

Ecografía a la cabecera del paciente en neumología

Bedside ultrasound in pulmonology

ANA MILENA CALLEJAS-GUTIÉRREZ, GERMÁN DÍAZ-SANTOS,
SERGIO VELASCO-MALAGÓN • BOGOTÁ, D.C. (COLOMBIA)
ANDRÉS FUENTES • CALI (COLOMBIA)

DOI: <https://doi.org/10.36104/amc.2024.4156>

Resumen

La patología pulmonar es frecuente en la consulta médica y los hallazgos en ecografía pulmonar tiene una excelente correlación con otras modalidades diagnósticas como la tomografía computada de tórax. El conocimiento de estas alteraciones por parte del personal asistencial es fundamental. La ecografía a la cabecera del paciente en el área de neumología permite la adecuada detección del compromiso intersticial típico de entidades como el edema pulmonar, el síndrome de consolidación cuyo exponente principal es la neumonía e inclusive el uso de ecografía diafragmática que puede ser útil en distintos escenarios que van desde la consulta externa hasta las unidades de cuidado intensivo. A continuación, presentamos una revisión narrativa sobre el uso de ecografía a la cabecera del paciente en el área de neumología. (*Acta Med Colomb* 2024; 49 (Suplemento). DOI: <https://doi.org/10.36104/amc.2024.4156>).

Palabras clave: *neumología, ecografía a la cabecera del paciente, pocus, diafragma, pleura.*

Abstract

Lung disease is common in medical practice, and lung ultrasound findings have an excellent correlation with other diagnostic modalities like computed tomography of the chest. It is essential for healthcare staff to be aware of these abnormalities. Bedside ultrasound in pulmonology allows appropriate detection of the interstitial involvement typical of conditions like pulmonary edema, consolidation syndrome (whose prime example is pneumonia), and even diaphragmatic ultrasound that can be useful in different settings ranging from the outpatient department to intensive care units. Below, we present a narrative review of the use of bedside ultrasound in the field of pulmonology. (*Acta Med Colomb* 2024; 49 (Suplemento). DOI: <https://doi.org/10.36104/amc.2024.4156>).

Keywords: *pulmonology, bedside ultrasound, POCUS, diaphragm, pleura.*

Dra. Ana Milena Callejas-Gutiérrez: Unidad Funcional de Cirugía de Tórax, Instituto Nacional de Cancerología. Departamento de Medicina Interna, Universidad Nacional de Colombia; Dr. Germán Díaz-Santos: Unidad Funcional de Cirugía de Tórax, Instituto Nacional de Cancerología; Dr. Sergio Velasco-Malagón: Departamento de Medicina Interna, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Medicina Interna, Hospital Universitario Santa Clara. Grupo de Investigación Cardiovascular, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. (Colombia).

Dr. Andrés Fuentes: Residente de Medicina Interna Universidad del Valle. Cali (Colombia). Correspondencia: Dra. Ana Milena Callejas, Bogotá, D.C.

Email: amille44@hotmail.com

Recibido: 29/XI/2024 Aceptado: 6/XI/2024

Introducción

Durante mucho tiempo, se consideró que la ecografía pulmonar no era de utilidad en el manejo de la patología pulmonar debido a las limitaciones de las ondas de ultrasonido para penetrar el aire. Sin embargo, cada vez son más los protocolos que, basados en diferentes signos sonográficos, permiten el abordaje del paciente con sospecha de enfermedad pulmonar, facilitando la evaluación del paciente de la mano de una historia clínica y examen físicos detallados (1). El ultrasonido ha demostrado un rendimiento diagnóstico que supera a la radiografía de tórax en diferentes patologías, además de limitar la exposición a radiación ionizante y reducir costos (2). De igual manera, la ecografía pulmonar es una herramienta útil para realizar estudios invasivos como toracentesis y biopsias de pleura, minimizando el

riesgo e impactando en la seguridad del paciente. En la actualidad, el uso de ultrasonido sigue siendo limitado y su enseñanza dista de ser universal a nivel de pregrado y posgrado, por lo que su divulgación y adecuado aprendizaje debe ser un objetivo de las facultades de medicina en los años por venir (3,4).

¿Cuáles son los fundamentos para realizar e interpretar la ecografía pulmonar?

Dado que el pulmón es un órgano ocupado por aire, realmente no estamos insonando el parénquima pulmonar, sino interpretando la interacción que se genera entre el sonido y el aire. Las ondas de sonido interactúan con las diferentes estructuras y se reflejan cuando existe una diferencia importante en la impedancia acústica. Los ar-

tefactos de reverberación ocurren generalmente cuando existe una gran diferencia entre dos impedancias acústicas, por ejemplo, en la interfaz tejido-aire. Otros tejidos como el óseo tienen impedancias acústicas mayores en relación con su densidad por lo que pueden generar un reflejo completo del ultrasonido e impiden la interpretación de las imágenes que se encuentran distales a estas, creando una sombra acústica (5).

La evaluación clásicamente ha sido realizada con transductores microconvexos, que tienen una profundidad mayor pero una resolución menor que su contraparte lineal. Esto es útil en la valoración de estructuras que se encuentran más profundas o que tienen un tamaño mayor, como las consolidaciones o los recesos pleurales posteriores. Sin embargo, su disponibilidad puede ser menor así que la siguiente alternativa es la sonda convexa, la cual también brinda profundidad con menor resolución, con una mejor disponibilidad en los servicios de ecografía. En algunos escenarios, particularmente aquellos relacionados con patología que involucra la integridad pleural, como el neumotórax, el uso de transductores lineales con mayor resolución y mayores frecuencias podría ser preferible.

La ecografía pulmonar se suele realizar en modo B, en el cual se obtiene las imágenes básicas, complementándose con el modo M y el Doppler (1, 4). Los equipos actuales de ecografía suelen tener un modo predefinido para pulmón; sin embargo, en caso de no tenerlo lo que se sugiere es inactivar los armónicos y el modo de reducción de ruido para evitar que se generen artificios que falseen los hallazgos pulmonares. El enfoque del equipo, el cual correspondería a la profundidad a la que tiene una mejor resolución, se puede identificar como un marcador adyacente a la escala de profundidad de la imagen de ultrasonido, el foco de la imagen debe ubicarse a nivel de la línea pleural para así poder ver de manera más confiable los artificios derivados de esta.

Tenga en cuenta que la evaluación ecográfica pulmonar implica una adecuada interpretación de los artefactos del sonido. Se pueden usar transductores microconvexos, convexos o lineales según la intención que se tenga.

¿Cómo realizar la evaluación ecográfica?

Una vez seleccionada la sonda según el escenario clínico del paciente, se debe escoger una profundidad cercana a los 6-8 centímetros distancia a la cual se pueden valorar la mayoría de los signos ecográficos. No obstante, dependiendo de la configuración anatómica del paciente la valoración de estructuras más profundas puede requerir el ajuste de la distancia a conveniencia (6).

El transductor se ubica de manera perpendicular a la pared torácica y con el eje largo paralelo al eje longitudinal del paciente, idealmente con la marca del transductor hacia

cefálico (Figura 1A). Esta ubicación permite la adecuada identificación de los arcos costales y su relación anatómica con la pleura, minimizando significativamente el riesgo de confundirla con las fascias musculares que también son hiperecoicas durante la valoración, las cuales podrían ser interpretadas de manera errónea como ausencia del deslizamiento pleural. Una vez ubicado el transductor se obtendrá la imagen ecográfica pleuropulmonar por excelencia en la que se podrá observar el Espacio de Merlín (Figura 1B):

1. En los costados de la pantalla los arcos costales con sus respectivas sombras acústicas (c) (izquierda- arco costal superior, derecha- arco costal inferior).
2. Una línea hiperecoica que se encuentra justo en el borde inferior de los arcos costales y que corresponde a la línea pleural (a) en condiciones de normalidad.

Entre los dos arcos intercostales se observa una imagen hiperecoica lineal y, en algunos casos, curvada, que corresponderá a la línea pleural (a) y será la primera imagen para caracterizar, siendo este conjunto de imágenes conocido como el Bat sign o signo del murciélago (Figura 1C) (7). A partir de la identificación de esta ventana se iniciará la caracterización de los diferentes signos sonográficos para evaluación del pulmón.

En pacientes no críticos, el estudio también puede realizarse en posición sedente, lo que permite visualizar la región posterior del tórax. Existen múltiples protocolos descritos para la valoración ecográfica pulmonar, que dependen del estado clínico y del tipo de patología sospechada. El protocolo BLUE, descrito por Daniel Liechtenstein, es uno de los más difundidos para evaluar la disnea y ofrece una aproximación sencilla que le permite al examinador una valoración general de la arquitectura pulmonar, como se observa en la Figura 1 D-E-F (8).

En el paciente crónico en quien se tiene más tiempo para la evaluación, se suele realizar una revisión metódica dividiendo el tórax en anterior, lateral y posterior, delimitadas de la siguiente manera: anterior, entre línea paraesternal y línea axilar anterior; lateral, entre línea axilar anterior y posterior; posterior: entre línea axilar posterior y línea paravertebral. Cada una de las regiones se subdividirá a su vez en 2 zonas anteriores que en la cara anterior se definirán por el segundo espacio intercostal (anterior y superior) y 4-5° espacio intercostal (anteroinferior), 2 laterales, 2 posteriores (delimitadas por la línea subescapular) (Figuras 1, 2). También se han descrito protocolos con más puntos de evaluación, y es importante resaltar que ciertas patologías tienen ubicaciones anatómicas particulares (ej.: derrame pleural en zonas de declive), lo cual puede hacer que la búsqueda más exhaustiva en regiones específicas del tórax (6, 9).

Se deberán hacer algunas consideraciones respecto a las zonas a priorizar cuando no se cuenta con el tiempo limitado para realizar una evaluación exhaustiva: en sospecha de neumotórax, con el paciente en decúbito supino siempre

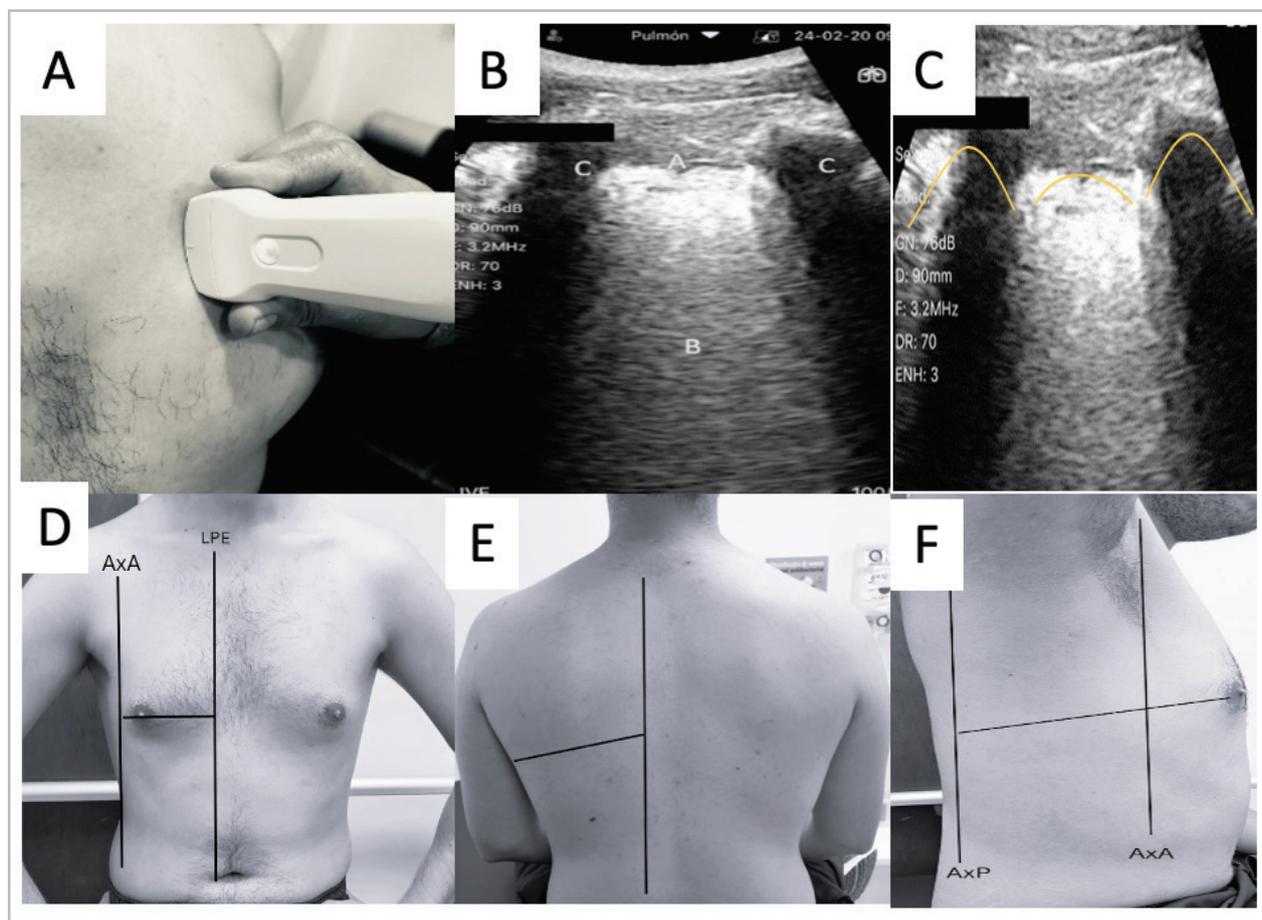


Figura 1. A: ubicación del transductor. B: espacio de Merlín (letra A pleura, letra B Pulmón, letra C Costilla). C: Bat sign o signo del murciélago. D-E-F: divisiones por cuadrantes para realización de estudio ecográfico: AxP: línea axilar posterior. AxA línea axilar anterior. LPE Línea paraesternal. (Imágenes propias).

se evaluará inicialmente la región anterior; en sospecha de enfermedad intersticial, se debe considerar la evaluación de las zonas posteriores e inferiores dado que la enfermedad usualmente inicia en esta región; en pacientes con falla cardíaca, se recomienda rastrear siempre las zonas dependientes, usualmente la región basal posterior en quienes han estado en decúbito por tiempo prolongado; en paciente con sospecha de derrame pleural, siempre se debe ubicar el signo de la cortina (Figura 2) y desde allí se podrán rastrear ambas bases pulmonares en busca de derrames pleurales o las zonas dependientes del pulmón.

¿Cuáles son los hallazgos normales en el pulmón y cuáles son los signos más frecuentes a encontrar en patología?

Se han establecido por convención las características de los hallazgos ecográficos más frecuentes y su interpretación en relación con la patología. Su comprensión es de vital importancia para realizar una integración adecuada en diferentes protocolos de abordaje diagnóstico. En la evaluación de cada patología se explorarán signos adicionales relativos a cada una de las condiciones clínicas mencionadas (Tabla 1, Figura 2).

Recuerde que en condiciones de normalidad el pulmón debe cumplir a nivel ecográfico con dos características:

1. La presencia de deslizamiento pleural.
2. La presencia de Líneas A.

Abordaje de los principales síndromes clínicos

Enfermedad pleural

La evaluación de la pared del tórax y la pleura puede realizarse con sondas de alta frecuencia (7.5-12 MHz), la cual permite penetración de 2-5 cm donde está la línea pleural. Sin embargo, en caso de derrame pleural que requiere mayor profundidad, se prefiere el transductor de baja frecuencia (2-5 MHz) que permite la evaluación de mayor profundidad hasta 10-25 cm de la superficie de la piel, a expensas de tener una menor resolución (10). Idealmente, el estudio se realiza con el paciente sentado o levemente inclinado hacia adelante cuando se trata de pacientes estables, con el fin de realizar la evaluación desde la región dorsal y deberá evaluar los dos hemitórax. En caso de pacientes críticos, se realizará en decúbito (10).

Tabla 1. Signos ecográficos principales.

Signo ecográfico	Características
Deslizamiento o "sliding" pleural	Es el artefacto derivado del frote de la pleura visceral contra la pleura parietal con los movimientos respiratorios, lo que genera una especie de centelleo o reverberación de la línea pleural, confirmando integridad del espacio pleural (38). Se puede observar en neumotórax, derrame pleural, intubación selectiva o neumectomía. El VPP para neumotórax es del 87% en población general, cae a 56% en paciente críticamente enfermo y 27% en paciente con falla respiratoria. Se puede usar el power Doppler sobre la línea pleural para mejorar su visualización. Esto se conoce como el Power Slide Sign.
Líneas A	Es el patrón normal de ecografía pulmonar y sugiere la presencia de aire. Son líneas hiperecoicas que se visualizan por debajo de la línea pleural y se extienden de manera paralela y por debajo de esta, con una distancia equidistante entre línea y línea correspondiendo a la distancia que hay entre la sonda y la línea pleural. Corresponden a un artefacto de reverberación (38).
Líneas B	Líneas hiperecoicas y siempre van desde la línea pleural hasta el final de la pantalla moviéndose con el sliding pleural. Se observan bien definidas (como la imagen de un láser); pueden ser 1 sola o varias y pueden confluir dando la apariencia de lo que se conoce como pulmón blanco. Se produce por la interfaz aire-líquido y representan la presencia de Síndrome intersticial (3,39). Las líneas B pueden verse en pacientes sanos consideraran significativas si se observan 3 o más líneas (9).
Seashore sign signo de la playa. Signo de la estratósfera o código de barras	El signo de la playa es el patrón normal que se observa en el modo M, se caracteriza por la presencia de un patrón de líneas rectas por encima de la línea pleural y el patrón puntado por debajo de la línea pleural lo que correspondería a parénquima pulmonar (9). Por su parte el signo de código de barras ocurre cuando se pierde el sliding pleural asociado a disrupción pleural. Se pierde el patrón puntiforme por debajo de la línea pleural, observando múltiples líneas rectas por debajo de la línea pleural. Sensibilidad para neumotórax 98%, especificidad 99,2%(9,12).
Pulso pulmonar y punto pulmonar	Pulso pulmonar: es la transmisión del latido cardiaco al parénquima pulmonar. En pacientes con alteraciones en la ventilación en quienes se pierde el sliding pleural las pulsaciones se vuelven mucho más visibles, siendo un indicador de intubación selectiva, atelectasias en fases iniciales, contusión pulmonar, hiperinsuflación, con una sensibilidad de 93% y especificidad de 100% (3, 40). Punto pulmonar: es un signo específico para neumotórax 100%, pero con una sensibilidad baja del 66% (10). El punto donde confluye la presencia del sliding con la desaparición de este se le conoce como punto pulmonar. Es posible que no se visualice cuando el neumotórax es significativo y colapsa en su mayoría el pulmón(6,7,38).
Signo de la cortina	Se evalúa en el tercio más inferior del hemitórax. Normalmente, la presencia de pulmón en el receso costofrénico impide la visualización del hígado al lado derecho y del bazo al lado izquierdo. Con los movimientos respiratorios y la contracción del diafragma el pulmón se mueve hacia arriba y hacia abajo y en el sitio de contacto con el diafragma se crea una sombra que se desplaza, como una cortina, ocultando o mostrando la imagen de los órganos intraabdominales. El signo indica el movimiento dinámico del diafragma y su ausencia puede verse en ocupación del espacio pleural por derrame pleural o hemotórax(38).

Inicia con la evaluación del espacio pleural con el transductor en modo B, ubicando entre los dos arcos costales el signo del murciélago. Si se requiere una visión más detallada de la pleura, una vez esta es identificada en el espacio intercostal, se gira la sonda 90°, quedando paralela a la costilla; permitiendo visualizar en su totalidad la pleura en dicho espacio intercostal (10). La pleura se identifica

como una línea única de 0.2 mm que aparece en la parte más profunda de los músculos intercostales y la presencia del deslizamiento o "sliding" pleural facilitará su identificación.

¿Qué tan útil es la ecografía en el diagnóstico del derrame pleural?

Tiene múltiples etiologías que usualmente requieren el diagnóstico mediante imagen, y en muchos de los casos estudios con punción por toracentesis del líquido.

Recuerde que la ecografía permite de manera sensible la identificación de derrame pleural con una sensibilidad de 97% vs por examen físico 61% vs 47% con radiografía de tórax (11). Facilita de igual manera definir las características del derrame lo que puede impactar las conductas terapéuticas (10)

El derrame se observa como una imagen hipocóica que separa la pleura visceral y parietal, localizándose en las zonas dependientes del pulmón, habitualmente en las bases pulmonares, mostrando en su interior parte del parénquima pulmonar colapsado (signo de la medusa) (Figura 3B). Pueden encontrarse otros signos ecográficos, como el signo de la espina que corresponde a la visualización de los cuerpos vertebrales normalmente no son visibles por la presencia del parénquima pulmonar; el signo del cuadrilátero que se visualiza en derrame pleurales extensos en donde las dos capas pleurales quedan separadas la una de la otra por líquido, la pleura visceral y la pleura parietal delimitan la parte anterior y posterior de un cuadrilátero, que se completa lateralmente por la sombra acústica proyectada por las costillas adyacentes. Finalmente, el signo del senoide, que se evalúa en el modo M y durante la inspiración- espiración genera una imagen en el modo M conocida como el signo del senoide, su presencia indica la presencia de derrame pleural libre.

Es importante identificar si existen zonas de engrosamiento pleural o nodulación (Figura 3A). El hallazgo de engrosamiento >1 cm o nodulaciones de más de 5 mm en la pleura parietal o diafragmática son predictores significativos de malignidad (12).

¿Cómo medirlo?

Existen múltiples fórmulas para realizar el cálculo del volumen de líquido pleural. Una de ellas es la fórmula del estudio de Balik. Esta técnica consiste en medir, con el paciente en supino y con elevación a 15°, la distancia interpleural máxima (C) en milímetros a nivel de la línea axilar posterior, en la base pulmonar al final de la espiración; y multiplicarlo por el factor 20, lo cual dará el resultado del volumen en mililitros (13). Vignon et al identificaron que la presencia de una distancia C > 45 mm en el lado derecho y una > 50 mm en el izquierdo se co-

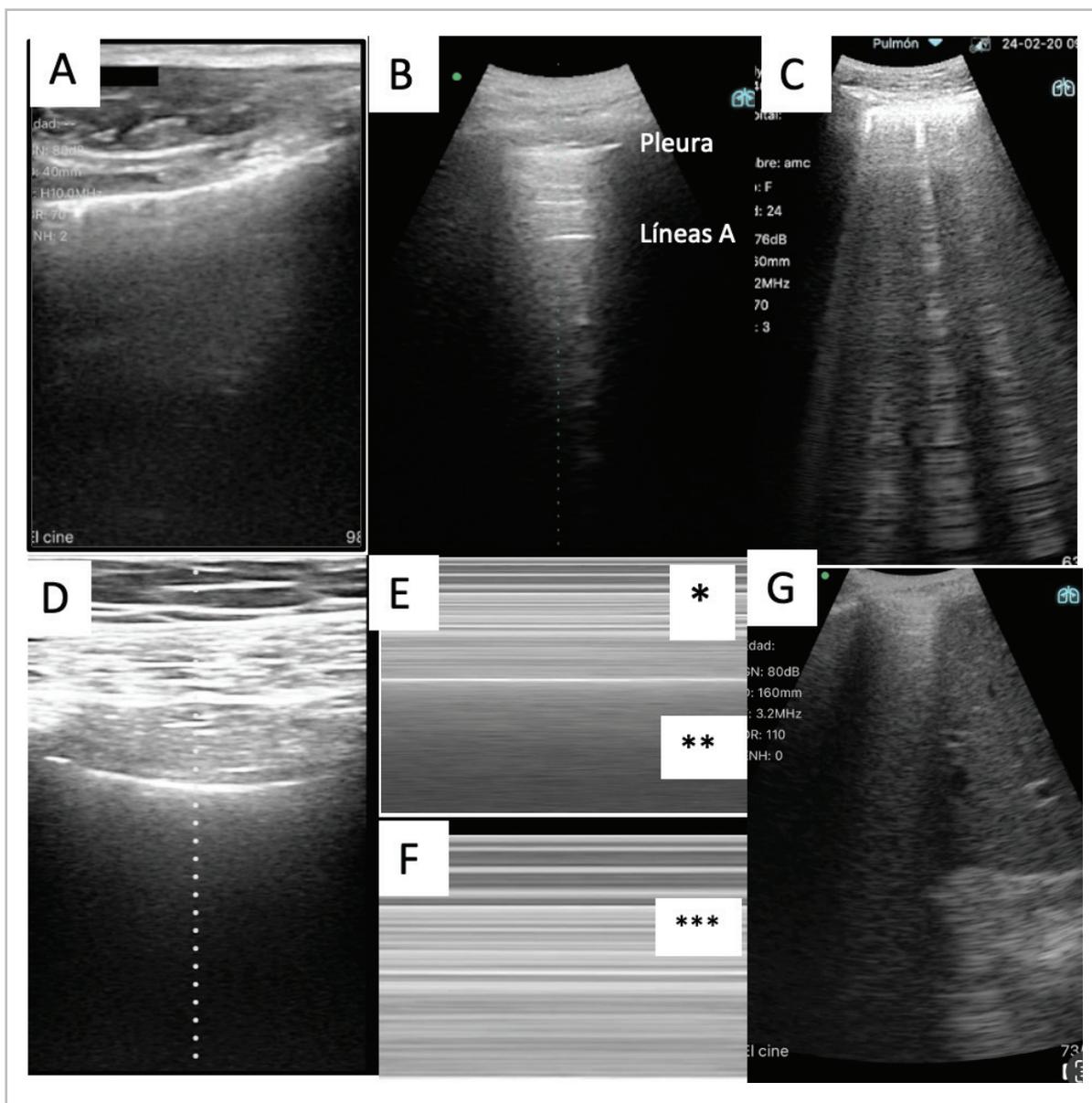


Figura 2. A: deslizamiento pleural. B: líneas A. C: líneas B. D: modo M a través de la pleura. E: modo M: signo de la playa (* Plano muscular -Mar ; ** Pulmón- Playa). F: modo M: *** Código de barras o signo de la estratósfera. G: signo de la cortina: interfaz pulmón órgano sólido (hígado o bazo) (Imágenes propias).

relacionan con un volumen > 800 ml (14). Otra ecuación que ha mostrado mayor certeza en paciente ventilado es la de Goerke, que consiste en medir la máxima distancia craneocaudal del derrame en centímetros (H) sumada a la distancia interpleural de la base del pulmón hasta la cúpula del diafragma (D) en centímetros y multiplicada por 70 ($H + D \times 70$) (Figura 3D). En posición sedente, está el estudio de Usta en pacientes en postoperatorio de cirugía cardíaca, en ventilación espontánea, en donde se mide la distancia D en la línea escapular al final de la espiración ($16 \times D$ en mm), la cual también mostró una buena correlación en este grupo (15). En un estudio que buscó comparar las diferentes ecuaciones disponibles se identificó que la de mayor certeza fue la ecuación de Goecke, si bien es más

compleja y susceptible a variaciones dada la necesidad de dos mediciones diferentes (16).

No obstante, en la práctica clínica la más utilizada es la de Balik por su sencillez y su utilidad en paciente crítico (17). La cuantificación del derrame pleural puede variar o ser errática en pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica con presión positiva, o cuando la distancia interpleural es menor de 17 mm (13, 16). Factores que influyen con las mediciones incluyen el tamaño de la caja torácica del paciente, la posición en la que se encuentra, la presencia de hipertensión abdominal, parálisis del nervio frénico, hernia diafragmática y variabilidad interobservador en la estimación de la distancia pleural. La cuantificación del volumen permitirá realizar una estimación de las conductas terapéuticas a seguir.

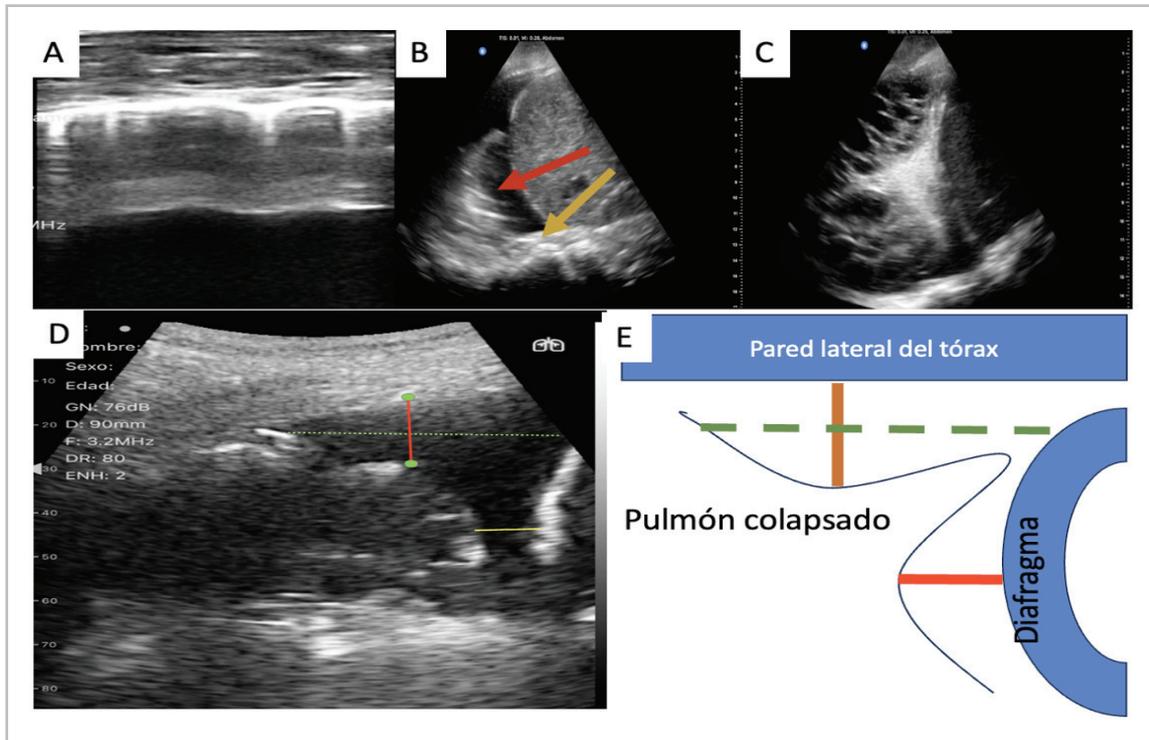


Figura 3. A: engrosamiento con irregularidad pleural. Debajo derrame pleural. B: signo de la espina (amarillo) y signo de la medusa (rojo). C: derrame pleural tabicado. D-E: medición del volumen del derrame pleural ($H + D \times 70$); H verde, D rojo, C naranja. (Imágenes propias).

Neumotórax

Si bien el *Gold standard* para la detección del neumotórax es la tomografía de tórax, su uso puede ser dispendioso en pacientes con inestabilidad hemodinámica o neumotórax a tensión, en quienes el traslado a la unidad de tomografía puede ser de alto riesgo en pacientes inestables. Por esta razón, es útil el uso del ultrasonido para su identificación, inicialmente en las regiones anteriores y superiores del tórax por la distribución anatómica del neumotórax (Figura 2F).

Recuerde que en presencia de neumotórax se deben tener en cuenta los siguientes hallazgos: Ausencia de sliding pleural, ausencia de líneas B, ausencia de pulso pulmonar y, en algunos casos presencia de punto pulmonar. La sensibilidad para el diagnóstico por ecografía puede ser hasta de 98% en personal entrenado. (1, 3, 8, 9, 18)

Consolidación

Los hallazgos ecográficos de la consolidación son producto de la ocupación del alvéolo por exudado u otras secreciones, que llevan a la “hepatización” del pulmón, eliminando los patrones sonográficos de un órgano ocupado por aire. Es importante recordar que la presencia de consolidación no solo es indicativo de neumonía, sino que puede verse en otras condiciones como neoplasias, contusión pulmonar, embolismo pulmonar con infarto, broncoaspiración

y atelectasia, por lo cual la historia clínica es muy importante en el momento de definir un diagnóstico (1, 4, 19).

En cuanto a hallazgos relacionados con neumonía, estos serán diferentes dependiendo de la fase en que se encuentra. En la fase intersticial se evidenciarán la presencia de líneas B difusas, y a menudo, pérdida del deslizamiento pleural. En la fase de hepatización, se obtendrá un perfil ecográfico C, con una estructura de ecogenicidad similar al hígado. Ocasionalmente pueden asociarse a derrame pleural y puede encontrarse el signo de fractal o *Shred sign* de localización subpleural con bordes irregulares. Se puede visualizar en neumonía, infartos pulmonares y en enfermedad intersticial (Figura 4) (1, 8).

Al igual que en otras modalidades imagenológicas, se puede presentar la presencia de broncograma aéreo y este puede tener características dinámicas o estáticas. Se define como dinámico a la aparición de artificios hiperecóticos visibles en el bronquiolo y que cambian con la inspiración e indican que la vía aérea es permeable. En contraste, el broncograma aéreo estático en la cual estos no van a tener variación inspiratoria. La presencia de broncograma aéreo dinámico tiene una sensibilidad de 93% y especificidad de 97% para consolidación por neumonía. Así mismo, la ausencia de broncograma dinámico puede ayudar a descartar la presencia de una atelectasia con una sensibilidad del 64% y una especificidad de 94%. En casos de broncograma estático, se debe sospechar sobre obstrucción de la vía aérea con absorción incompleta del aire. Es importante diferenciar

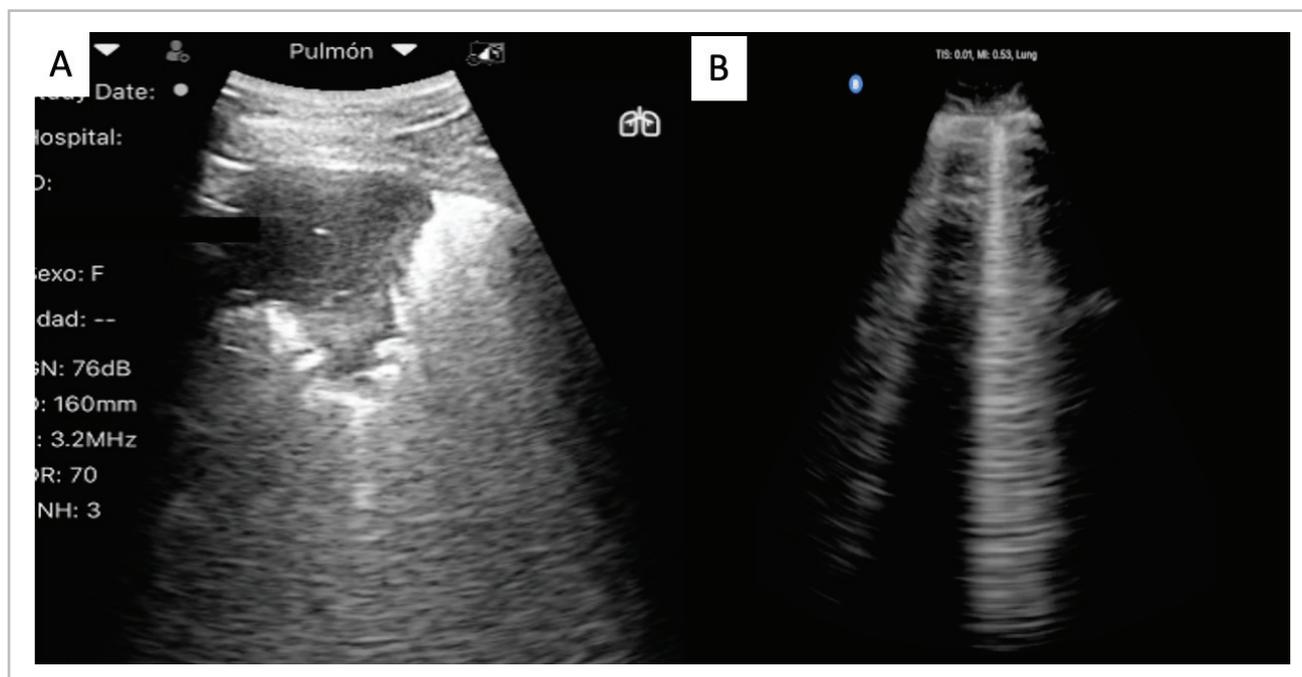


Figura 4. A: shred sign o signo de fractal en una consolidación. Observe los bordes definidos que presenta esta alteración patológica. **B:** líneas B con línea pleural irregular en un paciente con enfermedad intersticial pulmonar. (Imágenes propias).

el broncograma aéreo del broncograma líquido, el cual es un hallazgo que permite diferenciar entre consolidación y atelectasia. En el broncograma líquido, se observa la trama bronquial ramificada de centro hipoeoico (distendidos por secreciones) con pared hiperecoica, similares a los vasos pero sin señal en el Doppler, signo altamente sugestivo de atelectasias, suele acompañarse de pérdida de volumen (19).

Síndrome intersticial

El síndrome intersticial está descrito en un sinnúmero de patologías que se caracterizan por ocupación del espacio intersticial o reemplazo del parénquima pulmonar por fibrosis. Esto altera características sonográficas del pulmón, permitiendo que una mayor cantidad de ondas de ultrasonido penetren profundamente y sean reflejadas parcialmente de manera irregular, generando los artificios de reverberación hiperecoicos. El hallazgo más característico es la presencia de líneas B, que puede presentarse en enfermedad intersticial, edema pulmonar, SDRA (síndrome de dificultad respiratoria del adulto) (20).

De acuerdo con el consenso de 2012, se sugiere la evaluación de las ocho zonas anterolaterales (1-4 en cada hemitórax) e identificar la presencia de líneas B, siendo positivo tener tres o más en un plano longitudinal entre dos costillas (21). Otro punto a considerar la separación entre las líneas: líneas con separación menor de 3 mm son sugestivas de edema pulmonar, líneas con separación de más de >7 mm se relacionan con fibrosis.

A continuación, se detallan características que pueden mejorar el rendimiento diagnóstico de las patologías pulmonares:

- **Enfermedad pulmonar intersticial:** presencia de múltiples líneas B no homogéneas, conservando el sliding pleural. La línea pleural puede ser irregular, y las anomalías subpleurales son comunes. En fibrosis pulmonar, los cambios tienden a ser más visibles hacia el tercio posterior y bases de ambos hemitórax, en general en el seguimiento se mantienen sin cambios (1, 8).
- **Edema pulmonar:** la distribución de las líneas B es uniforme y bilateral, con mayor frecuencia en zonas dependientes, conserva el sliding pleural y no distorsiona la línea pleural, pudiendo estar acompañado de derrame pleural bilateral (perfil B)(1, 8).
- **SDRA:** la distribución de las líneas B puede no ser homogénea (perfil A/B), con disminución del sliding pleural y una línea pleural irregular (Perfil B') (1, 8).

Protocolo BLUE:

Bedside Lung Ultrasound in Emergency

Publicado en 2008 por Daniel Lichtenstein con la intención de valorar la falla respiratoria en pacientes en cuidado crítico, con el paciente en supino o semisentado. Implica la valoración de seis puntos por cada campo pulmonar (dos anteriores, dos laterales, dos posteriores) y un punto PLAPS (síndrome alveolar posterior-lateral). Además de la exclusión de trombosis venosa profunda. Con base en el algoritmo que se describe en la Figura 5, el protocolo BLUE obtuvo una sensibilidad (S) y especificidad (E) de 97 y 95% para identificar edema pulmonar, para EPOC/asma con S 89% y E 97%, embolismo pulmonar S 81% y E 99%, neumotórax con S 88% y 100%, y en neumonía con rendimientos variables de acuerdo con el perfil identificado BLUE (1, 8).

Valoración diafragmática

Los músculos respiratorios, incluido el diafragma, son esenciales para la ventilación pulmonar. El diafragma, dividido anatómicamente en tendón central y porción muscular periférica, desempeña un papel crucial durante la respiración tranquila al generar presión intratorácica negativa para inflar los pulmones (22). La innervación del diafragma proviene de los nervios frénicos, y su función puede afectarse por diversas enfermedades y condiciones, dando lugar a disfunción diafragmática, que puede manifestarse como debilidad o parálisis unilateral o bilateral. Los síntomas incluyen disnea, trastornos del sueño y disminución del rendimiento físico. A la disfunción diafragmática es subdiagnosticada, debido a su presentación clínica inespecífica, la cual puede confirmarse mediante diversas pruebas seleccionadas según su disponibilidad y grado de invasividad, siendo la ecografía diafragmática la ideal (23).

¿Cómo hacerlo?

La ecografía diafragmática es una técnica no invasiva y rápida para evaluar la anatomía y función del diafragma, ofreciendo ventajas como seguridad, practicidad y nula radiación ionizante. Requiere solo equipamiento básico de ultrasonido, es accesible y segura en la mayoría de las instalaciones médicas (24). La ecografía diafragmática puede realizarse como procedimiento ambulatorio o a la cabecera del paciente en la unidad de cuidados intensivos, con una posición supina preferida para mejorar la reproducibilidad y menor variabilidad. Además, se ha demostrado que la ecografía diafragmática es superior a la fluoroscopia para el diagnóstico de disfunción diafragmática (24).

Sin embargo, la ecografía diafragmática también presenta limitaciones, al no estar disponible en todas las instalaciones médicas, requerir personal capacitado en la técnica, y cuenta con un grado importante de dificultad en la visualización del hemidiafragma izquierdo, especialmente en pacientes obesos. La excursión diafragmática puede variar según el esfuerzo inspiratorio máximo de los pacientes y su posición, y puede estar influenciada por el contenido y la presión abdominal (25, 26).

Apariencia ecográfica del diafragma

En ecografía, el diafragma se puede explorar mediante dos ventanas acústicas: la subcostal y la zona de apoyo. A través de la ventana subcostal, se visualiza como una estructura curva que separa el tórax del abdomen, mientras que en la ventana de la zona de apoyo se identifica como una estructura de tres capas. Durante la contracción diafragmática en individuos sanos, la ecografía muestra el descenso del diafragma en dirección cráneo-caudal a través de la ventana subcostal, así como el acortamiento y engrosamiento del músculo a través de la ventana de la zona de apoyo. Esto permite medir la movilidad y el grosor diafragmáticos, facilitando una evaluación objetiva. Se recomienda evaluar al menos tres imágenes y promediar

los valores obtenidos para cuantificar la movilidad y el engrosamiento del diafragma de manera precisa (27, 28)

Motilidad diafragmática

La movilidad diafragmática se mide visualizando los hemidiafragmas a través de la vista subcostal anterior (el método preferido), la vista subcostal posterior o la vista subxifoidea, en el modo bidimensional (B) o en el modo unidimensional (M). Independientemente de la técnica elegida, la movilidad diafragmática se mide en tres momentos: durante la respiración tranquila, durante la respiración profunda en la inspiración máxima y durante la inhalación voluntaria (29).

La vista subcostal posterior se utiliza generalmente con el paciente en posición sentada. Se coloca un transductor convexo de baja frecuencia sobre la región subcostal posterior, que se evalúa en los planos sagitales derecho e izquierdo y en modo B, y el operador busca los hemidiafragmas individuales a través de la ventana hepática o esplénica. La amplitud de la movilidad diafragmática cráneo-caudal se mide luego en modo M. Dado que requiere una posición específica del paciente, la vista subcostal posterior generalmente no es factible en pacientes críticamente enfermos o que están en ventilación mecánica (28).

La vista subxifoidea es particularmente útil en niños y adultos delgados. Se coloca un transductor convexo de baja frecuencia debajo del proceso xifoides en una orientación transversal, angulado craneal y dorsalmente hacia los hemidiafragmas posteriores. En modo B, se pueden ver tanto el hemidiafragma derecho como el izquierdo, lo que permite una comparación cualitativa de su excursión. En modo M, la excursión de cada hemidiafragma se puede medir de manera objetiva (30).

El diagnóstico de la disfunción diafragmática se puede realizar mediante la medición ecográfica de la movilidad diafragmática. La parálisis diafragmática se puede diagnosticar identificando la ausencia de movilidad durante la respiración tranquila y profunda, junto con el movimiento paradójico durante la respiración profunda o el inhalado voluntario. La debilidad diafragmática se puede diagnosticar identificando una movilidad reducida durante la respiración profunda, con o sin movimiento paradójico durante el inhalado voluntario (31).

Engrosamiento del diafragma

Para evaluar la atrofia y la contracción del diafragma, es necesario medir el grosor del diafragma (Tdi) y la fracción de engrosamiento (TF), respectivamente. Se utiliza el transductor lineal de alta frecuencia (7-13 MHz) colocado sobre la zona de apoyo (ZOA), entre los espacios intercostales octavo y noveno, generalmente de 0.5-2.0 cm por debajo del ángulo costofrénico, entre las líneas axilar anterior y media. El Tdi se mide desde el centro de la línea pleural hasta el centro de la línea peritoneal, en la espiración (Tdi-exp) y la inspiración (Tdi-insp), en modo

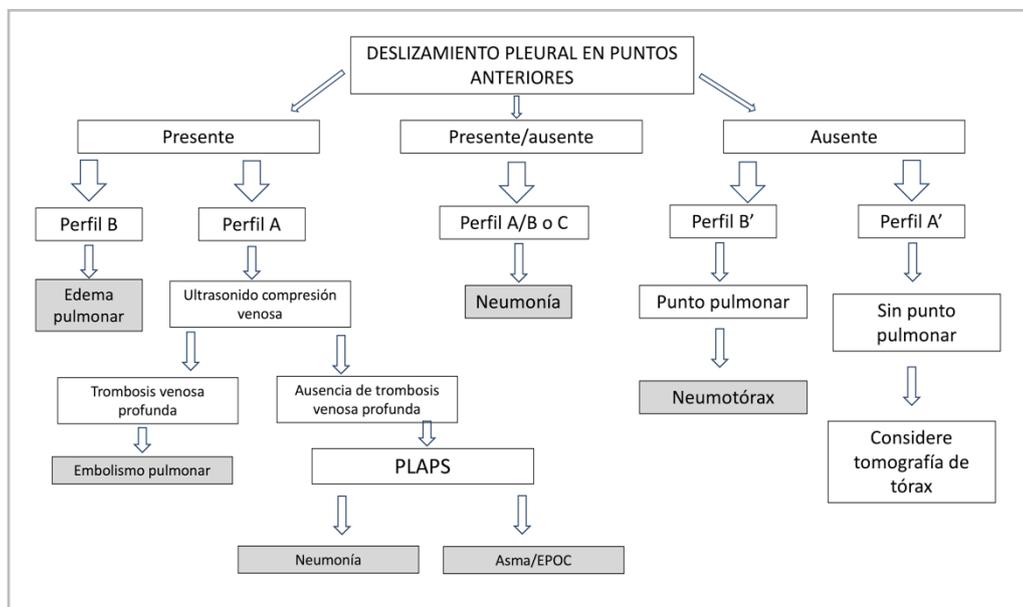


Figura 5. Protocolo BLUE. Tomado y adaptado de (7).

B y modo M. La TF se calcula como la diferencia entre Tdi-insp y Tdi-exp, dividida por Tdi-exp, multiplicada por 100 (32).

El diagnóstico de disfunción diafragmática (DD) puede realizarse midiendo Tdi con ultrasonido. Un diafragma crónicamente paralizado se presenta delgado, atrófico y no se engrosa durante la inspiración. Sin embargo, en la parálisis diafragmática aguda o subaguda, el Tdi puede ser normal, pero la capacidad de engrosamiento estará disminuida (13).

Para obtener una visión más clara, diversos estudios han utilizado el ultrasonido diafragmático para medir la movilidad y el grosor del diafragma en sujetos sanos. Estos estudios han demostrado la utilidad del ultrasonido para evaluar la función diafragmática y proporcionar datos valiosos para el diagnóstico y seguimiento de trastornos respiratorios (14, 33).

¿Cuáles son las patologías que presentan alteración diafragmática y que pueden evaluarse en la ecografía?

La ecografía diafragmática se ha convertido en una herramienta invaluable en la evaluación de diversas enfermedades respiratorias que se resumen en la Tabla 2.

¿Qué procedimiento se pueden guiar por ecografía en la neumología actual?

La ecografía se convierte en una herramienta indispensable para la intervención del derrame pleural, ya sea para toracentesis diagnóstica o terapéutica, colocación de catéteres pleurales o toracotomías. Esto minimiza la posibilidad de complicaciones relacionadas con la punción

de órganos adyacentes al derrame, con menor riesgo de infección. El uso de toracentesis guiada por ecografía disminuye el riesgo de neumotórax hasta 19% en comparación con los procedimientos que se realizan a ciegas (OR 0.81 IC 0.74-0.9) (34).

El abordaje más sencillo y cómodo es realizar las toracentesis y las biopsias de pleura con el paciente sentado, aunque puede que se requiera el decúbito en pacientes que no toleren la posición sedente. Lo ideal es haber realizado previamente un TAC contrastado en donde se caracterice bien el espacio pleural y se identifique la mejor zona para la toma de la biopsia, especialmente en los casos en que el engrosamiento no es uniforme. El sitio de toma de muestra debería encontrarse idealmente en la línea axilar media o al menos a 6 cm fuera de la columna para estar alejados del paquete intercostal, pudiendo usar el Doppler para descartar la presencia de vasos adyacentes que puedan condicionar hemotórax. La aguja se insertará en el borden superior de la costilla inferior para evitar dañar el paquete vascular. Se infiltra con lidocaína y se procederá a drenaje del líquido pleural, teniendo en cuenta no aspirar más de 1,5 litros para prevenir el edema por reexpansión y suspender cuando el paciente manifiesta tos o disconfort torácico (10, 35, 36).

La biopsia percutánea puede realizarse asistida por ecografía (con marcación del sitio a puncionar por ecografía) o guiada (biopsia en tiempo real bajo visión ecográfica). La biopsia guiada por ecografía muestra, en general, una mejor sensibilidad que la biopsia a ciegas, en el diagnóstico de tuberculosis (86% vs 20%) y malignidad (70% vs 44%), aunque con rendimiento menor respecto a la toracoscopia (10, 37).

Tabla 2. Enfermedades pulmonares que comprometen el diafragma y pueden requerir valoración por ecografía.

Enfermedad	Características	Bibliografía
Asma	Se ha evaluado la utilidad de la ecografía diafragmática en nueve pacientes de mediana edad con asma, hiperinflación pulmonar leve y fuerza muscular periférica preservada. Los autores encontraron una moderada debilidad de la musculatura inspiratoria y un ligero aumento del grosor del diafragma costal, lo que indica hipertrofia muscular.	(41)
Parálisis diafragmática	La parálisis crónica se caracteriza por atrofia, Excursión diafragmática reducida durante la respiración tranquila y disminuida durante la respiración profunda y el sniff voluntario. La parálisis aguda o subaguda puede presentar Tdi-exp normal, pero TF anormal, lo que respalda el diagnóstico de disfunción diafragmática (42, 43).	
Fibrosis quística	La ecografía puede revelar un aumento de Tdi-exp debido al entrenamiento del diafragma o una disminución en casos de enfermedad pulmonar grave.	(44)
EPOC	La movilidad diafragmática reducida se correlaciona con la retención de aire, disnea y tolerancia reducida al ejercicio. La disfunción diafragmática durante las exacerbaciones agudas predice peores resultados.	(44)
Enfermedades pulmonares intersticiales	La movilidad y el engrosamiento diafragmático reducidos se correlacionan con una función pulmonar reducida. La máxima movilidad y engrosamiento diafragmático se asocian con una mejor tolerancia al ejercicio y calidad de vida.	(45)
Trastornos neuromuscular	Tdi-exp y acortamiento reducidos se observan en pacientes con ELA y se correlacionan con la capacidad vital. La excursión diafragmática puede ayudar a predecir la iniciación de la ventilación no invasiva en estos trastornos.	((45)
Pacientes críticamente enfermos con insuficiencia respiratoria en ventilación mecánica	La excursión diafragmática (DE) inferior a 1.0 cm y una fracción de acortamiento (TF) por debajo de 20-29% indican disfunción diafragmática (DD), asociada con una alta tasa de mortalidad y mayor tiempo de estancia en la UCI. Durante la ventilación mecánica, la atrofia del diafragma (Tdi-exp) disminuye, lo que se asocia con un mayor tiempo de ventilación y mayor riesgo de complicaciones. DE inferior a 1.0-1.4 cm y TF por debajo de 20-30% predicen el fracaso del destete de la ventilación mecánica.	(46)

Conclusiones

La ecografía pulmonar es una herramienta útil en la evaluación de las patologías más frecuentes de la estructura pleuropulmonar. Su entrenamiento es sencillo y su rendimiento diagnóstico es adecuado en un amplio número de patologías. El uso de esta herramienta le permite al clínico optimizar sus herramientas diagnósticas, mejorar los tiempos de diagnóstico y, por lo anterior, proponer tratamientos más acertados, seguimientos oportunos y permite la realización de procedimientos de manera segura. Es perentoria la inclusión de la ecografía a la cabecera del paciente en la formación de todo el personal que tenga a su cuidado patología respiratoria.

Referencias

- Breitkopf R, Treml B, Rajsic S. Lung sonography in critical care medicine. *Diagnostics*. 2022;12:1405.
- Alzahrani SA, Al-Salamah MA, Al-Madani WH, Elbarbary MA. Systematic review and meta-analysis for the use of ultrasound versus radiology in diagnosing of pneumonia. *Crit Ultrasound J*. 2017;9:6.
- Rocca E, Zanza C, Longhitano Y, Piccoletta F, Romenskaya T, Racca F, et al. Lung ultrasound in critical care and emergency medicine: Clinical review. *Adv Respir Med*. 2023;91:203–23.
- Marini TJ, Rubens DJ, Zhao YT, Weis J, O’connor TP, Novak WH, et al. Lung ultrasound: The essentials. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2021;3(2).
- Fulton RM. POCUS: Basic ultrasound physics. *Point-of-Care Ultrasound Techniques for the Small Animal Practitioner*. Wiley. 2021:11–4.
- Gargani L, Volpicelli G. How I do it: Lung ultrasound. *Cardiovasc Ultrasound*. 2014;12(1).
- Turner JP, Dankoff J. Thoracic ultrasound. *Emerg Med Clin North Am*. 2012;30:451–73.
- Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure the BLUE protocol. *Chest*. 2008;134(1).
- Mojoli F, Bouhemad B, Mongodi S, Lichtenstein D. Lung ultrasound for critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;199:701–14.
- Hassan M, Mercer RM, Rahman NM. Thoracic ultrasound in the modern management of pleural disease. *European Respiratory Review*. 2020;29(156).
- Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ.

- Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiology*. 2004;100(1).
- Hallifax RJ, Talwar A, Wrightson JM, Edey A, Gleeson FV. State-of-the-art: Radiological investigation of pleural disease. *Respir Med*. 2017;124:88–99.
- Balik M, Plasil P, Waldauf P, Pazout J, Fric M, Otahal M, et al. Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med*. 2006;32(2).
- Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, François B, Normand S, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med*. 2005;33(8).
- Goecke W, Schwerk WB. Die Real-Time Sonographie in der Diagnostik von Pleuraergüssen. *Ultraschall-diagnostik '89*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1990, p. 385–7.
- Hassan M, Rizk R, Essam H, Abouelnour A. Validation of equations for pleural effusion volume estimation by ultrasonography. *J Ultrasound*. 2017;20(4).
- Carvajal Revuelta E, García Álvarez R. Métodos de estimación de derrame pleural por ecografía. *Rev Esp Anestesiol Reanim*. 2020;67(9).
- Duggal S. A Prospective Comparison of Supine Chest X-ray and Bedside Ultrasound for Diagnosis of Traumatic Pneumothorax. *Academic Emergency Medicine*. 2004;11(5).
- Boccatonda A, Cocco G, D’Ardes D, Delli Pizzi A, Vidili G, De Molo C, et al. Infectious pneumonia and lung ultrasound: A review. *J Clin Med*. 2023;12:1402.
- Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact: An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997;156(5).
- Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for the International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS), International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2012;38:577–91.
- Sharshar T, Porcher R, Siami S, Rohaut B, Bailly-Salin J, Hopkinson NS, et al. Brainstem responses can predict death and delirium in sedated patients in intensive care unit. *Crit Care Med*. 2011;39(8).
- Uryasev OM, Glotov SI, Ponomareva IB, Almazova EY, Zhukova LA, Alekseeva EA. Dysfunction of the diaphragm. *Medical News of North Caucasus*. 2022;17(3).
- Dres M, Dube BP, Mayaux J, Delemazure J, Reuter D, Brochard L, et al. Coexistence and impact of limb muscle and diaphragm weakness at time of liberation from mechanical ventilation in medical intensive care unit patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;195(1).
- Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic assessment of diaphragm function in critically ill subjects. *Respir Care*. 2016;61(4).

26. **Kantarci F, Mihmanli I, Demirel MK, Harmanci K, Akman C, Aydogan F, et al.** Normal Diaphragmatic Motion and the Effects of Body Composition: Determination with M-Mode Sonography. *Journal of Ultrasound in Medicine.* 2004;23(2).
27. **Guastella V, Mick G, Soriano C, Vallet L, Escande G, Dubray C, et al.** A prospective study of neuropathic pain induced by thoracotomy: Incidence, clinical description, and diagnosis. *Pain.* 2011;152(1).
28. **Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al.** Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive Care Med.* 2013;39:801–10.
29. **Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS, Strommen JA, Watson JC, Sorenson EJ.** Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: Quantitative values in normal subjects. *Muscle Nerve.* 2013;47(6).
30. **Boussuges A, Gole Y, Blanc P.** Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest.* 2009;135(2).
31. **Gerscovich EO, Cronan M, McGahan JR, Jain K, Jones CD, McDonald C.** Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic motion. *Journal of Ultrasound in Medicine.* 2001;20(6).
32. **Testa A, Soldati G, Giannuzzi R, Berardi S, Portale G, Gentiloni Silveri N.** Ultrasound M-Mode assessment of diaphragmatic kinetics by anterior transverse scanning in healthy subjects. *Ultrasound Med Biol.* 2011;37(1).
33. **Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, et al.** Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med.* 2015;41(4).
34. **Mercaldi CJ, Lanes SF.** Ultrasound guidance decreases complications and improves the cost of care among patients undergoing thoracentesis and paracentesis. *Chest.* 2013;143(2).
35. **Broggi E, Gargani L, Bignami E, Barbariol F, Marra A, Forfori F, et al.** Thoracic ultrasound for pleural effusion in the intensive care unit: a narrative review from diagnosis to treatment. *Crit Care.* 2017;21.
36. **Shankar S, Gulati M, Kang M, Gupta S, Suri S.** Image-guided percutaneous drainage of thoracic empyema: Can sonography predict the outcome? *Eur Radiol.* 2000;10(3).
37. **Hallifax RJ, Corcoran JP, Ahmed A, Nagendran M, Rostom H, Hassan N, et al.** Physician-based ultrasound-guided biopsy for diagnosing pleural disease. *Chest.* 2014;146(4).
38. **Lyżniak P, Świątoń D, Serafin Z, Szurowska E.** Lung ultrasound in a nutshell. Lines, signs, some applications, and misconceptions from a radiologist's point of view. *Pol J Radiol.* 2023;88:e294–310.
39. **Lichtenstein D.** FALLS-protocol: lung ultrasound in hemodynamic assessment of shock. *Heart Lung Vessel.* 2013;5(3).
40. **Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mezière G.** The “lung pulse”: An early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med.* 2003;29(12).
41. **De Bruin PF, Ueki J, Watson A, Pride NB.** Size and strength of the respiratory and quadriceps muscles in patients with chronic asthma. *European Respiratory Journal.* 1997;10(1).
42. **Summerhill EM, El-Sameed YA, Glidden TJ, McCool FD.** Monitoring recovery from diaphragm paralysis with ultrasound. *Chest.* 2008;133(3).
43. **Boussuges A, Brégeon F, Blanc P, Gil JM, Poirrette L.** Characteristics of the paralysed diaphragm studied by M-mode ultrasonography. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2019;39(2).
44. **Marchioni A, Castaniere I, Tonelli R, Fantini R, Fontana M, Tabbi L, et al.** Ultrasound-assessed diaphragmatic impairment is a predictor of outcomes in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease undergoing noninvasive ventilation. *Crit Care.* 2018;22(1).
45. **Santana PV, Cardenas LZ, De Albuquerque ALP, De Carvalho CRR, Caruso P.** Diaphragmatic ultrasound findings correlate with dyspnea, exercise tolerance, health-related quality of life and lung function in patients with fibrotic interstitial lung disease. *BMC Pulm Med.* 2019;19(1).
46. **Santana PV, Cardenas LZ, de Albuquerque ALP, de Carvalho CRR, Caruso P.** Diaphragmatic ultrasound: A review of its methodological aspects and clinical uses. *Jornal Brasileiro de Pneumologia.* 2020;46(6).

