-Pérez, C.A., Espinoza-de Los Monteros, I., Meza-Márquez, J.M., Flores-Rivera, O.I., Zepeda-Mendoza, A.D. y de la Torre-León, T. (2016). Standardization of sonographic diaphragm thickness evaluations on healthy volunteers. *Respir Care*. (7)61:920-924.
53. Boussuges, A., Gole, Y., Blanc, P . Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009;135:391-400.
54. Carrillo ER, Pérez CA, Peña PC. Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática mediante doble abordaje en el paciente grave. *Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int*. 2016;30:242-245.
55. Jankowich, Matthew. *Ultrasound un the Intensive care Unit*. Humana press. American thoracic society. 2016; 1,2,9,10,11.