



TESIS DE DOCTORADO

**VALIDEZ DIAGNÓSTICA  
Y PRONÓSTICA DE LA ECOGRAFÍA  
TORÁCICA EN NEUMOLOGÍA.  
(ESTUDIO ECONEUMO)**

Cristina Ramos Hernández

**ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN EPIDEMIOLOGÍA Y SALUD PÚBLICA**

SANTIAGO DE COMPOSTELA

2021







TESIS DE DOCTORADO

**VALIDEZ DIAGNÓSTICA  
Y PRONÓSTICA DE LA ECOGRAFÍA  
TORÁCICA EN NEUMOLOGÍA.  
(ESTUDIO ECONEUMO)**

Cristina Ramos Hernández

ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN EPIDEMIOLOGÍA Y SALUD PÚBLICA

SANTIAGO DE COMPOSTELA

2021







## DECLARACIÓN DEL AUTOR DE LA TESIS

**Validez diagnóstica y pronóstica de la ecografía torácica en Neumología. (Estudio EcoNeumo)**

**Dña. Cristina Ramos Hernández**

Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al Reglamento, y declaro que:

La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.

- 1) En su caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.
- 2) La tesis es la versión definitiva presentada para su defensa y coincide con la versión enviada en formato electrónico.
- 3) Confirmo que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.

En Santiago de Compostela, ..... de.....de 2021

Fdo: Cristina Ramos Hernández







## AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS

Dña. **Maribel Botana Rial**

En condición de: **Directora**

Título de la tesis: **Validez diagnóstica y pronóstica de la ecografía torácica en Neumología. (Estudio EcoNeumo)**

### INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por Dña **Cristina Ramos Hernández**, bajo mi dirección y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurriré en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

Además, la presente tesis es idónea para ser presentada de acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, por la modalidad de compendio de ARTÍCULOS, en los que la doctoranda participó en el peso de la investigación, siendo su contribución decisiva para llevar a cabo este trabajo. Del mismo modo, esta tesis esté en conocimiento de los coautores, tanto doctores como no doctores, participantes en los artículos, y ninguno de los trabajos reunidos en esta tesis serán presentados por ninguno de ellos en otra tesis doctoral, lo que informamos bajo nuestra responsabilidad.

En Santiago de Compostela, ..... de ..... de 2021







## AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS

D./Dña. **Alberto Fernández Villar**

En condición de: **Director**

Título de la tesis: **Validez diagnóstica y pronóstica de la ecografía torácica en Neumología. (Estudio EcoNeumo)**

### INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por Dña **Cristina Ramos Hernández**, bajo mi dirección y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurrir en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

Además, la presente tesis es idónea para ser presentada de acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, por la modalidad de compendio de ARTÍCULOS, en los que la doctoranda participó en el peso de la investigación, siendo su contribución decisiva para llevar a cabo este trabajo. Del mismo modo, esta tesis esté en conocimiento de los coautores, tanto doctores como no doctores, participantes en los artículos, y ninguno de los trabajos reunidos en esta tesis serán presentados por ninguno de ellos en otra tesis doctoral, lo que informamos bajo nuestra responsabilidad.

En Santiago de Compostela, ..... de ..... de 2021







## AUTORIZACIÓN DEL TUTOR DE LA TESIS

D. **Alberto Ruano Raviña**

En condición de: **Tutor/a**

Título de la tesis: **Validez diagnóstica y pronóstica de la ecografía torácica en Neumología. (Estudio EcoNeumo)**

### INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por Dña **Cristina Ramos Hernández**, bajo mi tutorización y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurre en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

Además, la presente tesis es idónea para ser presentada de acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, por la modalidad de compendio de ARTÍCULOS, en los que la doctoranda participó en el peso de la investigación, siendo su contribución decisiva para llevar a cabo este trabajo. Del mismo modo, esta tesis esté en conocimiento de los coautores, tanto doctores como no doctores, participantes en los artículos, y ninguno de los trabajos reunidos en esta tesis serán presentados por ninguno de ellos en otra tesis doctoral, lo que informamos bajo nuestra responsabilidad.

En Santiago de Compostela, ..... de ..... de 2021



*A mis padres*



***“Siempre hay que saber más  
de lo que se necesita, para  
modificar lo que se sabe”  
Wanda. N***





## **Agradecimientos:**

A Maribel Botana, mi directora de tesis, mi ejemplo en la Neumología, pero sobre todo mi amiga. Por sus consejos, por su tiempo, por su permanente disponibilidad con una constante sonrisa, por las tardes de boli rojo que han permitido que esta tesis pudiera concluir con éxito.

A Alberto Fernández Villar, mi jefe y codirector de tesis, por la confianza que ha depositado en mí al apostar por la ecografía, por su estímulo constante para ser mejor neumóloga y por enseñarme que la medicina no sólo consiste en atender y aprender sino también en emprender.

A Alberto Ruano, mi tutor, por su ayuda, por sus consejos y disponibilidad inmediata para cada duda que ha surgido a lo largo de este proyecto.

A todos los compañeros del servicio de Neumología del Hospital Álvaro Cunqueiro de Vigo. Porque hace unos años llegue a este servicio siendo una inquieta estudiante de medicina, pero con vuestro buen hacer me habéis formado como neumóloga, me habéis transmitido el amor por la medicina y habéis pasado a formar parte de mi familia.

A la sala Ágora, por convertirse en el centro de los debates intelectuales, pero también por ser el refugio de la ciencia, del alma y del corazón. Muy especialmente a su fundadora, la Dra Mosteiro, por ser una pieza imprescindible de nuestro elefante y porque desde que la conocí surgió mi inquietud por dudar de todo, por querer saber más y con ella surgió el germen de esta tesis doctoral. Gracias por tu cariño, tu sabiduría y por tus enseñanzas no sólo de Neumología sino también de la vida.

A María Torres, porque siempre ha estado ahí y me ha recordado que para crecer a nivel profesional es también fundamental cuidar lo personal y cada año tenemos una cita ineludible que no deberíamos dejar pasar.

A Marta, porque gracias a ella he aprendido que los delfines nadan mejor juntos y que las almas gemelas existen. Porque hemos crecido juntas a nivel funcional, ecográfico y “bronquiectásico”. Ella es la principal responsable de que esta tesis se haya podido realizar. El resto de

agradecimientos y todo lo que significas para mi te lo paso por el poro....

A Cecilia, por convertirse en mi hermana de trabajo durante la residencia y porque, aunque ahora la tenga un poco más lejos, nuestras vivencias han creado un vínculo inseparable.

A Irene, Almudena, Artur, Luis y al resto de residentes, por transmitir esa inquietud sobre el aprendizaje, por vuestro esfuerzo constante y compañerismo que me ha hecho crecer y esforzarme por ser mejor.

A Pedro, Nico, Miguel y Noa: muchas gracias por haberme permitido haberle robado tanto tiempo a vuestras madres, sin ellas esta tesis no habría sido posible, prometo devolvéroslo con tardes de juego.

A mis amigos: Rut, Pablo, Iria, Sabela, Yoana y Nely por formar parte de mi familia gallega, por vuestros consejos y apoyo.

A Tamara, por seguir ejerciendo de residente mayor, aunque pasen los años.

A Ana y Michel por estar siempre ahí a pesar de la distancia y muy especialmente a Rubén por ser mi compañero de aventuras y por demostrar que cruzar el país no es nada si un abrazo está en juego.

A mis padres, por enseñarme el valor de la constancia, por haber tirado de mi cuando pensaba en tirar la toalla, por haber construido un hogar lleno de alegría en el que crecer, con unos pilares sólidos que nos hacen cada día mas fuertes

A mi hermano por haberse convertido en el mejor compañero de vida desde hace 30 años, por enseñarme que todo tiene una importancia relativa y que la superación mejora con la edad.

A Luisa, Pepe, Maite y Tati por vuestro apoyo incondicional.

A David, mi pareja, la persona que me ha dado el mayor apoyo para seguir adelante en los momentos duros y con el que he podido celebrar cada uno de los logros. Por apoyarme, e ilusionarse conmigo en cada uno de mis proyectos. Por ser mi modelo, no solo en los cursos de eco, sino también en la forma de enfrentarse a la vida. Porque sólo con él podré hacer algún día la ecografía más bonita de la historia.

Y por último a todos los pacientes que han participado en la realización de esta tesis doctoral, que ha sido diseñada pensando fundamentalmente en ellos.



## PRESENTACIÓN

La ecografía torácica (ET) es una técnica de imagen que ofrece claras ventajas sobre el resto de las técnicas radiológicas como la ausencia de radiaciones ionizantes, la posibilidad de realizar la exploración en la cabecera del paciente, su valoración en tiempo real y la accesibilidad de los equipos. En situaciones de urgencia o servicios de críticos la ET ha demostrado ser una herramienta útil en el diagnóstico y manejo de múltiples enfermedades respiratorias, permitiendo una rápida valoración del parénquima pulmonar periférico, pleura, pared torácica y diafragma. Sin embargo, la utilidad y validez para el diagnóstico y pronóstico de las principales enfermedades respiratorias que ingresan en plantas convencionales de Neumología ha sido poco analizado, motivo por lo que no existen algoritmos consensuados para su utilización sistemática.

En Neumología el mayor desarrollo de la ET se ha centrado en servir como guía para los procedimientos intervencionistas diagnósticos y terapéuticos relacionados con el derrame pleural o patologías de la pared torácica. Los estudios en otros procesos como el neumotórax son también limitados. En ambos escenarios (evaluación de patologías habitualmente ingresadas en plantas de Neumología y el estudio del neumotórax) los clínicos suelen recurrir a la solicitud de otros procedimientos a cargo de los servicios de radiología o técnicas de imagen más precisas (por ejemplo, tomografías computarizadas torácicas) lo que hace necesario el traslado del paciente, implican una mayor demora o la exposición a radiaciones ionizantes. Por otra parte, el incluir a otros profesionales implica un incremento de costes y una sobrecarga en esas unidades. Además, en determinados procesos, implican un riesgo añadido de diseminación infecciosa, como se ha puesto de manifiesto en la situación actual de pandemia por el SARS-CoV-2.

Estudios que permitan evaluar la validez y seguridad diagnóstica o pronóstica de la ET en estas situaciones podría contribuir a un manejo más eficiente y seguro en los diferentes escenarios clínicos comentados. Hasta la fecha no se han publicado estudios que analicen la utilidad de la ET, realizada a pie de cama por un neumólogo en la valoración de las diferentes patologías que ingresan en una planta de Neumología, ni su rentabilidad diagnóstica más allá del derrame pleural en las áreas de

intervencionismo. Se desconoce si en estos escenarios la realización de una ET podría identificar patologías no sospechadas, complicaciones o incluso predecir la evolución de los procesos, lo que permitiría optimizar el tratamiento, realizar una mejor estratificación pronóstica y la toma de decisiones sobre la intensidad de cuidados necesarios, incrementando la eficiencia y seguridad de la atención prestada.

Esta tesis doctoral consta de los siguientes objetivos:

- Evaluar la utilidad de la ET, en las decisiones diagnósticas, terapéuticas y pronósticas en distintos ámbitos asistenciales de la Neumología.
- Determinar la validez de la ET, realizada por neumólogos sin experiencia en este procedimiento, para descartar neumotórax tras técnicas broncopleurales invasivas.
- Desarrollar un protocolo diagnóstico basado en los signos ecográficos para identificar neumotórax tras procedimientos broncopleurales invasivos.
- Analizar el valor pronóstico de la ET para identificar la necesidad de soporte respiratorio no invasivo o ingreso en una unidad de cuidados intensivos en pacientes hospitalizados por neumonía grave COVID-19.
- Determinar el valor pronóstico de la ET para predecir mortalidad en pacientes hospitalizados por neumonía grave COVID-19.
- Determinar la exactitud diagnóstica de la ET en las diferentes patologías respiratorias en pacientes hospitalizados en una planta convencional de Neumología.
- Evaluar si el uso de la ET puede detectar de forma precoz complicaciones durante el ingreso.

Este trabajo ha sido estructurado en 7 capítulos. En la introducción se repasan conceptos básicos de ecografía y la evidencia disponible respecto la utilidad de la ET en la valoración de diferentes patologías neurológicas. En el segundo se presenta la justificación y los objetivos (principal y específicos) que se han tratado de alcanzar en esta investigación. El tercer capítulo recoge las características de los pacientes incluidos en los estudios, así como los métodos usados para el desarrollo

de este trabajo. El cuarto capítulo corresponde a los resultados de la presente tesis doctoral, presentada en formato de compendio de publicaciones, e incluye tres artículos ya publicados.

Estos tres artículos presentan un diseño prospectivo de cohortes, de base hospitalaria en un sólo centro (Hospital Álvaro Cunqueiro de Vigo). El primero de ellos se ha desarrollado en el área de procedimientos broncopleurales y muestra los resultados de la ET, realizada a pie de cama por un neumólogo que inicia su curva de aprendizaje con esta herramienta, para descartar neumotórax iatrogénico tras la realización de procedimientos invasivos. El segundo trabajo, realizado en planta de aislamiento por infección SARS-CoV-2, muestra la capacidad de estratificación de riesgo mediante el uso de escalas para cuantificar la afectación pulmonar mediante ET en los pacientes hospitalizados con COVID-19. El tercer trabajo muestra el valor diagnóstico y la capacidad de detectar complicaciones, al incluir la ET reglada en los algoritmos de manejo tradicionales de una planta de hospitalización convencional de Neumología.

El penúltimo capítulo es una discusión, en la que se reflexiona sobre el método y los resultados obtenidos en esta tesis doctoral y, en el último, se recogen las conclusiones de este trabajo.

Nota: Esta es una tesis por artículos, en la que se presentan tres estudios publicados en revistas internacionales. El primer artículo ha sido publicado en *Revista Clínica Española*, revista de tercer cuartil, con un factor de impacto de 1,304 y que ocupa la posición 100/165 en la categoría de medicina general. El segundo artículo ha sido publicado en *Archivos de Bronconeumología*, revista de primer cuartil, con un factor de impacto de 4,957 y que ocupa la posición de 11/64 entre las revistas del sistema respiratorio. El tercer artículo ha sido aceptado para su publicación en *Journal of Ultrasound in Medicine*, revista de segundo cuartil con un factor de impacto de 1,759 y que ocupa una posición 13/32 en la categoría de ultrasonidos.



Respecto a la contribución de la doctoranda en el desarrollo de los artículos publicados incluidos en esta tesis, en el caso del estudio “*Validéz de la ecografía torácica para descartar neumotórax iatrogénico realizada por neumólogos sin experiencia en este procedimiento*”, fue la responsable del diseño del estudio, participo en la recopilación y análisis de datos, en la preparación del manuscrito y en su envío para su publicación. En el artículo “*Predicción de evolución desfavorable en pacientes hospitalizados por COVID-19 mediante ecografía pulmonar*”, la doctoranda participó en la concepción y diseño del estudio, fue la responsable de seleccionar los pacientes, recopilar los datos y realizar las ecografías y participó en el análisis e interpretación de los resultados. Elaboró el borrador del artículo, realizando una revisión crítica de su contenido, siendo también responsable de su envío para publicación. En el estudio “*The Diagnostic Contribution of Systematic Lung Ultrasonography in Patients Admitted to a Conventional Pulmonology Hospitalization Unit*”, la doctoranda participó en el diseño del estudio y fue la responsable de recopilar datos, seleccionar a los pacientes y realizar las ecografías. Participó en el análisis estadístico, así como en la elaboración, corrección y envío del manuscrito.

En todos los artículos incluidos en esta tesis doctoral, se hace referencia a la ausencia de conflicto de intereses por parte de la doctoranda o de cualquier otro coautor de los trabajos mencionados.

La doctoranda ha participado activamente como primera autora en otras dos publicaciones relacionadas con esta línea de investigación bajo el título “*Validity of Lung Ultrasound: Is an Image Worth More Than a Thousand Sounds?*” publicado en *Journal of Clinical Medicine*, revista de primer cuartil con un factor de impacto de 3,30, y “*Resultados de una encuesta nacional sobre la aplicación de la ecografía en los servicios de Neumología*”, que se encuentra bajo revisión en el momento de presentación de esta tesis doctoral. Además, se ha publicado un caso clínico en el que se describe un nuevo signo ecográfico “el pinball intrapleurar” en la revista *Journal of Clinical Images*, que tiene un factor de impacto de 0,96 y tercer cuartil. Estos trabajos se presentan como anexo al final de esta tesis.





## Resumen

La ecografía torácica (ET) en el campo de la Neumología ha estado relegada, hasta hace pocos años, a las Unidades de Intervencionismo especialmente para la valoración de derrames pleurales. Las ventajas que ofrece esta herramienta han hecho que aumenten sus indicaciones en diferentes especialidades médicas. La incorporación de la ET en la planta de hospitalización de Neumología, especialmente en patologías donde la exposición es de altísimo riesgo, como la COVID-19, o aumentar sus indicaciones en las Unidades Intervencionistas contribuiría a mejorar el diagnóstico y pronóstico de los pacientes con un manejo más eficiente.

El objetivo principal de la tesis pretende evaluar la utilidad de la ET en las decisiones diagnósticas, terapéuticas y pronósticas en distintos ámbitos asistenciales de la Neumología.

La metodología de este trabajo de investigación consta de tres estudios, todos ellos publicados en revistas de alto Factor de Impacto y que responden al objetivo principal de la tesis.

Los resultados más relevantes de esta investigación son:

- La ET realizada por neumólogos que inician su formación en este procedimiento, es útil para descartar neumotórax iatrogénico tras la realización de técnicas broncopleurales invasivas, descartando neumotórax con un valor predictivo negativo del 98,6%.
- El uso de escalas para cuantificar la afectación pulmonar mediante ET proporciona información útil para facilitar la estratificación del riesgo en los pacientes hospitalizados con neumonía secundaria a COVID-19. De este modo una puntuación ecográfica mayor de 13,5 en el día  $4 \pm 1$  desde el ingreso predice una posible evolución desfavorable con una sensibilidad del 100%, especificidad del 61,5% y un área bajo la curva de 0,88 (IC 95%: 0,75-0,99).
- La inclusión de la ET en los algoritmos de manejo en una planta de hospitalización de neumología, aporta información en el 65% de los pacientes y supone un cambio de tratamiento, que puede llegar hasta el 17,2% de los casos.

## Resumo

A ecografía torácica (ET) no campo da Pneumoloxía quedou relegada, ata hai uns anos, ás Unidades de Intervención, especialmente para a avaliación dos derrames pleurais. As vantaxes que ofrece esta ferramenta aumentaron as súas indicacións en diferentes especialidades médicas. A incorporación de ET no servizo de hospitalización de pneumoloxía, especialmente en patoloxías onde a exposición ten un risco moi alto como a COVID-19, ou o aumento das súas indicacións en unidades intervencionistas contribuiría a mellorar o diagnóstico e o pronóstico de pacientes cun manexo máis eficiente .

O obxectivo principal da tese é avaliar a utilidade da ET en decisións diagnósticas, terapéuticas e de pronóstico en diferentes áreas da atención pneumolóxica.

A metodoloxía deste traballo de investigación consta de tres estudos, todos eles publicados en revistas de alto Factor de Impacto e que responden ao obxectivo principal da tese.

Os resultados máis relevantes desta investigación son:

- A ET realizada por pneumólogos que comezan o seu adestramento neste procedemento é útil para descartar o pneumotórax iatróxeno despois de realizar técnicas broncopleurais invasivas, descartando o pneumotórax cun valor predictivo negativo do 98,6%.

- O uso de escalas para cuantificar a afectación pulmonar por ET proporciona información útil para facilitar a estratificación do risco en pacientes hospitalizados con pneumonía secundaria a COVID-19. Así, unha puntuación por ultrasóns superior a 13,5 o día  $4 \pm 1$  desde a admisión predice unha posible evolución desfavorable cunha sensibilidade do 100%, unha especificidade do 61,5% e unha área baixo a curva do 0,88 (IC do 95%: 0,75-0,99 ).

- A inclusión de ET nos algoritmos de xestión nun hospital de pneumoloxía proporciona información no 65% dos pacientes e implica un cambio no tratamento que pode chegar ata o 17,2%.

## Summary

Lung ultrasound (LUS) in the field of Pulmonology has been relegated, until a few years ago, to Interventional Units, especially for the evaluation of pleural effusions. The advantages offered by this tool have increased its indications in different medical specialties. The incorporation of LUS in the Pneumology hospital ward, especially in pathologies where exposure is of the highest risk such as COVID-19, or increasing its indications in Interventional Units would contribute to improving the diagnosis and prognosis of patients with more efficient handling.

The main objective of the thesis aims to evaluate the usefulness of LUS in diagnostic, therapeutic and prognostic decisions in different care areas of Pulmonology.

The methodology of this research work consists of three studies, all of them published in high Impact Factor journals and that respond to the main objective of the thesis.

The most relevant results of this research are:

- LUS performed by pulmonologists who are beginning their training in this procedure, is useful to rule out iatrogenic pneumothorax after performing invasive bronchopleural techniques, ruling out pneumothorax with a negative predictive value of 98.6%.

- The use of scales to quantify lung involvement through LUS provides useful information to facilitate risk stratification in hospitalized patients with pneumonia secondary to COVID-19. Thus, an ultrasound score greater than  $13.5$  on day  $4 \pm 1$  from admission predicts a possible unfavorable evolution with a sensitivity of 100%, specificity of 61.5% and an area under the curve of 0.88 (95% CI: 0.75-0.99).

- The inclusion of LUS in the management algorithms in a pulmonology hospital ward provides information in 65% of patients and implies a change in treatment that can reach up to 17.2%.



## **Glosario de abreviaturas**

**A:** Amplitud

**AUC:** Área bajo la curva

**BIPAP:** Presión positiva binivel en la vía aérea

**BP:** Biopsia pleural

**BTB:** Biopsia transbronquial

**BTP:** Biopsia pleural transparietal

**C:** Celsius

**CPAP:** Presión positiva continua en la vía aérea.

**dB:** Decibelio

**DR:** Rango dinámico

**Ej:** Ejemplo

**EPI:** Enfermedad pulmonar intersticial

**EPOC:** Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

**F:** Frecuencia

**FPR:** Frecuencia de repetición de pulsos

**ECM:** Esternocleidomastoideo

**Gz:** Gigahercio

**Hz:** Hercio

**IC:** Insuficiencia cardiaca

**IM:** Índice mecánico

**IT:** Índice térmico

**LDH:** Lactato deshidrogenasa

**MHz:** Megahercio

**PCR:** Proteína C reactiva

**PEEP:** Presión positiva al final de la espiración

**PET-TC:** Tomografía por emisión de positrones

**SEPAR:** Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica

**SRNI:** Soporte respiratorio no invasivo

**SWE:** Shear wave elastography

**TC:** Tomografía axial Computarizada

**TE:** Toracocentesis evacuadora

**TEP:** Tromboembolismo pulmonar

**THI:** Tissue harmonic imaging

**TVP:** Trombosis venosa profunda

**US:** Ultrasonido



**VD:** Ventrículo derecho  
**VI:** Ventrículo Izquierdo  
**VPN:** Valor predictivo negativo  
**VPP:** Valor predictivo positivo  
**Z:** Impedancia  
 **$\lambda$ :** Longitud de onda.  
 **$\Delta F$ :** Variación de frecuencias





## Índice de las publicaciones incluidas en esta tesis:

Todas las publicaciones incluidas en esta tesis reflejan que forman parte de ella.

1. **Ramos-Hernández C**, Núñez-Delgado M, Botana-Rial M, Mouronte-Roibás C, Leiro-Fernández V, Vilariño-Pombo C, Tubío-Pérez R, Núñez-Fernández M, Fernández-Villar A. Validez de la ecografía torácica para descartar neumotórax iatrogénico realizada por neumólogos sin experiencia en este procedimiento. *Rev Clin Esp.* 2020;S0014-2565(20)30152-1.  
Factor de Impacto: 1,304 (Q3)  
<https://www.revclinesp.es/es-validez-ecografia-toracica-descartar-neumotorax-avance-S0014256520301521>
2. **Ramos-Hernández C**, Botana-Rial M, Pazos-Area L, Núñez-Fernández M, Pérez-Fernández S, Rubianes-González M, Crespo-Casal M, Fernández-Villar A. Predicción de evolución desfavorable en pacientes hospitalizados por COVID-19 mediante ecografía pulmonar. *Arch Bronconeumol.* 2021;57:47–54.  
Factor de Impacto: 4,957 (Q1)  
<https://www.archbronconeumol.org/en-linkresolver-prediccion-evolucion-desfavorable-pacientes-hospitalizados-S0300289620302994>
3. **Ramos-Hernández C**, Botana-Rial M, Mouronte -Roibas C, Núñez-Fernández M, González-Montaos A, Caldera-Díaz A, Ruano-Raviña A, Fernández-Villar A. The diagnostic contribution of systematic lung ultrasonography in patients admitted to a conventional pulmonology hospitalisation unit. *J Ultrasound Med.* 2021;9999:1–10  
Factor de Impacto: 1,759 (Q2)  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jum.15731>

#### **Anexo IV**

**Ramos-Hernández C**, Pérez-Fernández S, López-Dominguez A, Botana-Rial M, Fernández-Villar A. Signo del “pinball” intrapleural en un paciente CO-VID-19. *J Clin Images*. 2021;4(1):1081.

Factor de Impacto: 0,96 (Q3)

<https://meddocsonline.org/journal-of-clinical-images/intrapleural-pin-ball-sign-in-a-COVID-19-patient.pdf>

#### **Anexo V:**

**Ramos-Hernández C**, Botana-Rial M, Núñez-Fernández M, Lojo-Rodríguez I, Mouronte-Roibas C, Salgado-Barreira A, Ruano-Raviña A, Fernández-Villar A. Validity of Lung Ultrasound: Is an Image Worth More Than a Thousand Sounds. *J. Clin. Med*. 2021;10:2292.

Factor de Impacto: 3,30 (Q1)

<https://doi.org/10.3390/jcm10112292>

#### **Anexo VI:**

**Ramos-Hernández C**, Botana-Rial M, Cordovilla-Pérez R, Núñez-Delgado M, Fernández-Villar A. Results from a Spanish national survey on the application of ultrasound in pulmonology services. *En fase de evaluación en revista indexada*





## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

<b>1.1 HISTORIA DEL ULTRASONIDO .....</b>	<b>45</b>
<b>1.2 CONCEPTOS BÁSICOS EN ECOGRAFÍA</b>	
<b>1.2.1 Onda sonora y sus parámetros .....</b>	<b>51</b>
<b>1.2.2 Generación y recepción del ultrasonido .....</b>	<b>53</b>
<b>1.2.3 Propagación e interacción con los tejidos.....</b>	<b>53</b>
<b>1.2.4 Transductores y sondas.....</b>	<b>56</b>
<b>1.2.5 Comandos del equipo .....</b>	<b>60</b>
<b>1.2.6 Modo de presentación de las señales recibidas .....</b>	<b>62</b>
<b>1.3 ECOGRAFÍA DE TÓRAX</b>	
<b>1.3.1 Semiología de la ecografía pulmonar .....</b>	<b>63</b>
<b>1.3.2 Ecografía en un tórax normal.....</b>	<b>73</b>
<b>1.3.3 Estudio de la patología pleural</b>	
1.3.3.1 Derrame pleural .....	79
1.3.3.2 Engrosamiento pleural.....	82
1.3.3.3 Neumotórax .....	83
<b>1.3.4 Estudio del parénquima pulmonar</b>	
1.3.4.1 Neumonía bacteriana .....	90
1.3.4.2 Neumonía vírica .....	93
1.3.4.3 Neoplasias .....	98
1.3.4.4 Síndrome intersticial difuso	
1.3.4.4.1 <i>Edema pulmonar cardiogénico</i> .....	101
1.3.4.4.2 <i>Edema pulmonar no cardiogénico</i> .....	104
1.3.4.4.3 <i>Enfermedad pulmonar intersticial</i> .....	105
<b>1.3.5 Estudio de la patología vascular:</b>	
<b>Tromboembolismo Pulmonar.....</b>	<b>107</b>
<b>1.4 ÁMBITOS DE DESARROLLO DE LA ECOGRAFÍA TORÁCICA</b>	
<b>1.4.1 Urgencias y Cuidados Críticos .....</b>	<b>110</b>
<b>1.4.2 Neumología.....</b>	<b>111</b>
1.4.2.1 Formación en ET para Neumología .....	115



<b><u>CAPÍTULO 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</u></b>	
<b>2.1 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>119</b>
<b>2.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>123</b>
<b><u>CAPÍTULO 3. SUJETOS Y MÉTODO</u></b>	
<b>3.1 DISEÑO, CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN .....</b>	<b>127</b>
<b>3.2 RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN</b>	
<b>3.2.1. Variables ecográficas.....</b>	<b>128</b>
<b>3.2.2. Variables clínicas y radiológicas .....</b>	<b>130</b>
<b>3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	<b>118</b>
<b><u>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</u></b>	
<b>4.1 VALIDEZ DE LA ECOGRAFÍA TORÁCICA PARA DESCARTAR NEUMOTÓRAX IATROGÉNICO REALIZADA POR NEUMÓLOGOS SIN EXPERIENCIA EN ESTE PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>139</b>
<b>4.2 PREDICCIÓN DE EVOLUCIÓN DESFAVORABLE EN PACIENTES HOSPITALIZADOS POR COVID-19 MEDIANTE ECOGRAFÍA PULMONAR.....</b>	<b>149</b>
<b>4.3 APORTACIÓN DIAGNÓSTICA DE LA ECOGRAFÍA TORÁCICA SISTEMÁTICA EN PACIENTES QUE INGRESAN EN UNA UNIDAD DE HOSPITALIZACIÓN CONVENCIONAL DE NEUMOLOGÍA .....</b>	<b>161</b>
<b><u>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN</u></b>	
<b>5.1 DISCUSIÓN DE LA HIPÓTESIS.....</b>	<b>175</b>
<b>5.2 DISCUSIÓN DEL MÉTODO.....</b>	<b>176</b>
<b>5.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>179</b>
<b>5.4 FORTALEZAS DEL PROYECTO.....</b>	<b>186</b>
<b>5.5 LIMITACIONES.....</b>	<b>187</b>
<b>5.6 IMPLICACIONES DEL PROYECTO Y ESTUDIOS FUTUROS .....</b>	<b>187</b>
<b><u>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES</u></b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>CONFLICTO DE INTERESES</b>	
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO I: Dictamen del Comité de Ética de la Investigación</b>	
<b>ANEXO II: Consentimiento informado</b>	
<b>ANEXO III: Hoja de información al paciente.</b>	
<b>ANEXO IV: Signo del “pinball” intrapleurar en un paciente COVID-19.</b>	

**ANEXO V:** Validez de la ecografía ¿Una imagen vale más que mil palabras?

**ANEXO VI:** Resultados de una encuesta nacional sobre la aplicación de la ecografía en los servicios de Neumología.

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación gráfica de la onda sonora y sus Parámetros.....	38
<b>Figura 2.</b> Amplitud de la onda reflejada, diferencia de impedancia y brillo.....	42
<b>Figura 3.</b> Representación gráfica de la resolución axial y lateral.....	44
<b>Figura 4.</b> Transductores.....	45
<b>Figura 5.</b> Ecografía torácica de un trasudado pleural anecoico.....	49
<b>Figura 6.</b> Representación gráfica de la ecogenicidad.....	51
<b>Figura 7.</b> Representación gráfica de la heterogeneidad y homogeneidad.....	52
<b>Figura 8.</b> Artefactos de sombra acústica y refuerzo posterior.....	53
<b>Figura 9.</b> Artefacto de ausencia de apoyo.....	54
<b>Figura 10.</b> Artefacto en espejo.....	55
<b>Figura 11.</b> Artefactos de reverberación(Líneas A).....	56
<b>Figura 12.</b> Colas de cometa y líneas B.....	58
<b>Figura 13.</b> Estructuras de la pared torácica.....	60
<b>Figura 14.</b> Exploración en perpendicular y trasnversal.....	62
<b>Figura 15.</b> Paquete vasculo-nervioso.....	63
<b>Figura 16.</b> Espacio de Keye y espacio de Merlín.....	65
<b>Figura 17.</b> Signo del Color fluid.....	67
<b>Figura 18.</b> Características ecográficas de los derrames pleurales.....	68
<b>Figura 19.</b> Formula de Hassan para estimar el volumen del derrame pleural.....	69
<b>Figura 20.</b> Pulso pulmonar en modo.....	72
<b>Figura 21.</b> Líneas E.....	73
<b>Figura 22.</b> Punto pulmonar.....	74
<b>Figura 23.</b> Ecografía de neumonía bacteriana.....	79
<b>Figura 24.</b> Visualización de consolidaciones en función de su contacto con la pared torácica.....	80
<b>Figura 25.</b> Sistema de puntuación para valoración de la extensión de la neumonía por SARS-CoV-2.....	81
<b>Figura 26:</b> Protocolo de exploración de 14 áreas <sup>1</sup> para valoración de la neumonía COVID-19 mediante ET.....	85
<b>Figura 27.</b> Neoplasia.....	87

<b>Figura 28.</b> Protocolos de exploración validados para la exploración de pacientes con edema cardiogénico .....	90
<b>Figura 29.</b> Protocolos de exploración validados para la exploración de pacientes con enfermedad intersticial.....	93
<b>Figura 30:</b> Tromboembolismo pulmonar.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Valores de densidad y velocidad de propagación del sonido en los distintos tejidos.....	40
<b>Tabla 2.</b> Principales diferencias entre líneas B y colas de cometa.....	59



# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN







## 1.1 HISTORIA DEL ULTRASONIDO

A pesar de que la ultrasonografía ha mostrado una creciente expansión en los últimos años, sus orígenes se remontan al siglo VI a.C con Pitágoras, que introdujo ecuaciones matemáticas para describir la frecuencia de diferentes instrumentos de cuerda<sup>1</sup>. Mas adelante en el 1500, a Galileo se le atribuye avances en el estudio de la acústica al correlacionar el tono y la frecuencia del sonido<sup>2</sup>. Pero los primeros experimentos que apuntaron hacia la existencia de un sonido no audible fueron los realizados por Lazzaro Spallanzani en el siglo XVII<sup>3</sup>. Spallanzani (1729-1799) fue un fisiólogo italiano que trató de explicar la capacidad de orientación y vuelo de los murciélagos en la oscuridad. Describió como los búhos no podían volar dentro de una habitación en ausencia de una fuente de luz, sin embargo, los murciélagos volaban en oscuridad total logrando incluso esquivar obstáculos. Más adelante descubrió que cuando a los murciélagos les colocaba tubos de latón en el conducto auditivo, perdían la capacidad de orientación. Por lo que Spallanzani concluyó que los murciélagos dependían del sentido del oído para navegar, a pesar de no saber que eran ellos mismos los que emitían un ultrasonido (US) para orientarse<sup>4</sup>. Esta teoría fue muy criticada, porque en la época sólo eran conocidos los sonidos audibles y el vuelo del murciélago era silencioso, pero sus estudios sentaron las bases de la ecolocalización, donde las ubicaciones se determinan a través de ondas sonoras que se reflejan o rebotan en los objetos de un entorno.

No es hasta 1877 cuando los hermanos Pierre y Jacques Curie<sup>5</sup> descubren el efecto piezoeléctrico por el cual, un material genera un potencial eléctrico tras ser sometido a una tensión mecánica. La palabra "*piezo*" deriva del griego y significa "presionar", por lo que la piezoelectricidad se traduciría como "electricidad a presión". El concepto se ha pulido con el tiempo para definir la piezoelectricidad como la polarización eléctrica producida por una tensión mecánica. El descubrimiento de este fenómeno surge en la investigación del conocido experimento que consiste en generar una chispa al golpear ciertos materia-

les. Los hermanos Curie realizaron la medición de las cargas que aparecen en las superficies de algunos cristales como el Cuarzo, el Topacio o el azúcar de caña, al someterse a tensiones mecánicas<sup>5</sup>. Sin embargo, Jacques y Pierre Curie no predijeron que los cristales que presentan el efecto piezoeléctrico directo (campo eléctrico producido tras una deformación mecánica), mostraran también un efecto piezoeléctrico inverso (deformación mecánica producida por una carga eléctrica). Esta propiedad fue deducida por Gabriel Lippmann en 1881, utilizando los principios termodinámicos fundamentales<sup>6</sup>. Ante este hallazgo, los hermanos Curie inmediatamente corroboraron la existencia del “efecto inverso” y continuaron su investigación hasta conseguir demostrar cuantitativamente la reversibilidad completa de las deformaciones electromecánicas de los cristales piezoeléctricos<sup>5</sup>.

La creación de los primeros transductores surgió en la búsqueda del Titanic tras su naufragio. El canadiense Reginald A. Fessenden<sup>7</sup> patentó un dispositivo que permitía una ecolocalización dinámica, creando el primer "hidrófono" en 1914, capaz de detectar un iceberg a 2 millas de distancia mediante la producción de US en el agua. Su trabajo de señalización submarina durante la Primera Guerra Mundial, sirvió para el desarrollo del sistema sonar, que fue tan importante durante la Segunda Guerra Mundial. Estas aplicaciones militares e industriales conducirían al desarrollo del US en el ámbito de la medicina.

El psiquiatra Theodore Dussiky<sup>7</sup> junto a su hermano, el físico Friedrich Dussiky, fueron los primeros en utilizar la ecografía para el diagnóstico médico en 1942, permitiendo visualizar los ventrículos cerebrales en imágenes denominadas ventriculogramas. Esto favoreció el pensar que con un haz de US podría explorarse el interior del cuerpo humano. El siguiente paso en el desarrollo de la ultrasonografía médica vino marcado por George Ludwing y Francis Stuthers, que emplearon el US en modo A para la detección de cálculos biliares. Crearon un dispositivo que actuaba como un osciloscopio pudiendo detectar el eco inicial, su intensidad y su retardo. De este modo, pudieron documentar la presencia de cálculos biliares y la distancia a la que se encontraban, pero no identificar su morfología<sup>2</sup>.

De 1949 a 1951, Joseph Holmes y Douglas Howry fueron pioneros en la creación del equipo de US en modo B. Desde entonces el US ha ido cobrando mayor importancia con la llegada de nuevas aplicaciones en diferentes áreas, como la evaluación cardiaca (1953), obstétrica y ginecología (1958), la valoración de la próstata (1963), el ultrasonido Doppler para estudiar las arterias carótidas (1964) y el Doppler a color para la evaluación del sistema vascular (1983)<sup>8-9</sup>. Durante años, la ecografía fue aumentando su cartera de servicios, demostrando una marcada utilidad en el estudio de órganos sólidos. Sin embargo, el pulmón ha sido tradicionalmente excluido de la exploración mediante US, debido a que el aire no conduce el haz ultrasónico y se asumió que la ecografía no podría ser útil para la valoración de la patología pulmonar, salvo para el estudio de derrames pleurales y masas que estuvieran en contacto con la pared torácica y permitieran una visualización directa de la lesión. Con el tiempo la atención empezó a dirigirse hacia la valoración de signos indirectos, es decir, en dar explicación a los artefactos de reverberación y vibración en resonancia, producidos en la superficie pulmonar debido a la interacción del US con el parénquima pulmonar, fundamentalmente las líneas A y las líneas B. Su identificación y correlación con el grado de aireación pulmonar hizo que empezara a tenerse en cuenta esta disciplina para la exploración del parénquima pulmonar<sup>10</sup>.

Las líneas A son artefactos de reverberación horizontales paralelas a la línea pleural y separadas por intervalos regulares, debidas al cambio de impedancia acústica en la interfase pleura-pulmón<sup>11</sup>.

Los artefactos conocidos como líneas B, se definen como líneas hiperecogénicas verticales que se mueven sincrónicamente con el pulmón, inician en la superficie pleural y no se escinden en profundidad. Se comenzaron a describir en las primeras publicaciones de ecografía torácica (ET) tanto en condiciones normales como patológicas, aunque no se correlacionaron con una alteración en concreto y por tanto no se había hecho ningún uso práctico de este artefacto a nivel pulmonar<sup>10,11</sup>. A día de hoy se sabe que su presencia se relaciona con la pérdida de aireación pulmonar.

El descubrimiento progresivo de otros signos ecográficos como el deslizamiento pleural o las consolidaciones, fueron aumentando progresivamente la cartera de servicios de la ET. Su aplicación empezó a desarrollarse en el ámbito de Cuidados Críticos<sup>12,13</sup> y desde ahí se fue extendiendo a otras especialidades como Cardiología<sup>14</sup> y Neumología<sup>11,15</sup>, siendo en esta última especialidad donde ha presentado un mayor desarrollo en los últimos años.

Hoy en día la ET se ha consolidado como una técnica diagnóstica útil para el estudio de diferentes patologías pulmonares, aportando un valor diagnóstico y pronóstico. El desarrollo de nuevas herramientas de exploración ecográfica, como la elastografía y la creación de dispositivos cada vez con mayor precisión, calidad y portabilidad, han permitido una mayor accesibilidad a la técnica para distintos tipos de especialidades y en multitud de situaciones del ámbito asistencial.

## 1.2 CONCEPTOS BÁSICOS EN ECOGRAFÍA

La ecografía es una técnica que permite emitir US a través de una sonda o transductor y recogerlos tras haber interactuado con la superficie a estudio. El US se propaga por las estructuras corporales a distintas velocidades, esto hace que se transforme en señales eléctricas, que en la pantalla formarán una imagen con una escala de grises.

Un sonido es una onda mecánica de presión que se desplaza de forma lineal por un medio. Los sonidos audibles se mueven en frecuencias entre 20-20.000 Hz. Por encima de esta franja energética se encuentran los US. Las imágenes médicas utilizan rangos de frecuencia situados entre los 3 y los 20 MHz, donde 1 MHz equivale a  $10^5$  Hz, pero estos márgenes pueden variar en función de la evolución tecnológica<sup>16</sup>.

El US es una energía no ionizante, puesto que su onda puede producir excitación eléctrica, pero no es capaz de desplazar electrones de la órbita. A continuación, comentamos las características específicas de la onda de US.

### 1.2.1 Onda Sonora y sus parámetros

La onda ultrasónica es una onda sonora con frecuencias superiores a los sonidos audibles, que se propaga longitudinalmente y se representa gráficamente como un senoide de presión respecto al tiempo<sup>17</sup> (Figura 1).

Los US se propagan a través de un medio elástico y deformable como es el medio acuoso. Cuando un tejido es atravesado por la onda de US, unas moléculas tienden a agruparse (produciendo áreas de compresión) y otras se dispersan (dando lugar a áreas de rarefacción). Las zonas de mayor concentración de moléculas equivalen a las zonas de mayor presión y son representadas gráficamente como los picos de la onda sinusoidal. En el caso opuesto, las áreas cuyas moléculas se encuentran más dispersas corresponden gráficamente a las zonas más declives del senoide.

La onda ultrasónica se caracteriza por un conjunto de magnitudes<sup>17</sup>:

- Longitud de onda ( $\lambda$ ): Es la distancia que recorre la onda en un ciclo completo. Gráficamente corresponden a la distancia entre el mismo punto de dos ondulaciones consecutivas. Se mide en cm o mm.

- Amplitud de onda (A): Es la máxima distancia que se desplaza una molécula desde su estado normal. Gráficamente hace referencia a la máxima altura de la onda. Se mide en decibelio (dB).

- Velocidad de propagación: Es el espacio que recorre la onda por unidad de tiempo. Se mide en m/s. La velocidad de propagación de la onda de ultrasonido en un medio determinado es constante, pero se modifica cuando la onda atraviesa distintos medios. Así mismo, se puede ver influenciada por las características de los tejidos, tales como la temperatura, la presión, la rigidez o la elasticidad.

- La velocidad de propagación se relaciona con la frecuencia y la longitud de onda, de forma que para una misma velocidad de sonido la velocidad es inversamente proporcional a la frecuencia, es decir, que

con frecuencias bajas los valles y los picos de la onda sinusoidal se encuentran más separados, y se encontrarán más próximos a medida que aumente la frecuencia de la onda.

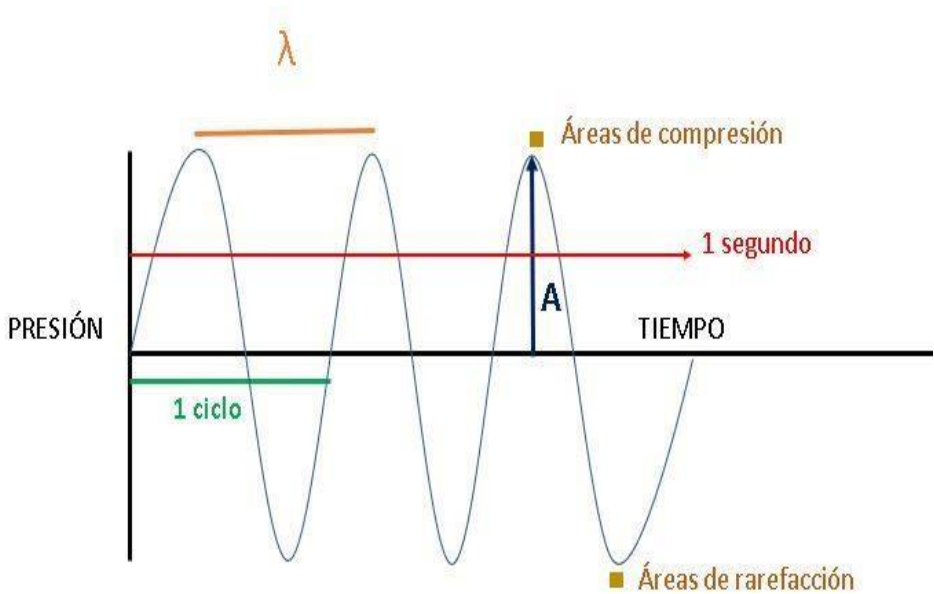


Figura 1. Representación gráfica de la onda sonora y sus parámetros. Gráfica de presión con respecto al tiempo. A: amplitud,  $\lambda$ : longitud de onda. Esta onda representada tiene una frecuencia de 3 Hz, ya que en un segundo hay tres ciclos. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.

- La frecuencia (F) hace referencia al número de ciclos completos que se producen en una unidad de tiempo, entendiendo como ciclo el momento en el que la onda vuelve a estar en el mismo punto de la gráfica del que partió. Se mide en hercios (Hz) en honor a Heinrich Rudolf Hertz. Por tanto 1 Hz equivale a 1 ciclo por segundo. La frecuencia es inversamente proporcional al periodo y a la longitud de onda, por lo que las ondas con frecuencias mayores tienen una longitud de onda menor.

### 1.2.2 Generación y recepción del ultrasonido

La base de la generación y recepción de los US es la piezoelectricidad. Se basa en la capacidad de algunos materiales para modificar su forma al ser sometidos a un campo eléctrico, dentro de un límite tolerable donde el cristal no sufra<sup>18</sup>.

La energía eléctrica va a permitir que el cristal se expanda y encoja, gracias a sus propiedades elásticas, generando a su vez una onda ultrasónica, también conocida como pulsos sónicos. La frecuencia con la que se emiten los pulsos es conocida como frecuencia de repetición de pulsos (FRP) y va a determinar el tiempo que tiene que existir entre pulsos para poder trabajar de forma idónea a una profundidad. La FRP depende del material piezoeléctrico, en concreto de la velocidad de propagación de dicho material y su grosor<sup>18</sup>.

Cuando los ecos de retorno llegan al transductor, también estimulan al material piezoeléctrico generando una corriente eléctrica que va a traducirse en una escala de grises que nos permite visualizar una imagen en el monitor.

### 1.2.3 Propagación e interacción con los tejidos

El US atraviesa la superficie de estudio de manera perpendicular e interacciona con los distintos elementos que se encuentra a su paso. La velocidad de propagación es diferente en los distintos tejidos y depende de la mayor proximidad o separación de sus moléculas (densidad). De este modo la velocidad es mayor en medios sólidos, velocidad intermedia en medios líquidos y más lenta en los medios gaseosos (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de densidad y velocidad de propagación del sonido en los distintos tejidos.

Tejido	Velocidad (m/s)	Densidad (g/cm <sup>2</sup> )
Grasa	1470	0,97
Músculo	1568	1,04
Hígado	1540	1,05
Bazo	1552	1,06
Riñón	1561	1,08
Cerebro	1530	1,02
Sangre	1570	1,1
Hueso	3600	1,7
Agua	1492	0,99
Aire	332	0,001

Fuente: Elaboración propia por parte de la doctoranda, adaptada de Diagnostic Ultrasound 4th Edition<sup>19</sup>. Editors: Carol M. Rumack, Stephanie R. Wilson, J. William Charboneau, and Deborah Levine.

- La impedancia acústica ( $Z$ )<sup>16</sup> hace referencia a la resistencia del medio a la propagación de la onda sonora. La zona de contacto entre dos medios con distintas impedancias se denomina interfase. Cuando los haces de US exploran el cuerpo humano, atraviesan diferentes interfases experimentando una serie de fenómenos físicos (Figura 2):

- Atenuación<sup>17</sup>: Cuando el haz de US atraviesa los diferentes tejidos parte de su energía cinética pasa a formar calor y la onda sonora



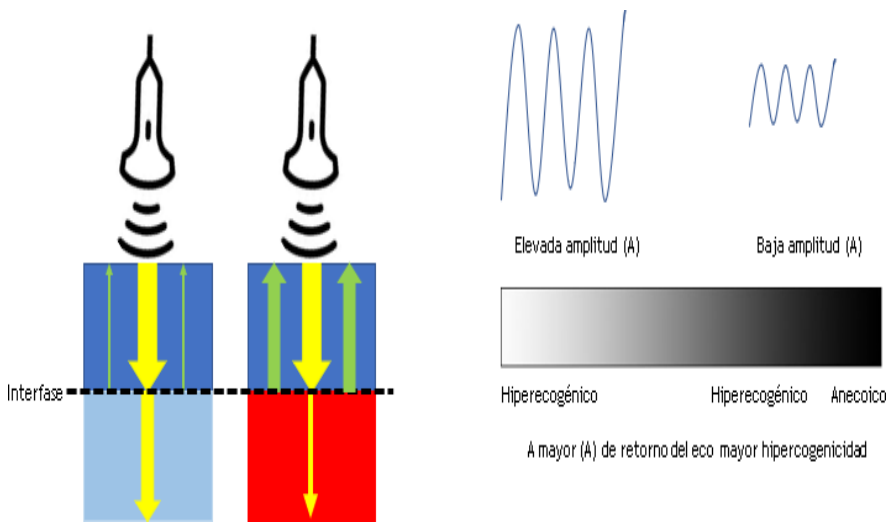
pierde amplitud. Este parámetro está directamente relacionado con la frecuencia y la distancia, de modo que, a mayor frecuencia de onda existe una mayor absorción y menor capacidad de penetración y viceversa.

- Refracción<sup>17</sup>: El sonido cambia de dirección en la interfase de dos materiales diferentes.

- Reflexión<sup>17</sup>: Cuando un sonido llega a una interfase, parte de la onda es reflejada y otra continúa avanzando. Esta reflexión va a depender de las dimensiones del objeto reflectante y de su superficie. Si la interfase es lisa, amplia y las impedancias de los tejidos que las forman son muy distintas, observaremos que gran parte de ese haz se verá reflejado hacia el transductor. En estas interfases, conocidas como especulares, cobra importancia el ángulo de insonación ya que sólo devolverán ecos de retorno cuando el haz sea perpendicular a la misma.

Cuanto mayor sea la diferencia de impedancia entre dos medios, mayor será la amplitud de los ecos reflejados (Figura 2). Estos US de regreso, se representan en la pantalla con un punto o pixel de brillo, por eso la ecografía en escala de grises también es conocida como modo B (brillo). Tanto el hueso (con una impedancia muy alta), como el aire (con una impedancia muy baja), tienen características muy diferentes al resto de los tejidos del cuerpo humano y por ello generan superficies reflectantes que impiden el paso de ultrasonido y dificultan la obtención de imágenes ecográficas, pues producen ecos muy brillantes con sombra posterior. Por ello, al realizar una ecografía es necesario aplicar un gel acuoso sobre la lente de la sonda, para evitar la interfase producida por el aire. La velocidad de propagación en el resto de los tejidos blandos es bastante similar y los equipos de US la estiman constante para todos los tejidos a 1.540 m/s.

La intensidad de los fenómenos de refracción y reflexión es proporcional a la diferencia de impedancia de los tejidos que componen la interfase, pero también varía en función del ángulo de incidencia del haz de US sobre dicha interfase. Cuanto más perpendicular sea el haz, se reducen estos fenómenos.



**Figura 2.** Relación entre la amplitud de la onda reflejada y la diferencia de impedancia entre dos medios y su traducción en el brillo que evidenciamos en la pantalla en una escala de grises. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda, adaptada del Manual de ecografía clínica, SEMES.

### 1.2.4 Transductores y sondas<sup>17</sup>

El transductor, es el dispositivo que entra en contacto directo con el paciente al que se realiza el estudio. Su misión es convertir la energía eléctrica en US, capaces de atravesar el tejido a estudio, y también actuar como receptor de los ecos de retorno producidos en las diferentes interfases de los tejidos.

En función de la profundidad del área a explorar, cada transductor utilizará una frecuencia de US, teniendo en cuenta que ésta se relaciona con la resolución axial (Figura 3), es decir, la capacidad de discernir entre dos puntos localizados en el mismo eje de insonación. Los transductores con menor frecuencia disponen una gran penetración del US, pero escasa resolución axial, estos son los utilizados para valoración del

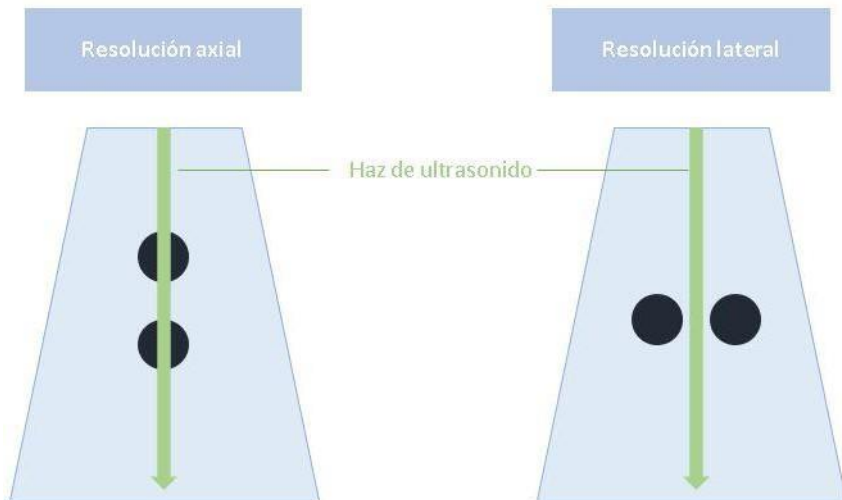
parénquima pulmonar, con frecuencias en torno a los 5 MHz. Aquellos de mayor frecuencia, poseen una excelente resolución axial, pero pobre penetración, ideales para la valoración de la superficie pleural y pared costal, con frecuencias cercanas a 20 MHz. En la actualidad los transductores disponen de una banda de frecuencias que permite seleccionar la más adecuada durante la exploración, dentro de un rango predefinido.

El conector y los electrodos, son los encargados de recibir la señal eléctrica y transmitirla a los cristales, existiendo 2 electrodos para cada cristal de la sonda. Gracias a los avances tecnológicos, hoy en día existen conexiones que funcionan por vía Bluetooth o Wifi.

Para controlar la vibración de los cristales piezoeléctricos y mejorar la resolución axial encontramos una zona con material de amortiguación, seguida de un circuito flexible responsable de conectar el equipo y el material piezoeléctrico.

El cristal piezoeléctrico, a pesar de recibir el nombre de cristal, es una cerámica capaz de adquirir una polarización eléctrica tras una tensión mecánica. Son los encargados de convertir la señal eléctrica en US y viceversa. La precisión de una sonda y su resolución lateral, es decir, la capacidad de discernir entre dos puntos del mismo plano a la misma profundidad (Figura 3), va a depender del número y separación de elementos piezoeléctricos, siendo mejor cuanto mayor sea el número de cristales y menor sea la separación entre ellos.

Los elementos piezoeléctricos emiten el sonido perpendicular a la superficie, pero en la actualidad la mayoría de los transductores cuentan con la posibilidad de emitir haces de US desde distintas direcciones del frontal del transductor, aportando información desde distintos ángulos de insonación, lo que resulta en una imagen con mayor resolución y menos artefactos conocida como imagen compuesta.



**Figura 3.** Representación gráfica de la resolución axial y lateral. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda adaptada del Manual de Ecografía clínica. SEMES.

Como se trata de una instalación eléctrica, las sondas también cuentan con una toma de tierra, para proteger al técnico y al paciente ante un posible fallo del aislamiento de los conductores.

Por último, el transductor cuenta con una capa de acoplamiento, encargada de optimizar la transmisión de la mayor cantidad de ondas a través del tejido y una capa de apantallamiento, que evita las señales de radiofrecuencia que puedan intervenir nocivamente en el circuito, como las vibraciones no deseadas. Se encuentra en la parte más distal está la lente, que es la zona del transductor que entra en contacto con el paciente

Las sondas pueden clasificarse en función de su frecuencia, forma y tamaño en los siguientes grupos (Figura 4):

Las sondas lineales tienen una disposición lineal de los elementos, una lente plana y obtienen una imagen rectangular; en general son de frecuencia alta y se emplean para estudiar áreas superficiales.

Las sondas convexas tienen una disposición curva de los elementos y lente curva, obtienen una imagen trapezoidal, trabajan con frecuencias bajas y tienen profundidades de hasta 30 cm. Pertenecen a este grupo

las sondas conocidas como microcónvex, con una superficie reducida y frecuencias ligeramente más altas, hasta 9 MHz que consiguen penetrar hasta 15 cm. En el mercado existen también las sondas endocavitarias, con un diseño adaptado al tipo de estudios que van a realizar.

Las sondas sectoriales tienen una disposición lineal de los elementos, una lente cuadrada, obtienen una imagen estrecha proximalmente y ancha distalmente.

Las sondas más utilizadas para valoración de la patología pulmonar son las lineales y convexas.



Figura 4. Transductores. A la izquierda se encuentra un transductor sectorial de 1-5MHz, en el medio un transductor lineal de 1-12 MHz y a la derecha un transductor convexo de 1-6 MHz.

### 1.2.4 Comandos del equipo

Los comandos hacen referencia a los ajustes técnicos que se pueden realizar para optimizar la imagen formada en el monitor. A continuación detallamos los de mayor relevancia<sup>17,20</sup>.

- Ganancia "Gain": Hace referencia al brillo que vemos en la pantalla. Como cada tejido atenúa el sonido de un modo diferente, los ecógrafos permiten modificar la amplitud del eco de retorno. Existen dos tipos de ganancia, la global y la parcial. La ganancia global, se refiere a la amplificación de todos los ecos que recibe la sonda, incluyendo los ecos artefactuales (ruido). En función de la profundidad, aún en situaciones con la misma impedancia acústica entre tejidos, se obtendrá ecos de diferente amplitud. De manera que, a mayor profundidad la amplitud del eco de retorno será menor. Para compensar esa pérdida de intensidad, el ecógrafo es capaz de amplificar los ecos recibidos de forma proporcional a la profundidad de donde proceden. Esto se conoce como "Time gain compensation" (TGC) o ganancia parcial.

- Pausa o "Freez": Sirve para detener una imagen y realizar mediciones sobre ella si se desea. Se encuentra vinculada a la función de cine, permitiendo revisar una serie de imágenes guardadas previamente a la detención de la imagen.

- Profundidad "Depth": Modifica la penetración que vemos en la pantalla. El grado de profundidad se refleja en cm en una escala al margen del monitor. Para estudios superficiales, como la pared torácica, se utilizan profundidades pequeñas (máximo 4 cm), mientras que para estructuras profundas como el parénquima pulmonar en un adulto la profundidad estará entre 10-15 cm. Este parámetro es diferente al zoom, donde se realiza un aumento de píxeles inexistentes, por lo que la calidad de la imagen es mejor utilizando la profundidad que el zoom.

- Medición "Measurement o mark reference": Se utiliza para realizar las mediciones de las estructuras a estudio (cm) o de las velocidades de las estructuras vasculares (cm/s).

- Foco "focus": Permite mejorar la resolución de la imagen a un determinado nivel. Sirve para mejorar la resolución lateral (Figura 3). Este ajuste se relaciona con la propagación del haz ultrasónico. Dependiendo del ecógrafo, puede haber uno o varios focos que permiten visualizar

mejor varias zonas de la exploración, pero el uso multifocal implica un retardo en el refresco de la pantalla. Debe situarse en la línea de interés o un poco por debajo de ella, en caso de la exploración pulmonar se recomienda situar a nivel de la línea pleural.

- Frecuencia (F): Cada sonda dispone de un ancho de banda que recoge un rango de frecuencias, así, las sondas lineales utilizan frecuencias altas (entre 10-20 MHz) y las convexas utilizan frecuencias bajas (entre 2-7 MHz). Siempre se debe seleccionar la frecuencia más alta posible para obtener la mejor resolución de imagen.

- Armónicos o frecuencia armónica “Tissue harmonic imaging” (THI): Es un sistema de recepción de ecos que permite captar señales con una frecuencia doble a la del US emitido y que hayan sido producidos por la reverberación de los tejidos y no por un artefacto. Pretende limpiar la imagen de los ecos nocivos (ruido). Se basa en las características de propagación de la onda de ultrasonidos, donde el componente de alta presión o compresión se transmite más rápidamente que el componente negativo o rarefacción. Los ecógrafos actuales permiten trabajar con la imagen fundamental o la imagen con armónicos.

- Rango dinámico (DR): Permite mejorar la señal de retorno interviniendo en el brillo y contraste de la imagen, mediante la manipulación de la amplitud de la onda. Ofrece la posibilidad de contrastar más o menos la escala de grises. Un DR alto, proporciona una imagen suave con muchos grises. Un DR bajo, proporciona una imagen más contrastada donde predominarán los blancos y los negros. Este parámetro permite diferenciar estructuras de ecogenicidad parecida.

- Potencia de transmisión<sup>21</sup>: Hace referencia a la potencia eléctrica que llega a un transductor para ser convertida en el haz de US, por tanto cuanto mayor sea la potencia de transmisión, mayor será la potencia del haz. Pero este parámetro debe manejarse con cautela pues se relaciona con el índice mecánico (IM) y el índice térmico (IT). El IM, es un efecto no térmico que se relaciona con el riesgo de cavitación, es decir, con el aumento de temperatura y presión de las cavidades con gas o líquido. El IM nunca debe sobrepasar el 1,9. El IT por su parte si se trata de un efecto térmico, indica la capacidad del US de aumentar la temperatura

tisular. Se han descrito aumentos de 0,2 °Celsius (C) por minuto con US entregados a 1W/cm<sup>2</sup> a 1MHz. Si no se superan los 2 °C raramente se ocasionen efectos adversos.

### 1.2.6 Modo de presentación de las señales recibidas

En base a la interacción del haz de US con los diferentes tejidos, obtendremos un eco de retorno, que será analizado por la unidad de procesamiento y expresado en el monitor de distintas formas o modos<sup>17</sup>:

- Modo A: Modo de modulación de amplitud, permite la medición de los picos de intensidad generados por las interfases, aportando información sobre la distancia a la que se encuentran los objetos en una única línea de escaneado.

- Modo B: Modo de modulación de brillo, aporta información bidimensional en tiempo real en el que las diferentes amplitudes de los ecos de retorno son transformadas en píxeles de una escala de grises, es decir, transforma los picos del modo A en puntos luminosos. Aporta información morfológica de los tejidos, pues los transductores emiten varios haces de US simultáneamente, de modo que la imagen es la suma de la información recogida por cada elemento. En este modo la intensidad de todos los puntos determina la ecogenicidad. La atenuación del US limita la profundidad de la información obtenida y la ecolocalización de cada punto viene determinada por el tiempo que se tarda en obtener el eco de retorno.

- Modo M: Representa el movimiento de la interfase reflectante. Se representa como puntos de brillo que dependen de la amplitud, pero no forma una imagen anatómica por lo que suele utilizarse de forma sincrónica al modo B como guía para elegir la línea de estudio en modo M. Aporta una buena resolución temporal, siendo especialmente útil para detectar movimientos rápidos y estudiar su patrón de movimiento.

- Modo D o modo Doppler: Se basa en el cambio de frecuencia del sonido cuando éste choca con una interfase en movimiento. Cuando una superficie reflectora se acerca al transductor la frecuencia del sonido aumenta y si se aleja de él, la frecuencia de la onda reflejada disminuye.



Esta variación de frecuencias se relaciona con la velocidad del movimiento de la superficie reflectora y permite medirla.

## 1.3 ECOGRAFÍA DE TÓRAX

### 1.3.1 Semiología de la ecografía pulmonar

La semiología hace referencia al comportamiento ecográfico de los diferentes tejidos según su naturaleza. En función de la densidad de los tejidos, van a representarse en la pantalla según una escala de grises conocida como ecogenicidad.

Las imágenes anecoicas son aquellas que dejan pasar todo el haz de US y no permiten devolver ecos de retorno. Aportan una imagen de color negro. De este modo se comportan los líquidos, como los trasudados pleurales (Figura 5).

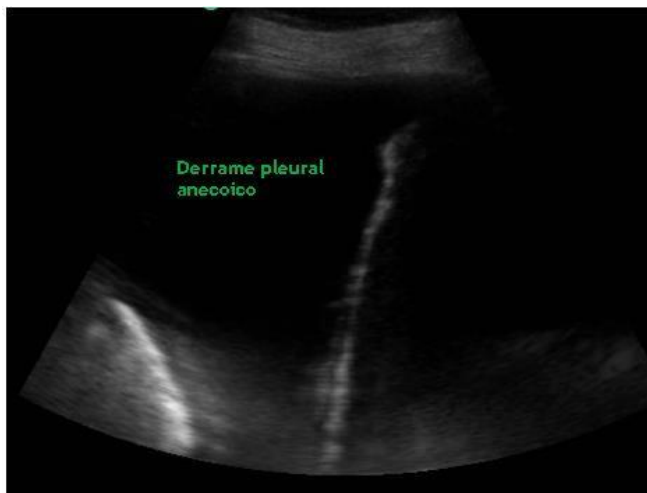
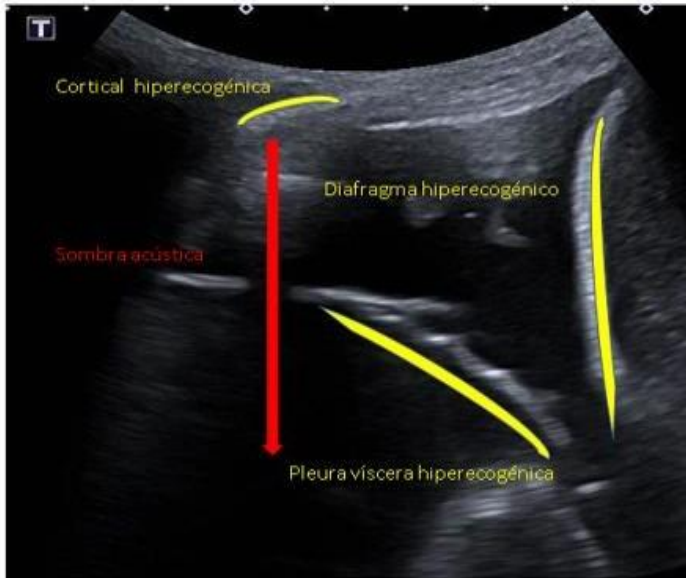


Figura 5. Ecografía torácica de un trasudado pleural anecoico en paciente con edema cardiogénico. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.

Las imágenes hipoeoicas se producen por estructuras que devuelven pocos ecos y se representan por un color gris oscuro. Esta ecogenicidad es la característica del parénquima pulmonar (Figura 6).



ANECOGÉNICO	HIPOECOGÉNICO	ISOECOGÉNICO	HIPERECOGÉNICO
Sombra acústica	Parénquima pulmonar (sano)	Parénquima pulmonar (consolidación) Higado	Línea pleural Cortical costilla
●	●	●	○

Figura 6. Representación gráfica de la ecogenicidad. En la imagen superior se evidencia una ecografía pulmonar realizada con transductor convexo en el lóbulo inferior derecho. Se identifican estructuras hiperecogénicas como la línea pleural, cortical de la costilla y diafragma. Hipocogénicas como el derrame pleural y anecogénicas como la sombra acústica de la costilla. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.

La isoecogenicidad traduce un comportamiento ecográfico similar a la ecogenicidad hepática que adopta una coloración gris clara. En la ET podemos evidenciar esta ecogenicidad en las consolidaciones neumónicas.

Las imágenes hiperecogénicas las obtenemos a partir de estructuras que devuelven una gran cantidad de ecos de retorno en su interfase, dando lugar a un color blanco. Una imagen característica en ET de esta ecogenicidad es la línea pleural o la cortical de la costilla (Figura 6).

El concepto de ecogenicidad puede venir matizado por la distribución de los elementos que lo forman, es decir, por la homogeneidad o heterogeneidad<sup>19</sup>. Se conoce una imagen como homogénea cuando los elementos que la forman poseen una naturaleza común y por tanto presentan una relación de uniformidad. Por otro lado, una imagen es heterogénea cuando está formada por elementos de distinta naturaleza (Figura 7).

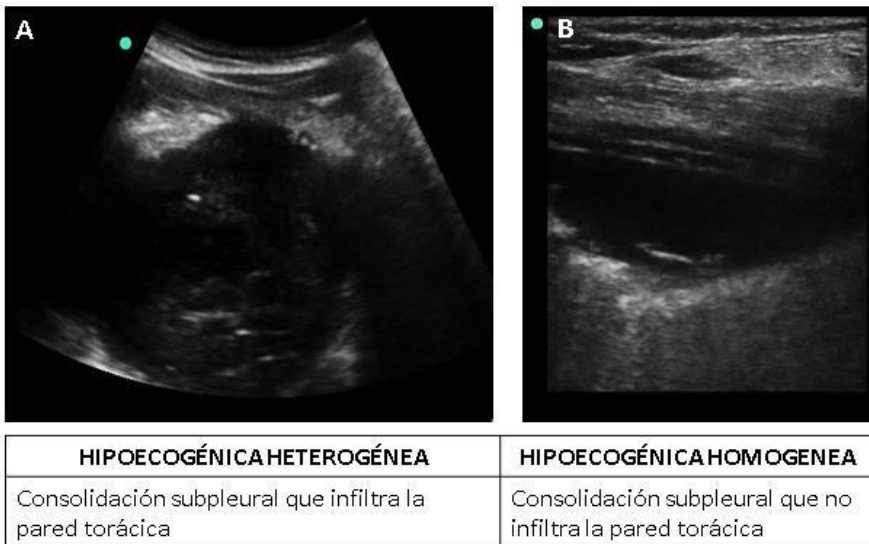


Figura 7. Representación gráfica de la heterogeneidad y homogeneidad. Imagen A: Obtenida con sonda convexa, se evidencia consolidación de 6 cm, que invade la pared torácica, hipocogénica y heterogénea, correspondiente a una masa tumoral. Imagen B: Obtenida con sonda lineal, se evidencia una consolidación de 2 cm, que no infiltra la pared torácica, hipocogénica y homogénea, correspondiente a una metástasis pleural. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.

Cuando el ultrasonido interactúa con los tejidos y devuelve un eco de retorno en ocasiones se obtienen artefactos. Algunos de ellos se consideran artefactos nocivos, ya que producen imágenes no deseadas que pueden dar lugar a confusión. Pero algunos artefactos, sobre todo en el estudio del parénquima pulmonar, nos van a facilitar información útil<sup>22</sup>.

La sombra acústica posterior<sup>22</sup>, hace referencia a un artefacto producido por la reflexión completa del haz de US, es decir, el US choca con una interfase muy ecogénica que no puede atravesar, por lo que no tendremos información de las estructuras por debajo de esta interfase. Encontramos esta imagen tras la cortical de la costilla (Figura 8).

El refuerzo posterior<sup>22</sup> se produce por la transmisión del 100% del US en primer lugar a través de una estructura sin interfases en su interior (generalmente de naturaleza líquida) y posteriormente un medio sólido ecogénico. Da lugar a un halo hiperecogénico alrededor de la última estructura (Figura 8).

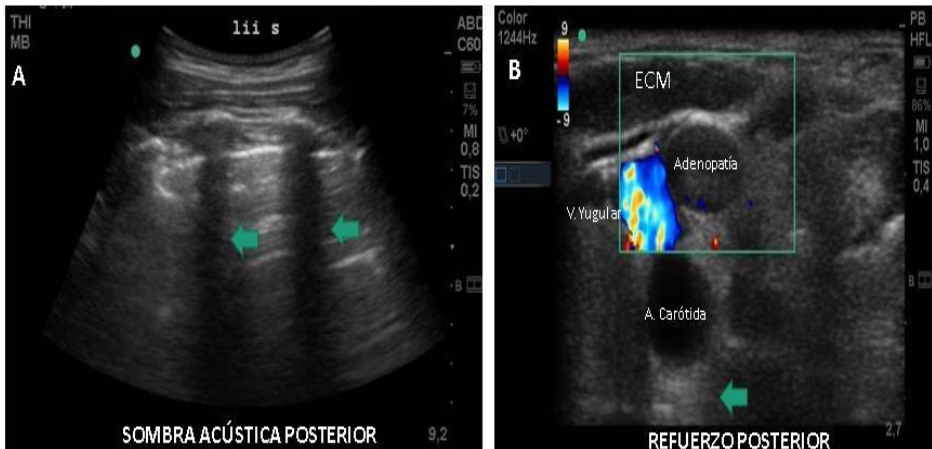


Figura 8. Imagen A: Obtenida con sonda convexa, en posición longitudinal, a nivel del lóbulo inferior izquierdo. Se evidencia el artefacto de sombra acústica posterior, de aspecto hipoecogénico, producido por la reflexión del US al atravesar la cortical de las costillas. Imagen B: Obtenida con sonda lineal, en eje transversal, a nivel cervical, se muestra el refuerzo posterior, de aspecto hiperecogénico, evidenciado tras atravesar la arteria carótida. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.

La ausencia de apoyo es un artefacto dependiente del operador. Se produce por la falta de contacto del transductor con la piel, bien por falta de gel o por dificultades con la anatomía (Figura 9).



**Figura 9. Ausencia de apoyo, artefacto por falta de contacto con la pared torácica. Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.**

El artefacto en espejo<sup>22</sup> se produce por imágenes especulares de una estructura real, pero en una localización errónea. Aparece cuando el US incide en una interfase muy ecogénica que se encuentra delante de una estructura curva tan ecogénica como ella. Se trata de un error en la lectura de los ecos de retorno. Cuando el US llega a la segunda estructura hiperecogénica, devuelve ecos que chocan contra la parte posterior de la primera interfase hiperecogénica. Estos segundos ecos de retorno tardan más en llegar al transductor, lo cual se interpreta como mayor profundidad, ocasionando una imagen falsa a mayor profundidad (Figura 10).

El aliasing<sup>23</sup> es un artefacto que da lugar a una lectura incoherente de la señal Doppler. La etiología depende de varios factores que van

desde la anatomía del paciente, hasta la de recepción de flujos con una velocidad más elevada que la velocidad prefijada en el mapa de color. Provoca un mosaico de colores que puede minimizarse al aumentar la escala de velocidades o disminuir la frecuencia.

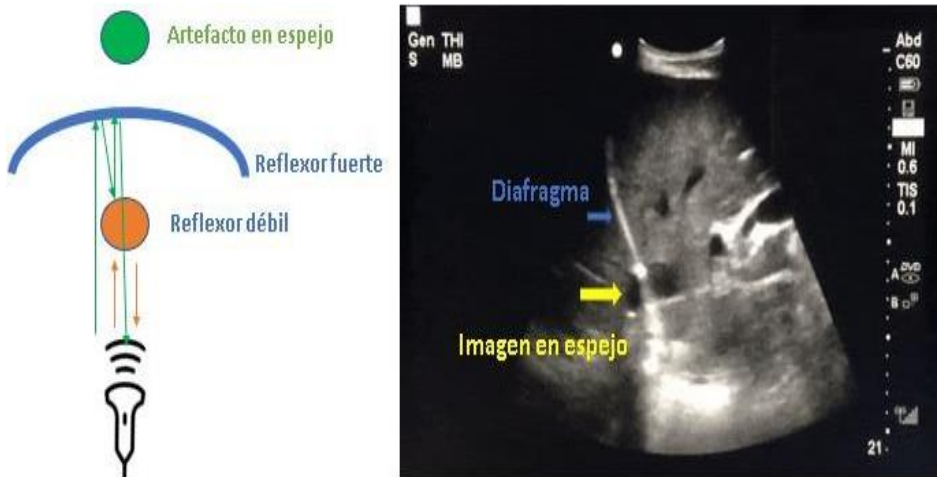


Figura 10. Artefacto en espejo. A la izquierda se muestra una representación gráfica del mecanismo físico que desencadena una imagen en espejo. A la derecha una imagen en espejo, producida tras la interacción del US con una estructura muy ecogénica (el hígado) y posteriormente una superficie altamente reflectante y curva (el diafragma). Fuente: Elaboración propia de la doctoranda, adaptada de RadioGraphics 2009; 29:1179-1189<sup>22</sup>

Algunos artefactos son capaces de generar múltiples ecos en la imagen. Las bases del US asumen que un eco regresa al transductor después de una única reflexión y que la profundidad del objeto estudiado está relacionada con el tiempo que tarda en regresar el eco de retorno. Pero en presencia de dos superficies fuertemente reflectivas, los ecos generados por el US primario pueden reflejarse en varias ocasiones hasta generar un eco de retorno y ser detectado por el transductor. Cuando esto ocurre se registran múltiples ecos en la imagen<sup>22</sup>.

Un ejemplo de este tipo de artefactos es la reverberación. Se produce cuando el US atraviesa dos superficies con impedancia acústica muy

diferente. En esta interfase se devuelven una gran cantidad de ecos de retorno, que no son captados en su totalidad por el transductor, sino que rebotan de nuevo en este y en la interfase reflectante hasta agotar la energía<sup>16</sup>. El primer eco que vuelve al transductor después de una sola reflexión se mostrará en la ubicación adecuada. Los ecos secuenciales tardarán más en volver al transductor y el procesador los situará erróneamente a una mayor distancia del transductor. En la ET este artefacto se conoce como líneas A. El primer eco de retorno hace referencia a la ubicación de la línea pleural y los ecos secuenciales son un reflejo de esta y vendrán representados como líneas hiperecogénicas horizontales, que se encuentran a una distancia equidistante de la línea pleural (Figura 11).

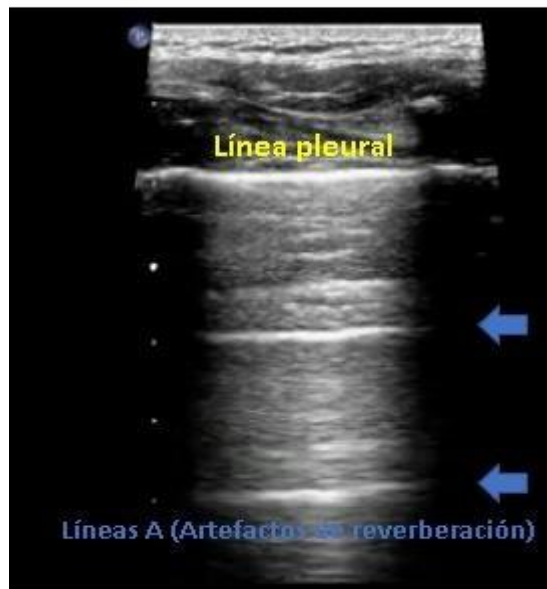


Figura 11. Artefactos de reverberación (Líneas A). Fuente: Elaboración propia de la doctoranda.

La presencia de líneas A, nos da información de una adecuada aireación pulmonar, ya que la presencia de aire es lo que va a generar una gran diferencia de impedancia con respecto a la pared torácica. Sin em-

bargo, para otras exploraciones ecográficas como la abdominal este artefacto se considera nocivo y por ello se pide al paciente que vaya en ayunas, para que no se interponga el gas intestinal y evitar un gran cambio de impedancia. El empleo de armónicos y reducción de las ganancias minimizan la presencia de este artefacto.

Otros artefactos capaces de generar muchos ecos en la imagen se representan de manera vertical. Pero en su génesis existen distintos fenómenos físicos:

Uno de los más conocidos son las líneas B o artefacto "ring-down". Se producen por un fenómeno de vibración en resonancia (Figura 12). Para detectarlos son necesarias múltiples burbujas de gas, de este modo, cuando el US alcanza dichas burbujas es capaz de excitar el líquido que queda atrapado entre ellas haciendo que dicho líquido resuene. Estas vibraciones crean una onda de sonido continuo que es transmitido de vuelta al receptor dando lugar a un artefacto lineal que parte de la superficie de la pleura, que gana intensidad en profundidad y se mueve con los movimientos respiratorios. En un parénquima pulmonar sano pueden encontrarse hasta dos líneas B por espacio intercostal explorado<sup>24</sup>; un mayor número de líneas B traduce patología pulmonar subyacente. Pero debemos saber que en las bases pulmonares, al tratarse de zonas más profundas, podemos encontrar más de dos líneas B por espacio intercostal de forma fisiológica hasta en el 10% de los jóvenes y 37% de los ancianos<sup>25</sup>. Además, la detección de líneas B puede verse influenciada por la frecuencia y la forma del transductor. Para minimizar este sesgo se recomienda utilizar una profundidad de penetración entre 4 y 8 cm a partir de la línea pleural y situar el foco en la propia pleura. Se debe tener en cuenta que el uso de THI o filtros post-procesado puede interferir en la detección de las líneas B<sup>26</sup>.

El artefacto en cola de cometa también da lugar a múltiples ecos lineales de disposición vertical, pero estos son generados por un fenómeno de reverberación, al igual que las líneas A, al encontrarse con un cambio brusco de impedancia, generalmente por la incidencia del US en objetos metálicos (como clips de sutura, agujas) o calcificaciones (granulomas, calcificaciones pleurales)<sup>27</sup>. Fueron descritos por primera



vez en 1982, tras la exploración abdominal con US de un paciente que había sufrido una herida de bala a nivel hepático. Cada eco recibido es transcrito erróneamente como una línea situada a mayor profundidad, resultando en múltiples líneas paralelas, de intensidades decrecientes y equidistantes unas de otras. Los ecos secuenciales pueden estar tan juntos, que las señales individuales no sean perceptibles. Además, los ecos más tardíos tendrán menor amplitud, debido al proceso de atenuación, por lo que pierden densidad en profundidad.

En la literatura existe una confusión terminológica por la que se emplea el término “colas de cometa” para designar a las “líneas B”. Cuando el Dr. Litchestein, uno de los principales precursores de la ET, comenzó a describir el alfabeto de la ET, definió la presencia de “colas de cometa” como el signo del síndrome intersticial<sup>28</sup>. Pero desde ese momento, describe que existen dos tipos de colas de cometa (las cortas y las largas), afirmando que sólo las largas eran las que traducían patología intersticial. A pesar de que describe a estas líneas patológicas como un artefacto hiperecogénico vertical, que parte de la superficie pleural, que se mueve con los movimientos respiratorios y que no se extingue en profundidad (es decir lo que correspondería a las líneas B), el término erróneo de colas de cometa quedó acuñado en la literatura. Muchos autores concedores de este error, han enfatizado la necesidad de hacer una distinción entre estos dos artefactos y recomiendan evitar el término colas de cometa para describir a las líneas B<sup>24,26,27</sup> (Tabla 2).

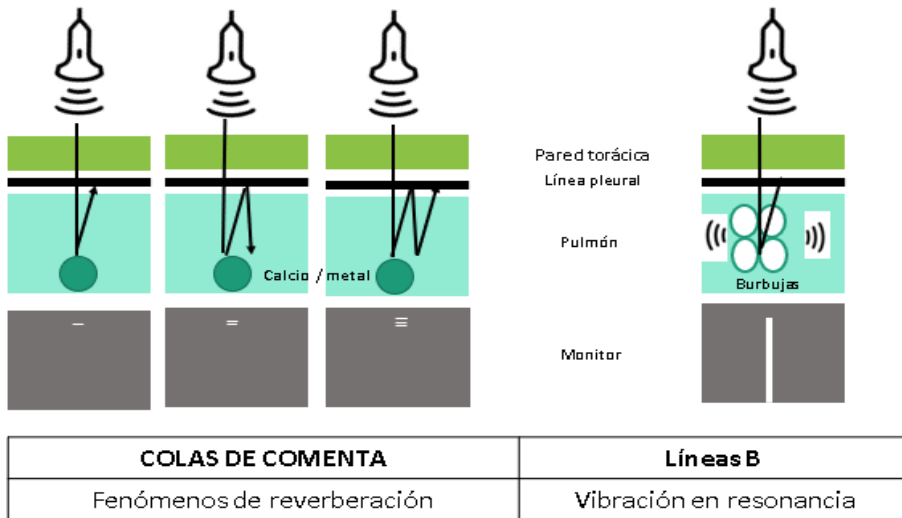


Figura 12. Fenómeno físico de colas de cometa (imagen izquierda) y líneas B (imagen derecha). Fuente: Elaboración propia de la doctoranda) adaptada del Poster n° S-1161, SERAM 2012. Ring-down Vs Cola de cometa: dos artefactos al descubierto.

Tabla 2. Principales diferencias entre líneas B y colas de cometa.

	Colas de Cometa	Líneas B
<b>Fenómeno físico</b>	Reverberación ante una superficie fuertemente reflectiva	Vibración en resonancia
<b>Longitud</b>	< 1 cm se extinguen en profundidad	En profundidad gana intensidad
<b>Etiología</b>	Objetos metálicos o calcificaciones	Síndrome intersticial

Fuente: Elaboración propia por parte de la doctoranda, adaptada de Diagnostic Ultrasound 4th Edition<sup>19</sup>. Editors: Carol M. Rumack, Stephanie R. Wilson, J. William Charboneau, and Deborah Levine.

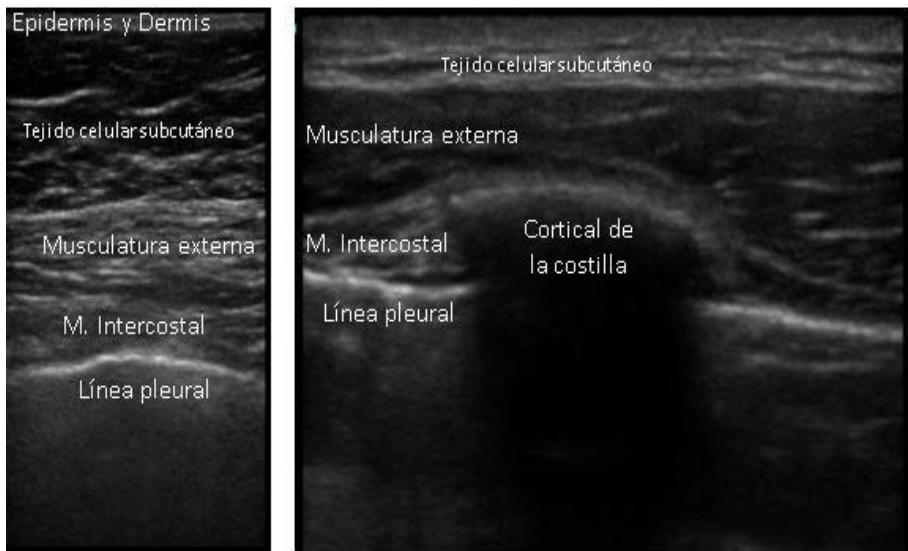
### 1.3.2 Ecografía de un tórax normal

La disposición de la imagen de ET, mostrará las estructuras más cercanas al transductor en la parte superior de la pantalla y las más lejanas en la zona distal.

La primera estructura que encontramos en la parte superior es la piel. Con sondas lineales de alta frecuencia se puede diferenciar sus tres capas. En primer lugar, la epidermis aparece como una capa lineal hiperecogénica, debido a su alto contenido de queratina y colágeno<sup>29</sup>. Debajo de esta se encuentra la dermis, constituye la estructura de soporte de la piel, formada por paquetes de colágeno organizados, vasos linfáticos, nervios, la porción profunda de los folículos pilosos y las glándulas sudoríparas. En la ecografía se visualiza como una banda hiperecogénica de espesor variable, dependiendo de la zona del cuerpo, pero en personas con alta exposición solar o con edad avanzada puede mostrarse hipoecogénica por cambios tróficos<sup>29</sup>. La hipodermis o tejido celular subcutáneo está constituida por lóbulos grasos separados por tabiques. En la ecografía se representa como una banda hipoecogénica con ecos lineales que pertenecen a los septos de tejido conectivo que discurren paralelamente al plano de la piel (Figura 13).

Inmediatamente por debajo, se visualizarán los diferentes grupos musculares externos, que dependerán de la región anatómica explorada. Y tras esta capa se localiza la cortical de las costillas. A través del eje largo de la costilla, la corteza del hueso se identifica como una línea hiperecogénica, estática y uniforme que refleja la práctica totalidad de los ecos y deja tras de sí una sombra acústica<sup>30</sup>. Cuando hay una fractura esta línea se interrumpe por un escalón o espacio y se producen ecos de reverberación en el punto de la fractura conocidos como "el fenómeno del faro o chimenea". La porción antero medial de las costillas es cartilaginosa y por tanto tiene un comportamiento ecográfico diferente (Figura 14). El aspecto del cartílago va a depender de la edad del paciente. En niños y adultos jóvenes, la superficie cartilaginosa es hiperecogénica pero no da lugar a una sombra acústica posterior. En individuos de mayor edad, los cartílagos costales se encuentran calcificados de forma

grosera, condicionando una superficie irregular e impidiendo el paso del US a su través<sup>29</sup>. Al desplazar el transductor perpendicularmente a las costillas, podemos identificar transversalmente la cortical de los huesos superior e inferior, separados por los músculos intercostales superficiales, ya que los músculos intercostales profundos no son identificables en ecografía. En un plano inferior, a unos 0,5 cm de la cortical de la costilla en adultos, se encuentra la línea pleural<sup>31</sup>. Las corticales de los huesos superior e inferior, junto a la línea pleural forman el signo conocido como " alas de murciélago" (Figura 14). Se recomienda iniciar la exploración de ET identificando este signo para localizar las distintas estructuras anatómicas.



**Figura 13. Estructuras de la pared torácica identificadas con una sonda lineal de alta frecuencia (6-13 MHz). A la izquierda plano transversal en paciente obeso. A la derecha plano longitudinal en paciente con bajo índice de masa corporal. Elaboración propia de la doctoranda.**

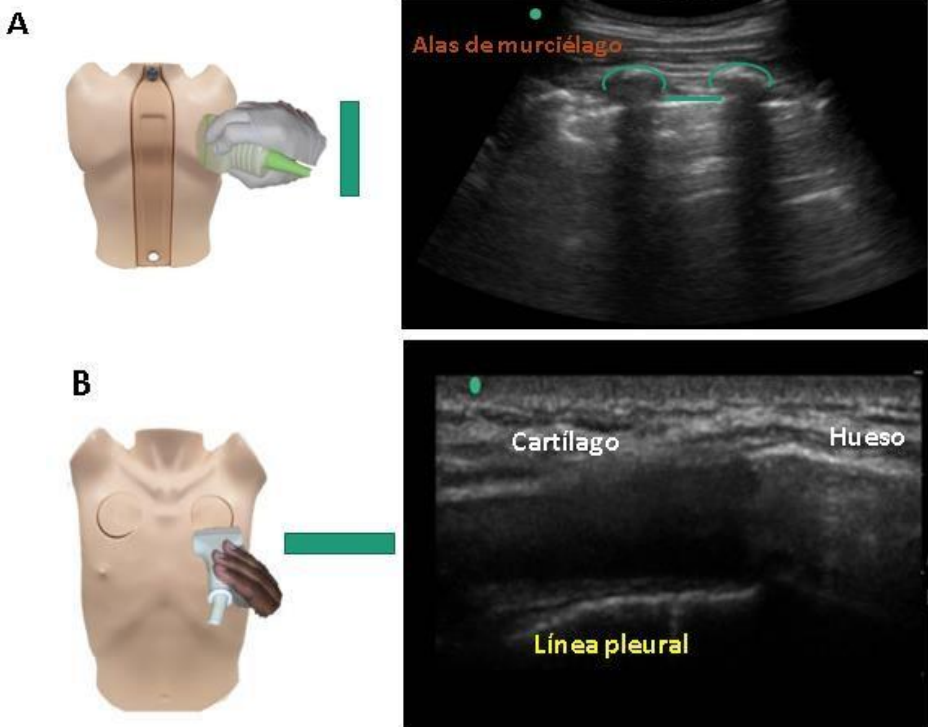


Figura 14. Imagen A: exploración perpendicular a las costillas con sonda convexa (2-5MHz) identificando el signo de alas de murciélago. Imagen B: Exploración sobre el eje largo de la costilla con sonda lineal (6-13Mhz) identificando la unión condro-costal. Elaboración propia de la doctoranda.

El paquete vasculo-nervioso a nivel vertebral se localiza en el medio del espacio intercostal, sin embargo, lateralmente queda cubierto por la costilla superior. Aunque se trata de una tendencia fiable<sup>32</sup>, existen variantes de la normalidad en las que el vaso puede encontrarse en la mitad del espacio intercostal en la cara lateral. Es por esto que, se recomienda realizar una localización de los vasos intercostales, mediante Doppler, antes de realizar procedimientos pleurales<sup>33</sup>. Con un transductor lineal de alta frecuencia, situado de forma transversal a las costillas e inclinado en dirección a la porción inferior del hueso superior, podemos identificar las estructuras que componen el paquete

vasculonervioso intercostal (Figura 15). Sin embargo, la técnica depende de la experiencia del operador y su fiabilidad y precisión se ha cuestionado<sup>30</sup>.

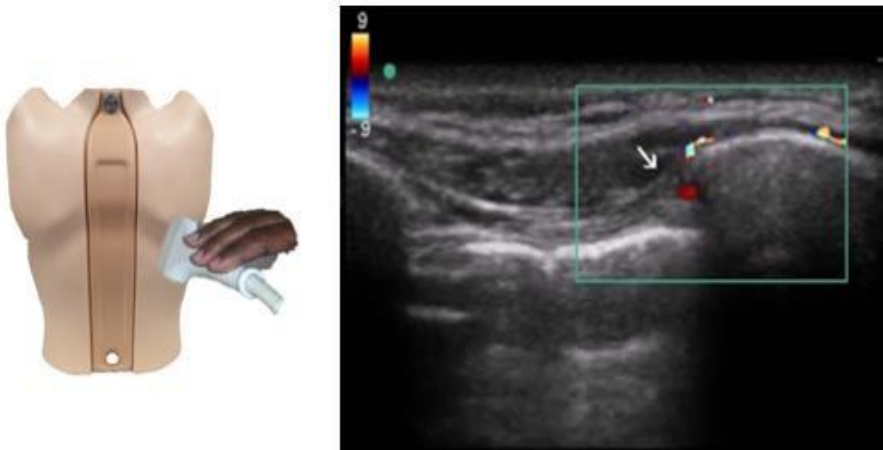


Figura 15. Paquete vasculo-nervioso identificado de bajo de la costilla superior con una sonda lineal de alta frecuencia (6-13 MHz) y modo Doppler. Elaboración propia de la doctoranda.

La línea pleural es hiperecogénica, de 1-2 mm de espesor y se visualiza por la reflexión de la mayor parte de los US en la interfase que forma con el pulmón, debido a la gran diferencia de impedancia acústica. En condiciones normales, seremos incapaces de identificar las capas pleurales por separado. Algunos autores señalan que es posible diferenciar la capa visceral y parietal con transductores de muy alta frecuencia<sup>34</sup>. No obstante, estudios de correlación patológica han confirmado que los hallazgos pueden corresponder a la pleura parietal y la fascia endotorácica externa y se considera un error la distinción de ambas capas en un individuo sano<sup>35</sup>. En los casos en los que exista derrame pleural, ambas capas quedarán claramente separadas lo que permitirá el diagnóstico de patologías dependientes de cada una de ellas.

Cuando se realiza la exploración con el paciente respirando con normalidad podemos identificar el movimiento de la línea pleural, que traduce el desplazamiento que realiza el pulmón recubierto de la pleura visceral sobre la pleura parietal adherida a la pared torácica. Este signo se conoce como "deslizamiento pleural" o "lung sliding"<sup>28</sup>. Podemos utilizar el dinamismo de este movimiento para evidenciar zonas pulmonares ocultas tras estructuras óseas, solicitándole al paciente que realice una inspiración más profunda.

La línea pleura va a guiar la exploración de ET y diferencia dos espacios (Figura 16).

- El espacio de Merlín es una superficie delimitada por la línea pleural, la sombra de las costillas y la parte inferior de la pantalla en donde vamos a poder identificar los distintos artefactos del parénquima pulmonar<sup>31</sup>.

- En la parte superior de la línea pleural se identifica el espacio de Keye, que hace referencia a las estructuras de la pared torácica<sup>31</sup>.

El modo M, nos da información sobre el movimiento, de manera que las estructuras que no se desplazan en el ciclo respiratorio, las situadas en el espacio de Keye, se mostrarán como líneas continuas. Mientras que las estructuras que si se mueven, las situadas en el espacio de Merlín, se verán como granuladas, definiendo el "signo de la arena de playa"<sup>31</sup> (Figura 16). El movimiento pleural puede estar disminuido o abolido por múltiples patologías, pero de forma fisiológica debemos esperar un mayor deslizamiento en las bases pulmonares que en los ápex, pues fisiológicamente las bases presentan una mayor ventilación.

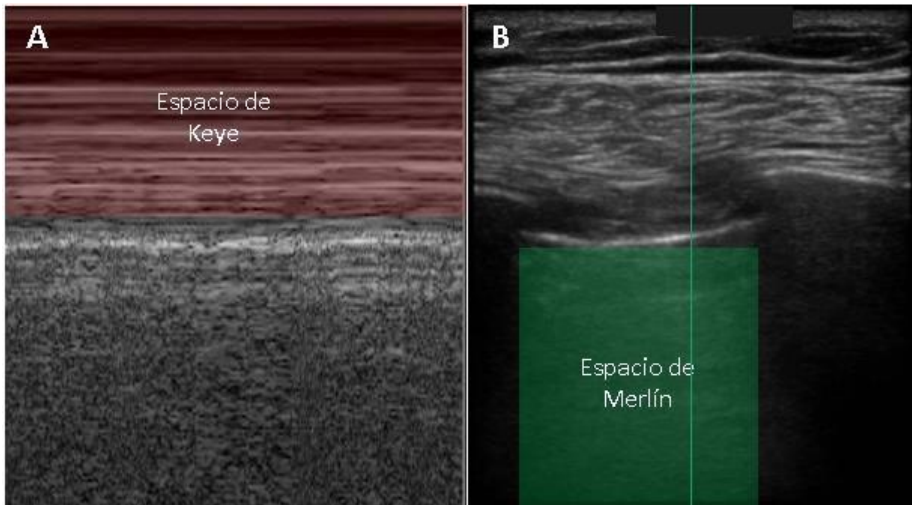


Figura 16. Espacio de Keye y espacio de Merlín con una sonda lineal de alta frecuencia (6-13 MHz). Imagen A: Obtenida en modo M, evidenciamos el signo de la arena de playa donde el espacio de Merlín es granulado y el espacio de Keye es lineal. Imagen B: Obtenida en modo B en eje longitudinal. La línea verde vertical representa la zona que va a ser valorada en modo M. Elaboración propia de la doctoranda.

Aunque el aire no es capaz de conducir el US, la insonación del tórax produce una serie de artefactos que nos permiten identificar el parénquima normal. Para ello es recomendable el uso de sondas de baja frecuencia que nos permitan una exploración en profundidad como la convexa o la sectorial.

Utilizando el modo de modulación de brillo (Modo B) el parénquima normal genera una interferencia homogénea, consistente en un granulado que se mueve bajo la pleura con los movimientos respiratorios. En profundidad podremos encontrar una o varias líneas hiperecogénicas paralelas a la pleural (líneas A). Su presencia es rigurosamente normal y traduce una adecuada aireación del parénquima pulmonar. Como ya comentamos anteriormente, también es normal encontrar hasta dos líneas hiperecogénicas verticales que parten de la pleural, se mueven con los movimientos respiratorios y no se extinguen en profundidad (líneas



B), por cada espacio intercostal, cuya aparición es más habitual en personas de mayor edad, en las bases y campos inferolaterales. Pero si encontramos más de dos líneas B por espacio intercostal, puede traducir patología parenquimatosa.

Por otro lado, ante la presencia de patología parenquimatosa, cambian las condiciones del parénquima al perder aireación pulmonar y generar estructuras sólidas o acuosas que sí pueden verse en una ecografía. Además, la mayoría de la patología es yuxtapleural y eso facilita su observación.

### 1.3.3 Estudio de la patología pleural

#### 1.3.3.1 Derrame pleural

La valoración, diagnóstico y tratamiento del derrame pleural supone una actividad creciente para los servicios en Neumología. Se estima una incidencia de 320 casos por 100.000 habitantes al año<sup>36</sup> y pueden relacionarse con la presencia de patologías pleurales, pulmonares o sistémicas. El papel de la ET en el derrame pleural es multifactorial ya que permite realizar un diagnóstico, proporciona información sobre su tamaño y profundidad, es capaz de realizar una aproximación etiológica y guiar procedimientos pleurales para un adecuado diagnóstico y/o tratamiento, disminuyendo el riesgo de iatrogenia.

La cavidad pleural hace referencia a un espacio virtual que contiene una pequeña cantidad de líquido pleural, en condiciones fisiológicas, para que permita el deslizamiento de la pleura visceral adherida al pulmón sobre la pleura parietal. Este líquido está regulado por un equilibrio entre la ultrafiltración del plasma y el drenaje venoso y linfático. Cuando este equilibrio se altera puede formarse un derrame que va a clasificarse, en función de su etiología, en trasudado o exudado<sup>37</sup>.

La valoración de este derrame pleural se ha realizado tradicionalmente mediante una radiografía de tórax, pero la ET ha demostrado tener mayor sensibilidad y especificidad, pudiendo detectar cantidades de

líquido a partir de 5mL, mientras que son necesarios al menos 150mL para poder ser detectados en una radiografía postero- anterior<sup>38</sup>.

La presencia de pequeños derrames pleurales periféricos en ocasiones puede ser difícil de diferenciar de un engrosamiento pleural. Para diferenciarlos es útil la señal de Doppler-color, ya que en el caso de ser un derrame pleural va a producir cambios en la señal debido a los movimientos respiratorios, formando el signo conocido como "color fluid", mientras que si es un engrosamiento pleural no presentará alteraciones<sup>39</sup>.

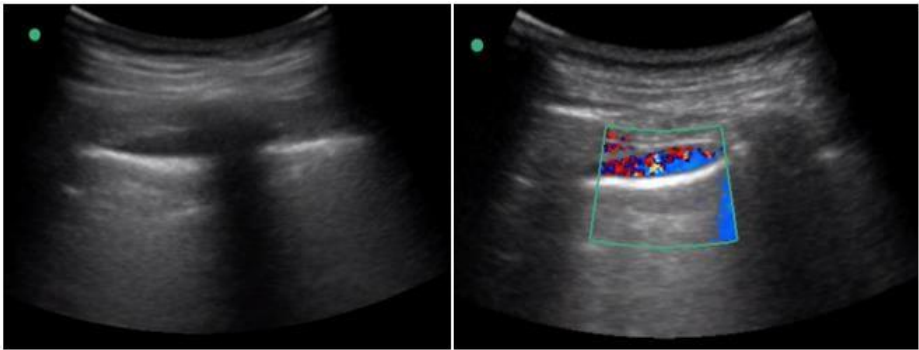


Figura 17. Leve derrame pleural representada por una ocupación anecogénica del espacio pleural de escasos milímetros de grosor. Para diferenciar si se trata de un engrosamiento pleural o de un derrame se recomienda el uso de Doppler-color (imagen de la derecha), donde se evidencia una señal en el interior de la cavidad pleural, confirmando que se trata de un pequeño acúmulo de líquido. Este signo es conocido como "color fluid"<sup>39</sup>. Elaboración propia de la doctoranda.

En caso de que los derrames sean de mayor tamaño, su ecogenicidad nos va orientar hacia la etiología de los mismos. La mayoría de los trasudados al tener concentraciones más bajas de moléculas complejas, particularmente proteínas, son anecoicos pero los exudados también pueden ser anecoicos hasta en un 14%<sup>40</sup>. Los derrames homogéneamente ecogénicos, suelen estar producidos por exudados, hemotórax, quilotórax o empiemas no septados<sup>11</sup>. Los casos de derrames tabicados sugieren la presencia de un empiema. Algunos datos ecográficos pueden orientar hacia un diagnóstico de malignidad como es la presencia

de un engrosamiento de la pleura diafragmática o nodularidad pleural y la presencia de un derrame pleural heterogéneo<sup>11</sup>. El signo conocido como signo del plancton nos habla de la presencia de un derrame celular con remolinos de detritus flotando y es frecuente encontrarlo ante la presencia de hemotórax o derrames pleurales malignos<sup>41</sup>.

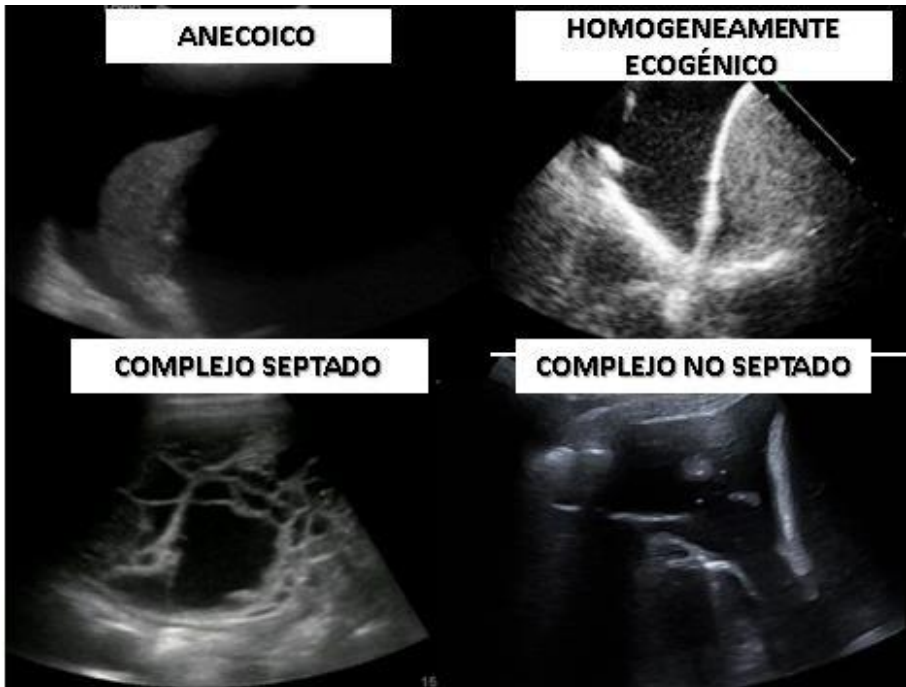


Figura 18. Características ecográficas de los derrames pleurales. Elaboración propia de la doctoranda.

Para la estimación del volumen contenido en un derrame pleural mediante ET se recomienda el uso de transductores convexos o sectoriales, para tener una idea de su extensión en profundidad y relación con otros órganos. Se han publicado varias ecuaciones para estimar el volumen del derrame a través de US, tras comparación de varias de estas ecuaciones se ha determinado que la fórmula más precisa es la que re-

laciona la altura del derrame (H) en cm y la distancia desde parte inferior del pulmón hasta el vértice del diafragma (C) en cm con una precisión del 83%<sup>30</sup> (Figura 19).

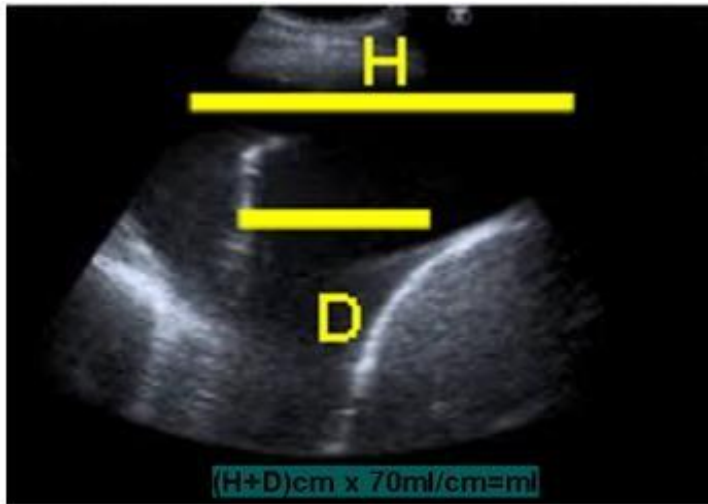


Figura 19. Fórmula de Hassan para estimar el volumen del derrame pleural. Elaboración propia de la doctoranda adaptada de *J.Ultrasonido*.2017;20(4):267-271<sup>42</sup>.

### 1.3.3.2 Engrosamiento pleural

El engrosamiento pleural se define como una lesión focal en la pleura parietal o visceral, con un grosor mayor de 3 mm con o sin márgenes irregulares<sup>11</sup>. Se caracterizan por ser hipocogénicos y a veces es difícil diferenciarlo del derrame pleural, tal y como hemos comentado previamente.

Los tumores pleurales benignos como fibromas y lipomas presentan una baja incidencia y por lo general son de forma redonda u ovalada, hipocóicos, homogéneos y no infiltran las estructuras circundantes.

Las placas pleurales relacionadas con el amianto también son hipocóicas pero su alto contenido en calcio hace que puedan producir

sombras acústicas tras de sí. La nodularidad pleural maligna es un hallazgo más común y se caracteriza por ser irregular, bien circunscrita y heterogénea<sup>30</sup>.

### 1.3.3.3 Neumotórax

El neumotórax es una patología que consiste en el acúmulo de aire dentro de la cavidad pleural, lo que supone un aumento de la presión intrapleural y por tanto genera una dificultad de la expansión pulmonar. En función de su etiología puede clasificarse en espontáneo o traumático. Los neumotórax espontáneos pueden ser primarios, si no tienen un factor precipitante y secundarios, en caso de desencadenarse por una enfermedad subyacente (ej. enfisema). El neumotórax traumático puede ser iatrogénico, en caso de desencadenarse tras un procedimiento médico (biopsia transparietal, toracocentesis evacuadora o vía venosa central) o no iatrogénico si se produce por un traumatismo torácico<sup>43</sup>.

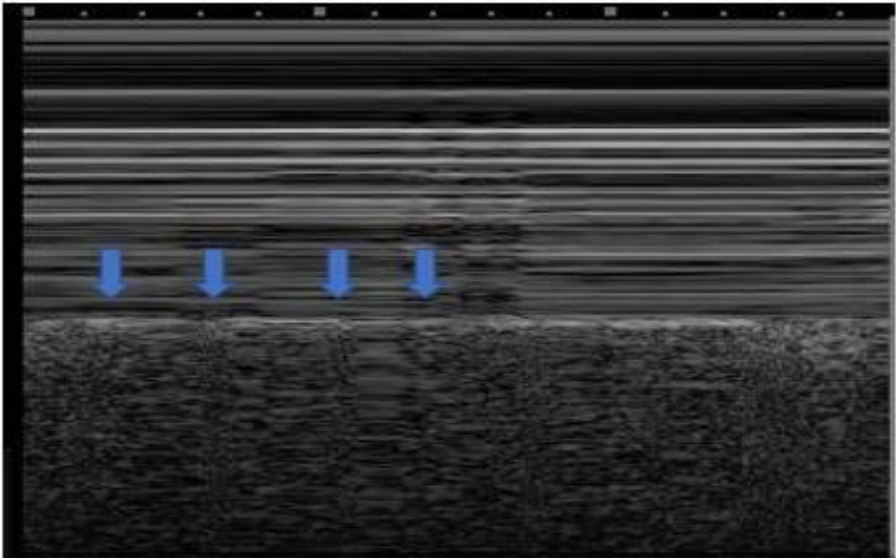
El diagnóstico ecográfico de neumotórax se puede realizar utilizando diferentes sondas, aunque se prefiere aquellas con más frecuencia para poder visualizar con mayor definición estructuras superficiales. Teniendo en cuenta que el aire intrapleural tiende a acumularse en las partes menos declives, debido a la gravedad, la exploración debe hacerse con el paciente en decúbito supino empezando por la cara anterior y desplazando el transductor hacia la cara lateral. Generalmente es suficiente el modo B para su diagnóstico, pero el modo M puede ser útil para distinguir el movimiento.

La base del diagnóstico ecográfico del neumotórax es la identificación de los signos dinámicos que parten de la línea pleural, fundamentalmente el deslizamiento pleural, la transmisión de los latidos cardiacos y la identificación de las líneas B<sup>44</sup>.

El deslizamiento pulmonar es un signo dinámico visible como un ligero y brillante movimiento horizontal de "vaivén" en la línea pleural. Se produce por el movimiento de la pleura visceral sobre la pleural parietal con el ciclo respiratorio. En pacientes que movilizan pequeños

volúmenes, a veces puede resultar difícil identificarlo, en estos casos es útil la valoración en modo M para evaluar los movimientos sutiles de la línea pleural ya que, si hay deslizamiento pulmonar, la imagen de US tendrá apariencia granular bajo la línea pleural (en el espacio de Merlyn) y en caso de ausencia de movimiento, esta zona tendrá apariencia linear produciendo la imagen de código de barras. En los pacientes con neumotórax la interposición de aire entre las dos capas pleurales hace que desaparezca el deslizamiento pleural y aparezca el signo del código de barras.

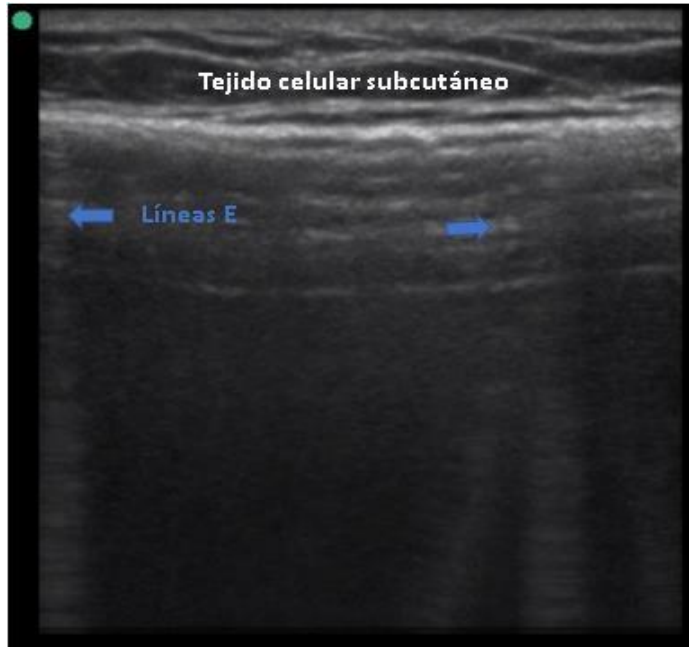
La presencia de deslizamiento pleural, excluye el neumotórax con un valor predictivo negativo del 100%<sup>45</sup>. No obstante, debe señalarse que su ausencia no es indicativa de neumotórax, ya que se ha descrito que el movimiento pleuropulmonar puede estar disminuido o incluso abolido en pacientes con enfisema, antecedentes de cirugía previa, pleurodesis, enfermedad pleural crónica, o en pacientes sometidos a elevada presión positiva al final de la espiración (PEEP). Para poder diagnosticar un neumotórax será necesario encontrar otros hallazgos además de la ausencia del movimiento pleuropulmonar. Otro de los signos que nos pueden ayudar en el diagnóstico ecográfico de neumotórax es la ausencia del pulso pulmonar. Este signo se caracteriza por el movimiento vertical de la línea pleural por la transmisión de los latidos cardiacos. En el modo B, estos movimientos pueden verse como pequeños pulsos pulmonares sincrónicos con el ritmo cardíaco. Los latidos del corazón transmitidos a través del pulmón también se pueden ver en el modo M, como patrones pulsátiles de la orilla del mar o en un código de barras. La separación de la pleural parietal y visceral por aire, va a hacer que no se transmitan los latidos del corazón a la pared torácica, impidiendo la detección de este signo<sup>44</sup> (Figura 20).



**Figura 20. Pulso pulmonar en modo M: Trasmisión de los latidos cardiacos en la línea pleural, sobre la imagen de arena de playa. Elaboración propia de la doctora.**

En el pulmón sano, el aire dentro de los espacios alveolares dificulta la visualización del parénquima, pero si los tabiques interlobulillares comienzan a llenarse de líquido o se fibrosan, se permitirá el paso del haz de US, dando lugar a las líneas B. El artefacto representado por las líneas B es dinámico, ya que se mueve sincrónicamente con la respiración. Hasta dos líneas B por espacio intercostal, pueden encontrarse de forma fisiológica y su visualización excluye el diagnóstico de neumotórax, puesto que para producirse deben estar en contacto ambas hojas pleurales. Se ha demostrado que el valor predictivo negativo de este signo es del 100%<sup>46</sup>. No obstante, la ausencia de líneas B no es indicativa de neumotórax puesto que no siempre pueden verse en individuos sanos y están disminuidas en pacientes con EPOC o enfisema. Es importante diferenciar las líneas B de las líneas E, estas últimas también son líneas verticales hiperecogénicas, pero parten del tejido celular sub-

cutáneo. Se producen ante la presencia enfisema subcutáneo por la reverberación del haz de US ante la presencia de aire en la pared torácica (Figura 21).

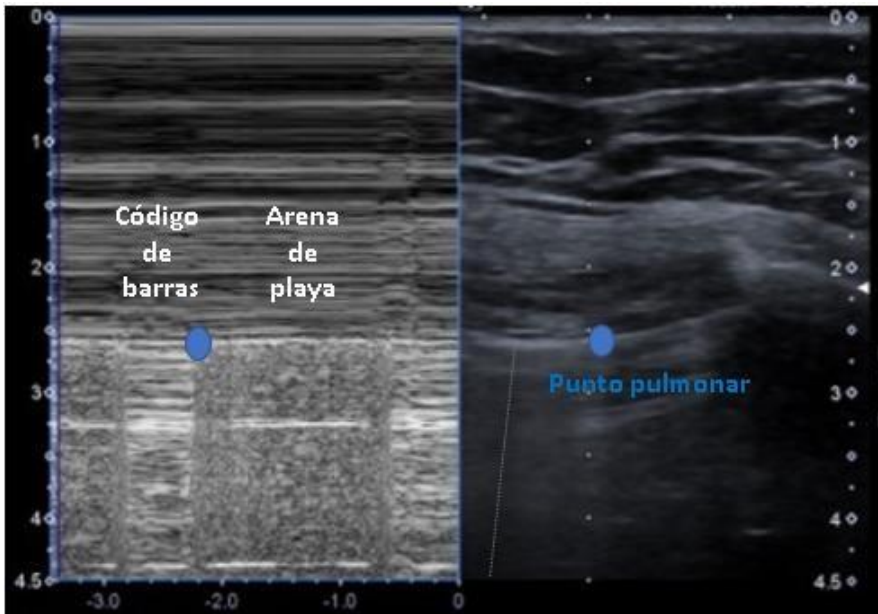


**Figura 21. Líneas E:** Líneas hiperecogénicas verticales, que parten del tejido celular subcutáneo ante la presencia de aire en la pared torácica. Se encuentran en pacientes con enfisema subcutáneo y es importante diferenciarlas de las líneas B. Elaboración propia de la doctoranda.

El signo que por sí sólo es patognomónico de neumotórax es el punto pulmonar. El hallazgo de este signo, se encuentra colocando la sonda de US en la zona donde el pulmón empieza a despegarse de la pared torácica por el acúmulo de aire intrapleurales. En este punto se pueden identificar dos patrones distintos en la pantalla: uno que sugiere que no hay deslizamiento pulmonar y/o líneas B, en la zona donde están las capas pleurales separados por aire, y otro con deslizamiento pulmonar normal y/o líneas B donde las capas pleurales todavía están en contacto. El signo del punto pulmonar es dinámico, ya que el pulmón se desliza



y/o las líneas B reemplazan intermitentemente la pleura inmóvil durante la respiración. En el modo M, el punto pulmonar aparece como un patrón de arena de playa y código de barras (Figura 22).



**Figura 22. Punto pulmonar.** Signo 100% específico de neumotórax, corresponde a la zona en la que comienzan a separarse pleura parietal y visceral por la interposición de aire entre ellas. En la zona de neumotórax encontraremos el signo del código de barras, mientras que en la zona donde las pleuras estén aun adheridas se evidenciará la arena de playa. Izquierda: Imagen en modo M. Derecha: Imagen en modo B. Elaboración propia de la doctoranda.

La detección ecográfica de neumotórax requiere reconocer o excluir estos cuatro signos, por ello es útil seguir un orden para protocolizar el diagnóstico. En primer lugar, se valorará la ausencia de deslizamiento, en caso de dudas en este signo dinámico se buscará en modo M el signo del código de barras. Posteriormente se descartará la presencia de líneas B y de pulso pulmonar. Para finalizar la exploración se desplazará la sonda ecográfica desde la cara anterior hacia la zona lateral, en busca del punto pulmonar cuyo hallazgo es 100% específico de la presencia de neumotórax<sup>46</sup>.

La localización del punto pulmonar permite evaluar la magnitud de un neumotórax de forma semicuantitativa, tras la exploración en decúbito supino. De manera que cuando el punto pulmonar se encuentra en la línea axilar media traduce un colapso pulmonar del 15% con una sensibilidad del 83,3% y una especificidad del 82,4%<sup>47</sup>. La localización de este punto por detrás de esta línea sugiere la necesidad de drenaje a través de un tubo endotorácico. Uno de los potenciales problemas de la ecografía en la determinación del volumen de un neumotórax es que este sea loculado, ya que en estos casos la localización del punto pulmonar en zonas laterales del hemitórax no tiene por qué representar un neumotórax de gran cuantía.

En el ámbito de la Neumología, el neumotórax iatrogénico se encuentra hasta en un 6% de los casos tras la realización de procedimientos broncopleurales invasivos<sup>48,48</sup>. Es por ello que la recomendación actual en manuales o guías es realizar una radiografía de tórax después de procedimientos semi-invasivos broncopleurales para descartar complicaciones como un neumotórax, especialmente en los pacientes sintomáticos<sup>49</sup>. Esta complicación es especialmente frecuente tras la realización de biopsias pleurales (BP), biopsias transbronquiales ciegas (BTB) o toracocentesis evacuadoras (TE), pero también puede producirse en intervencionismo mediastínico, e incluso, durante la colocación de vías subclavias. En este sentido son pocos los trabajos que se han desarrollado para valorar el papel de la ET, realizada por el mismo operador que ha realizado el procedimiento, para descartar la presencia de neumotórax. Uno de los más destacados evalúa la utilidad de la ET tras una biopsia pulmonar guiada por ultrasonidos, obteniendo valores de sensibilidad, especificidad, VPP, VPN y precisión del 100%<sup>50</sup>. Si estos resultados se validasen en el resto de técnicas broncopleurales utilizadas de forma rutinaria en la neumología (BP, BTB, TE), implicaría cambios sustanciales en el manejo de los pacientes, gracias a una mayor precisión diagnóstica a pie de cama, evitando radiografías de tórax innecesarias y evitando la exposición a radiación que ello conlleva. Además, se desconoce si es necesario una formación específica para la detección

ecográfica de neumotórax y cuál es la rentabilidad diagnóstica al iniciarse en la detección del mismo.

La técnica habitualmente utilizada para descartar neumotórax es la radiografía de tórax. En los servicios de Urgencias y tras haber sometido a un paciente a cirugía o sedación, la mayoría de las radiografías se realizan con el paciente en decúbito supino, y ante la presencia de neumotórax el aire atrapado anterior y medialmente al pulmón es particularmente difícil de detectar y cuantificar en esta proyección. En la literatura se han detectado resultados falsos negativos del 30-76% con esta proyección<sup>51,52</sup>. Por lo tanto, pese a que la radiografía anteroposterior sigue siendo la técnica más accesible, es la menos sensible de todas las proyecciones. La radiografía postero-anterior presenta una mayor rentabilidad diagnóstica que la radiografía en decúbito supino. El valor de la ET en la literatura se ha evaluado fundamentalmente frente a ésta última, en pacientes de Urgencias tras un traumatismo, donde el diagnóstico rápido es crucial<sup>30</sup>. Como no hay ensayos controlados que evalúen el efecto o resultado clínico, la TC sigue siendo la prueba de referencia<sup>30</sup>. Otros aspecto que limitan el uso de la ET de forma generalizada, es que ha demostrado que la precisión ecográfica está relacionada con la habilidad del operador<sup>53</sup>.

En casos de un paciente sedado o crítico la colaboración puede ser escasa para la movilización y la detección del punto pulmonar puede resultar complejo. Las nuevas aplicaciones de la ecografía permiten facilitar el diagnóstico de neumotórax. La elastografía por US, se desarrolló para evaluar la elasticidad de los tejidos. Esta técnica detecta la deformación del tejido tras las compresiones suaves de una onda (método Strain) o valora la velocidad de la onda de corte generada por el US al impactar con la superficie a estudio (método SWE). En el caso de un neumotórax, permite mejorar visualmente la detección del punto pulmonar ya que, en la zona de pulmón sano, la interacción del parénquima con el US se va a interpretar como pulmón compresible, es decir, blando y por tanto no va a ser coloreado, mientras que en la zona de neumotórax se va a interpretar como zona rígida aportándole color y dando lugar al signo conocido como "elasto-point"<sup>54</sup>.

Por otro lado, la técnica del Speckle tracking permite la detección y seguimiento de la deformación de una estructura anatómica a lo largo del tiempo, analizando marcadores acústicos. Su mayor área de desarrollo ha sido en el ámbito de la cardiología, para cuantificación de la tensión miocárdica, pero también puede ser utilizada para valoración del deslizamiento pulmonar, especialmente en las patologías que resulta más difícil su detección como las bullas o la hipoventilación. La tecnología speckle tracking ha demostrado cuantificar el grado de deslizamiento pulmonar permitiendo detectar con una fiabilidad del 100% aquellos pacientes con abolición del mismo<sup>55</sup>.

### 1.3.4 Estudio del parénquima pulmonar

#### 1.3.4.1 Neumonía bacteriana

La infección del tracto respiratorio inferior constituye la principal causa de mortalidad por enfermedades infecciosas de todo el mundo, según datos de la Organización Mundial de la Salud<sup>56</sup>, por ello es crucial optimizar las estrategias diagnósticas que nos permitan realizar una detección precoz. Varios estudios han validado la ET como técnica útil en el diagnóstico y seguimiento de los pacientes con neumonía.

Esta técnica ofrece claras ventajas sobre la radiografía de tórax, pues puede realizarse de manera inmediata, a pie de cama, sin emitir radiación ionizante, mediante una exploración dinámica y con menor coste.

La neumonía bacteriana es la consecuencia de la ocupación del espacio aéreo, por material que confiere un aspecto sólido al pulmón, dando una imagen de hepatización pulmonar, es decir, que adquiere una ecogenicidad similar a la del hígado. Esto hace que el US pueda atravesar las estructuras del parénquima pulmonar y, a diferencia de lo que ocurre en condiciones normales, permite identificar estructuras como vasos o bronquios en su interior.

La imagen característica de una neumonía bacteriana, en la ET, consiste en una consolidación subpleural con ecogenicidad tisular “hepatización”, con márgenes que no están bien definidos y que generalmente adoptan forma de sierra, acompañados de líneas B<sup>30</sup>.

Pero la presencia de una consolidación no constituye un hallazgo específico de una neumonía bacteriana, ya que también podemos encontrarla en otras patologías que impliquen una pérdida de aireación, como es el infarto pulmonar, los tumores o las atelectasias. Por ello es importante describir las características de la consolidación para poder establecer un diagnóstico diferencial desde el punto de vista del US, teniendo en cuenta si la consolidación es homogénea o heterogénea, ecogénica o hipocogénica, de bordes bien definidos o mal definidos y describir su patrón vascular.

Una característica que favorece el diagnóstico hacia una neumonía bacteriana es la presencia del broncograma aéreo dinámico<sup>57</sup>. Este signo hace referencia al aire intrabronquial atrapado, que se moviliza en forma de árbol en brote con los movimientos respiratorios, es hiperecogénico por la gran reflexión de haces de US que produce el aire en medio de un parénquima consolidado y está presente entre el 70-88% de las neumonías bacterianas<sup>30</sup>. Una vez identificado el broncograma aéreo en el seno de una consolidación, es importante que se explore todo el parénquima hepatizado para identificar áreas sin broncograma o zonas en las que éste se encuentre desplazado, puesto que estos hallazgos pueden traducir la existencia de otras patologías sobreañadidas. No obstante, este signo no está presente en todas las neumonías, ya que algunas circunstancias, como la exploración de un paciente ventilado con altas presiones espiratorias, van a dificultar su localización, por lo que su ausencia no excluye el diagnóstico de esta patología infecciosa.

Otro de los signos que podemos encontrar en una neumonía bacteriana, hasta en el 8% de los casos, es el broncograma fluido. Se define como estructuras tubulares anecoicas situadas alrededor del árbol bronquial. En ocasiones pueden confundirse con vasculatura, pero las paredes bronquiales del broncograma fluido están mejor definidas que las de los vasos sanguíneos. Para establecer un diagnóstico diferencial es

útil el uso del modo Doppler color, que rellenará las estructuras vasculares pero no las que representan el broncograma fluido<sup>30</sup>. Este signo se puede visualizarse desde fases tempranas de la enfermedad, por obstrucción bronquial debido a las secreciones, pero su persistencia en el tiempo debería hacer pensar en una neumonía obstructiva y es una indicación para realizar una broncoscopia<sup>30</sup>.

La vascularización de las neumonías se encuentra uniformemente aumentada y ramificada hasta la pleura, a diferencia de lo que ocurre en consolidaciones como el infarto pulmonar, que es avascular, o los tumores que presentan una vascularización periférica y aberrante<sup>58</sup>.

Con respecto al parénquima circundante a la neumonía, generalmente no es parénquima sano, sino que presenta un síndrome intersticial focal con aumento de líneas B debido a la pérdida de aireación. El borde irregular entre el pulmón consolidado y aireado se denomina signo de la trituración y hace referencia al punto en el que empieza a existir aireación. Otro aspecto a considerar, es que las neumonías se acompañan de la presencia de un derrame pleural paraneumónico hasta en el 55% de los casos<sup>30</sup>.

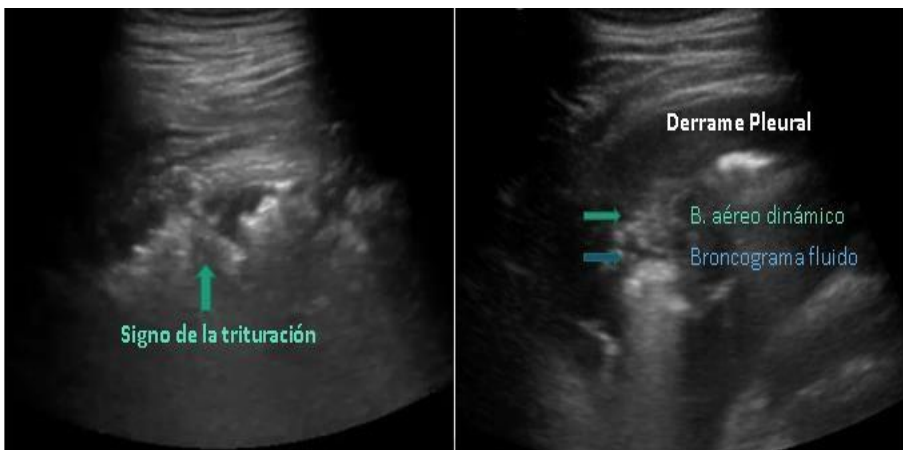


Figura 23. Imágenes de neumonía. A la izquierda se presenta el signo de la trituración, a la derecha una neumonía con broncograma aéreo dinámico, broncograma fluido y derrame pleural paraneumónico. Elaboración propia de la doctoranda.

Uno de los aspectos a tener en cuenta, es que para poder visualizar una consolidación ésta debe estar en contacto con la pared torácica. En ocasiones las consolidaciones no son accesibles a la exploración ecográfica, pero si podemos valorar datos indirectos de pérdida de aireación circundante, mediante un aumento de densidad del tejido en forma de líneas B focales. En caso de que ni la consolidación ni el halo circundante contacten con la pared torácica obtendremos un falso negativo de la exploración de ET, que se ha descrito entre el 3-26,5% de los casos<sup>59,60</sup> (Figura 24).

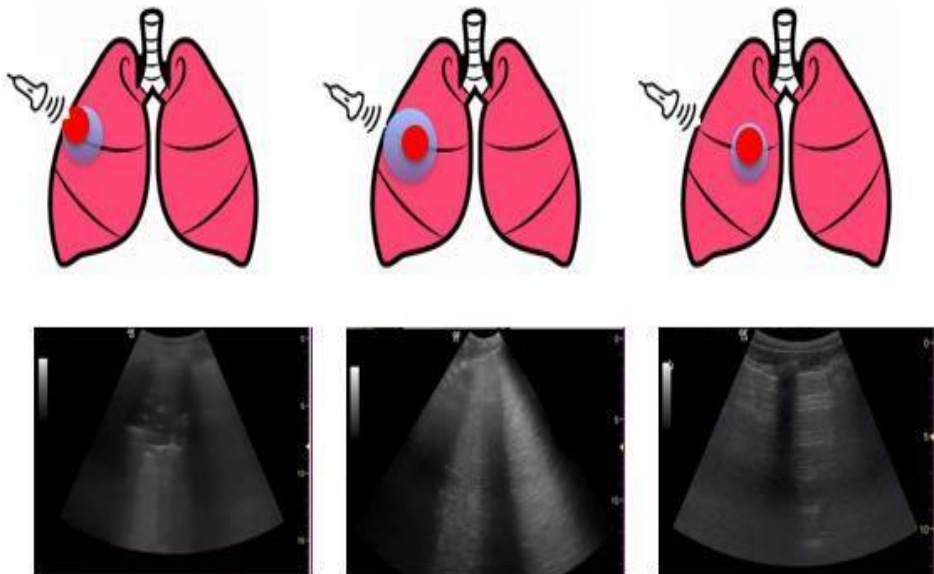


Figura 24. En la imagen de la izquierda se visualiza una consolidación porque la neumonía contacta con pared torácica. En la imagen central sólo contacta con la pared torácica el halo de inflamación circundante a la neumonía. En la imagen de la derecha representaría un falso negativo de la ET pues no contacta con la pared torácica. Elaboración propia de la doctoranda.

#### 1.3.4.2 Neumonías víricas

Las neumonías víricas, al igual que las fúngicas, suelen estar menos ventiladas que las neumonías bacterianas y por tanto no suelen expresar el signo del broncograma aéreo dinámico. La zona consolidada suele ser de menor tamaño que las neumonías bacterianas y en ocasiones pueden confundirse con infartos pulmonares, pero a diferencia de estos si disponen de captación Doppler<sup>61</sup>. Sin embargo, la detección de neumonías víricas en ET no era un hallazgo común hasta la llegada del SARS-CoV-2.

La enfermedad por el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19) fue declarada pandemia el 11 de marzo de 2020 por la Organización Mundial de la Salud<sup>62</sup>. El espectro clínico de la infección por COVID-19 es amplio y, aunque la mayoría de las personas infectadas desarrollan síntomas leves-moderados, hasta un 15-20% de los pacientes precisan ser hospitalizados y desarrollan complicaciones que incluyen neumonía viral grave, con posible evolución a síndrome de distrés respiratorio agudo, e incluso muerte<sup>63</sup>.

Con la pandemia debida al coronavirus SARS-CoV-2, la ET ha adquirido un gran protagonismo al poder ser utilizada de forma sencilla y segura tanto para el diagnóstico, como para establecer un pronóstico y seguimiento<sup>64-66</sup>. En el contexto de una pandemia, ofrece claras ventajas sobre otros métodos radiológicos, al disminuir el riesgo de transmisión nosocomial, ya que se puede realizar a pie de cama.

La afectación radiológica de la neumonía por COVID-19 presenta una distribución bilateral, heterogénea y de predominio postero-basal.

Destaca la presencia de líneas B, que se intercalan con zonas de parénquima preservado (patrón A), que parten de una línea pleural irregular, en ocasiones engrosada, y en los casos de mayor gravedad presencia de consolidaciones subpleurales o lobares con presencia de broncograma aéreo estático o dinámico<sup>67</sup>.

El patrón ecográfico es similar al que se encuentra en el síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), pero cuenta con algunas peculiaridades ya que las líneas B en la neumonía por COVID-19 se visualizan en todas sus formas posibles. Podemos describir la neumonía por CO-



VID-19 como una tormenta de grupos de líneas B, tanto en formas separadas como coalescentes, que a veces dan la apariencia de un pulmón blanco brillante. Éstas pueden surgir de un punto de la línea pleural lisa o fragmentada y de pequeñas consolidaciones periféricas. Las líneas B representan un signo típico de la enfermedad, pero también se pueden observar en otras enfermedades intersticiales de diversa etiología. Sin embargo, lo que le da especificidad a ET es la distribución del patrón y, sin ninguna duda, el entorno epidemiológico de la pandemia. La distribución bilateral parcheada, alterando de manera brusca con zonas aireadas, es típica de esta enfermedad.

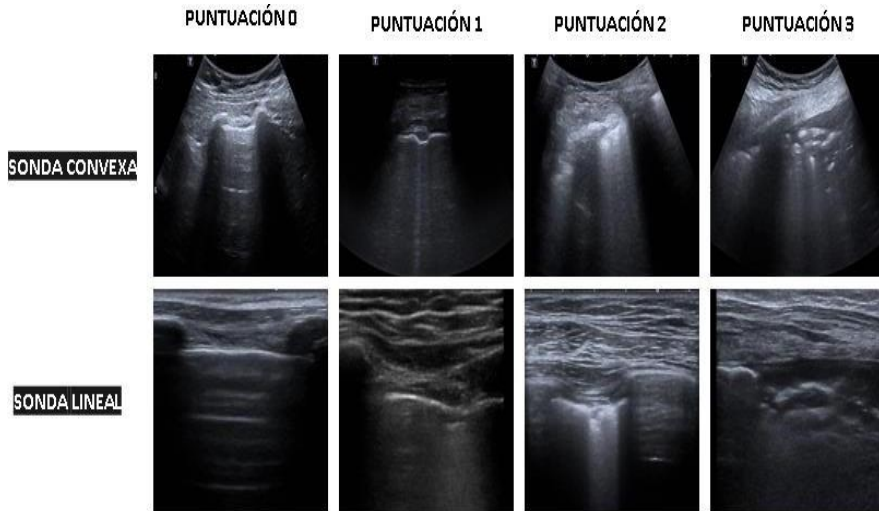
Existe un artefacto que requiere una mención especial, es el denominado "haz de luz", que hace referencia a un artefacto brillante en forma de banda que se extiende desde una gran parte de una línea pleural regular, que a menudo aparece y desaparece durante la respiración y se alterna con un patrón normal de líneas A visible en el fondo<sup>67</sup>. Algunos autores han denominado este signo, el signo de la cascada, sin diferenciar este artefacto vertical de otros signos, menos específicos, como las líneas B coalescentes que surgen de las consolidaciones periféricas o de una línea pleural muy irregular. La identificación del haz de luz, partiendo de una línea pleural intacta, es crucial para asignar un diagnóstico de alta probabilidad. De este modo, se considera un patrón ecográfico de alta probabilidad diagnóstica para neumonía por COVID-19, a la presencia de líneas B multifocales bilaterales y parcheadas de predominio en lóbulos inferiores, asociados o no a pequeñas consolidaciones y con la presencia del haz de luz<sup>67</sup>.

De no encontrar el haz de luz, el diagnóstico de probabilidad deberá considerarse como intermedio.

Por último, la ET se considerará de baja probabilidad para neumonía por COVID-19, ante el hallazgo de una consolidación única con presencia de broncograma aéreo asociada a derrame pleural (cuyo diagnóstico más probable será una neumonía bacteriana) o ante la presencia de líneas B de distribución homogénea y predominio gravitacional (cuyo diagnóstico más probable será una insuficiencia cardiaca congestiva)<sup>67</sup>.

Todos los hallazgos de probabilidad mencionados hacen referencia a la posibilidad de detectar una neumonía, pero no descarta otras complicaciones que pueden aparecer asociados a la infección por SARS-CoV-2 como el tromboembolismo pulmonar.

Para cuantificar la extensión de la afectación pulmonar mediante ET, se ha diseñado un sistema de puntuación que se ha correlacionado con el estándar de oro, que es la TC torácica. Para ello cada área explorada recibirá una puntuación que va del 0 al 3 en función de la alteración encontrada en dicha área (Figura 25):



. Figura 25. Sistema de puntuación para valoración de la extensión de la neumonía por SARS-CoV-2, con sonda lineal (abajo) y convexa (arriba). La puntuación de 0 hace referencia a un área adecuadamente aireada con presencia de líneas A y deslizamiento preservado. La puntuación de 1 hace referencias a la presencia de líneas B patológicas, es decir, más de 2 por espacio intercostal explorado que pueden partir de una pleura irregular. La puntuación de 2, hace referencia a una mayor pérdida de aireación, con presencia de líneas B patológicas que tienen a converger. La puntuación de 3 supondría el mayor grado de pérdida de aireación, ante la presencia de una zona de pulmón blanco o consolidación. Elaboración propia de la doctoranda.

Se ha comprobado que cuando la puntuación total o “lung score” es mayor de 23 traduce datos de neumonía grave en la TC, mientras que cuando la puntuación es menor de 13, excluye datos de gravedad en la TC con un área bajo la curva 0,78 (IC95% 0,68-0,87;  $P < 0,0001$ )<sup>68</sup>.

La puntuación total también puede aportar información acerca del pronóstico, ya que se ha visto que los pacientes con un “lung score” mayor de 18 en las primeras 24 horas de ingreso (sensibilidad 62%, especificidad 74%)<sup>69</sup>, así como aquellos que tienen una puntuación mayor de 4 sólo en la exploración de las áreas anteriores (sensibilidad 92,9%, especificidad 71,4%)<sup>70</sup>, son aquellos que tienen una mayor probabilidad de necesitar un soporte respiratorio no invasivo, invasivo o incluso mayor riesgo de fallecer.

Sin embargo, hasta la fecha no se ha descrito si la ecografía podría ser útil para predecir si van a desarrollarse complicaciones a lo largo de la hospitalización y, por tanto, si podría ser útil para respaldar la decisión del alta hospitalaria con mayor seguridad.

Para realizar la exploración ecográfica en un paciente con sospecha de neumonía por SARS-CoV-2 se puede usar un transductor lineal para visualizar la línea pleural y sus defectos con mayor claridad, pero dado que la mayor afectación se presenta en zonas postero basales, donde es necesario un mayor grado de profundidad, también se puede realizar la exploración con un transductor convexo.

Las áreas torácicas de exploración, en esta patología, van a depender de la situación clínica del paciente.

En caso de que se trate de unidades de críticos, pacientes monitorizados o hemo dinámicamente inestables se puede utilizar el protocolo clásico de exploración descrito por Volpicelli y colaboradores<sup>24</sup>, que costa de 8 áreas siendo 4 anteriores y 4 laterales.

En caso de que el paciente lo permita, se recomienda realizar una exploración en sedestación valorando también las áreas posteriores. En este sentido la SEPAR recomienda la exploración de 12 espacios<sup>71</sup> (que suma la valoración de 4 áreas posteriores a la exploración de Volpicelli) y existe una propuesta internacional que sugiere la valoración de 14

áreas<sup>72</sup> (sumando 6 áreas posteriores a la exploración de Volpicelli) Figura 26.

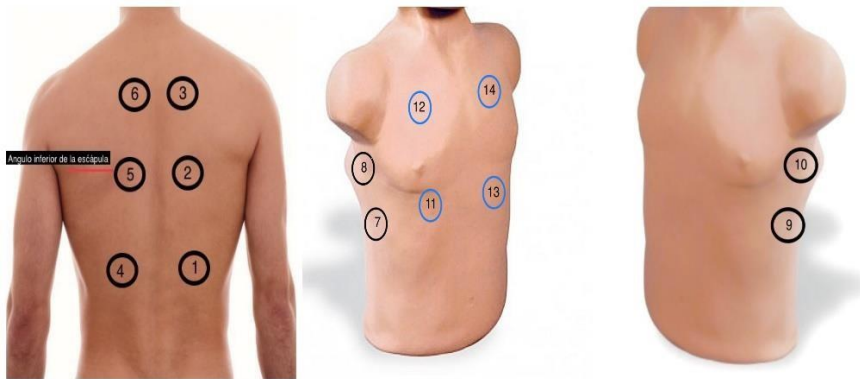


Figura 26: Protocolo de exploración de 14 áreas<sup>1</sup> para valoración de la neumonía COVID-19 mediante ET. El protocolo SEPAR<sup>71</sup> obvia los puntos 2 y 5. El protocolo de críticos<sup>24</sup> abarca sólo áreas antero-laterales. Elaboración propia de la doctoranda, adaptación de J Ultrasound Med 2020; 39:1413-1419.

### 1.3.4.3 Neoplasias

El cáncer de pulmón es uno de los tumores más frecuentes y representa una de las principales causas de muerte por cáncer en todo el mundo<sup>73</sup>.

A diferencia del resto de patologías mencionadas hasta ahora, el valor de la ET para el diagnóstico de tumores pulmonares es limitado y depende de su localización. La TC representa el estándar de oro para el diagnóstico y estadificación de esta patología, sin embargo, la ET puede aportar información relevante acerca del grado de invasión de la pared torácica, la detección de derrame pleural metastásico y para guiar procedimientos pleurales que ayuden a establecer un diagnóstico definitivo.

En la valoración mediante ET, se van a poder identificar los tumores periféricos gracias a su contacto con la pared torácica, pero los tumores centrales solo podrán detectarse en caso de producir una atelectasia obstructiva o derrame pleural.

La lesión característica de esta patología es una consolidación de gran tamaño, con márgenes bien definidos y ecogenicidad homogénea e hipoeoica, con vascularización periférica y aberrante en forma de sacacorchos<sup>30</sup>. El tejido necrótico en su interior puede dar lugar a áreas anecoicas dentro del parénquima pulmonar consolidado. La presencia de broncograma aéreo dinámico es atípica en las neoplasias pulmonares, siendo un hallazgo característico de las neumonías bacterianas, sin embargo, se ha descrito en algunos tumores como el adenocarcinoma, el carcinoma bronquiolo-alveolar y el linfoma pulmonar<sup>74</sup>.

En caso de presentar una atelectasia obstructiva, producida por un tumor central, la consolidación presentará un marcado broncograma fluido sin áreas de broncograma aéreo<sup>75</sup>.

Ante la presencia de una atelectasia asociada a derrame pleural, no siempre va ser posible diferenciar ecográficamente entre una atelectasia compresiva por el derrame y una atelectasia obstructiva producida por un tumor central. En centros expertos en el uso de contraste, el tumor se puede distinguir de la atelectasia por la reducción del realce del medio de contraste<sup>58,76</sup>.

La ecografía puede tener un papel importante para valorar la infiltración de la pared torácica (Figura 27), ya que esta implica cambios en el estadiaje, clasificando al tumor como T3, y también supone implicaciones a la hora de planear una cirugía. Los criterios ecográficos para considerar una infiltración de la pared torácica son los siguientes: ausencia del deslizamiento pulmonar, interrupción de la línea pleural, detección de infiltración tumoral hacia la pared torácica, vascularización tumoral de la lesión a través de la arteria bronquial y vascularización tumoral sistémica adicional de la arterias intercostales<sup>30</sup>. Un estudio prospectivo que incluyó a 90 pacientes reveló que, en comparación con la TC, la ecografía tiene mejor sensibilidad (89% vs. 48%) y similares

valores de especificidad (95% vs. 100%) para evaluar la invasión tumoral de la pared torácica<sup>77</sup>.

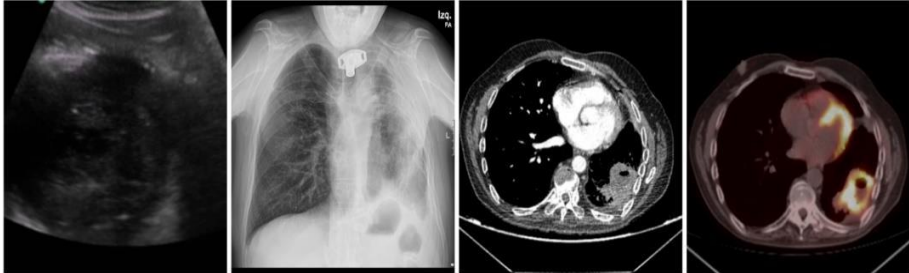


Figura 27. De izquierda a derecha se muestra. Ecografía: detecta una consolidación homogénea e hipoeoica, de márgenes bien definidos, con áreas de necrosis en el interior que invade la pared torácica. Radiografía de tórax: Aumento de densidad en lóbulo superior izquierdo con pérdida de volumen. TC tórax: Masa con centro necrótico. PET-TC: masa en lóbulo inferior izquierdo de amplio contacto con pared pleural y probable infiltración, con cavitación y nivel hidroaéreo en su interior con SUV máximo de 16,4 g/ml. La broncoscopia confirmó un carcinoma broncogénico epidermoide. Elaboración propia de la doctoranda.

#### 1.3.4.4 Síndrome intersticial difuso

La presencia de un síndrome intersticial difuso se caracteriza por el aumento patológico de líneas B, que representan diferentes grados de pérdida de aireación pulmonar, ya sea por afectación intersticial o alveolar. Según los datos recogidos en el documento de consenso<sup>24</sup>, se considera un síndrome intersticial difuso, desde el punto de vista ecográfico, a la presencia de al menos dos áreas de cada hemitórax (siguiendo el protocolo de exploración de 8 espacios de Volpicelli), con más de dos líneas B por espacio intercostal. Esta alteración ecográfica podemos identificarla en distintas enfermedades respiratorias como puede ser la fibrosis pulmonar, el edema cardiogénico, edema no cardiogénico, preeclampsia o neumonía por SARS-CoV-2. Para realizar un diagnóstico diferencial entre estas entidades es fundamental tener en cuenta el contexto clínico, pero algunos datos ecográficos como la distribución o las alteraciones pleurales, pueden mejorar la especificidad de la ET.

#### *1.3.4.4.1 Edema pulmonar cardiogénico*

La ET ha demostrado ser una técnica útil para el diagnóstico, seguimiento y pronóstico de los pacientes con edema cardiogénico. Se caracteriza por un aumento de líneas B bilateral, con distribución homogénea, que parten de una pleura intacta y predominio gravitacional<sup>24</sup>.

El primer protocolo diseñado para la valoración del edema cardiogénico fue diseñado por Jambrik en el 2004<sup>78</sup>, validado en planta de hospitalización de cardiología y neumología. Incluye 28 puntos de la pared torácica antero-lateral, que abarcan desde el 2° a los 4° espacios intercostales izquierdos y del 2° a los 5° espacios intercostales derechos, entre las localizaciones paraesternal, medio clavicular, axilar anterior, axilar media y axilar posterior (Figura 28). Este protocolo demostró una buena correlación ( $r=0,89$ ;  $p<0,01$ ) entre ET y la cantidad de agua extravascular, además, aportó información de la gravedad, clasificando como edema cardiogénico grave a la presencia de más de 30 líneas B, moderado entre 16-30, leve 6-15 y descartó la presencia de esta patología si se encontraban menos de 5 líneas B<sup>78</sup>. Sin embargo, en la práctica clínica este protocolo se utiliza casi de forma exclusiva para la realización de ensayos clínicos, o para la monitorización de tratamiento depletivo en aquellos pacientes que requieren un especial manejo de líquidos, como son los pacientes en diálisis, ya que es muy extenso e implica un mayor consumo de tiempo que el resto de protocolos publicados. Para evitar estas limitaciones, el documento de consenso internacional proponen un protocolo de exploración de cuatro áreas anteriores y cuatro laterales<sup>24</sup> (Figura 28). Este protocolo, validado en servicios de Urgencias y Cuidados Críticos, tiene el objetivo principal del hacer un diagnóstico diferencial de los pacientes que consultan por disnea y permite diferenciar el edema cardiogénico de otras entidades como la agudización de una enfermedad obstructiva de base. Además, mejora la rentabilidad clínica respecto a una exploración física, o incluso frente a las pruebas convencionales como la radiografía de tórax<sup>79</sup>.

Piveta<sup>14</sup>, propuso un protocolo de exploración de 6 puntos, correspondientes al 2º espacio intercostal de la línea medio claviclar, 4º espacio intercostal de la línea axilar anterior y 5º de la línea axilar media, de cada hemitórax (Figura 28). Para su validación se realizó un estudio prospectivo multicéntrico incluyendo a más de 1000 pacientes con disnea aguda, en donde se evidenció que al incorporar la ET, a la evaluación clínica estándar, en el departamento de Urgencias, mejoraba la precisión diagnóstica de la insuficiencia cardíaca aguda (sensibilidad y especificidad 97%), y que hasta en un 19,1% de los pacientes, fueron reclasificados de la sospecha clínica inicial tras los resultados de ET.

Litchestein<sup>59</sup> propuso un protocolo de 4 espacios intercostales (Figura 28), en pacientes hospitalizados en Cuidados Críticos, para establecer un diagnóstico diferencial de la disnea en esta unidad. La rentabilidad diagnóstica para la detección de síndrome intersticial con este protocolo resultó del 100%.

Cuando se han comparado los protocolos mencionados hasta ahora entre sí, en los servicios de Urgencias, el protocolo que más ha aumentado la probabilidad diagnóstica es el de 8 áreas, recomendado por el documento de consenso (C-index 74%), seguido del de 6 áreas (C-index 72,4%) y el de 28 puntos teniendo sólo en cuenta, la presencia de una congestión grave (>30 líneas B) (C-index 72,4%)<sup>80</sup>. Por todo ello actualmente, las recomendaciones vigentes son la valoración de 8 áreas para establecer un diagnóstico inicial y el de 28 espacios intercostales en caso de ser necesaria una monitorización estrecha del agua extravascular.



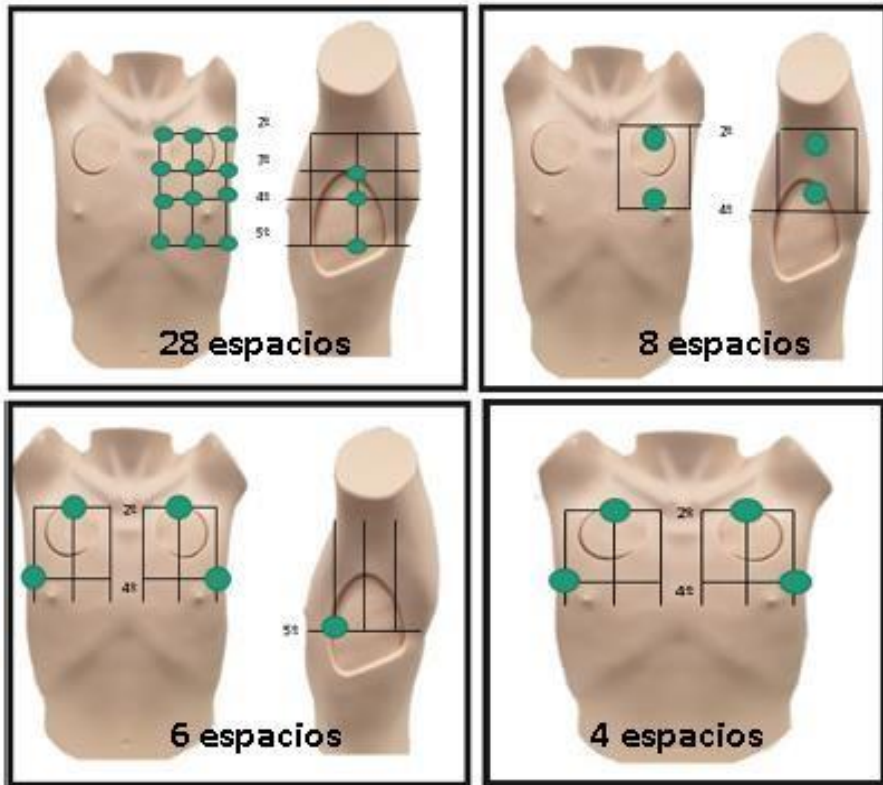


Figura 28. Protocolos de exploración validados para la exploración de pacientes con edema cardiogénico. Protocolo de 28 espacios que abarcan desde el 2° al 4° espacios intercostales izquierdos y del 2° al 5° espacios intercostales derechos, entre las localizaciones paraesternal, medio clavicular, axilar anterior, axilar media y axilar posterior, validado por Jambrik<sup>78</sup> en servicios de Neumología y Cardiología. Protocolo de 8 espacios, 4 anteriores y 4 laterales, validado por Volpicelli en servicios de Urgencias y recomendado por el documento de consenso<sup>24</sup>. Protocolo de 6 espacios correspondientes al 2° espacio intercostal de línea medio clavicular, 4° espacio intercostal de la línea axilar anterior y 5° de línea axilar media, de cada hemitórax, validado por Piveta<sup>14</sup> en Urgencias. Protocolo de 4 espacios correspondientes al 2° espacio intercostal en línea medio clavicular y 4° espacio en línea axilar anterior, propuesto por Litchestein<sup>59</sup> y validado en Cuidado Críticos. Imagen elaborada por la doctoranda y adaptada de CHEST.2020;157:99-110<sup>80</sup>.

Ante la evidencia mostrada por la ET, las sociedades científicas recomiendan su uso para establecer el diagnóstico de insuficiencia cardiaca desde la valoración inicial, ya que reconoce que en manos expertas aporta más información que una radiografía de tórax o una valoración clínica<sup>81</sup>. La ET también ha demostrado tener implicaciones pronósticas en la insuficiencia cardiaca, de modo que aquellos pacientes, que tras una hospitalización por edema cardiogénico, continúan mostrando un aumento de líneas B al alta, tienen un mayor riesgo de ingreso o fallecimiento, que aquellos que no tienen líneas B<sup>82</sup>.

La cantidad de líneas B se ha relacionado con pérdida de aireación, como medida indirecta de la congestión pulmonar<sup>83</sup>. Algunos autores han afirmado que la presencia de un patrón A, traduce una presión de enclavamiento menor de 18 mmHg<sup>59</sup>, sin embargo, esta presión hace referencia a congestión hemodinámica, y la formación de edema cardiogénico no sólo depende de este parámetro, también va a influir la presión alveolo-capilar. De hecho, el aumento de la permeabilidad alveolo-capilar conduce al desarrollo de líneas B sin necesidad de que aumente la presión de enclavamiento y, por otro lado, pacientes con enfermedades crónicas pueden partir de presiones de enclavamiento elevadas sin haber desarrollado líneas B en la ET. Por todo ello es más preciso relacionar las líneas B con la congestión pulmonar que con la presión de enclavamiento.

#### *1.3.4.4.2 Edema pulmonar no cardiogénico*

Esta entidad podemos encontrarla en pacientes con Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo, pero también tras hacer ejercicio a gran altitud o durante el buceo. Cuando el acúmulo de agua extravascular se produce por un aumento de la permeabilidad de la membrana alveolar-capilar, en lugar de un aumento de la presión hidrostática, no sólo se va a ver afectado el intersticio con el aumento bilateral de líneas B, sino que va a existir una implicación alveolar que a nivel ecográfico se traduce en la presencia de consolidaciones alveolares de diferentes tamaños que hacen adoptar una pleura irregular, al contrario de lo que

ocurre en el edema cardiogénico<sup>83</sup>. Otra característica del edema no cardiogénico es la distribución parcheada, donde podemos evidenciar zonas de afectación alveolar junto a áreas con un patrón A.

La ET se ha empleado para valorar la respuesta al tratamiento en este grupo de pacientes, porque permite detectar imágenes con distinto grado de pérdida de aireación, que van desde una consolidación, pasando por líneas B coalescentes con o sin consolidaciones subpleurales, líneas B separadas y por último un patrón A. Se recomienda utilizar un sistema de puntuación (Figura 26) en función de los hallazgos evidenciados. El reclutamiento pulmonar implicará, por tanto, pasar de un patrón más consolidado a otro más aireado. Esta puntuación permite realizar una monitorización, pero también predice el riesgo de distrés tras extubación<sup>84</sup> o permite optimizar la presión espiratoria pautada al final de la espiración (PEEP) evitando sobre distensión<sup>85</sup>.

#### *1.3.4.4.3 Enfermedad pulmonar intersticial*

Las enfermedades intersticiales también se caracterizan por un síndrome intersticial difuso, con un aumento patológico de líneas B en la ET. Pero esta entidad presenta algunas características diferenciadoras como una disminución del deslizamiento y alteraciones pleurales (adelgazamiento, engrosamiento, fragmentación, nódulos subpleurales). Puede presentar un patrón homogéneo o heterogéneo<sup>86</sup>. El número total de líneas B se correlaciona con la extensión de la afectación intersticial en la TC<sup>87</sup>. La distancia promedio entre dos líneas B adyacentes, es un indicador del patrón radiológico evidenciado en la TC. Se utiliza para diferenciar un patrón fibrótico reticular puro, como en la fibrosis pulmonar idiopática, donde las líneas B tienden a estar más separadas (líneas B7), en comparación con un patrón de vidrio esmerilado, característico de una afectación intersticial no específica, donde las líneas B tienden a ser más confluentes (líneas B3)<sup>86</sup>.

Para la exploración ecográfica de esta patología, se han propuesto distintos protocolos, pero en un reciente metaanálisis se recomienda la valoración de 14 espacios intercostales<sup>86,88</sup>. (Figura 29).

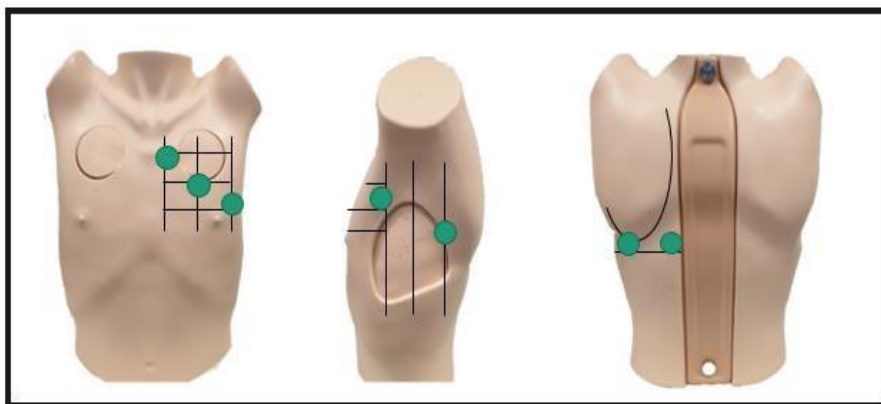


Figura 29. Protocolo de 14 espacios<sup>88,89</sup> recomendado para la valoración de pacientes con enfermedad intersticial.

Se ha encontrado una buena correlación entre el número de líneas B y alteraciones funcionales como la capacidad vital forzada o la difusión<sup>90</sup>.

Quizá el aspecto más interesante de la ET para esta patología es la valoración del grupo de pacientes que tienen un alto riesgo de desarrollar enfermedades pulmonares intersticiales (EPI) durante el curso natural de la enfermedad, como es el caso de las conectivopatías. En este grupo, las líneas B podrían tener un papel como herramienta de detección precoz, ya que su identificación presenta un elevado valor predictivo negativo<sup>91,92</sup> y podría reducir la necesidad de pruebas radiológicas seriadas. Además, en este subgrupo de población, el número de líneas B se ha relacionado con parámetros funcionales como la difusión de

monóxido de carbono (DLCO)<sup>91</sup>. Probablemente nuevas líneas de investigación permitan incluir a la ET en los algoritmos diagnósticos y de seguimiento de pacientes con enfermedades pulmonares intersticiales.

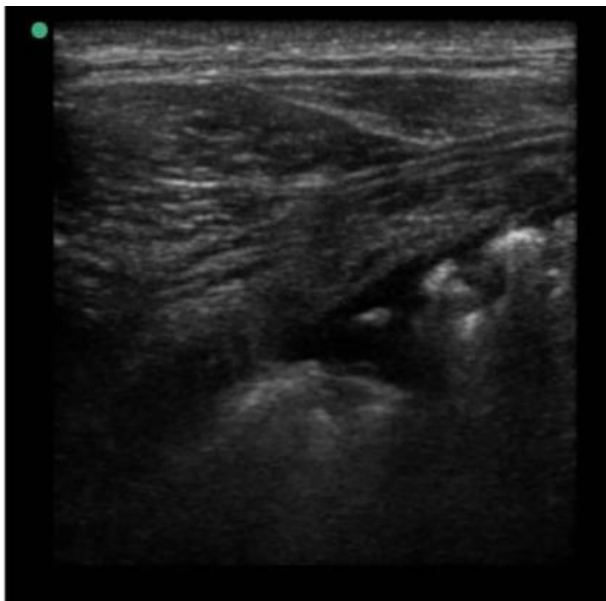
### 1.3.4 Estudio de patología vascular: Tromboembolismo pulmonar

El diagnóstico de tromboembolismo pulmonar (TEP) es siempre un proceso complejo, en el que es necesario integrar la sospecha clínica y la estratificación de riesgo para dirigir las pruebas necesarias que confirmen el diagnóstico. La ecografía podría tener un valor en este proceso ya que ha demostrado ser una técnica útil para la detección de infartos pulmonares con una sensibilidad del (87%) y especificidad del (82%)<sup>93</sup>. Además, la ecografía también es útil para descartar trombosis venosa profunda (TVP), para evidenciar la repercusión hemodinámica de un TEP en el ventrículo derecho y, sobre todo, para descartar la presencia de otras alteraciones pulmonares que justifiquen la clínica del paciente. La ET, como herramienta única o en combinación con el ecocardiograma y la ecografía de miembros inferiores, mejora la rentabilidad de las escalas pronósticas que combinan signos y síntomas, como la de Wells<sup>94</sup>, sin embargo, por el momento no se han definido escalas o algoritmos diagnósticos que incluyan los signos ecográficos como ítem a tener en cuenta.

Ante la presencia de un TEP, el aumento de la presión vascular proximal a la oclusión, genera un aumento de la permeabilidad alveolocapilar, con un llenado alveolar por un exudado eritrocitario, es decir, que el alveolo adyacente al vaso trombosado pierde el surfactante y se congestiona, por tanto, es potencialmente accesible a la valoración ecográfica.

La lesión ecográfica característica de un TEP es una consolidación hipoeoica, de entre 0,5-3 cm de base pleural<sup>95</sup>. El 85% tiene forma de cuña, aunque también pueden ser redondeadas, ovaladas o poligonales<sup>96</sup>. Hasta un 20% de las lesiones presenta un eje hiperecogénico central, que traduce la presencia de aire ocupado por el bronquio afectado,

y se considera un signo de afectación segmentaria<sup>95</sup>. Este signo, puede corresponder a los hallazgos de la TC, donde un área de baja atenuación dentro de un infarto refleja tejido pulmonar normal dentro de él (Figura 30).



**Figura 30:** Consolidación hipoecoica de base pleural y forma de cuña, obtenida con sonda lineal. Presenta eje hiperecogénico central. Compatible con lesión tras tromboembolismo pulmonar. Elaboración propia de la doctoranda

La mayoría de estas lesiones se localizan a nivel postero-basal (79,7%) y lateral<sup>30</sup>, que corresponden a las zonas de mayor perfusión, siendo más frecuente su hallazgo en el hemitórax derecho. Estas lesiones no son específicas del TEP, de hecho, es frecuente encontrarlas en neumonías víricas, aunque con un tamaño generalmente menor de 0,5cm y acompañadas de un aumento patológico de líneas B. En caso de tener un tamaño mayor a 3cm, con márgenes bien definidos, se deberá descartar patología tumoral.

La exploración requiere una valoración completa de todo el tórax, abordando con mayor detalle las zonas postero-basales, por lo que la exploración deberá realizarse con el paciente en sedestación, en caso de no ser posible, se deberá deslizar el transductor intentando llegar hacia la línea axilar posterior. Se realiza con el paciente respirando a volumen corriente, pero en ocasiones va a ser útil solicitar inspiración y espiración profunda para acceder a áreas cubiertas por la caja torácica. La realización de apnea va a ser útil para valorar el patrón vascular, en caso de TEP se evidenciará la ausencia de vascularización. Estas lesiones se encuentran presentes en pacientes con TEP con una media de 2,6 lesiones/paciente<sup>93</sup>. La presencia de al menos dos de estas lesiones en la ET ha demostrado una sensibilidad del 87% y especificidad del 82%, superando la rentabilidad diagnóstica de la ecocardiografía y de la ecografía de miembros inferiores. La realización de una ecografía multiórgano, la cual incluye pulmón, corazón y miembros inferiores, ha mejorado el valor predictivo negativo para descartar TEP (95%), comparado con los resultados de forma aislada de la ET (84,6%), del ecocardiograma (74,8%) y de la ecografía de miembros inferiores (82,8%)<sup>93</sup>.

Un aspecto a considerar, es que la ET permite realizar un diagnóstico diferencial y detectar posibles diagnósticos alternativos en caso de ausencia de TEP. Por todo esto, el documento de consenso de ET concluye, que la ET es una alternativa útil a la TC cuando existe una probabilidad preclínica alta y la TC no esté disponible, pero la ausencia de estas lesiones no descarta con certeza un TEP y hace necesarias más pruebas diagnósticas si la probabilidad clínica es alta<sup>30</sup>.

Otros hallazgos ecográficos que apoyarían el diagnóstico de TEP serían: la visualización directa del trombo en la arteria pulmonar, detectar un trombo en miembros inferiores o en corazón derecho, así como datos de disfunción cardiaca derecha (ej. aumento del tamaño del ventrículo derecho con respecto al diámetro del ventrículo izquierdo en tele diástole)<sup>92</sup>.

Por otro lado, Liechtenstein *et al.* publicaron un protocolo denominado BLUE (Bedside Lung Ultrasound in Emergency)<sup>59</sup>, con el objetivo de determinar la etiología de la insuficiencia respiratoria en pacientes

críticos. En este grupo el diagnóstico de TEP se realizó en base a la presencia de líneas A en cara anterior, con deslizamiento pleural preservado y presencia de TVP, con una especificidad del 99%. Sin embargo, a pesar de los buenos resultados, como este protocolo se validó en pacientes críticos, ingresados por fallo respiratorio grave, en el documento de consenso internacional se acordó que, este patrón debería interpretarse como sospecha de TEP sólo en Servicios de Cuidados Críticos.

## 1.4 ÁMBITOS DE DESARROLLO DE LA ECOGRAFÍA TORÁCICA

### 1.4.1 Urgencias y Cuidados Críticos

La ET ha revolucionado la asistencia en los servicios de Urgencias y Cuidados Críticos, pues permite mejorar la sospecha diagnóstica gracias a la rapidez de un método que también es económico y reproducible y que aporta resultados antes de que esté disponible cualquier otra prueba complementaria, sin necesidad de trasladar al paciente, por lo que ayuda en la toma de decisiones.

El uso de la ecografía clínica en pacientes críticos comenzó a utilizarse en los años 80 para la valoración del paciente politraumatizado, con el objetivo de realizar una valoración rápida, a pie de cama, para descartar patologías de riesgo vital en un protocolo llamado FAST (Focused assessment with sonography for trauma)<sup>97,98</sup>. El objetivo principal de este protocolo era detectar datos indirectos de traumatismo abdominal, pues el 80% de las lesiones traumáticas son contundentes, y pueden desencadenar el fallecimiento debido al shock hipovolémico<sup>99</sup>. Sin embargo, este protocolo no abarcaba la valoración pulmonar, pues en ese momento se pensaba que el aire impedía realizar un diagnóstico ecográfico de la patología torácica. No es hasta el año 2004, cuando este protocolo se extiende (E-FAST) para realizar una valoración pulmonar, permitiendo la detección de neumotórax y/o hemotórax<sup>98</sup>. Es llamativo como a partir del 2004, la mayoría de los artículos sobre ecografía a pie de cama aparecen en revistas de Medicina Intensiva o de



Urgencias y Emergencias, abordando la valoración del tórax, patología cardiovascular o como guía para realizar procedimientos invasivos<sup>100</sup>.

Uno de los grandes promotores de la ET es el Dr. Lichtenstein. Este autor, describió por primera vez en 1983, la posibilidad de emplear artefactos producidos por los US al interaccionar sobre el pulmón, para definir la sono-anatomía normal y los patrones ecográficos que, correlacionados con la clínica, permitían el diagnóstico de diferentes procesos<sup>45</sup>. A partir de este momento la ET ha tenido una expansión progresiva, abordando diferentes aspectos del paciente crítico en función de la sospecha clínica. Dado que el valor de la ET, en el paciente crítico, es diferente para un cardiólogo<sup>101</sup>, que para un cirujano<sup>98</sup> o un intensivista<sup>13</sup> se han diseñado diferentes protocolos para responder las preguntas que plantea la sospecha clínica inicial.

Muchas sociedades profesionales se han pronunciado sobre la necesidad de la ET en servicios de Urgencias y Cuidados Críticos, entre las que se encuentran el American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) y el American College of Emergency, además, se han establecido recomendaciones de consenso entre las sociedades radiológicas y de otras especialidades, así como guías curriculares de acreditación, en conjunto con el American College of Physician (ACP)<sup>102</sup>.

En la actualidad, la ET es considerada un pilar básico de la formación de especialistas de Urgencias y Cuidados críticos con protocolos específicamente diseñados para detectar procesos agudos de forma precoz.

### 1.4.2 Neumología

La ET es una herramienta que se ha instaurado de forma progresiva e imparable en los servicios de Neumología. Si bien hace tan solo unos años la ET era una herramienta utilizada sólo para valorar los derrames pleurales, hoy en día sabemos que ofrece grandes oportunidades en el diagnóstico de las enfermedades respiratorias. En diferentes guías y manuales se describe la utilidad de la ET en el estudio de los neumotórax, de la patología parenquimatosa, como las neumonías, para la valoración de las lesiones de la pared torácica e incluso en el diagnóstico del

TEP<sup>11,24</sup>. Progresivamente, se han desarrollado protocolos basados en la ET que permiten evaluar la causa de una insuficiencia respiratoria aguda<sup>10</sup>.

La aportación de la ET en las distintas áreas de la Neumología, es cada vez más importante y viene acompañada de un mayor desarrollo tecnológico, con nuevas aplicaciones como la elastografía<sup>103-106</sup>, o el speckle tracking<sup>55</sup>.

Actualmente en Neumología, la ET tiene una mayor implementación en las salas de intervencionismo, como técnica para el estudio de la patología pleural y para dirigir procedimientos, lo que ha permitido disminuir la iatrogenia y optimizar las muestra<sup>107</sup>.

Diferentes grupos han publicado su experiencia con la ET en el área de técnicas y han demostrado aumentar la rentabilidad diagnóstica y seguridad de los procedimientos broncopleurales. La ET ha demostrado competencias en la diferenciación de un derrame pleural maligno con una sensibilidad 73% y especificidad 100%<sup>108</sup>, así como, una rentabilidad diagnóstica del 90,4% en la guía de punciones percutáneas de lesiones torácicas periféricas<sup>49</sup>. Nuestro propio grupo de investigación publicó un estudio en donde la biopsia pleural transtorácica ,asistida por ET, aumentaba más de un 15% la rentabilidad diagnóstica de la muestra obtenida para el diagnóstico de derrame pleural maligno, lo cual evitaría en este grupo de pacientes frágiles procedimientos más invasivos como una toracoscopia<sup>109</sup>. Pero es posible que, aun en este ámbito, no estemos aprovechando todo el rendimiento que puede ofrecer esta herramienta.

El neumotórax puede aparecer de manera espontánea, o ser secundario a un procedimiento invasivo. Gracias a la disponibilidad de la ET en el área de técnicas broncopleurales y al mayor rendimiento que ofrece frente a la radiografía de tórax, para la detección de neumotórax, se podría diagnosticar desde el primer momento tras una broncoscopia o una biopsia pleural. Este diagnóstico se basa en la pérdida de las líneas B, del pulso pulmonar y del deslizamiento pleural. En modo M aparecería el signo del código de barras, pero la mayor precisión diagnóstica de la ET la obtendríamos al identificar el punto pulmonar<sup>110</sup>.

En la mayoría de consultas generales de Neumología, a diferencia de lo que ocurre en las unidades de intervencionismo, no se dispone de ET como herramienta complementaria habitual. Varios pacientes, procedentes de una consulta de Neumología, podrían precisar la realización de una ET para resolver una sospecha diagnóstica. Sin embargo, al no tener a mano esta herramienta, solicitamos habitualmente una radiografía de tórax como primera opción, sometiendo al paciente a radiaciones ionizantes, retraso en el diagnóstico y a un incremento de los recursos sanitarios. En este ámbito, la ET ha demostrado una elevada precisión para el diagnóstico, pronóstico y ajuste de tratamiento de pacientes con edema cardiogénico. En este grupo, la detección de más de 8 líneas B, en fase estable, se ha asociado con un aumento de la mortalidad por todas las causas 2,6 veces superior ( $p < 0,001$ ) a los pacientes con menos de 8 líneas B y de forma independiente a otros parámetros como el Nt-ProBNP, además de un riesgo aumentado de 3% a 4% por cada adición de 1 línea-B<sup>111</sup>. Cuando la ET se ha utilizado ambulatoriamente para guía del tratamiento diurético, ha permitido una terapia personalizada, consiguiendo administrar una mayor dosis de diuréticos [51 (91%) frente a 42 (75%);  $p = 0,02$ ], sin repercusión hemodinámica, que se ha traducido en la reducción de las descompensaciones en 0,518 (IC95%: 0,268-0,998;  $p = 0,049$ ) y mejora de la capacidad de ejercicio, medida a través del test de marcha de 6 minutos (60 m vs. 37 m;  $p = 0,023$ ), cuando se comparó con el tratamiento convencional sin guía ecográfica<sup>112</sup>. En el área de consultas, la ET también ha demostrado ser útil para el screening de enfermedad intersticial en pacientes con conectivopatías con una sensibilidad del 100%<sup>91</sup> y en los pacientes EPOC en fase estable, se ha visto que puede existir una correlación entre los valores de excursión diafragmática y engrosamiento diafragmático, con el FEV1 ( $r = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ) y con las exacerbaciones ( $r = -0,5$ ;  $p < 0,001$ )<sup>113</sup>.

En planta de hospitalización, pese a las innumerables ventajas que puede aportar la ET, como información complementaria o seguimiento

en diferentes patologías, su verdadero desarrollo se ha visto tras la pandemia por SARS-CoV-2. El protagonismo de la ET en la planta de hospitalización desde este momento, se debe a que se puede realizar a pie de cama del paciente, sin emitir radiación ionizante y en pocos minutos aporta información de la aireación pulmonar, sin necesidad de desplazamientos y sólo siendo necesario un sanitario, disminuyendo así el riesgo de contagios. La gran afectación pulmonar producida por la COVID-19 hace necesaria una herramienta diagnóstica rápida, que complemente el test diagnóstico y que además sea útil en la evaluación de la progresión de las lesiones pulmonares.

En la neumonía asociada a COVID-19, las lesiones evidenciadas en la ET se han comparado con la extensión radiológica en la TC. La correlación para la evaluación de la neumonía grave por SARS-CoV-2, ha demostrado ser del 0,78 (IC 95% 0,68-0,87;  $p < 0,0001$ ), además, se ha asociado una mayor alteración en la ET con una mayor necesidad de ventilación mecánica y menor oxigenación<sup>68</sup>. En las unidades de críticos la ET ha demostrado ser útil para monitorizar el seguimiento de la neumonía por COVID-19 y también para predecir la respuesta a la posición en decúbito prono e incluso para adecuar la PEEP y dirigir reclutamientos<sup>114</sup>. Pero hasta la fecha no se han realizado estudios que evalúen el papel de la ET en una planta de hospitalización de Neumología.

La ET es una herramienta emergente en Neumología, y dadas las grandes ventajas que aporta, sería recomendable implantarla progresivamente en todos los ámbitos asistenciales de la Neumología en los que está mucho menos desarrollada. Ya están disponibles en el mercado ecógrafos portátiles que caben en el bolsillo de la bata y permiten realizar una exploración ecográfica en cualquier ámbito asistencial lo cual favorecería la generalización de esta herramienta.

#### 1.4.2.1 Formación en ecografía torácica para Neumología

En la actualidad la ET aparece en el programa de formación posgraduada en Neumología, pero la curva de aprendizaje necesaria para la identificación de las diferentes patologías no está bien establecida. Las competencias de formación en ET a menudo se desarrollan a pie de cama, en el entorno clínico, supervisados por un operador con mayor experiencia, o en cursos de formación específica con sistemas de simulación para adquirir los conocimientos teórico-prácticos<sup>30</sup>.

Para regularizar y asegurar la capacitación en ET, la BTS ha publicado 5 niveles de formación, que abarcan desde un grado inicial de observador, hasta un nivel experto con permiso de supervisión y entrenamiento a otros profesionales y que se han orientado a 4 rutas (emergencias, básico, avanzado y experto)<sup>115</sup>. Cualquier neumólogo en formación debería alcanzar el nivel básico, pudiendo completar el nivel avanzado. El nivel experto se destinaría a personas con dedicación específica a esta técnica. La protocolización de la formación en ET ayudará a mejorar las competencias en esta técnica y mejorar la implementación en la práctica clínica.



## **CAPÍTULO 2.**

# **JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**





## 2.1 JUSTIFICACIÓN

La ecografía torácica (ET) ha conseguido ocupar un lugar importante en el manejo de las enfermedades pulmonares dado su bajo coste, su dinamismo y fácil aprendizaje. Esta herramienta podría ser considerada el quinto pilar de la exploración física tradicional, cuya utilidad va a depender de su adecuada correlación con la información clínica disponible. Pero a pesar de que ha demostrado una elevada rentabilidad diagnóstica y utilidad clínica<sup>30</sup>, su principal ámbito de desarrollo ha sido en Servicios de Cuidados Críticos o Urgencias<sup>59</sup>.

Dadas las ventajas que aporta la ET, sería recomendable implantarla de forma progresiva en la planta de hospitalización de Neumología, e incluso aumentar sus indicaciones en áreas de la especialidad donde está más desarrollada, como las Unidades de Intervencionismo, debido a la gran variabilidad de aplicaciones que tiene.

En las unidades de técnicas broncopleurales la ET tiene un mayor desarrollo que en el resto de áreas de la Neumología, sin embargo, y a pesar de que el neumotórax sea una de las principales complicaciones tras la realización de las técnicas broncopleurales, la ET no se utiliza de forma habitual para su detección. Se desconoce la rentabilidad diagnóstica de la ET para descartar neumotórax iatrogénico, realizada por un neumólogo, tras finalizar procedimientos broncopleurales. Tampoco se conoce si es necesario un elevado grado de formación en ET para la identificación de neumotórax iatrogénico. La incorporación de la ET para este fin evitaría la realización de radiografías y permitiría un diagnóstico de neumotórax a pie de cama, lo que facilitaría adoptar una actitud terapéutica en caso de que fuera necesario.

En la planta de hospitalización de Neumología esta herramienta podría aportar un valor añadido pues la ET es útil en el diagnóstico diferencial de la mayoría de las patologías que son motivo de ingreso, sin embargo, al no disponer de esta herramienta, los diagnósticos se emiten

habitualmente en base a una sospecha clínica, exploración física convencional y pruebas complementarias como la radiografía de tórax o la tomografía computarizada (TC).

La COVID-19 ha respaldado la utilidad de la ET en la planta de hospitalización. En este ámbito la ET es especialmente importante, ya que detecta mínimas alteraciones que no se aprecian en la radiografía de tórax, convirtiéndose así en una técnica más sensible. Además, se ha demostrado que cuanto mayor sea la afectación ecográfica mayor será la gravedad<sup>64,68</sup>.

Hasta la fecha no se han publicado estudios que analicen la utilidad de la ET, realizada a pie de cama por un neumólogo, en la valoración de las diferentes patologías que ingresan en una planta de hospitalización de Neumología. Se desconoce si la realización de una ET precozmente, en los pacientes hospitalizados, podría identificar patologías no sospechadas o complicaciones y por tanto mejorar el pronóstico incluyendo los pacientes hospitalizados por neumonía COVID-19.

El uso de la ET podría ofrecer una mayor precisión en el diagnóstico y por tanto facilitar tratamientos mejor dirigidos, e incluso un mayor respaldo en la solicitud de pruebas de imagen más específicas o evitar la realización de otras pruebas innecesarias, lo que podría tener un impacto económico. Además, la ET podría tener implicaciones en el pronóstico de los pacientes, e incluso podría ayudar a disminuir la estancia hospitalaria en determinadas patologías.

En los pacientes hospitalizados por neumonía COVID-19 la realización de una ET precozmente podría ser útil en la estratificación pronóstica y predicción de eventos graves, lo que supondría facilitar la gestión de altas precoces, de forma segura, en aquellos en quienes se prevé una buena evolución.

Con este fin planteamos este proyecto de tesis que incluye varios estudios prospectivos en esta línea, dos de ellos realizados en diferentes cohortes de pacientes ingresados en planta de Neumología del Hospital Álvaro Cunqueiro de Vigo y otro en la unidad de técnicas broncopleu-  
rales del mismo centro sanitario.

En el primero de ellos se evalúa la capacidad de neumólogos, sin experiencia previa en ET, para diagnosticar de forma fiable y segura neumotórax iatrogénico mediante ecografía, tras un procedimiento pleural o broncoscópico invasivo. En el segundo, se estudia si la ET permite predecir de forma fiable una evolución desfavorable (ingreso en unidad de críticos, necesidad de soporte respiratorio no invasivo y/o fallecimiento) en una cohorte de pacientes hospitalizados por neumonía asociada a SARS-CoV-2. El último de ellos, analiza la aportación y validez diagnóstica de la ET, con respecto a los estudios radiológicos convencionales y al diagnóstico que motivo la hospitalización urgente, en una serie consecutiva de pacientes hospitalizados con diferentes patologías respiratorias.



## 2.2 OBJETIVOS

### Objetivo principal:

- Evaluar la utilidad de la ecografía torácica en las decisiones diagnósticas y pronósticas en distintos ámbitos asistenciales de la Neumología.

### Objetivos Secundarios:

- Determinar la validez de la ecografía torácica para descartar neumotórax tras procedimientos broncopleurales invasivos, realizada por neumólogos sin experiencia en este procedimiento.
- Desarrollar un protocolo diagnóstico basado en los signos ecográficos para identificar neumotórax tras procedimientos broncopleurales invasivos.
- Analizar el valor pronóstico de la ecografía torácica para identificar la necesidad de soporte respiratorio no invasivo o ingreso en Cuidados Intensivos en pacientes hospitalizados por neumonía grave COVID-19.
- Determinar el valor pronóstico de la ecografía torácica para predecir mortalidad en pacientes hospitalizados por neumonía grave COVID-19.
- Determinar la exactitud diagnóstica de la ecografía torácica en las diferentes patologías respiratorias en pacientes hospitalizados en una planta convencional de Neumología.
- Evaluar si el uso de la ecografía puede detectar de forma precoz complicaciones durante el ingreso.
- Analizar si la realización de una ecografía torácica reglada implica cambios terapéuticos en pacientes hospitalizados en Neumología.



## **CAPÍTULO 3. SUJETOS Y MÉTODO**





### 3.1 DISEÑO, CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN.

Para realizar esta tesis se llevaron a cabo 3 trabajos, realizados en 3 cohortes de pacientes:

1. Un estudio observacional prospectivo, desarrollado en el área de técnicas broncopleurales, en el que se incluyeron todos los pacientes, de forma consecutiva, a los que se les realizó una biopsia transbronquial sin control fluoroscópico (BTB), una toracocentesis evacuadora (TE) o una biopsia pleural transparietal (BPT), entre diciembre de 2014 a diciembre de 2015. Se excluyeron a los pacientes que presentaron complicaciones graves tras los procedimientos broncopleurales, que obligaron a protocolos terapéuticos de emergencia durante o inmediatamente después de la intervención, así como aquellos pacientes que manifestaron su deseo de no participar en el estudio.

2. Un estudio prospectivo de cohortes, desarrollado en el área de hospitalización de pacientes en aislamiento por COVID-19, en el que se incluyeron todos los pacientes hospitalizados, de forma consecutiva, en una planta de aislamiento por COVID-19 en abril de 2020 y se excluyeron a los pacientes que en el momento de la ET presentaban ya deterioro respiratorio, con necesidad de algún tipo de soporte ventilatorio diferente a la oxigenoterapia convencional, a aquellos que no se llegó a confirmar la infección por SARS-CoV-2, así como a los que no había sido el primer ingreso debido a esta infección. También se excluyó a los pacientes a los que la ET se realizó tras haber pasado más de 5 días desde el ingreso hospitalario o los pacientes que no desearon participar en el estudio.

3. Un estudio observacional prospectivo, desarrollado en el área de hospitalización convencional de Neumología, con el objetivo de evaluar la aportación diagnóstica y cambio de tratamiento tras la realización de una ecografía torácica reglada, en el que se incluyeron pacientes ingresados desde el Servicio de Urgencias en una unidad de hospitalización convencional de Neumología desde marzo de 2019 a enero de 2020 y se excluyeron a los pacientes a los que la ET se realizó tras haber

pasado más de 2 días desde el ingreso hospitalario o no aceptaron participar en el estudio.

Los tres estudios realizados presentaron un diseño prospectivo de cohortes y se desarrollaron en distintas áreas de la Neumología. Todos los estudios fueron desarrollados en el servicio de Neumología del Hospital Álvaro Cunqueiro de Vigo. Este centro es un hospital de tercer nivel que atiende a un área sanitaria de 450.000 habitantes y es referencia para el sur de Galicia desde el punto de vista asistencial en varias técnicas y patologías. Tiene además una importante cartera de servicios con un elevado número de unidades de excelencia acreditadas por la SEPAR. La actividad asistencial aproximada que se realiza anualmente es de 1200 ingresos hospitalarios, 23.000 consultas ambulatorias, 10.000 estudios de función pulmonar y 2.000 procedimientos técnicos broncopleurales, de los cuales se realizan una media de 450 procedimientos pleurales y 1.550 técnicas endoscópicas al año.

## 3.2 RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN

### 3.2.1 Variables ecográficas

Las ecografías fueron realizadas con un ecógrafo Sonosite M-turbo (Bothell, Washington, EE. UU), con una configuración pulmonar preestablecida. El foco se situó en la línea pleural en toda la exploración. Las imágenes de la ET fueron grabadas, para poder ser valoradas en un segundo tiempo de forma anonimizada. Los datos de la ET fueron registrados en un cuaderno, anonimizado y específicamente diseñado para cada uno de los estudios.

En el primer estudio, se exploró al paciente en decúbito supino, visualizando el 2º y 3º espacio intercostal de cada hemitórax en la cara anterior, utilizando una sonda lineal de 5-10Mhz. Las ET fueron realizadas por cinco neumólogos, entre los que se encontraba la doctoranda, que en ese momento iniciaban su curva de aprendizaje en ET, más allá del derrame pleural. Se registró la presencia o ausencia de los siguientes signos: deslizamiento pleural, líneas B, código de barras y punto pulmonar. Se consideró neumotórax confirmado ecográficamente ante la

presencia del signo «punto pulmonar», o a la combinación todos de los siguientes signos: ausencia de deslizamiento pleural, ausencia de líneas B y presencia del signo del «código de barras» en modo M. Se consideró sospecha de neumotórax cuando sólo existía alguno de estos signos de forma aislada. En caso de no cumplirse ninguno de estos criterios, se consideró descartado el neumotórax ecográficamente.

En el segundo estudio, se exploraron 14 áreas<sup>72</sup> con el paciente en sedestación (Figura 25). En los pacientes con imposibilidad para mantener la sedestación se exploraron solo las áreas anteriores y laterales en decúbito supino, intentando deslizar la sonda lo más dorsalmente posible. La ecografía fue realizada por la doctoranda en el día  $4\pm 1$  desde el ingreso del paciente. En este grupo, se utilizó un sistema de puntuación para cuantificar la gravedad de la afectación de la neumonía por COVID-19 mediante la ET (Figura 26).

En el tercer estudio, se exploró al paciente en sedestación abordando todos los espacios intercostales de la zona anterior, lateral y posterior. Se utilizó una sonda convexa de 2-5 MHz para valoración de los espacios posteriores y laterales, y una sonda lineal de 5-10 MHz para los espacios intercostales anteriores. En los pacientes cuya situación clínica no permitía la sedestación se exploraron 4 áreas anteriores y 4 laterales con el paciente en decúbito supino<sup>24</sup>. La ET fue realizada por la doctoranda en las primeras 48 horas de ingreso en una planta de hospitalización convencional.

Ante la presencia de más de dos áreas en cada hemitórax, con  $\geq 3$  líneas B por espacio intercostal<sup>24</sup>, se interpretó la ET como síndrome intersticial difuso. Cuando estos hallazgos se asociaron a una distribución heterogénea, con pérdida de la integridad pleural o engrosamiento de la misma, disminución del deslizamiento pleural y/o presencia de anormalidades subpleurales, la afectación intersticial se orientó hacia una descompensación de una enfermedad pulmonar intersticial<sup>24</sup>. Sin embargo, cuando la distribución de las líneas B resultó homogénea, de predominio gravitacional, con preservación de la línea pleural y su deslizamiento, el diagnóstico se orientó hacia edema cardiogénico<sup>24</sup>.

Se consideró la ET compatible con infección ante la presencia de líneas B focales, ante la detección de una consolidación de ecogenicidad tisular con presencia de broncograma aéreo dinámico, respetando la integridad de la pleura parietal, o a la combinación de ambas<sup>24</sup>.

La presencia de líneas A en ambos hemitórax se clasificó como descompensación de enfermedad obstructiva de base (asma o EPOC)<sup>59</sup>.

### 3.2.2 Variables clínicas y radiológicas

En todos los casos se registraron:

- Variables epidemiológicas y clínicas: sexo, edad, índice de masa corporal (IMC).
- Comorbilidades cardiacas y respiratorias.
- Tratamiento farmacológico recibido por el paciente: antibióticos, corticoides, broncodilatadores y diuréticos.
- Soporte respiratorio: oxigenoterapia convencional o alto flujo, CPAP o BIPAP.
- Tratamientos no farmacológicos durante el ingreso: toracocentesis diagnóstica o evacuadora o tubo de drenaje endotorácico.

Las variables específicas de cada uno de los estudios se describen de forma detallada en cada uno de los 3 trabajos originales, que se presentan de manera individual, con el formato del artículo publicado en las respectivas revistas biomédicas, en la sección de resultados.

### 3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis descriptivo de variables clínicas, comorbilidades, así como de los hallazgos evidenciados en la ET.

Las variables cuantitativas se expresaron como media y su desviación estándar o su intervalo de confianza del 95% (IC 95%) y las cualitativas como número y porcentaje.

Para la comparación de las variables cuantitativas se utilizó la U de Mann-Whitney y para las cualitativas se crearon tablas de contingencia y se compararon mediante la prueba de la  $\chi^2$  o el test exacto de Fisher utilizando un nivel de significación de 2 colas de 0,05.

Para los cálculos estadísticos se utilizó el software SPSS. Versión 23.

El análisis estadístico detallado de cada uno de los 3 estudios se especifica de manera individualizada en cada uno de los 3 trabajos originales, que se presentan con el formato del artículo publicado en las respectivas revistas biomédicas, en la sección de resultados.

### 3.4 ASPECTOS ÉTICOS

Este proyecto obtuvo una evaluación favorable por el Comité de Ética de Investigación de Galicia (2018/526), cuyo dictamen se adjunta en el Anexo I. Tras comprobar los criterios de inclusión y exclusión en cada uno de los estudios, se contactó con el paciente, se le explicó las características de cada uno de los estudios, se solicitó su consentimiento para participar (Anexo II) y se le entregó la hoja de información (Anexo III).

En caso de aceptar la participación, se realizó una ET a pie de cama para registrar un conjunto de variables ecográficas. Posteriormente se registraron variables clínicas y radiológicas. Los datos fueron incluidos en una base de datos confidencial y anonimizada.



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS





Aportación diagnóstica de la ecografía torácica sistemática en pacientes que ingresan en una unidad de hospitalización convencional de Neumología

Esta sección presenta los resultados de 3 artículos, cada uno de los cuales refleja los estudios realizados en la presente tesis.

#### 4.1. "VALIDEZ DE LA ECOGRAFÍA TORÁCICA PARA DESCARTAR NEUMOTÓRAX IATROGÉNICO REALIZADA POR NEUMÓLOGOS SIN EXPERIENCIA EN ESTE PROCEDIMIENTO".

<https://revclinesp.es/es-validez-ecografia-toracica-descartar-neumotorax-articulo-S0014256520301521>

Los resultados de este estudio muestran que la ecografía torácica, tras la realización de técnicas broncopleurales invasivas permite identificar neumotórax iatrogénico con un valor predictivo negativo del 98,6%, cuando la técnica se realiza con neumólogos que inician su curva de aprendizaje con esta herramienta.

#### 4.2. "PREDICCIÓN DE EVOLUCIÓN DESFAVORABLE EN PACIENTES HOSPITALIZADOS POR COVID-19 MEDIANTE ECOGRAFÍA PULMONAR".

<https://www.archbronconeumol.org/es-prediccion-evolucion-desfavorable-pacientes-hospitalizados-articulo-S0300289620302994?refer=buscador>

Los resultados de este estudio muestran que las escalas de cuantificación de afectación pulmonar mediante ecografía torácica, realizada el día  $4 \pm 1$  de ingreso, presenta la mejor área bajo la curva ROC (0,88 (IC 95%: 0,75-0,99) para predecir una posible evolución desfavorable, respecto a al resto de escalas pronósticas, parámetros analíticos y clínicos analizados. Un valor ecográfico mayor de 13,5 predice la necesidad de soporte respiratorio no invasivo o invasivo, necesidad de ingreso en críticos o fallecimiento, con una sensibilidad del 100% y especificidad del 61,5%.

#### 4.3. "APORTACIÓN DIAGNÓSTICA DE LA ECOGRAFÍA TORÁCICA SISTEMÁTICA EN PACIENTES QUE INGRESAN EN UNA UNIDAD DE HOSPITALIZACIÓN CONVENCIONAL DE NEUMOLOGÍA".

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jum.15731>

Los resultados de este estudio muestran como la inclusión de la ecografía torácica, en los algoritmos de manejo en una planta de hospitalización de Neumología, implica la optimización del tratamiento hasta en un 17,2% de los pacientes y aporta información adicional, respecto al resto de pruebas complementarias solicitadas de manera habitual, en el 65% de los pacientes.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN



## 5.1 DISCUSIÓN DE LA HIPÓTESIS

La ecografía torácica (ET) es una herramienta que se está asentando de forma progresiva en la Neumología. Hasta la fecha su mayor desarrollo se ha alcanzado en el ámbito de Urgencias y Cuidados Críticos, dado que en estos escenarios es fundamental poder disponer de información inmediata, a pie de cama del paciente, para realizar un correcto diagnóstico diferencial<sup>59</sup>. En el ámbito de la Neumología, la implantación de esta herramienta ha sido más lenta ya que generalmente se dispone de otras pruebas complementarias, como parámetros analíticos, la tomografía computarizada (TC) de tórax o la radiografía, con las que los profesionales están más familiarizados y la ET, había quedado relegada a la valoración de patología pleural en el área de técnicas broncopleurales. Dadas las ventajas que ofrece la ET, como permitir una valoración dinámica en el momento de la exploración física, con un bajo coste, sin emitir radiación ionizante y sin que sea necesaria colaboración por parte del paciente, en los últimos años se ha incrementado el número de sus aplicaciones para la valoración de diferentes patologías pulmonares.

Desde la reciente pandemia por SARS-CoV-2 se ha puesto de manifiesto la necesidad de garantizar una evaluación integral del paciente cumpliendo con los más altos estándares de atención, a la vez que se asegura la protección de los trabajadores de la salud. En este sentido, la ET aporta un valor adicional al resto de las pruebas complementarias que consiste en evitar traslados y, por tanto, evitar el contacto con salas, materiales y personal, disminuyendo así el riesgo de contagios.

En los últimos años se han publicado numerosos estudios sobre el valor de la ET en distintos escenarios. Sin embargo, no existen estudios que permitan evaluar la utilidad de la ET en las decisiones diagnósticas, terapéuticas y pronósticas, así como para analizar su capacidad para descartar complicaciones respiratorias, en distintos ámbitos asistenciales de la Neumología.

## 5.2 DISCUSIÓN DEL MÉTODO

Para responder a las preguntas planteadas en esta investigación hemos realizado tres estudios de base hospitalaria, con un diseño observacional de cohortes y prospectivo. Al no realizarse ninguna intervención, dentro de los estudios observacionales, el diseño elegido (de cohortes) es el que permite proporcionar una mejor evidencia científica<sup>116</sup>. Este tipo de estudios constituye una de las herramientas metodológicas más utilizadas en la investigación clínica y epidemiológica.

Todos los estudios fueron realizados en el Hospital Álvaro Cunqueiro de Vigo, pero cada uno de ellos se ha desarrollado en un ámbito asistencial de la Neumología distinto.

El primer estudio se realizó en el área de técnicas broncopleurales, ya que es la sección de la Neumología en la que más se ha desarrollado la ET, aunque hasta la fecha, se ha destinado fundamentalmente a la valoración de derrames pleurales<sup>42</sup>, masas parenquimatosas en contacto con la pared torácica<sup>49</sup> y para dirigir procedimientos como la toracocentesis o biopsias pleurales<sup>109</sup>. El principal objetivo de este estudio, fue determinar la validez de la ET para descartar neumotórax iatrogénico y desarrollar un protocolo diagnóstico, basado en los signos ecográficos, para identificar neumotórax tras procedimientos broncopleurales invasivos. Para ello, se incluyeron todos los pacientes de forma consecutiva durante un año, a los que se les realizó una biopsia transbronquial sin control fluoroscópico (BTB), una toracocentesis evacuadora (TE) o una biopsia pleural transparietal (BPT). La inclusión de pacientes, de forma consecutiva, durante el periodo de un año ha evitado un posible sesgo de selección. La exploración ecográfica fue realizada por neumólogos entre los que se encontraba la doctoranda, que tenían experiencia ecográfica para el manejo del derrame pleural, pero una escasa formación en la detección de neumotórax mediante ET, consistente en una charla teórica de una hora de duración y la valoración de al menos tres ecografías tuteladas. La inclusión de operadores con escasa experiencia en ecografía aporta un valor añadido para esclarecer si es necesaria una

gran curva de aprendizaje para diagnosticar un neumotórax mediante ET.

La exploración se realizó con el paciente en decúbito supino, inmediatamente tras finalizar el procedimiento bronco-pleural, visualizando el 2° y 3° espacio intercostal de cada hemitórax con un transductor lineal de 5-10 MHz (Sonosite L38XI) y se registraron la presencia o ausencia de los siguientes signos en la ET: deslizamiento pleural, líneas B, código de barras y punto pulmonar. Se consideró neumotórax confirmado ecográficamente ante la presencia del signo «punto pulmonar»<sup>117</sup> o ante la ausencia de deslizamiento pleural, sin presencia de líneas B y la detección del signo del código de barras en modo M<sup>110</sup>. A pesar de que el punto pulmonar es el único que ofrece una sensibilidad y especificidad del 100% para el diagnóstico de neumotórax<sup>117</sup> se trata de un signo que es difícil de identificar sobre todo para personal con poca experiencia, la inclusión de varios signos ecográficos permitió crear un algoritmo diagnóstico basado en el resto de signos evidenciados en la ET, más accesibles para un ecografista novel. El estándar de oro para realizar la comparación fue la radiografía de tórax de tórax en proyección postero-anterior y en inspiración, realizada 2 horas tras haber finalizado el procedimiento, e informada por un radiólogo experto, ya que es la técnica habitualmente utilizada para descartar neumotórax iatrogénico en las unidades de intervencionismo.

El segundo estudio se desarrolló en la planta de hospitalización de pacientes con infección por SARS-CoV-2. El principal objetivo de este estudio fue analizar la rentabilidad de la ET para predecir una posible evolución desfavorable en el día  $4 \pm 1$  de ingreso, ya que en este momento podría plantearse la posibilidad de un alta hospitalaria y sería de gran utilidad detectar un parámetro o biomarcador que nos diera información sobre la posible evolución a partir de este momento. Definimos como evolución desfavorable la necesidad de soporte respiratorio no invasivo o invasivo, el ingreso en una unidad de cuidados críticos o el fallecimiento. Los pacientes fueron seleccionados de forma consecutiva durante el mes de estudio y todas las ecografías fueron realizadas por la doctoranda. Los pacientes se clasificaron en función de la evolución

presentada y para determinar este parámetro se realizó un seguimiento estrecho durante el ingreso.

El tercer estudio se realizó en una planta de hospitalización convencional de Neumología. El objetivo principal fue determinar la exactitud diagnóstica de la ET en las diferentes patologías respiratorias que ingresan habitualmente en una planta convencional de Neumología y evaluar si el uso de la ET puede detectar de forma precoz complicaciones no identificadas con las pruebas complementarias realizadas de manera habitual. Se valoró, además, si los hallazgos de la ET supusieron un cambio en el tratamiento del paciente. La muestra se reclutó de forma consecutiva, aunque se excluyeron aquellos en los que, por necesidades asistenciales la doctoranda, no pudo realizar la ET en las primeras 48 horas del ingreso. Los pacientes se clasificaron en los siguientes grupos diagnósticos, que constituyen las principales patologías que ingresan en el servicio de Neumología: exacerbación de una enfermedad obstructiva (asma o EPOC), infecciones respiratorias graves (incluidas neumonías bacterianas, infecciones virales o bronquiectasia con o sin condensación), exacerbación de la enfermedad pulmonar intersticial (EPI) u 'otros' entre los que se incluyó la enfermedad pleural, los tumores y el tromboembolismo pulmonar. El incluir diferentes grupos diagnósticos ha permitido realizar comparaciones del valor diagnóstico añadido de la ET en cada una de las patologías. La ET se realizó siguiendo las recomendaciones de obtención de imagen para ecografía pulmonar vigentes<sup>23</sup>. Como estándar de oro para establecer la comparación se utilizó el diagnóstico establecido al alta por el clínico responsable durante la hospitalización. Para reducir el posible sesgo de un posible diagnóstico al alta erróneo, los pacientes fueron seguidos durante 3 meses tras el alta hospitalaria a través de la historia clínica electrónica. Por último se debe resaltar que para la metodología y comunicación de resultados se siguió en todos sus puntos la metodología STROBE<sup>118</sup>.



### 5.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se comentarán los resultados de cada uno de los estudios realizados en esta tesis doctoral.

#### 5.3.1 Validez de la ecografía torácica para descartar neumotórax iatrogénico realizada por neumólogos sin experiencia en este procedimiento

En el primer se incluyeron 275 pacientes de forma consecutiva sometidos a una técnica broncopleural invasiva a lo largo del año de estudio, de los cuales 149 correspondían a BTB, 36 eran BTP y 90 TE. En esta muestra se produjeron un total de 14 (5,1%) neumotórax iatrogénicos tras la realización de estos procedimientos, confirmados con una radiografía de tórax informada por un radiólogo experto; 12 de ellos se detectaron en el estudio realizado a las dos horas del procedimiento y otros dos en una segunda radiografía realizada en las siguientes 24 horas por la aparición o persistencia de síntomas. La incidencia de neumotórax iatrogénico concuerda con lo esperado según las series publicadas<sup>119</sup>.

En 50 (18,1%) pacientes, los observadores consideraron la ET como diagnóstica o sospechosa de neumotórax (11 verdaderos positivos y 39 falsos positivos). Justificamos el gran número de falsos positivos debido a que, teniendo en cuenta la inexperiencia del grupo, se decidió considerar a la ET sospechosa de neumotórax tan sólo con la detección de uno de los signos mencionados (ausencia de líneas B o deslizamiento, o presencia de código de barras) lo cual mejora significativamente la sensibilidad, pero resta especificidad a la técnica. Pero cabe reseñar que los dos casos con la presentación de neumotórax tardío no detectados por la primera radiografía presentaban una ET sospechosa de neumotórax desde el inicio.

La ET no detectó neumotórax en 3 pacientes, de los cuales sólo 1 precisó drenaje torácico.

El signo ecográfico más específico para la detección de neumotórax es el punto pulmonar<sup>117</sup> y nuestros resultados concuerdan con los datos

publicados en la literatura, alcanzado una especificidad del 95,5%. Sin embargo, la sensibilidad que obtuvimos en nuestra serie fue significativamente menor a la publicada (15,3%). Creemos que este aspecto podría explicarse porque en nuestro estudio sólo se realizó una valoración de las áreas torácicas anteriores y para detectar este signo, frecuentemente hay que desplazar la sonda hacia las áreas laterales del tórax. Por otro lado, en nuestra serie los neumólogos que realizaron el procedimiento iniciaban su curva de aprendizaje en ET más allá de la valoración del derrame pleural y la detección del punto pulmonar requiere de una exploración minuciosa y elevada experiencia del especialista para detectarlo.

La ausencia de deslizamiento pleural apoya el diagnóstico de neumotórax<sup>110</sup>, pero su detección de forma aislada no puede confirmar el diagnóstico ya que podemos encontrarlo en otras patologías como el enfisema, enfermedades intersticiales o tras el talcaje pleural. En nuestra serie, este signo de forma aislada presentó una sensibilidad del 69,2%, un resultado más bajo que el descrito en la literatura<sup>110</sup>, probablemente por las características de la muestra, ya que 95 (34,5%) pacientes estaban diagnosticados de EPI y en 20 (7,2%) constaba el diagnóstico previo de adherencias pleurales.

El resto de los signos explorados de forma individual presentaron una sensibilidad variable, del 46,1% hasta el 64,2% para la ausencia de líneas B o el código de barras respectivamente, por lo que creemos necesario la combinación de todos ellos para descartar con seguridad la presencia de neumotórax. En base a estos resultados, tras la realización de este estudio proponemos un protocolo para diagnosticar neumotórax en el que se recomienda la búsqueda del punto pulmonar, desplazando la sonda hacia áreas laterales y en caso de no encontrarlo se deberá buscar la combinación de la ausencia de deslizamiento pleural con ausencia de líneas B y la presencia del signo del código de barras en modo M. De este modo la ET, para operadores con escasa experiencia, mostró una sensibilidad del 78,6%, especificidad del 85,2%.

De forma global, la validez diagnóstica que describimos en nuestra serie es algo inferior a la publicada en la literatura. Kumar *et al*<sup>120</sup>. descartaron el 100% de los neumotórax en 379 pacientes sometidos a BTB y en Kreuter *et al*.<sup>121</sup> describieron una precisión de la ecografía del 99%. Es importante destacar que en estos casos la ET se realizó por personal entrenado, a diferencia de nuestro estudio donde el periodo de estudio incluyó la curva de aprendizaje de los neumólogos participantes, aspecto que también puede haber influido.

Asimismo, el estudio ecográfico fue realizado de forma inmediata tras finalizar procedimiento y la radiografía de tórax con la que se compararon los resultados, a las dos horas, por lo que es posible que alguno de los casos de neumotórax no detectados por la ET podría no estar presentes en el momento de la ecografía.

A pesar de todo ello, en nuestro estudio el valor predictivo negativo de la ET para descartar neumotórax fue superior al 98%, por lo que sólo en el caso de confirmar neumotórax ecográficamente o ante la presencia de signos contradictorios o persistencia de síntomas no justificados por los hallazgos ecográficos se debería solicitar una radiografía. Esto implica una reducción de desplazamientos, costes innecesarios y se evitaría someter al paciente a radiación ionizante.

### 5.3.2 Predicción de evolución desfavorable en pacientes hospitalizados por COVID-19 mediante ecografía pulmonar.

La muestra total analizada fue de 44 pacientes de los cuales 13 (29,5%) presentaron una evolución desfavorable consistente en la necesidad de soporte respiratorio invasivo o no invasivo. De ellos, 4 (9,1%) fallecieron, 6 (13,6%) precisaron ingreso en una unidad de críticos y 3 (6,8%) soporte respiratorio no invasivo (SRNI) en una unidad de cuidados intermedios con monitorización respiratoria.

En todos los pacientes se realizó una exploración ecográfica de 8 segmentos<sup>24</sup> y en 35 (79,5%) se pudo hacer la exploración completa en sedestación de las 14 áreas<sup>1</sup>, que incluye, además, la valoración de 6 segmentos posteriores. El haber realizado una exploración amplia, nos

ha permitido realizar una comparación con otros protocolos más reducidos publicados en la literatura, como el recomendado por la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica<sup>70</sup>. De este modo se han podido extraer conclusiones sobre la rentabilidad de hacer un examen detallado, frente a protocolos más sencillos.

El signo ecográfico más frecuentemente encontrado fue la presencia de más de 2 líneas B en un mismo espacio intercostal, signo que estuvo presente en 33 pacientes (75%). La presencia de artefactos hipocóicos subpleurales se detectó en 26 (59,1%) pacientes. Se evidenció derrame pleural en 13 pacientes (29,5%) y engrosamiento pleural en 11 (25%). Las áreas pulmonares más afectadas fueron los lóbulos inferiores en la zona posterior, con una puntuación media de 1,54 (IC95%:1,2-1,8) por lóbulo explorado que coinciden con lo publicado, donde la afectación parenquimatosa es fundamentalmente periférica, parcheada y de predominio en lóbulos inferiores<sup>122</sup>.

La TC es la prueba de imagen estándar de oro para evaluar la afectación pulmonar de los pacientes con neumonías por SARS-CoV-2 y el grado de afectación del parénquima en esta prueba de imagen entre el primer y cuarto día de hospitalización ha demostrado tener implicaciones pronósticas<sup>123</sup>. Sin embargo, la TC es un método costoso, que requiere alta tecnología, personal entrenado y el desplazamiento del paciente, aspecto clave en una enfermedad como la COVID-19 por los riesgos de transmisión nosocomial y el consumo de equipos de protección individual que ello conlleva. La ET a pie de cama permite a los operadores determinar en qué espectro clínico de afectación pulmonar se encuentra un paciente ingresado por COVID-19.

Se analizó el valor pronóstico de diferentes variables analíticas, escalas de predicción de riesgo y la cuantificación de afectación pulmonar mediante ET (Lung Score) realizada el día 4±1 desde el ingreso. Las variables que resultaron diferentes en función de la evolución clínica fueron la puntuación en las escalas SOFA<sup>124</sup> y qSOFA<sup>125</sup> al ingreso, los biomarcadores PCR y LDH obtenidos el mismo día de la ET y la puntuación (Lung Score). El AUC del protocolo ecográfico de 14 espacios<sup>72</sup> fue de 0,88. La sensibilidad y especificidad del Lung Score con

el protocolo de 14 espacios para una puntuación de 15,5 fue de 88,9% y 69,2%, respectivamente, y para un punto de corte de 13,5 fue de 100% y 61,5%, respectivamente. No se han encontrado diferencias significativas entre los protocolos de ET empleados por lo que en caso de que la situación clínica del paciente impida la sedestación la exploración de 8 espacios también es útil para predecir una posible evolución desfavorable con un AUC 0,82.

Posiblemente debido al tamaño de la muestra no ha sido posible demostrar superioridad de la puntuación de la ET frente a biomarcadores como la LDH y la PCR, que son los que más consistentemente se han investigado. Hay que destacar, que en el momento de la escritura de nuestro artículo (20 de mayo de 2020) no se había publicado ningún estudio que evaluara el valor pronóstico de la ET, pero posteriormente se han publicado estudios en otras cohortes hospitalarias que abalan nuestros resultados<sup>69,126</sup>.

El Lung Score obtenido con ET es un potencial método para clasificar objetivamente las lesiones pulmonares, ya que informa de modo indirecto del grado de aireación pulmonar. Este sistema de puntuación sirve para monitorizar a los pacientes y, como hemos visto, para predecir una posible evolución desfavorable. Consideramos que estos hallazgos son relevantes para la práctica clínica, al ayudar a los profesionales sanitarios a tomar decisiones terapéuticas más precoces o definir la intensidad de cuidados que precisa cada paciente en los primeros días de ingreso hospitalario.

### 5.3.3 Aportación diagnóstica de la ecografía torácica sistemática en pacientes que ingresan en una unidad de hospitalización convencional de Neumología

Se incluyeron 180 pacientes, en los que el motivo el ingreso fue descompensación de la enfermedad obstructiva de base en 60 (33,3%), infección respiratoria en 93 (51,7%), exacerbación de enfermedad pulmo-

nar intersticial en 14 (7,8%) y otros 13 (7,2%). Estas patologías representan la mayor parte de los ingresos de una planta de hospitalización convencional de Neumología.

En todos los pacientes se llevó a cabo una exploración de 8 áreas<sup>24</sup> (4 anteriores y 4 laterales) y a 154 (85,5%) se les pudo realizar una exploración ecográfica completa explorando todos los espacios intercostales accesibles en la cara anterior, lateral y posterior. Este protocolo abarca más áreas que otros publicados, lo cual implica un mayor tiempo en la realización de la ET, que de media fue unos  $8\pm 2$  minutos. Los protocolos que exploran sólo la cara antero-lateral se han validado en Servicios de Urgencias donde la ET es generalmente, la primera prueba diagnóstica realizada. La estabilidad clínica del paciente hospitalizado permite realizar una exploración reglada en sedestación y consideramos que, para poder aportar un valor añadido al resto de pruebas realizadas, éste sería el protocolo más adecuado, aunque esto no se ha demostrado hasta la fecha.

La ET aportó información en 117 (65%) pacientes:

En 63 (35%) detectó datos ecográficos de infección no identificados por la radiografía al ingreso, en 24 (13,3%) pacientes se detectaron datos de afectación intersticial difusa que se puso en relación con EPI en un paciente (confirmado posteriormente por TC) y en el resto, en relación con edema cardiogénico comprobado con NT-proBNP, con un valor medio de 4097,4 pg/ml y adecuada respuesta al tratamiento deplectivo. Se detectaron otros hallazgos en 30 pacientes entre los que cabe desatacar la identificación de 2 tumores no sospechados hasta ese momento por las pruebas convencionales solicitadas en pacientes que habían ingresado por agudización de EPOC e infección respiratoria respectivamente. La malignidad se comprobó mediante la obtención de muestras histológicas.

En estudios realizados a nivel pre-hospitalario<sup>127</sup>, sin realizar otras pruebas complementarias, la realización de ET para diferenciar entre edema cardiogénico o agudización de EPOC supuso un cambio de tratamiento en el 42,3% de los casos. En nuestro estudio el cambio de tratamiento tras realizar la ET de manera global fue del 17,2%, pero en el

subgrupo de pacientes en los que se detectaron datos de insuficiencia cardiaca, el cambio supuso un 62,5%. Este dato apoya la idea de que la ET realizada a pie de cama puede ayudar a optimizar el manejo terapéutico y respaldar la solicitud de pruebas como el NT-proBNP, además ayudaría en la toma de decisiones en pacientes con valores limítrofes de este biomarcador, situación relativamente frecuente en pacientes con patología respiratoria crónica.

En el 35% de la muestra se detectaron datos ecográficos sugestivos de infección, sin embargo, en este grupo la ET sólo supuso un cambio de tratamiento en el 11%. Justificamos este hallazgo ya que la mayoría de los pacientes hospitalizados por descompensación de su enfermedad obstructiva de base (asma o EPOC) recibían antibioterapia al ingreso independientemente de la afectación radiológica y a que en el 55% la ET detectó un mayor número de focos a los identificados por la radiografía al ingreso, lo cual podría ser relevante de cara al seguimiento, para asegurar la resolución de los mismos.

Por otro lado, la ET no identificó lesiones evidenciadas mediante otras pruebas complementarias en 10 (5,5%) pacientes, aunque la mitad (5 pacientes) eran lesiones no accesibles por ET al no estar en contacto con la pared pleural.

En los grupos en que la ET aporta un mayor valor diagnóstico fueron los pacientes que ingresaron por descompensación de la patología obstructiva (68,3%) y los que ingresan por infección respiratoria (68,8%.)

La ET es una herramienta emergente en Neumología y dadas las grandes ventajas que aporta sería recomendable implantarla en las unidades de hospitalización ya que como se ha demostrado permite identificar patologías no sospechadas o complicaciones en el 65% de los pacientes estudiados. La realización de una ET permitiría seleccionar y respaldar mejor las pruebas necesarias, evitando aquellas que no aporten información adicional. Esto repercutiría en una reducción de costes, mejorando la orientación del diagnóstico y optimización del tratamiento, con lo que mejoraría el pronóstico de los pacientes e incluso

podría ayudar a disminuir la estancia hospitalaria en determinadas patologías.

#### 5.4 FORTALEZAS DEL PROYECTO

Como fortalezas se quiere destacar el uso novedoso de una herramienta de imagen, como es la ET, que aporta información inmediata, de forma dinámica, sin emitir radiación ionizante y con un bajo precio, en un ámbito en el que, hasta la fecha, está poco desarrollada ya que se dispone de otras pruebas complementarias como la TC. Sin embargo, las herramientas diagnósticas que se utilizan de forma habitual no permiten obtener una información a pie de cama, suponen un mayor coste, implican el desplazamiento del paciente y la exposición a radiación ionizante.

También queremos destacar que la evaluación ecográfica se ha realizado de forma sistemática por una persona con gran experiencia en la técnica, pero para demostrar el valor de la ET también incluimos un trabajo en el que los operadores iniciaban su curva de aprendizaje.

Los estudios se han realizado mediante un diseño de cohortes que resulta muy adecuado para determinar la incidencia de un evento, evaluar de forma simultánea resultados múltiples y al mismo tiempo detectar eventos menos frecuentes, como ha sido la detección de 2 tumores, no sospechados hasta la realización de la ET. Durante el segundo estudio, realizado en pacientes con neumonía asociada a SARS-CoV-2, encontramos de forma incidental otro hallazgo poco común que fue la combinación de datos ecográficos compatibles con un TEP asociado a un hemo-neumotórax, en un paciente hospitalizado por COVID-19. En este caso la combinación de burbujas de aire debidas al neumotórax y el derrame pleural hemático producían un realce ecográfico de la celularidad del líquido, cuyos elementos formes se movían de forma dinámica impactando en diafragma pared torácica y pulmón con los movimientos respiratorios, lo que nos permitió describir un nuevo signo ecográfico no conocido hasta la fecha, al cual le pusimos el nombre de “el pinball intrapleural”. (Anexo IV)



## 5.5 LIMITACIONES

Este trabajo tiene varias limitaciones que se comentan a continuación. En primer lugar, se trata de un estudio realizado en un solo centro, por lo que los resultados obtenidos deberán ser validados en estudios multicéntricos.

Otra limitación importante, es no contar con una TC de tórax en todos los pacientes, ya que esta prueba es considerada como la de referencia. Para disminuir este sesgo, se realizó un seguimiento de los pacientes a través de la historia clínica electrónica durante 3 meses tras su inclusión en el estudio, para descartar complicaciones o diagnósticos no identificadas durante el ingreso.

La inclusión de los pacientes fue consecutiva, pero condicionada por la disponibilidad de la doctoranda para realizar la ET en el periodo establecido en cada uno de los estudios, lo cual podría condicionar un sesgo de selección, no obstante se decidió priorizar que la ET fuera realizada por una persona con gran experiencia en esta técnica.

Es posible también que la casuística sea limitada en la valoración de alguna patología como la COVID-19. Pero, en una enfermedad de reciente aparición, con gran impacto socio-sanitario, consideramos importante dar a conocer los resultados obtenidos con la mayor brevedad, ya que creemos que son suficientes para mejorar la seguridad y eficiencia en el abordaje de estos pacientes. Tras nuestro estudio se han publicado series de otros centros con mayor tamaño muestral que avalan nuestros resultados<sup>69</sup>.

## 5.6 IMPLICACIONES DEL PROYECTO Y ESTUDIOS FUROS

Los resultados de esta tesis doctoral demuestran la capacidad de la ET para mejorar el diagnóstico, para predecir pronóstico e incluso para optimizar el tratamiento y ayudar en la toma de decisiones, al incluir esta herramienta en la valoración de pacientes con patología respiratoria. Estos resultados son especialmente novedosos y abren la puerta a nuevos estudios en otros entornos y poblaciones que permitan confirmar los hallazgos descritos.

Por el momento, estos resultados ya han supuesto un cambio de la práctica clínica asistencial en nuestro servicio de Neumología. En el área de procedimientos, se ha instaurado de rutina el realizar una ET tras técnicas invasivas para descartar complicaciones. Esto ha reducido de forma significativa la necesidad de realizar radiografías de tórax, que sólo se solicitan en caso de que el paciente presente una clínica no justificada por los resultados de la ET o si la ET muestra signos sospechosos de neumotórax. En el momento actual estamos realizando un estudio para valorar la rentabilidad diagnóstica de esta herramienta tras haber adquirido un mayor grado de experiencia en ET, en la que hemos incorporado nuevos métodos de imagen como es el speckle tracking<sup>55</sup> y la elastografía<sup>54</sup>

En base a los resultados obtenidos en la planta de hospitalización convencional, en los que se evidencia un valor añadido de la ecografía en más de la mitad de los pacientes hospitalizados, la ET ha pasado a constituir el quinto pilar de la exploración física convencional, junto a la inspección, palpación, percusión y auscultación. Esto permite optimizar las estrategias de manejo, reducir el número de pruebas complementarias innecesarias y gestionar altas precoces de forma segura en aquellos pacientes en quienes se prevé una buena evolución.

Teniendo en cuenta estos datos y con la premisa de que la ET debería incorporarse en la práctica clínica asistencial del neumólogo, como potenciadora de la exploración tradicional, nuestro grupo de trabajo ha continuado esta línea de investigación y ha realizado un estudio con el que se pretende comparar la rentabilidad diagnóstica de la ET (considerada el estetoscopio del futuro), frente a la auscultación pulmonar, obtenida mediante un estetoscopio convencional, para el diagnóstico de diferentes patologías respiratorias<sup>128</sup>. Para ello realizamos un estudio prospectivo, en una cohorte de pacientes ingresados en una planta de hospitalización de Neumología y analizamos la validez, seguridad y fiabilidad diagnóstica de la auscultación pulmonar y la ET para 3 grupos nosológicos respiratorios (enfermedades obstructivas de la vía aérea descompensadas, enfermedades intersticiales descompensada e infecciones pulmonares). Los resultados mostraron, como la incorporación

de la ET a la auscultación pulmonar tradicional mejora la rentabilidad diagnóstica en todas las patologías exploradas y que, además, existe una mayor concordancia interobservador en la interpretación de los hallazgos de la ET que en los ruidos de la auscultación pulmonar. Estos hallazgos refuerzan aún más el valor de la ET para la práctica asistencial del neumólogo (Anexo V). Estos resultados apoyan los hallazgos de la tesis doctoral y ensalzan el valor diagnóstico de la ET en la práctica clínica del neumólogo.

Por último, hay que destacar el gran impulso que ha tenido la ET durante la pandemia COVID-19. Estudios en este campo han confirmado posteriormente nuestros hallazgos, evidenciando que el uso de la ET permite realizar un seguimiento y orientar acerca del pronóstico en los pacientes hospitalizados<sup>64-66</sup>. Sin embargo, la evidencia existente sobre la evolución de los pacientes una vez superada la fase aguda de la enfermedad, sobre las posibles secuelas de la neumonía bilateral o del síndrome de distrés respiratorio, no son conocidas. Por ello nuestro grupo de investigación lidera un estudio de investigación multicéntrico, cuya investigadora principal es la presente doctoranda, en el que participan 12 hospitales del panorama nacional, para analizar si existen alteraciones ecográficas a medio y largo plazo y correlacionar los hallazgos con la capacidad funcional, síntomas y/o alteraciones radiológicas en una cohorte de pacientes que fueron hospitalizados por neumonía COVID-19. Este estudio ha recibido una beca de investigación del Programa de Investigación Integrada en Neumología Intervencionista del área de Técnicas y Trasplantes de la SEPAR en el año 2020. El objetivo principal de este estudio es valorar si la ET podría ser la técnica considerada de elección para un diagnóstico preciso de complicaciones pulmonares inducidas por SARS-CoV-2 e identificar pacientes en riesgo en el seguimiento a medio y largo plazo. Los resultados preliminares, expuestos en la reunión de áreas SEPAR 2021, demuestran como la ET tiene una sensibilidad superior a la radiografía para detección de secuelas a medio plazo tras neumonía por COVID-19 y, además, las alteraciones de la ET se relacionan con deterioro funcional medido mediante espirometría y difusión.

Dada la implantación progresiva de la ET en la Neumología nuestro grupo recientemente realizó un análisis nacional de la práctica clínica, organización, infraestructura, cartera de servicios y actividad docente e investigadora en ecografía, mediante un estudio observacional, transversal y multicéntrico, realizado de octubre-diciembre 2020, mediante una encuesta dirigida socios SEPAR, en hospitales públicos de distintos niveles de complejidad. Se analizaron los datos de 104 hospitales, evidenciando que en el momento actual la ET ya se utiliza en el 56,7% de los casos tanto en el área de técnicas broncopleurales como en planta convencional sin diferencias entre centros y menos del 6% no disponen de ecógrafo. La ET presenta su mayor grado de implantación para la valoración del derrame pleural (91,3%), en el diagnóstico diferencial de disnea (51,9%) y para descartar neumotórax iatrogénico (50,9%). Un 5,7% de los centros tienen un neumólogo con dedicación específica a la ET, pero menos del 35% de los centros imparten docencia y menos de 18% participa en proyectos de investigación. Por lo que, la ET ha aumentado claramente su uso y dotación en los Servicios de Neumología en los últimos años, sin embargo, siguen siendo pocos los neumólogos con dedicación específica y la actividad docente e investigadora en este campo es escasa, siendo necesarias estrategias para mejorar las competencias y fomentar el desarrollo en ET con el objetivo final de mejorar la actividad asistencial. (ANEXO VI)





## **CAPÍTULO 6.**

# **CONCLUSIONES**





La ecografía torácica realizada por neumólogos ha demostrado ser una herramienta que aumenta la validez y rentabilidad diagnóstica y pronóstica en diferentes patologías respiratorias y tras los procedimientos broncopleurales invasivos, lo que permite un manejo más eficiente y seguro del paciente.

1. La ecografía torácica realizada por neumólogos con una formación básica en este procedimiento de forma inmediata tras una toracocentesis evacuadora, una biopsia pleural o una biopsia transbronquial, es útil para descartar neumotórax iatrogénico con una VPN del 98,6%, lo que evitaría la realización de un número considerable de estudios radiológicos.

2. Es posible realizar una estratificación pronóstica mediante ecografía torácica en los pacientes hospitalizados por neumonía asociada a SARS-CoV-2. Cuando esta técnica se realiza en los primeros días del ingreso hospitalario predice adecuadamente la necesidad de cuidados críticos, soporte respiratorio no invasivo o fallecimiento en este grupo de pacientes, siendo el área bajo la curva ROC de 0,88 (IC95%: 0,75-0,99). Al establecer un score de puntuación para cuantificar el grado de afectación pulmonar se comprobó que un punto de corte 13,5 predice una posible evolución desfavorable con una sensibilidad del 100% y especificidad del 61,5%.

3. La inclusión de la ecografía torácica de forma protocolizada en la exploración de los pacientes en una unidad de hospitalización convencional de Neumología mejora la precisión diagnóstica al aportar información adicional en más de la mitad de los pacientes. El mayor valor añadido se ha evidenciado en los pacientes ingresados por descompensación de enfermedad obstructiva de base y en las infecciones respiratorias.

4. La ecografía torácica ha demostrado detectar complicaciones no sospechadas con las pruebas que se utilizan de manera habitual en una planta de hospitalización de Neumología

5. El uso rutinario de la ET en los pacientes en una planta de hospitalización convencional en Neumología puede suponer una adecuación terapéutica de hasta el 17,2% de los casos respecto al manejo habitual.



## BIBLIOGRAFÍA



1. Leal B, Mata G, Muñoz S. El Teorema de Pitágoras: Historia y casos para triángulos no rectángulos, con mira a profesores de Educación Básica y Media. 9.
2. Lane N, Lahham S, Joseph L, Bahner DP, Fox J.C. Ultrasound in medical education: listening to the echoes of the past to shape a vision for the future. *Eur J Trauma Emerg Surg.*2015;41;461–467.
3. Eisenberg R.L. (1992). *Radiology: an illustrated history*. St. Louis, MO: Mosby Year Book.
4. Neuweiler G. (2000) *The Biology of Bats*. Oxford University Press.
5. Manbachi A, Cobbold R. Desarrollo y aplicación de materiales piezoeléctricos para la generación y detección de ultrasonido. 2011. *Ultrasound.*2011;19(4);187-196.
6. Lippmann G. Définition physique et détermination des températures absolues. *J. Phys. Theor. Appl.*1884; 3: 53–57.
7. Kane D. A brief history of musculoskeletal ultrasound: ‘From bats and ships to babies and hips’. *Rheumatology* .2004;43:931–933.
8. Carbelo DMA, Sosa DLE, González CR. Historia y desarrollo del ultrasonido en la Imagenología. *Acta Médica del Centro.*2019;3:601-615.
9. Campbel S. A short history of sonography in Obstetric and Gynaecology. *FVV in ObGyn.* 2013,5(3):213-229.
10. 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;156:1640–1646.
11. Pallares JP.C. Manual de Procedimientos SEPAR: Ecografía torácica. Consultado [20/06/2020]. Disponible en [www.separ.es](http://www.separ.es).
12. Volpicelli G. Interpreting lung ultrasound B-lines in acute respiratory failure. *Chest.*2014;146: e230.
13. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest.*2015;147: 1659–1670.

14. Pivetta E, Goffi A, Lupia E, *et al.* Lung Ultrasound-Implemented Diagnosis of Acute Decompensated Heart Failure in the ED: A SIMEU Multicenter Study. *Chest*.2015;148:202–210.
15. Koenig SJ, Narasimhan M, Mayo PH. Thoracic Ultrasonography for the Pulmonary Specialist. *Chest*.2011;140:1332–1341.
16. Díaz-Rodríguez N, Garrido-Chamorro RP, Castellano-Alarcón J. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. *SEMERGEN - Medicina de Familia*.2007;33:362–369.
17. Ordóñez-Gil FJ, Gómez-Carbonell MR. (2014). Manual de técnica ecográfica: de la física a la práctica. Elsevier.
18. Manbachi A, Cobbold RSC. Development and Application of Piezoelectric Materials for Ultrasound Generation and Detection. *Ultrasound*.2011;19:187–196.
19. Rumack C, Wilson S, William-Charboneau J, Levine D. (2014). Diagnostic Ultrasound: General Adult.4th Edition. Elsevier.
20. González-Hernando C, de la Rosa-Ruiz C, Gutiérrez-Salcedo Ó, *et al.* (2014). Identificación del uso clínico de los ultrasonidos. Técnicas de tomografía computarizada y ecografía. Aran Ediciones.
21. Hangiandreou NJ. A physics tutorial for residents. *Topics in US: B-mode US: basic concepts and new technology. Radiographics*.2003; 23:1019–1033.
22. Feldman MK, Katyal S, Blackwood MS. US Artifacts. *Radiographics* .2009;29:1179–1189.
23. Nahas H, Au JS, Ishii T, YS-Yiu B, JY-Chee A, CH-Yu A. A Deep Learning Approach to Resolve Aliasing Artifacts in Ultrasound Color Flow Imaging. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*.2020; 67:2615–2628.
24. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, *et al.* International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*.2012;38:577–591.
25. Rea G, Trovato GMA. Farewell to B-Lines: Ageing and Disappearance of Ultrasound Artefacts as a Diagnostic Tool. *Respiration*.2015;90:522.

26. Dietrich CF, Mathis G, Blaiwas M. *et al.* Lung artefacts and their use. *Med Ultrason.*2016;18:488–499.
27. Lee Y, Jenssen FC, Dietrich CF. A common misunderstanding in lung ultrasound: the comet tail artefact. *Med Ultrason.*2018;20:379–384.
28. Lichtenstein DA. (2005). *Ecografía general en pacientes críticos.* Springer-Verlag.
29. Whittle PC, Baldassare PG. Ultrasonografía de piel y anexos. *Revista chilena de radiología.*2004;10:81–88.
30. Laurensen CB, Cilve A, Hallifax R. *et al.* European Respiratory Society Statement on Thoracic Ultrasound. *Eur Respir J.* .2021; 57: 2001519
31. Lichtenstein, D. Novel approaches to ultrasonography of the lung and pleural space: where are we now? *Breathe.*2017;13:100–111.
32. Salamonsen M, Dobeli K, McGrath D, *et al.* Physician performed ultrasound can accurately screen for a vulnerable intercostal artery prior to chest drainage procedures. *Respirology.*2013;18:942–947.
33. Kanai M, Sekiguchi H. Avoiding vessel laceration in thoracentesis: a role of vascular ultrasound with color Doppler. *Chest.*2015;147:e5–e7.
34. Cunha-Ferreira A, Mauad-Filho F; Braga T, Downing-Fanstone G, Charbel-Bumlai I, Onari N. The role of ultrasound in the assessment of pleural effusion. *Radiologia Brasileira.*2006;39:145–150.
35. Lichtenstein DA. Current Misconceptions in Lung Ultrasound. *Chest.* .2019;156:21–25.
36. Marel M, Zrůstová, M, Stasný B, Light RW. The incidence of pleural effusion in a well-defined region. Epidemiologic study in central Bohemia. *Chest.*1993;104:1486–1489.
37. Villena-Garrido V, Cases-Viedma E, Fernández-Villar A, *et et al.* Normativa sobre el diagnóstico y tratamiento del derrame pleural. Actualización. *Arch Bronconeumol.* .2014;50:235–249.



38. Wu RG, Yuan U, Liaw YS, *et al.* Image comparison of real time gray scale ultrasound and color Doppler ultrasound for use in diagnosis of minimal pleural effusion. *Am J Respir Crit Care Med.*1994;150: 510–514.
39. Wu RG, Yang PC, Kuo SH., Luh KT. ‘Fluid color’ sign: a useful indicator for discrimination between pleural thickening and pleural effusion. *J Ultrasound Med.*1995; 14:767–769.
40. Sajadieh H, Afzali F, Sajadieh V, Sajadieh A. Ultrasound as an Alternative to Aspiration for Determining the Nature of Pleural Effusion, Especially in Older People. *Annals of the New York Academy of Sciences.*2004;1019:585–592.
41. Han J, Xiang H, Ridley WE, Ridley LJ. Plankton sign: Pleural effusion. *J Med Imaging Radiat Oncol.*2018; 62 (Suppl 1):35.
42. Hassan M, Rizk R, Essam H, Abouelnour A. Validation of equations for pleural effusion volume estimation by ultrasonography. *J Ultrasound.*2017;20:267–271.
43. Noppen M, De Keukeleire T. Pneumothorax. *Respiration.*2008;76:121–127.
44. Lichtenstein D, Lascols N, Prin S, Mezière G. The “lung pulse”: an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med* .2003;29:2187–2192.
45. Lichtenstein D, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. *Lung sliding.* *Chest.*1995;108:1345–1348.
46. Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Med* .2011;37:224–232.
47. Volpicelli G, Boero E, Sverzellati N, *et al.* Semi-quantification of pneumothorax volume by lung ultrasound. *Intensive Care Med.*2014;40:1460–1467.
48. Molina-Molina M, Bachs -Salvado A. Manual de Procedimientos 24 SEPAR: Manual de procedimientos en biopsia pulmonar para el diagnóstico de EPID. Consultado [20/06/2020]. Disponible en [www.separ.es](http://www.separ.es).

49. García-Ortega A, Briones-Gómez A, Fabregat S, Martínez-Tomás R, Martínez-García MA, Cases E. Utilidad de la ecografía en el diagnóstico de lesiones torácicas periféricas realizadas en una unidad de técnicas de neumología. *Archivos de Bronconeumología* 2016; 52:244–249.
50. Sartori S, Tombesi P, Trevisani L, Nielsen I, Tassinari D, Abbasciano V. Accuracy of transthoracic sonography in detection of pneumothorax after sonographically guided lung biopsy: prospective comparison with chest radiography. *AJR Am J Roentgenol.*2007;188: 37–41.
51. Ball CG, Ranson K, Dente CJ, *et al.* Clinical predictors of occult pneumothoraces in severely injured blunt polytrauma patients: A prospective observational study. *Injury.*2009;40:44–47.
52. Ball CG, Kirkpatrick A, Laupland KB, *et al.* Incidence, risk factors, and outcomes for occult pneumothoraces in victims of major trauma. *J Trauma.*2005; 59:917–924.
53. Ding W, Shen Y, Yang J, He X, Zhang M. Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest.*2011;140(4):859-866.
54. Bandelli G, Levi G, Quadri F, Marchetti G. ‘Elasto-lung point’: A new tool for the sonographic confirmation of pneumothorax. *Clin Respir J.*2020.DOI:10.1111/crj.13193.
55. Duclos G, Bobbia X, Markarian T, *et al.* Speckle tracking quantification of lung sliding for the diagnosis of pneumothorax: a multicentric observational study. *Intensive Care Med.*2019;45:1212–1218.
56. WHO (2 de Agosto de 2019). Pneumonia. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>.
57. Volpicelli G, Zanobetti M. Lung ultrasound and pulmonary consolidations. *Am J Emerg Med.*2015; 33:1307–1308.
58. Görg C, Kring R, Bert T. Transcutaneous Contrast-Enhanced Sonography of Peripheral Lung Lesions. *American Journal of Roentgenology.*2006;187:420–429.

59. Lichtenstein D, Mezière G. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*.2008;134:117–125.
60. D’Amato M, Rea G, Carneval V, *et al.* Assessment of thoracic ultrasound in complementary diagnosis and in follow up of community-acquired pneumonia. *BMC Med Imaging*.2017;17:52.
61. Mathis, Gebhard (2017). *Chest Sonography*. Springer International Publishing
62. Phelan A, Katz R, Gostin L. The Novel Coronavirus Originating in Wuhan, China: Challenges for Global Health Governance. *JAMA*.2020;323(8):709-710
63. Wu Z, McGoogan J. Characteristics of and Important Lessons from the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 Cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*.2020;323:1239–1242.
64. Poggiali E, Vercelli A, Cillis MG, Ioannilli E, Iannicelli T, Andrea M. Triage decision-making at the time of COVID-19 infection: the Piacenza strategy. *Intern Emerg Med*.2020;15(5):879-882.
65. Lin H, Zhang B, Kou H, *et al.* Application Value of Lung Ultrasound in Asymptomatic Patients with Confirmed COVID-19. *Advanced Ultrasound in Diagnosis and Therapy*.2020; 4:67-72.
66. Wynants L, Van-Calster B, Collins G, *et al.* Prediction models for diagnosis and prognosis of COVID-19 infection: systematic review and critical appraisal. *BMJ*.2020;369:m1328.
67. Millington S, Koenig S, Mayo P, Volpicelli G. Lung Ultrasound for Patients with Coronavirus Disease 2019 Pulmonary Disease. *Chest*.2021;159 (1): 205-211.
68. Zieleskiewicz L, Markarian T, López A. Comparative study of lung ultrasound and chest computed tomography scan in the assessment of severity of confirmed COVID-19 pneumonia. *Intensive Care Med*.2020; 46:1707–1713.
69. Lichter Y, Topilsky Y, Taieb P, *et al.* Lung ultrasound predicts clinical course and outcomes in COVID-19 patients. *Intensive Care Med*.2020; 46:1873–1883.

70. Castelao, J, Graziani D, Soriano JB, Izquierdo JL. Findings and Prognostic Value of Lung Ultrasound in COVID -19 Pneumonia. *J Ultrasound Med.* 2020; 9999:1–10.
71. Pérez-Pallarés J, Flandes-Aldeyturriaga J, Cases-Viedma E, Cor-dovilla-Pérez R. Recomendaciones de consenso SEPAR-AEER sobre la utilidad de la ecografía torácica en el manejo del paciente con sospecha o infección confirmada con COVID-19. *Archivos de Bronconeumología.*2020; 56: 27–30.
72. Soldati G, Smargiassi A, Inchingolo R, *et al.* Proposal for International Standardization of the Use of Lung Ultrasound for Patients With COVID-19: A Simple, Quantitative, Reproducible Method. *J Ultrasound Med.*2020; 39 (7): 1413-1419.
73. WHO (10 de diciembre de 2020). Datos y cifras sobre el cáncer. WHO <https://www.who.int/cancer/about/facts/es>.
74. Görg C, Seifart U, Holzinger I, Wolf M, Zugmaier G. Bronchio-loalveolar carcinoma: Sonographic pattern of ‘pneumonia’. *European journal of ultrasound: official journal of the European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology.*2002;15:109–117.
75. Yang PC, Luh KT, Wu HD, *et al.* Lung tumors associated with obstructive pneumonitis: US studies. *Radiology.*1990; 174:717–720.
76. Görg C, Bert T. Transcutaneous colour Doppler sonography of lung consolidations: review and pictorial essay.*Ultraschall Med.*2004;25:221–226.
77. Bai J, Hsieh M, Liao H, Lin M, Chen J. Prediction of pleural invasion using different imaging tools in non-small cell lung cancer. *Ann Transl Med.* 2019;7(2):33.
78. Jambrik Z, Monti S, Coppola V, *et al.* Usefulness of ultrasound lung comets as a nonradiologic sign of extravascular lung water. *Am. J. Cardiol.* 2004;93, 1265–1270.
79. Volpicelli G, Mussa A, Garofalo G, *et al.* Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome. *The American Journal of Emergency Medicine.*2006; 24, 689–696.

80. Buessler A, Chouihed T, Duarte K, *et al.* Accuracy of Several Lung Ultrasound Methods for the Diagnosis of Acute Heart Failure in the ED. *CHEST*.2020; 157(1):99-110
81. Čelutkienė J, Lainscak M, Anderson L, *et al.* Imaging in patients with suspected acute heart failure: timeline approach position statement on behalf of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *European Journal of Heart Failure*.2020;22:181–195.
82. Elke Platz E, Lewis EF, Uno H, *et al.* Detection and prognostic value of pulmonary congestion by lung ultrasound in ambulatory heart failure patients. *European Heart Journal*. 2016.37(15):1244-1251.
83. Volpicelli G, Skurzak S, Boero E, *et al.* Lung ultrasound predicts well extravascular lung water but is of limited usefulness in the prediction of wedge pressure. *Anesthesiology*.2014;121:320–327.
84. Soummer A, Perbet S, Brisson H, *et al.* Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts post-extubation distress. *Critical Care Medicine*.2012; 40:2064–2072.
85. Bouhemad B, Mongodi S, Via G, Rouquette I. Ultrasound for “Lung Monitoring” of Ventilated Patients. *Anesthesiology*. 2015;122:437–447.
86. Xie HQ, Zhang W, Sun S, *et al.* A simplified lung ultrasound for the diagnosis of interstitial lung disease in connective tissue disease: a meta-analysis. *Arthritis Research & Therapy*.2019;21:93
87. Wang Y, Gargani L, Barskova T, Furst D, Cerinic M. Usefulness of lung ultrasound B-lines in connective tissue disease-associated interstitial lung disease: a literature review. *Arthritis Res Ther*. 2017;19(1):206.
88. Manolescu D, Davidescu L, Traila D, Oancea C, Tudorache V. The reliability of lung ultrasound in assessment of idiopathic pulmonary fibrosis. *CIA* .2018;13:437–449.
89. Xie H, Zhang W, Sun S, *et al.* A simplified lung ultrasound for the diagnosis of interstitial lung disease in connective tissue disease: a meta-analysis. *Arthritis Res Ther*.2019;21(1):93.

90. Gargani L, Doveri M, D'Errico L, *et al.* Ultrasound lung comets in systemic sclerosis: a chest sonography hallmark of pulmonary interstitial fibrosis. *Rheumatology*. 2009;48(11):1382-7.
91. Barskova T, Gargani L, Guiducci S, *et al.* Lung ultrasound for the screen-ing of interstitial lung disease in very early systemic sclerosis. *Ann Rheum Dis*. 2013;72(3):390-395.
92. Hassan R, Lubertino L, Barth M, *et al.* Lung Ultrasound as a Screening Method for Interstitial Lung Disease in Patients with Systemic Sclerosis. *J Clin Rheumatol*. 2019;25(7):304-307.
93. Squizzato U, Rancan E, Dentali F, *et al.* Diagnostic accuracy of lung ul-trasound for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost*. 2013;11(7):1269-78.
94. Nazerian P, Volpicelli G, Gigli C, *et al.* Diagnostic Performance of Wells Score Combined with Point-of-care Lung and Venous Ultra-sound in Sus-pected Pulmonary Embolism. *Acad Emerg Med*.2017;24(3):270-280.
95. Reissig A, Kroegel C. Transthoracic ultrasound of lung and pleura in the diagnosis of pulmonary embolism: a novel non-invasive bed-side ap-proach. *Respiration* .2003; 70,441–452.
96. Reissig A, Heyne J, Kroegel C. Sonography of lung and pleura in pul-monary embolism: sonomorphologic characterization and comparison with spiral CT scanning. *Chest* .2001;120:1977–1983.
97. Hoffmann R, Pohlemann T, Wippermann B, Reimer P, Milbradt H, Tscherne H. Management of sonography in blunt abdominal trauma. *Un-fallchirurg*.1989;92(10):471-476.
98. Montoya J, Stawicki S, Evans D, *et al.* From FAST to E-FAST: an over-view of the evolution of ultrasound-based traumatic injury as-sessment. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2016;42(2):119-126.
99. Akoglu H, Celik O, Celik A, Ergelen R, Onur O, Denizbasi A. Di-agnostic accuracy of the Extended Focused Abdominal Sonogra-phy for Trauma (E-FAST) performed by emergency physicians compared to CT. *Am J Emerg Med*.2018;36(6):1014-1017.

100. Liao S, Chen P, Chaou J, Lee C. Top cited publications on point-of-care ultrasound: The evolution of research trends. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2018; 36, 1429–1438.
101. Anile A, Russo J, Castiglione G, Volpicelli G. A simplified lung ultrasound approach to detect increased extravascular lung water in critically ill patients. *Crit Ultrasound J* .2017; 9:13
102. Foo-Gil KA, Devesa-Muñoz M, Solla-Camino JM, Vázquez-Fernández A. Ecografía a pie de cama: una herramienta imprescindible para el Servicio de Urgencias. *Med Gen Fam*. 2019;8(6):262-266
103. Adamietz BR, Fasching PA, Jud S, *et al*. Ultrasound elastography of pulmonary lesions - a feasibility study. *Ultraschall Med*. 2014;35(1):33-7.
104. Jiang B, Li X, Yin Y, *et al*. Ultrasound elastography: a novel tool for the differential diagnosis of pleural effusion. *Eur Respir J*. 2019;54(2):1802018.
105. Bandelli G P, Levi G, Quadri F, Marchetti GP. “Elasto-lung point”: A new tool for the sonographic confirmation of pneumothorax. *Clin Respir J*. 2020.14, 758–762.
106. Zhou B, Bartholmai BJ, Kalra S, Osborn TG, Zhang X. Lung US Surface Wave Elastography in Interstitial Lung Disease Staging. *Radiology* .2019;291:479–484.
107. Corcoran J, Tazi-Mezalek R, Maldonado F, *et al*. State of the art thoracic ultrasound: intervention and therapeutics. *Thorax* 2017;72:840–849
108. Qureshi NR, Rahman NM, Gleeson F V. Thoracic ultrasound in the diagnosis of malignant pleural effusion. *Thorax*. 2009; 64:139–143
109. Botana-Rial M, Leiro-Fernández V, Represas-Represas C, González-Piñeiro A, Tilve-Gómez A, Fernández-Villar A. Thoracic ultrasound-assisted selection for pleural biopsy with Abrams needle. *Respir Care*. 2013;58(11):1949-54.
110. Alrajhi K, Woo MY, Vaillancourt C. Test Characteristics of Ultrasoundography for the Detection of Pneumothorax: A Systematic Review and Meta-analysis. *Chest*. 2012; 141:703–708.

111. Domingo M, Conangla L, Lupón J, *et al.* Prognostic value of lung ultra-sound in chronic stable ambulatory heart failure patients. *Rev Esp Cardiol.* 2020; S1885-5857(20)30335-2.
112. Rivas-Lasarte M, Álvarez-García J, Fernández-Martínez J, *et al.* Lung ultrasound-guided treatment in ambulatory patients with heart failure: a randomized controlled clinical trial (LUS-HF study). *Eur J Heart-Fail.* 2019;21(12):1605-1613.
113. Evrin T, Korkut S, Ozturk-Sonmez L, *et al.* Evaluating Stable Chronic Obstructive Pulmonary Disease by Ultrasound. *Emergency Medicine International.* 2019, e5361620.
114. Fraile-Gutiérrez V, Ayuela-Azcárate JM, Pérez-Torres D, Zapata L, Rodríguez-Yakushev A, Ochagavía A. Ecografía en el manejo del paciente crítico con infección por SARS-CoV-2 (COVID-19): una revisión narrativa. *Med Intensiva.* 2020;44:551–565.
115. Stanson A, Edey A, Evisaon M, *et al.* British Thoracic Society Training Standards for Thoracic Ultrasound (TUS). *BMJ Open Resp Res* 2020;7:e000552.
116. Sanderson S, Tatt ID, Higgins JP. Tools for assessing quality and susceptibility to bias in observational studies in epidemiology: a systematic review and annotated bibliography. *Int J Epidemiol.* 2007;36:666–676
117. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The ‘lung point’: an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med.* 2000;26: 1434–1440
118. Vandembroucke J, von-Elm E, Altman D, *et al.* Strengthening the Re-ported of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration. *Int J Surg.* 2014;12(12):1500-24.
119. Villena-Garrido V. Manual SEPAR 8 de procedimientos. Consultado [20/06/2020]. Disponible en [www.separ.es](http://www.separ.es).
120. Kumar S, Agarwal R, Aggarwal AN, Gupta D, Jindal SK. Role of ultrasonography in the diagnosis and management of pneumothorax following transbronchial lung biopsy. *J Bronchology Interv Pulmonol.* 2015;22:14–19.



121. Kreuter M, Eberhardt R, Wenz H, Schmitteckert H, Heussel CP, Herth F. Diagnostic value of transthoracic ultrasound compared to chest radiography in the detection of a post-interventional pneumothorax. *Ultraschall Med.* 2011;32(Suppl 2):E20-3
122. Mendoza-Ferradas FJ, García-Del-Barrio L, Bastarrika G. Extensión y cuantificación de la carga inflamatoria en COVID-19 mediante tomografía computarizada. *Arch Bronconeumol.* 2020;56(Suppl 2):31-32.
123. Liu F, Zhang Q, Huang C, *et al.* CT quantification of pneumonia lesions in early days predicts progression to severe illness in a cohort of COVID-19 patients. *Theranostics.* 2020;10(12):5613-5622.
124. Moreno R, Vincent JL, Matos R, *et al.* The use of maximum SOFA Score to quantify organ dysfunction/failure in intensive care. Results of a prospective, multicentre study. *Intensive Care Medicine* 1999; 25(7): 686-696
125. Goulden R, Hoyle MC, Monis J, *et al.* qSOFA, SIRS and NEWS for predicting inhospital mortality and ICU admission in emergency admissions treated as sepsis. *Emerg Med J.* 2018;35:345–349.
126. Seiler C, Klingberg C, Hårdstedt M. Ultrasound for Identification of Patients Requiring Invasive Mechanical Ventilation in COVID-19. *J Ultrasound Med* 2021; 9999:1–13.
127. Zanatta M, Benato P, De Battisti S, Pirozzi C, Ippolito R, Cianci V. Pre-hospital lung ultrasound for cardiac heart failure and COPD: is it worth-while?. *Crit Ultrasound J.* 2018;10:22.
128. Ramos-Hernández C, Botana-Rial M, Núñez-Fernández M, *et al.* Validity of Lung Ultrasound: Is an Image Worth More Than a Thousand Sounds? *J Clin Med.* 2021;10:2292





## CONFLICTO DE INTERESES



La doctoranda declara no tener ningún conflicto de interés en relación con la tesis doctoral.



## ANEXOS

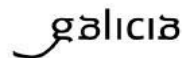




## ANEXO I: Dictamen del Comité de Ética de la Investigación



Secretaría Técnica  
Comités de Ética de la Investigación de Galicia  
Secretaría Xeral, Consellería de Sanidade  
Edificio Administrativo San Lázaro  
15703 SANTIAGO DE COMPOSTELA  
Tel: 88 1546425. Correo-e: [oseo@sergas.es](mailto:oseo@sergas.es)



### DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN DE PONTEVEDRA-VIGO-OURENSE

María Asunción Verdejo González, Secretaria del Comité de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense

#### **CERTIFICA:**

Que este Comité evaluó en su reunión del día 19/02/2019 el estudio:

**Título:** Desarrollo de un protocolo de actuación basado en la ecografía torácica en pacientes hospitalizados en neumología (EcoNeumo)

**Versión:**

**Promotor:** Cristina Ramos Hernández

**Investigadora:** Cristina Ramos Hernández

**Código de Registro:** 2018/526

Y que este Comité, tomando en consideración la pertinencia del estudio, el conocimiento disponible, los requisitos éticos, metodológicos y legales exigibles a los estudios de investigación con seres humanos, sus muestras o registro y los Procedimientos Normalizados de Trabajo del Comité, emite un **dictamen FAVORABLE** para la realización del citado estudio.

**Y HACE CONSTAR QUE:**

1. El Comité Territorial de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense cumple tanto en su composición, como en sus procedimientos normalizados de trabajo, los requisitos legales vigentes.
2. La composición actual del Comité Territorial de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense es:
  - **D. Alfonso Casas Losada (Presidente)**. Médico especialista en Psiquiatría.
  - **D<sup>a</sup>. Iria Aparicio Rodríguez (Vicepresidenta)**. Médica especialista en Obstetricia y Ginecología.
  - **D<sup>a</sup>. Asunción Verdejo González (Secretaria)**. Médica Especialista en Farmacología Clínica.
  - **D. Víctor del Campo Pérez (Secretario Suplente)**. Médico Especialista en Medicina Preventiva y Salud Pública.
  - **D<sup>a</sup>. Marisol Aira Quintela**. Médica Especialista en Medicina Familiar y Comunitaria.
  - **D. Jorge Luis Arias Otero**. Licenciado en Físicas.
  - **D<sup>a</sup>. María de las Mercedes Guerra García**. Farmacéutica de Atención Primaria.
  - **D. Adolfo Paradelo Carreiro**. Farmacéutico de Atención Especializada.
  - **D<sup>a</sup>. María Eva Pérez López**. Médica Especialista en Oncología Médica.
  - **D<sup>a</sup>. María Ponte García**. Licenciada en Derecho.
  - **D. Juan Carlos Rodríguez García**. Médico Especialista en Medicina Interna.
  - **D<sup>a</sup>. Cristina Torreira Banzas**. Médica Especialista en Análisis Clínicos.
  - **D<sup>a</sup>. Miriam Vázquez Campo**. Diplomada Universitaria de Enfermería.

Para que conste donde proceda, y a petición de quien proceda.

En Vigo, la Secretaria del Comité Territorial de Ética de la Investigación de Pontevedra-Vigo-Ourense



## ANEXO II: Consentimiento Informado



### DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

**TÍTULO del estudio:** Desarrollo de un protocolo de actuación basado en la ecografía torácica en pacientes hospitalizados en neumología (EcoNeumo).

Yo,.....  
.....

- Lei la hoja de información al participante del estudio arriba mencionado que se me entregó, pude conversar con: ..... y hacer todas las preguntas sobre el estudio.
- Comprendo que mi participación es voluntaria, y que puedo retirarme del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Accedo a que se utilicen mis datos en las condiciones detalladas en la hoja de información al participante.
- Presto libremente mi conformidad para participar en este estudio.

Al terminar este estudio acepto que mis datos sean:

- Eliminados
- Conservados anonimizados para usos futuros en otras investigaciones

Fdo.: El/la participante,

Fdo.: El/la investigador/a que solicita el consentimiento

Nombre y Apellidos:

Nombre y Apellidos:

Fecha:

Fecha:

Versión: [1.0], data [27/09/2018]

Se deberán firmar dos modelos, uno será entregado al participante y otro será conservado por el responsable del estudio de investigación



**DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO ANTE TESTIGOS PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN** (para los casos en que el participante no pueda leer/escribir)

*El testigo imparcial ha de identificarse y ser una persona ajena al equipo investigador.*

**TÍTULO del estudio:** Desarrollo de un protocolo de actuación basado en la ecografía torácica en pacientes hospitalizados en neumología (EcoNeumo).

Yo,....., como testigo imparcial, afirmo que en mi presencia:

- Se le leyó a..... la hoja de información al participante del estudio arriba mencionado que se le entregó, y pudo hacer todas las preguntas sobre el estudio.
- Comprendió que su participación es voluntaria, y que puede retirarse del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en sus cuidados médicos.
- Accede a que se utilicen sus datos en las condiciones detalladas en la hoja de información al participante.
- Presta libremente su conformidad para participar en este estudio.

Al terminar este estudio acepta que sus datos sean:

- Eliminados
- Conservados anonimizados para usos futuros en otras investigaciones

Fdo.: El/la testigo,

Fdo.: El/la investigador/a que solicita el consentimiento

Nombre y apellidos:

Nombre y Apellidos:

Fecha:

Fecha:

**DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO PARA REPRESENTANTE LEGAL PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

Versión: [1.0], data [27/09/2018]

Se deberán firmar dos modelos, uno será entregado al participante y otro será conservado por el responsable del estudio de investigación



**TÍTULO del estudio:** Desarrollo de un protocolo de actuación basado en la ecografía torácica en pacientes hospitalizados en neumología (EcoNeumo).

Yo, \_\_\_\_\_, representante legal de \_\_\_\_\_

- Leí la hoja de información al participante del estudio arriba mencionado que se me entregó, pude conversar con ..... y hacer todas las preguntas sobre el estudio.
- Comprendo que su participación es voluntaria, y que puede retirarse del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en sus cuidados médicos.
- Accedo a que se utilicen sus datos en las condiciones detalladas en la hoja de información al participante.
- Presto libremente mi conformidad para que participe en este estudio.

Al terminar este estudio acepto que sus datos sean:

- Eliminados
- Conservados anonimizados para usos futuros en otras investigaciones

Fdo.: El/la representante legal,

Fdo.: El/la investigador/a que solicita el consentimiento

Nombre e apellidos:

Nombre e apellidos:

Fecha:

Fecha:

Versión: [1.0], data [27/09/2018]

Se deberán firmar dos modelos, uno será entregado al participante y otro será conservado por el responsable del estudio de investigación



## ANEXO III: Hoja de información al paciente



### HOJA DE INFORMACIÓN AL/ A LA PARTICIPANTE ADULTO/A

**TÍTULO DEL ESTUDIO:** Desarrollo de un protocolo de actuación basado en la ecografía torácica en pacientes hospitalizados en neumología (EcoNeumo).

**INVESTIGADOR:**

**Investigador principal:** Cristina Ramos Hernández<sup>(1)</sup>

**Investigadores colaboradores:** Dra. M. Isabel Botana Rial<sup>(1)</sup>, Dr. Alberto Fernández Villar<sup>(1)</sup>.

**CENTRO:** Hospital Universitario Álvaro Cunqueiro. Xerencia de Xestión integrada de Vigo<sup>(1)</sup>

Este documento tiene por objeto ofrecerle información sobre un **estudio de investigación** en el que se le invita a participar. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de Galicia.

Si decide participar en el mismo, debe recibir información personalizada del investigador, **leer antes este documento** y hacer todas las preguntas que precise para comprender los detalles sobre el mismo. Si así lo desea puede llevar el documento, consultarlo con otras personas y tomar el tiempo necesario para decidir si participa o no.

La participación en este estudio es completamente **voluntaria**. Ud. puede decidir no participar o, se acepta hacerlo, cambiar de parecer retirando el consentimiento en cualquier momento sin dar explicaciones. Le aseguramos que esta decisión no afectará a la relación con los profesionales sanitarios que le atienden ni a la asistencia sanitaria a la que Ud. tiene derecho.

**¿Cuál es la finalidad del estudio?**

El objetivo del estudio es valorar la utilidad de la ecografía torácica en las decisiones diagnósticas y terapéuticas de diferentes patologías que son motivo de ingreso en una planta de hospitalización convencional de neumología. La ecografía torácica es una técnica de imagen inocua, que no emite radiación ionizante y de fácil acceso. Su uso podría evitar la realización de algunas pruebas, que suponen una mayor radiación para el paciente, como la tomografía computarizada (TC), pero que hasta la fecha se consideran como pruebas de referencia.

**¿Por qué me ofrecen participar a mí?**

Versión: [1.1], data [25/12/2018]

Deberán asignarse dos modelos, uno será para el participante y otro para los dos investigadores del estudio.





Las personas seleccionadas invitadas a participar en el estudio serán elegidas de forma consecutiva durante el periodo del mismo, entre las ingresadas en la planta de neumología y procedentes del servicio de urgencias.

### **¿En que consiste mi participación?**

A los participantes se les realizará una ecografía torácica en las primeras 24 horas de ingreso y otras a las 72 horas o previo al alta. Su participación tendrá una duración total estimada de 15 minutos en cada una de las ecografías.

Esta prueba es completamente inocua para su salud, no emite radiación ionizante, es completamente indolora y se realizará en su propia cama de hospitalización sin precisar traslado a otra unidad. La ecografía ha demostrado ser una prueba útil en diferentes patologías pulmonares pero, dada su reciente incorporación a la práctica clínica, hasta la fecha no se utiliza de forma protocolizada en los pacientes hospitalizados.

En esta prueba se pretende identificar las alteraciones que motivaron su ingreso, en caso de que se encuentren datos discrepantes con el diagnóstico inicial se solicitaran pruebas no invasivas (como puede ser una analítica o un TAC). Del diagnóstico ecográfico podrían derivar cambios en el tratamiento en caso de que se confirmase la información emitida por la ecografía.

Para el estudio se realizará una recogida de datos durante el ingreso y su evolución clínica al alta. Los datos de su historia clínica, así como los resultados de las pruebas realizadas serán registrados en una base de datos confidencial mediante un código determinado, elaborada específicamente para este proyecto.

### **¿Qué molestias o inconvenientes tiene mi participación?**

El presente estudio no supone ningún riesgo importante para Ud., puesto que no se le va a realizar ninguna prueba agresiva o invasiva. La ecografía torácica es una prueba de imagen que se utiliza de forma rutinaria para el estudio de diferentes patologías. Sólo excepcionalmente pueden presentarse algo de presión al contacto con el transductor o frío al contactar con el gel conductor de ultrasonidos.

### **¿Obtendré algún beneficio por participar?**

No se espera que Ud. obtenga beneficio directo por participar en el estudio. La investigación pretende descubrir aspectos desconocidos o poco claros sobre la utilidad de la ecografía torácica para predecir complicaciones de forma precoz durante un ingreso en neumología y su

Versión: [1.1], data [25/12/2018]

Deberanse asignar os dous modelos, uno será para o participantes e outro para un dos investigadores do estudo.

utilidad para orientar decisiones diagnóstico/terapéuticas. Esta información podrá ser de utilidad en un futuro para otras personas.

**¿Recibiré la información que se obtenga del estudio?**

Si Ud. lo desea, se le facilitará un resumen de los resultados del estudio.

**¿Se publicarán los resultados de este estudio?**

Los resultados de este estudio serán remitidos a publicaciones científicas para su difusión, pero no se transmitirá ningún dato que permita la identificación de los participantes.

**Información referente a sus datos:**

La obtención, tratamiento, conservación, comunicación y cesión de sus datos se hará conforme a lo dispuesto en el Reglamento General de Protección de Datos (Reglamento UE 2016-679 del Parlamento europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016) y la normativa española sobre protección de datos de carácter personal vigente.

La institución en la que se desarrolla esta investigación es la responsable del tratamiento de sus datos, pudiendo contactar con el Delegado/a de Protección de Datos a través de los siguientes medios: correo electrónico: [delegado.proteccion.datos@sergas.gal](mailto:delegado.proteccion.datos@sergas.gal) / pagina web:<http://www.sergas.gal/protecciondatos>

Los datos necesarios para llevar a cabo este estudio serán recogidos y conservados de modo **seudonimizados (codificados)**, la seudonimización es el tratamiento de datos personales de manera tal que no pueden atribuirse a un/a interesado/a sin que se use información adicional. En este estudio solamente el equipo investigador conocerá el código que permitirá saber su identidad.

La normativa que regula el tratamiento de datos de personas, le otorga el derecho a acceder a sus datos, oponerse, corregirlos, cancelarlos, limitar su tratamiento, restringir o solicitar la supresión de los mismos. También puede solicitar una copia de éstos o que ésta sea remitida a un tercero (derecho de portabilidad).

Para ejercer estos derechos puede Ud. dirigirse al Delegado/a de Protección de Datos del centro a través de los medios de contacto antes indicados o al investigador/a principal de este estudio en el correo electrónico: [cristina.ramos.hernandez@sergas.es](mailto:cristina.ramos.hernandez@sergas.es) y/o tfo 986811111 (ext.515434)

Así mismo, Ud. tiene derecho a interponer una reclamación si considera que su animato no ha sido respetado.

Versión: [1.1], data [25/12/2018]

Deberanse asignar os dous modelos, uno será para o participantes e outro para un dos investigadores do estudo.



Únicamente el equipo investigador y las autoridades sanitarias, que tienen el deber de guardar la confidencialidad, tendrán acceso a todos los datos recogidos por el estudio. Se podrá transmitir a terceros información que no pueda ser identificada. En el caso de que alguna información se transmita a otros países, se realizará con un nivel de protección de datos equivalente, como mínimo, al establecido por la normativa española y europea.

Al finalizar el estudio, o el plazo legal establecido, los datos recogidos serán eliminados o guardados anónimos para su uso en futuras investigaciones según lo que Ud. escoja en la hoja de firma del consentimiento.

#### **¿Existen intereses económicos en este estudio?**

Esta investigación está promovida por Cristina Ramos Hernández, M. Isabel Botaba Rial y Alberto Fernández Villar.

Los investigadores no recibirán retribución específica por la dedicación al estudio.

Vd. no será retribuido por participar.

#### **¿Cómo contactar con el equipo investigador de este estudio?**

Ud. puede contactar con Cristina Ramos Hernández en el teléfono 986811111 (ext.515434) y/o el correo electrónico [cristina.ramos.hernandez@sergas.es](mailto:cristina.ramos.hernandez@sergas.es).

**Muchas gracias por su colaboración**

Versión: [1.1], data [25/12/2018]

Deberanse asignar os dous modelos, uno será para o participantes e outro para un dos investigadores do estudo.

## ANEXO IV: Signo del “pinball” intrapleurar en un paciente COVID-19

MedDocs Publishers



Journal of Clinical Images

Open Access | Clinical Image

### Intrapleural “Pinball” Sign in a COVID-19 Patient

Cristina Ramos Hernández<sup>1\*</sup>; Pérez Fernández Sílvia<sup>2</sup>; López Dominguez Ana<sup>2</sup>; Botana Rial M Isabel<sup>1</sup>; Fernández Villar Alberto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, Pulmonology Department, Spain.

<sup>2</sup>Hospital Álvaro Cunqueiro, Vigo, Internal Medicine Department, Spain.

\*Corresponding Author(s): Cristina Ramos Hernández

Neumo Vigo I + I, Instituto de Investigación Sanitaria GaliciaSur (IISGS), University Hospital Complex of Vigo, Hospital Complex of Pontevedra, C / Clara Campoamor 341, 36312 Vigo, Pontevedra, Spain.

Email: cristina.ramos.hernandez@sergas.es

Received: Nov 29, 2020

Accepted: Jan 05, 2021

Published Online: Jan 08, 2021

Journal: Journal of Clinical Images

Publisher: MedDocs Publishers LLC

Online edition: <http://meddocsonline.org/>

Copyright: © Hernández CR (2021). This Article is distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License

#### Clinical image description

A 71-year-old man, hospitalized for bilateral pneumonia due to COVID-19 infection. His condition was improving with corticotherapy and oxygen therapy but, on day 16 of his hospital stay, the patient presented right pleuritic chest pain. Lung Ultrasound (LUS) showed a pleural-based, echo-poor triangular consolidations of at least 1 cm with a central hyperechoic structure consistent with a pulmonary infarct, surrounded by a pleural effusion with punctiform internal echoes mobile and whirling in real-time (Figure 1A). This has been described as the “plankton” sign 2, when present one may rule out a transudative effusion, and should be highly suspicious of a hemothorax as the likely etiology. But in the image, there were also more hyperechoic floating elements that may be seen when locules of intrapleural gas are present. We have called this pattern “pinball sign”, since one can image how a ball strikes different targets: Diaphragm,

rib cage and lung. When we completed the exploration, in the right midclavicular line, we observed that lung sliding was abolished and bar-code sign was present, without lung pulse nor B lines, suggesting the presence of concomitant pneumothorax (Figure 1B). CTPA confirmed central filling defects in subsegmental arteries of the related to acute pulmonary embolism and a small right hydropneumothorax (Figure 2). The diagnostic thoracentesis revealed the presence of a hemothorax. The patient evolved favourably with low molecular weight heparin and he was discharged a few days later without needed a chest tube drainage. This case report shows the usefulness of LUS for the management of patients with COVID-19. LUS could reduce covid-19 nosocomial outbreaks, is easily available at bedside, real time and free of radiation.

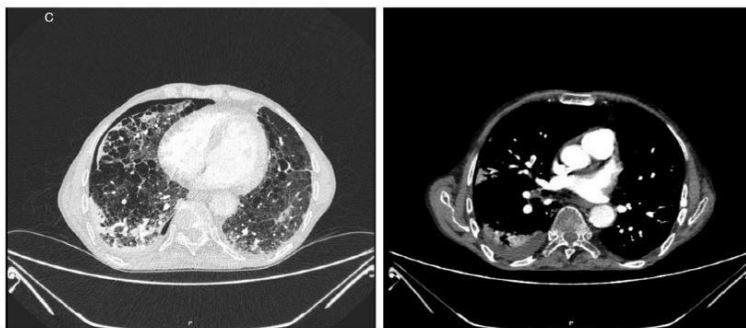


Cite this article: Hernández CR, Sílvia PF, Ana LD, Isabel BRM, Alberto FV. Intrapleural “Pinball” Sign in a COVID-19 Patient. J Clin Images. 2021; 4(1): 1081.

1



**Figure 1:** (A) Right pleural effusion. A 3.5 MHz convex probe was chosen and positioned in a longitudinal view at the sixth intercostal space, along the posterior axillary line, with the patient in a semi-recumbent position. It is possible to observe (from left to right) a small portion of the liver, the echogenic curvilinear diaphragm, and a pleural effusion with punctiform internal echoes which represent blood clot formation. We can also observe de Hydro-point, this sign is seen when the ultrasound probe is at the level of the air-fluid interface. (B) M mode ultrasound with 7.5 MHz linear probe, in a longitudinal view at the second intercostal space along midclavicular line, with the patient in the supine position. The absence of lung sliding are shown as the 'stratosphere sign': Parallel horizontal lines above and below the pleural line, resemble a 'barcode.'



**Figure 2:** CTPA Low density filling defects representing acute PE in segmental branch of the right lower lobe pulmonary artery. Triangular pleural based condensation with a truncated peak, in the right lower lobe, consistent with pulmonary infarction and very shallow right-sided pleural effusion. CTPA also shows severe centrilobular emphysema.

## ANEXO V: Validez de la ecografía ¿Una imagen vale más que mil palabras?

Article

### Validity of Lung Ultrasound: Is an Image Worth More Than a Thousand Sounds?

Cristina Ramos-Hernández <sup>1,\*</sup>, Maribel Botana-Rial <sup>1</sup>, Marta Núñez-Fernández <sup>1</sup>, Irene Lojo-Rodríguez <sup>1</sup>, Cecilia Mouronte-Roibas <sup>1</sup>, Ángel Salgado-Barreira <sup>2</sup>, Alberto Ruano-Raviña <sup>3,4,5</sup> and Alberto Fernández-Villar <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hospital Alvaro Cunqueiro, Department of Pneumology, Neumo Vigo I + i, Institute of Health Research Galicia South (IISGS), 36312 Vigo, Spain; maria.isabel.botana.rial@sergas.es (M.B.-R.); marta.nunez.fernandez@sergas.es (M.N.-F.); irene.lojo.rodriguez@sergas.es (I.L.-R.); cecilia.mouronte.roibas@sergas.es (C.M.-R.); alberto.fernandez.villar@sergas.es (A.F.-V.)

<sup>2</sup> Methodology and Statistics Unit, Galicia Sur Health Research Institute (IISGS), 36312 Vigo, Spain; angel.salgado.barreira@sergas.es

<sup>3</sup> Department of Preventive and Public Health, Faculty of Medicine, University of Santiago de Compostela, 15705 Santiago de Compostela, Spain; alberto.ruano@usc.es

<sup>4</sup> Consortium for Biomedical Research in Epidemiology and Public Health (CIBER en Epidemiología y Salud Pública, CIBERESP), 28029 Madrid, Spain

<sup>5</sup> Instituto de Investigaciones Sanitarias de Santiago de Compostela (IDIS), 15705 Santiago de Compostela, Spain

\* Correspondence: cristina.ramos.hernandez@sergas.es

**Citation:** Ramos-Hernández, C.; Botana-Rial, M.; Núñez-Fernández, M.; Lojo-Rodríguez, I.; Mouronte-Roibas, C.; Salgado-Barreira, Á.; Ruano-Raviña, A.; Fernández-Villar, A. Validity of Lung Ultrasound: Is an Image Worth More Than a Thousand Sounds? *J. Clin. Med.* **2021**, *10*, 2292. <https://doi.org/10.3390/jcm10112292>

Academic Editor: Lutz Freitag

Received: 23 April 2021

Accepted: 21 May 2021

Published: 25 May 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Introduction: There is debate as to whether lung-ultrasound (LUS) can replace lung-auscultation (LA) in the assessment of respiratory diseases. Methodology: The diagnostic validity, safety, and reliability of LA and LUS were analyzed in patients admitted in a pulmonary ward due to decompensated obstructive airway diseases, decompensated interstitial diseases, and pulmonary infections, in a prospective study. Standard formulas were used to calculate the diagnostic sensitivity, specificity, and accuracy. The interobserver agreement with respect to the LA and LUS findings was evaluated based on the Kappa coefficient ( $\kappa$ ). Results: A total of 115 patients were studied. LUS was more sensitive than the LA in evaluating pulmonary infections (93.59% vs. 77.02%;  $p = 0.001$ ) and more specifically in the case of decompensated obstructive airway diseases (95.6% vs. 19.10%;  $p = 0.001$ ). The diagnostic accuracy of LUS was also greater in the case of pulmonary infections (75.65% vs. 60.90%;  $p = 0.02$ ). The sensitivity and specificity of the combination of LA and LUS was 95.95%, 50% in pulmonary infections, 76.19%, 100% in case of decompensated obstructive airway diseases, and (100%, 88.54%) in case of interstitial diseases. ( $\kappa$ ) was 0.71 for an A-pattern, 0.73 for pathological B-lines, 0.94 for condensations, 0.89 for pleural-effusion, 0.63 for wheezes, 0.38 for rhonchi, 0.68 for fine crackles, 0.18 for coarse crackles, and 0.29 for a normal LA. Conclusions: There is a greater interobserver agreement in the interpretation of LUS-findings compared to that of LA-noises, their combined use improves diagnostic performance in all diseases examined.

**Keywords:** LUS; ultrasound; lung auscultation

#### 1. Introduction

One of the most widely used instruments in physical examinations is the stethoscope, which was developed in 1816 by French physician Laënnec [1]. This tool has become an important emblem of medicine and is a key element of the physical examination of patients with respiratory diseases [2,3]. However, the diagnostic validity and sensitivity of auscultatory symptoms is often too limited to allow for reaching an accurate diagnosis [2].

Thus, many authors consider that the stethoscope's days may be numbered due to the development of new exploratory techniques [4]. Lung ultrasound (LUS) has become an essential complementary tool and its application in the Pulmonology practice is an unstoppable fact. From an etymological point of view, this tool is considered to be the real

stethoscope, as stethos is a Greek prefix that refers to the thorax, while skopein, another Greek word, refers to the act of observing, and the only possible way to dynamically visualize the inside of the thorax at the patient's bedside, without emitting ionizing radiation, is with LUS. Imaging techniques enable us to supplement the information obtained from the physical examination. For this reason, LUS is a key diagnostic tool in several Emergency and Critical Care service protocols [5–7]. However, in conventional hospital wards, the routine use of this technique is slow and often limited by factors such as the required learning curve, accessibility to an ultrasound system, or time constraints. Lung auscultation (LA) and LUS should be two key pillars in the comprehensive assessment of patients hospitalized for respiratory conditions. Still, despite the importance of these two diagnostic tests, the reproducibility of the signs evidenced with each one of them and whether their joint interpretation might improve the diagnostic results are still unclear.

On the premise that LUS should be considered the fifth fundamental pillar of physical examination, as an enhancer of the traditional examination, we propose this study with the following two objectives: first, to compare the diagnostic yield of LA and LUS for the diagnosis of different respiratory diseases for which patients are frequently admitted to Pulmonology wards and, second, to determine the interobserver variability when interpreting the different sounds detected during an LA and the images identified in an LUS, as this aspect has not yet been rigorously studied.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study Design

A prospective study was carried out in the Pulmonology ward of a third-level hospital (Alvaro Cunqueiro Hospital in Vigo) between March 2019 and May 2019.

**Inclusion criteria:** Adult (>18 years) patients who had been admitted to this ward from an Emergency Care Department, due to a respiratory infection, decompensation of a previous obstructive disease, or interstitial involvement, were consecutively selected to form part of the study population.

**Exclusion criteria:** Patients whose clinical deterioration prevented them from sitting down to allow an LUS to be conducted, who had been admitted over 24 h earlier, with poor-quality sound recordings, and with suspected pulmonary thromboembolism or tumor, owing to the low expression of these conditions in the lung sounds, were excluded from the study. Patients who required admission to an intermediate monitoring unit or a critical care unit were also excluded from the study, as were those with viral pneumonia, as this was not a common diagnosis during the study period and prior to the 2019 coronavirus disease (COVID-19) pandemic.

All patients signed the informed consent form specific to this research study. The study was approved by the Galician Research Ethics Committee with code 2018/526.

### 2.2. Data Collection

#### 2.2.1. Demographic Variables and Final Diagnosis

Demographic variables, including the patients' sex and age, were collected. The diagnosis used as a reference was that established by the responsible clinician at the time of discharge of each patient. The authors of this paper (ILR and CMR) reviewed each medical record retrospectively, three months after the patients' discharge from the hospital, while being blinded to the LUS and LA findings, and determined the final diagnosis established by the responsible clinician at the time of discharge of each patient. Both authors jointly reviewed 115 medical records, and in cases of disagreement (12), they reached a consensus following an open discussion.

The following three categories were established for the analysis of the final diagnoses:

- Respiratory infection, including patients with bacterial pneumonia and bronchiectasis with superinfection.

- Decompensation of a previous obstructive disease, including patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and asthma.
- Interstitial involvement, including patients with a discharge diagnosis of interstitial lung disease (ILD) or congestive heart failure (CHF).

#### 2.2.2. Ultrasonographic Procedure and Variables

The LUS was performed by a pulmonologist (CRH) within the first 24 h of the patients' admission to the hospital. This operator had over five years of experience in this technique and access to the patient's medical records, but in no case was responsible for the patients' care during their stay at the hospital. The study was performed with the patients in a seated position, examining an anterior area, two lateral areas, and a posterobasal area following the current recommendations [8]. A convex probe (2–5 Mhz) was used to assess the posterior and lateral areas, and a linear probe (5–10 Mhz) was used to examine the anterior intercostal spaces. A Sonosite M-Turbo ultrasound system (Bothell, Washington, USA) with a pulmonary preset was used in all cases. In the case of the areas examined with the convex probe, the examination was started at a depth of 12 cm, which was subsequently reduced to 6–8 cm after identifying the reference structures; in the case of the linear probe, the initial examination depth was approximately 6 cm, and could subsequently be reduced to 4 cm. The ultrasound was focused on the pleural line throughout the entire examination.

The LUS images were recorded at intervals of approximately 10 s per scanned area to allow their subsequent anonymized re-evaluation by the same pulmonologist who performed the examination (CRH) and a second observer (MBR) who did not have access to the patients' medical records and was unaware of the findings described by the observer who performed the LUS. This second observer (MBR) had an accumulated experience of over two years in LUS and had not received specific training for the detection of the relevant alterations. Both operators recorded the presence or absence of the ultrasonographic signs described below in an anonymized log that was specifically designed for this research study.

Specific ultrasonographic patterns were defined based on the LUS findings.

The presence of more than two areas in each hemithorax with ≥3 B-lines per intercostal space was interpreted as an interstitial syndrome [9]. When these findings were associated with a heterogeneous distribution, a loss of pleural integrity, decreased pleural sliding, and/or the presence of subpleural abnormalities, the interstitial involvement was linked to a decompensated ILD. In contrast, when the distribution of the B-lines was homogeneous and associated with gravitational predominance, as well as with preservation of the pleural line and its sliding, the diagnosis was oriented toward a CHF [10].

The presence of focal B-lines, the detection of an echogenic tissue consolidation associated with the presence of a dynamic air bronchogram with an intact parietal pleura, or the combination of both of these findings in the LUS was considered compatible with an infection [9].

The presence of A-lines in both sides of the thorax was classified as decompensation of an underlying obstructive disease (asthma or COPD) [11].

#### 2.2.3. Pulmonary Auscultation Procedure and Variables

The LA was carried out after the LUS by the same operator (CRH), who explored the same areas that were examined with the LUS [8], using a 3M™ Littmann® Model 3200 electronic stethoscope that enabled the recording of sounds for their subsequent analysis by another researcher (MNF). Each recording lasted approximately one minute and was performed at tidal volume. Two observers (CRH and MNF) boasting over 10 years of experience in the field of Pulmonology and who, therefore, did not require specific training to identify the respiratory sounds, anonymously classified the sounds captured in the recordings and only defined those that were evaluated.

The sounds detected during the LA were grouped into different categories corresponding to the definitions proposed by Loudon and Murphy [12] using the terminology



recommended by the European Respiratory Society (ERS) [3], which allowed a diagnostic hypothesis to be established and the patients to be classified into the three main diagnostic groups described above: respiratory infection, decompensation of an underlying obstructive disease, and interstitial involvement.

Brief, discontinuous sounds were classified as crackles. These could be subclassified as coarse crackles if they had a high pitch indicative of the presence of secretions or intra-alveolar fluid, which oriented the diagnosis toward an alveolar-interstitial process or decompensation of an obstructive pathology. Fine crackles of shorter duration and a lower pitch, which are indicative of an abrupt alveolar opening caused by the presence of restrictive diseases, were linked to a decompensated ILD [2,3]. Continuous, low-pitched sounds, similar to snores, which may be caused by the airway fluttering or the movement of air through pulmonary secretions and that can be detected in alveolar-interstitial processes or decompensation of obstructive diseases, were classified as rhonchi [2,3]. Finally, sounds detected almost exclusively during the inspiratory phase and resembling “squeaks” were classified as wheezes. The presence of these sounds was indicative of a decrease in the airway caliber secondary to its inflammation or the presence of secretions, thus orienting the diagnosis toward a decompensation of an underlying obstructive disease or a respiratory infection [2,3]. An absence of these sounds on both sides of the thorax was considered to be normal auscultation.

### 2.3. Statistical Analysis

Qualitative variables were expressed as percentages and absolute frequencies, and quantitative variables were expressed as a median and interquartile range (95% confidence interval [CI]).

The sensitivity (Se), specificity (Sp), and diagnostic accuracy (DA) values of the LA and LUS were analyzed for each of the conditions studied, and their diagnostic performance was compared using the McNemar test to compare proportions.

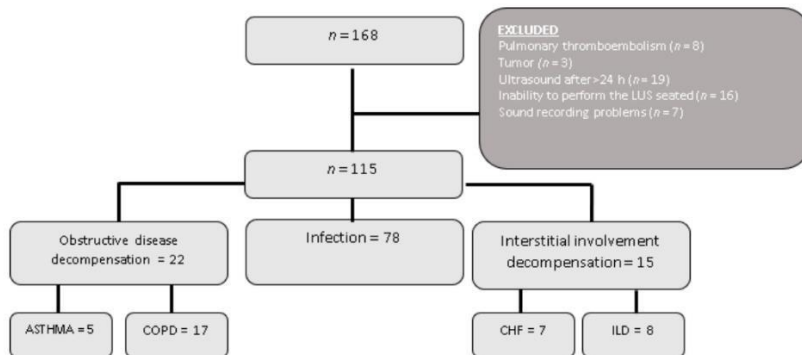
The degree of interobserver agreement was represented using the Kappa ( $\kappa$ ) coefficient and its confidence interval (95% CI). A negative  $\kappa$  value indicates that the degree of agreement is lower than what would have been expected by chance. Positive values of 0–0.2 indicate a poor agreement, values of 0.2–0.4 indicate a mild agreement, values of 0.4–0.6 indicate a moderate agreement, values of 0.6–0.8 indicate a good agreement, and those of 0.8–1 indicate a very good agreement [13].

A sample size estimation was performed for a diagnostic test with an Se of 80%, an Sp of 90%, and a DA greater than or equal to 18%, calculating a sample size of 110. The statistical analysis was performed with the IBM SPSS Statistics version 21 software (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

## 3. Results

### 3.1. Sample Description

A total of 168 patients were included in the study. Of these, 53 were eventually excluded due to the reasons explained in Figure 1. Therefore, a final total of 115 patients were analyzed, with 76 of them (66%) being men with a mean age of 65.47 years (95% CI:62.8–68.4). In 22 (19.1%) patients, the final diagnosis was decompensation of their underlying obstructive disease, with 17 (77.3%) of these cases corresponding to a decompensated COPD and five (22.7%) to an asthma attack. A large proportion of the patients (78; 67.8%) were diagnosed with a respiratory infection, and 15 (13%) were diagnosed with a decompensated interstitial disease.



**Figure 1.** Flow chart. ILD = interstitial lung disease, CHF = Congestive Heart failure, COPD: Chronic obstructive pulmonary disease.

3.2. Pulmonary Auscultation and Lung Ultrasound Results

The different ultrasonographic signs and auscultatory sounds detected by the operator who performed the procedure (CRH) are listed in Table 1.

**Table 1.** Lung Ultrasound and Pulmonary Auscultation Characteristics per Subgroup.

Discharge Diagnosis	LUS Findings *	LA Findings *
Respiratory infection (n = 78)	A-pattern 3 (3.8%)	Rhonchi 28 (35.9%)
	Pathological B-lines 66 (84.6%)	Crackles
	• Focal 39 (50%)	• Fine 1 (1.2%)
	• Diffuse 27 (34.6%)	• Coarse 24 (30.7%)
	Consolidation 35 (44.8%)	Wheezes 14 (17.9%)
	Pleural effusion 21 (26.9%)	Normal 13 (45.5%)
Underlying obstructive disease (n = 22)	9 (11.5%) >3 intercostal spaces	
	A-pattern 14 (63.6%)	Rhonchi 5 (22.7%)
	Pathological B-lines 7 (31.8%)	Crackles
	• Focal 6 (27.3%)	• Fine 0
	• Diffuse 1 (4.5%)	• Coarse 3 (16.6%)
	Consolidation 5 (22.7%)	Wheezes 5 (22.7%)
Interstitial involvement (n= 15)	Pleural effusion 1 (4.5%)	Normal 10 (45.4%)
	<1 intercostal space	
	A-pattern 0	Rhonchi 1 (12.5%)
	Pathological B-lines 8 (100%)	Crackles 6 (75%)
	• Focal 1 (12.5%)	• Fine 5
	• Diffuse 7 (87.5%)	• Coarse 1
• ILD (n = 8)	Hypochoic artifacts effacing the pleura 3 (37.5%)	Wheezes 2 (13.3%)
	Pleural thickening 5 (62.5%)	Normal 0
	Consolidation 0	

	Pleural effusion 0	
	A-pattern 0	
	Pathological B-lines 7 (100%)	Rhonchi 2 (28.6%)
	• Focal 1 (14.3%)	Crackles 4 (57.1%)
	• Diffuse 6 (87.7%)	• Fine 2
• CHF (n = 7)	Consolidation 0	• Coarse 2
	Hypochoic artifacts effacing the pleura 0	Wheezes 1 (14.3%)
	Pleural thickening 0	Normal 0
	Pleural effusion 3 (42.9%)	
	Only 1 >3 intercostal spaces	

\* LUS = Lung Ultrasound, LA = Lung Auscultation.

The diagnostic validity results of the LUS and LA are shown in Table 2.

Table 2. Combined diagnostic performance of the pulmonary auscultation and lung ultrasound.

Discharge Diagnosis		LUS	LA	p	LUS and/or LA
		Focal B-Lines and/or Consolidation	Rhonchi and/or Crackles and/or Wheezes		
Respiratory infection (n = 78)	Sensitivity	93.59%	77.02%	p = 0.00	95.95%
	Specificity	37.88%	27.77%	p = 0.58	50%
	Diagnostic accuracy	76.65%	60.90%	p = 0.08	
		A-pattern	Rhonchi and/or crackles and/or wheezes	p	LUS and/or LA
Underlying obstructive disease (n = 22)	Sensitivity	63.63%	52.38%	p = 0.72	76.19%
	Specificity	95.60%	19.10%	p = 0.00	100%
	Diagnostic accuracy	89.51%	25.40%	p = 0.00	
		Diffuse B-lines	Crackles	p	LUS and/or LA
Interstitial involvement (n = 15)	Sensitivity	86.66%	66.67%	p = 0.45	100%
	Specificity	73%	76.04%	p = 0.57	88.54%
	Diagnostic accuracy	74.75%	74.77%	p = 0.31	

Of the 15 patients included in the interstitial involvement group, eight were diagnosed with a decompensated ILD at discharge, and seven were diagnosed with a CHF. An independent analysis of the patients presenting with a decompensated ILD revealed significant differences favoring the LA with respect to the test's Sp (97.19–17.65%;  $p = 0.00$ ) and DA (94.78–21.73%;  $p = 0.00$ ), but no significant differences in its Se (83.3–100%;  $p = 1.00$ ).

The posterior power for the differences in sensitivity for infections is 82.6%, while for the differences in specificity and accuracy in obstruction it is 100%.

### 3.3. Interobserver Variability

The degree of interobserver agreement was good for the detection of an A-pattern ( $\kappa = 0.71$  (95% CI: 0.70–0.74)) and pathological B-lines ( $\kappa = 0.73$  (95% CI: 0.73–0.75)). This good agreement was maintained in the presence of focal B-lines ( $\kappa = 0.73$  (95% CI: 0.72–0.75)), with a very good agreement when the B-line involvement was diffused ( $\kappa = 0.81$  (95% CI: 0.81–0.83)). The agreement was also very good with respect to the detection of consolidations ( $\kappa = 0.94$  (95% CI: 0.93–0.95)) and pleural effusion ( $\kappa = 0.89$  (95% CI: 0.88–0.90)) by LUS (Table 3).

**Table 3.** Interobserver variability.

<b>Lung Ultrasound</b>	
A-pattern	$\kappa = 0.71$ (95% CI: 0.70–0.74)
Pathological B-lines	$\kappa = 0.73$ (95% CI: 0.73–0.75)
Focal B-lines	$\kappa = 0.73$ (95% CI: 0.72–0.75)
Diffuse B-lines	$\kappa = 0.81$ (95% CI: 0.81–0.83)
Consolidation	$\kappa = 0.94$ (95% CI: 0.93–0.95)
Pleural effusion	$\kappa = 0.89$ (95% CI: 0.88–0.90)
<b>Lung Auscultation</b>	
Wheezes	$\kappa = 0.63$ (95% CI: 0.61–0.65)
Fine crackles	$\kappa = 0.68$ (95% CI: 0.66–0.70)
Coarse crackles	$\kappa = 0.18$ (95% CI: 0.16–0.20)
Rhonchi	$\kappa = 0.38$ (95% CI: 0.36–0.40)
Normal	$\kappa = 0.29$ (95% CI: 0.27–0.31)

Regarding the auscultatory sounds, the interobserver agreement was good with respect to the detection of wheezes ( $\kappa = 0.63$  (95% CI: 0.61–0.65)) and fine crackles ( $\kappa = 0.68$  (95% CI: 0.66–0.70)), low for rhonchi ( $\kappa = 0.38$  (95% CI: 0.36–0.40)) and normal auscultations ( $\kappa = 0.297$  (95% CI: 0.27–0.31)), and poor for coarse crackles ( $\kappa = 0.18$  (95% CI: 0.16–0.20)) (Table 3).

#### 4. Discussion

To our knowledge, this is the first study comparing the diagnostic contribution of lung sounds and ultrasonographic patterns in the different respiratory conditions representing the main causes of admission to a conventional hospital ward [14]. In addition, its results demonstrate a good degree of interobserver agreement in the interpretation of ultrasonographic signs, much greater than that seen in the interpretation of lung sounds. These findings are relevant, as they support the incorporation of LUS into conventional physical examination, thus involving a change in the approach toward hospitalized patients.

In general terms, the performance of LUS examinations is greater than that of LA for all conditions examined. Pulmonary auscultation only offered a greater diagnostic contribution in a subanalysis of a very small group of eight patients with ILD. These data coincide with those published in existing literature, where the detection of fine crackles has been reported in up to 60% of patients with ILD, even before the detection of radiological alterations [15].

The greater diagnostic performance of LUS was demonstrated in the examination of patients with pulmonary infection, with 93.59% of these cases exhibiting ultrasonographic alterations compatible with this diagnosis. As recommended in the consensus document [9], we defined an LUS pattern compatible with infection characterized by the presence of focal B-lines or consolidation. However, similar studies performed with pediatric populations show that, in an appropriate clinical context, the presence of diffused B-lines might be compatible with a multifocal infection [16]. In our case series, 27 (34.6%) patients in this group had an LUS with diffused B-lines. Thus, if this pattern were included as a diagnostic parameter for respiratory infection, the Se of the LUS would be 96.15%.

No differences were found between the Se of the tests in the group of patients presenting with obstructive disease, although a significantly greater Sp was detected in favor of the LUS. In the bedside lung ultrasound in emergency (BLUE) protocol [11], the presence of an A-pattern without associated findings of deep vein thrombosis was linked to a decompensated obstructive disease with a Se of 89% and aSp of 97%. In our case, we obtained similar Sp values but lower Se values, as 36.4% of the patients had an LUS with pathological B-lines or consolidations instead of an A-pattern. We believe that this can be explained by the fact that, in our study, we used the diagnosis established at the time of discharge as the reference diagnosis, which in this case was decompensated asthma/COPD, while the diagnosis could have possibly corresponded to a respiratory infection that triggered such decompensation and was not

viewed in the X-rays. In fact, when we retrospectively reviewed the group of patients presenting with LUS alterations, we discovered that all of them had received antibiotic treatment. The Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) guidelines [17] recommend the use of antibiotics in patients with COPD exacerbations based on clinical criteria. Some studies have also examined certain biochemical markers such as the C-reactive protein (CRP) or procalcitonin, but their results have been controversial. Lung ultrasound might provide additional information on which patients with a COPD exacerbation require antibiotic treatment. In the case of asthma, the Global Initiative for Asthma (GINA) guidelines [18] do not recommend antibiotic treatment during an asthma attack. Nevertheless, in our sample, at least two patients who had been admitted to the hospital for an asthma attack and had normal chest X-ray findings presented with LUS consolidations that required antibiotic treatment.

The Se results obtained in our study for the LUS are similar to those published for critically ill patients (97% in the case of those with consolidations and 95% in those with alveolar-interstitial syndromes) [19]. However, in our study, we observed a greater diagnostic performance for the LA. In critically ill patients, LA has demonstrated a Se of 55% for the diagnosis of alveolar-interstitial syndromes and of 36% for that of consolidations [19]. We believe that the greater diagnostic performance of LA in our sample could be explained by the fact that we examined a larger area of the thorax by approaching the posterior lung fields.

A prerequisite for assessing the reproducibility of a diagnostic test and accurately interpreting results is to have a good interobserver agreement. Although the interpretation of LUS images requires specific training and experience, because ultrasonographic signs are well categorized and easy to identify, operator dependence is minimal, as evidenced by the high interobserver agreement found in the interpretation of the LUSs performed in our study (Table 3). These results are similar to those published to date, where interobserver agreement for the assessment of an A-pattern [20] is  $\kappa = 0.90$ , for an alveolo-interstitial pattern [20,21] is  $\kappa = 0.74$ – $0.91$ , and for a consolidation [20,22] is  $\kappa = 0.76$ – $0.78$ . The interobserver agreement with respect to the lung sounds was significantly lower (Table 3), although this coincides with the data reported in the available literature, where the highest degree of interobserver agreement is obtained for wheezes and fine crackles, followed by rhonchi and normal auscultation [23–25]. The only result obtained in our study that did not coincide with the data reported in the available literature is the interobserver agreement with respect to normal auscultation, as the  $\kappa$  obtained in our study was 0.297 and those published in other studies range between 0.41 and 0.46 [21,23]. This can be due to the fact that the lung sound recordings might have also captured skin friction sounds, which could have led to an incorrect interpretation. An aspect that should be kept in mind regarding the evaluation of these lung sounds is that we focused on traditional pulmonary auscultation through a sound-recording stethoscope. There are new devices [26,27] that allow for analyzing the acoustic and physiological features of lung sounds and that could improve diagnostic performance and interobserver agreement. However, these devices require the use of post-processing software that reduces bedside decision-making but lengthens the time required to reach a diagnosis as compared to LA and LUS.

Our study has some strengths, such as the anonymized assessment of the LUS and LA findings for a second time based on the recordings. In addition, it covered a heterogeneous sample with different pulmonary diseases. This ensured an independent interpretation of the auscultatory sounds and ultrasonographic signs while avoiding selection or measurement biases. Nevertheless, our study also has certain limitations, such as the fact that conducting a global assessment of the usefulness of LUS among patients hospitalized in a Pulmonology ward limits the number of cases of certain diseases. Hence, these results should be validated in multicenter studies in order to be extrapolated to the general population. However, this study does not aim to establish comparisons between the individualized contributions for each disease, but rather to share the findings described with other clinicians, as we believe they are sufficient to support the use of LUS as a complement to the traditional physical examination. Moreover, the intensity of the sound recordings was not graduated. In the appropriate context, the intensity of the sounds can aid in the diagnosis of the disease, as they are

more intense in the presence of deep breathing and attenuated in the presence of pleural effusion, pneumonia, decreased ventilation in obstructive diseases, or a lack of patient cooperation [26]. Given that the second observer was unaware of the conditions under which the LA was performed, we decided not to include this aspect in our study. In addition, some authors have questioned its clinical usefulness [28]. We also include as a limitation that we could expect the coexistence of signs and symptoms of two or more comorbidities. In such a case, the interpretation of LUS and LA could be masked by the overlapping of the presence of characteristic signs of different diseases.

### 5. Conclusions

We did not intend to generate a debate comparing auscultation with ultrasound examination based on these results; instead, we sought to highlight the importance of integrating LUS as the fifth fundamental pillar of bedside physical examination, as it increases the overall Se and Sp in all diseases analyzed. Neither LUS nor LA are laboratory tests, but rather a component of the physical examination whose usefulness depends on their adequate correlation with the available clinical information. However, the evidence supporting LUS is increasingly solid for the diseases that most frequently lead to admission to the Pulmonology ward [14]. For all the above reasons, we believe that it is time to take a step forward and incorporate LUS into the traditional physical examination.

**Author Contributions:** Conceptualization, C.R.-H., A.F.-V., and M.B.-R.; Data curation, C.R.-H.; Formal analysis, C.R.-H., A.F.-V., Á.S.-B., and M.B.-R.; Investigation, C.R.-H., M.N.-F., C.M.-R.; Methodology, C.R.-H., L.L.-R. and M.B.-R.; Supervision, A.F.-V. and A.R.-R.; Writing—original draft, C.R.-H. and M.B.-R.; Writing—review and editing, A.F.-V., A.R.-R., and M.B.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and was approved by the Galician Research Ethics Committee with code 2018/526.

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

**Data Availability Statement:** Data available on request due to restrictions (e.g., privacy or ethical).

**Conflicts of Interest:** No potential conflict of interest was reported by the authors.

### References

1. Laennec, R.T.H. *De l'Auscultation Médiate ou Traité du Diagnostic des Maladies des Poumons et du Cœur*; Brosson & Chaudé: Paris, France, 1819.
2. Murphy, R.L. In Defense of the Stethoscope. *Respir. Care* **2008**, *53*, 355–369.
3. Pasterkamp, H.; Brand, P.L.P.; Everard, M.; Garcia-Marcos, L.; Melbye, H.; Priftis, K.N. Towards the standardisation of lung sound nomenclature. *Eur. Respir. J.* **2016**, *47*, 724–732.
4. Markel, H. The Stethoscope and the Art of Listening. *N. Engl. J. Med.* **2006**, *354*, 551–555.
5. Lichtenstein, D.A. BLUE-protocol and FALLS-protocol: Two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest* **2015**, *147*, 1659–1670.
6. Volpicelli, G.; Vanni, S.; Becattini, C.; Sferazza Papa, G.F.; Gigli, C.; Grifoni, S.; Nazerian, P. Prediction Rule for Diagnosis of Pulmonary Embolism Enhanced by Lung and Venous Ultrasound: Making Confusion or Increasing Efficiency? *Acad. Emerg. Med.* **2017**, *24*, 498–499.
7. Zanolletti, M.; Scorpiniti, M.; Gigli, C.; Nazerian, P.; Vanni, S.; Innocenti, F.; Stefanone, V.T.; Savinelli, C.; Coppa, A.; Bigiarini, S.; et al. Point-of-Care Ultrasonography for Evaluation of Acute Dyspnea in the ED. *Chest* **2017**, *151*, 1295–1301.
8. Toma, T.P.; Volpicelli, G. Essential Image Acquisition Protocols for Thoracic Ultrasonography. *Respiration* **2020**, *99*, 231–238.
9. Volpicelli, G.; Elbarbary, M.; Blaivas, M.; Lichtenstein, D.A.; Mathis, G.; Kirkpatrick, A.W.; Melniker, L.; Gargani, L.; Noble, V.E.; Via, G.; et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* **2012**, *38*, 577–591.
10. Laursen, C.B.; Clive, A.; Hallifax, R.; Pietersen, P.I.; Asciak, R.; Davidsen, J.R.; Bhatnagar, R.; Bedawi, E.O.; Jacobsen, N.; Coleman, C.; et al. European Respiratory Society Statement on Thoracic Ultrasound. *Eur. Respir. J.* **2020**, *57*, 2001519, doi:10.1183/13993003.01519-2020.
11. Lichtenstein, D.A.; Mezière, G.A. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: The BLUE protocol. *Chest* **2008**, *134*, 117–125.

12. Loudon, R.; Murphy, R.L. Lung sounds. *Am. Rev. Respir. Dis.* **1984**, *130*, 663–673.
13. Landis, J.R.; Koch, G.G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* **1977**, *33*, 159–174.
14. De Lucas Ramos, P.; Rodríguez-Moro, J.M. *Libro Blanco de La Neumología en España*; Respira, Fundación Española del Pulmón; SEPAR: Madrid, Spain, 2015.
15. Cottin, V.; Cordier, J.-F. Velcro crackles: The key for early diagnosis of idiopathic pulmonary fibrosis? *Eur. Respir. J.* **2012**, *40*, 519–521.
16. Lovrenski, J.; Petrović, S.; Balj-Barbir, S.; Jokić, R.; Vilotjević-Dautović, G. Stethoscope vs. ultrasound probe—Which is more reliable in children with suspected pneumonia? *Acta Med. Acad.* **2016**, *45*, 39–50.
17. From the Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of COPD, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). 2021. Available online: <https://goldcopd.org> (accessed on 17 January 2021).
18. Global Initiative for Asthma. *Global Strategy for Asthma Management and Prevention NHLBI/WHO Workshop Report*; National Institutes of Health, National Heart, Lung, and Blood Institute: Bethesda, MD, USA, 2020. Available online: <https://ginasthma.org> (accessed on 20 December 2020).
19. Lichtenstein, D.; Goldstein, I.; Mourgeon, E.; Cluzel, P.; Grenier, P.; Rouby, J.-J. Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiology* **2004**, *100*, 9–15.
20. Mozzini, C.; Pasini, A.M.F.; Garbin, U.; Cominacini, L. Lung ultrasound in internal medicine: Training and clinical practice. *Crit Ultrasound J.* **2016**, *8*, 1–7.
21. Gullett, J.; Donnelly, J.P.; Sinert, R.; Hosek, B.; Fuller, D.; Hill, H.; Feldman, I.; Galetto, G.; Auster, M.; Hoffmann, B.; et al. Interobserver agreement in the evaluation of B-lines using bedside ultrasound. *J. Crit. Care* **2015**, *30*, 1395–1399.
22. Biagi, C.; Pierantoni, L.; Baldazzi, M.; Greco, L.; Dormi, A.; Dondi, A.; Faldella, G.; Lanari, M. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children with acute bronchiolitis. *BMC Pulm. Med.* **2018**, *18*, 191.
23. Smyllie, H.C.; Blendis, L.M.; Armitage, P. Observer disagreement in physical signs of the respiratory system. *Lancet* **1965**, *2*, 412–413.
24. Spiteri, M.A.; Cook, D.G.; Clarke, S.W. Reliability of eliciting physical signs in examination of the chest. *Lancet* **1988**, *1*, 873–875.
25. Brooks, D.; Thomas, J. Interrater Reliability of Auscultation of Breath Sounds Among Physical Therapists. *Phys. Ther.* **1995**, *75*, 1082–1088.
26. Bohadana, A.; Izbicki, G.; Kraman, S.S. Fundamentals of Lung Auscultation. *N. Engl. J. Med.* **2014**, *370*, 744–751.
27. Aviles-Solis, J.C.; Vanbelle, S.; Halvorsen, P.A.; Francis, N.; Cals, J.W.L.; Andreeva, E.A.; Marques, A.; Piirilä, P.; Pasterkamp, H.; Melbye, H. International perception of lung sounds: A comparison of classification across some European borders. *BMJ Open Respir. Res.* **2017**, *4*, e000250.
28. Holleman, D.R. Does the Clinical Examination Predict Airflow Limitation? *JAMA* **1995**, *273*, 313.

## ANEXO VI: Resultados de una encuesta nacional sobre la aplicación de la ecografía en los servicios de Neumología (bajo revisión)

### Resultados de una encuesta nacional sobre la aplicación de la ecografía en los servicios de Neumología

#### ABSTRACT

**Objetivo:** Análisis nacional de la práctica clínica, organización, infraestructura, cartera de servicios y actividad docente e investigadora en ecografía.

**Material y Métodos:** Estudio observacional, transversal y multicéntrico, realizado de octubre-diciembre 2020, mediante una encuesta dirigida socios SEPAR, en hospitales públicos de distintos niveles de complejidad.

**Resultados:** Se analizaron los datos de 104 hospitales. La ecografía se utiliza en el 56,7% de los casos tanto en el área de técnicas broncopleurales como en planta convencional sin diferencias entre centros. Existe una mayor tendencia a realizar la ET en el área de técnicas en los centros de intermedia complejidad frente a alta y baja (36%vs31%vs6,25%). La dotación de  $\geq 3$  ecógrafos es mayor en centros de alta frente a centros de intermedia complejidad (38%vs16%). Los centros de baja complejidad comparten el ecógrafo con otras especialidades un 43%. Menos del 6% no disponen de ecógrafo. La ET presenta su mayor grado de implantación en el derrame pleural(91,3%), diagnóstico diferencial de disnea(51,9%) y para descartar neumotórax iatrogénico(50,9%). Un 5,7% de los centros tienen un neumólogo con dedicación específica a la ET. Menos del 35% de los centros imparten docencia y menos de 18% participa en proyectos de investigación

**Conclusiones:** La ET ha aumentado su uso y dotación en los Servicios de Neumología, sin embargo, siguen siendo pocos los neumólogos con dedicación específica. La actividad docente e investigadora en este campo es escasa. Son necesarias estrategias para mejorar las competencias y fomentar el desarrollo en ET con el objetivo final de mejorar la actividad asistencial.

**Palabras clave:** Ecografía, ET, Neumología, encuesta



## INTRODUCCIÓN

La utilización de la ecografía en la práctica clínica habitual de los Servicios de Neumología es un hecho imparable, no solo por el aumento de sus indicaciones sino también por el número de especialistas que la han incorporado. Si bien, inicialmente comenzó a utilizarse como guía en los procedimientos pleurales(1), con el tiempo demostró su validez en la valoración del parénquima pulmonar, diafragma, pared torácica y se convirtió en una herramienta fundamental de primera línea para establecer un diagnóstico diferencial en pacientes con disnea(2,3). El uso del ultrasonido por parte del neumólogo se ha extendido también a la valoración de miembros inferiores(4), cuerdas vocales(5) e incluso a realizar una ecocardiografía(6) en la cabecera del paciente para obtener datos que puedan tener utilidad en el diagnóstico de la patología pulmonar. La ecografía torácica (ET) es una técnica implantada en las Unidades de Técnicas Broncopleurales y en las Unidades de Cuidados Intermedios Respiratorios pero su uso en las plantas de Hospitalización convencional o en consultas de Neumología no parece tan establecido.

Conocer el grado de implementación de la ecografía en el ámbito de la Neumología a nivel nacional nos podría ayudar a detectar si existen dificultades para desarrollar esta técnica, así como elaborar recomendaciones o programas de formación en los campos más deficitarios, que nos ayudarían a conseguir una asistencia de mayor calidad.

Por este motivo, y con el fin de poder evaluar la situación actual de partida, realizamos este estudio. El objetivo principal fue describir la práctica clínica asistencial y conocer datos relacionados con la implementación de la ecografía en los Servicios de Neumología, aspectos de organización e infraestructura, cartera de servicios y actividad docente e investigadora.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Diseño

De octubre a diciembre de 2020, llevamos a cabo un estudio transversal, multicéntrico a nivel nacional, mediante una encuesta dirigida a todos los socios de la Sociedad Española de Neumología y Cirugía torácica (SEPAR), en hospitales con distintos niveles de complejidad. Este último aspecto se evaluó teniendo en cuenta los criterios utilizados en otros estudios de ámbito nacional(7). Se consideraron centros de alta complejidad aquellos que contaban con gran dotación tecnológica, más de 500 camas y entre 160-300 médicos internos residentes (MIR), de complejidad intermedia aquellos con una dotación entre 200-500 camas y más de 50 MIR y baja complejidad si disponían de menos de 200 camas de hospitalización y/o menos de 50 MIR. Se incluyeron en la encuesta a

todos los neumólogos o médicos internos residentes (MIR) de esta especialidad, que fueran socios SEPAR y que pudieran estar implicados en el uso rutinario de la ET (en planta de hospitalización, consulta, unidades de cuidados respiratorios intermedios o área de técnicas broncopleurales). Se excluyeron los centros de gestión privada y los que se encontraban fuera del territorio nacional. En caso de que obtener respuestas de varios profesionales de un mismo centro se registraron las del primer participante.

Mediante una metodología similar a la utilizada por nuestro grupo en un estudio de características similares(7), se contactó a través de correo electrónico con los socios, que debían cumplimentar la encuesta utilizando una plataforma online. Se incluyeron un total de 21 ítems, 4 de ellos destinados a valorar los recursos tecnológicos, así como, la organización e infraestructura disponible para el desarrollo de la ET (tabla 1), 12 ítems para valorar la cartera de servicios de esta técnica (tabla 2) y, por último 5 apartados para conocer la implicación en docencia, formación e investigación relacionados con la ecografía (tabla 3).

#### Análisis estadístico

Las variables cualitativas se expresaron como frecuencias absolutas y porcentajes. Se realizaron comparaciones entre grupos de estudio en función del nivel asistencial del centro hospitalario y se evaluó la asociación entre variables cualitativas con el test de la ji cuadrado ( $\chi^2$ ). Todas las comparaciones estadísticas con una probabilidad de error menor del 5% se consideraron significativas. El procesamiento y el análisis de los datos se realiza mediante el paquete estadístico IBM SPSS Statistics v21 (IBM Corporation, Armonk, NY, EE. UU.).

#### Aspectos éticos

Para un estudio de estas características, el consentimiento informado no fue aplicable ya que no se requirió la aprobación del Comité de Ética de la Investigación. La obtención, tratamiento y conservación de los datos se realizó de forma anónima conforme a lo dispuesto en el Reglamento General de Protección de Datos (Reglamento UE 2016-679 del Parlamento europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016) y la normativa española sobre protección de datos de carácter personal vigente.

### **RESULTADOS:**

#### Descripción de la muestra

Respondieron a la encuesta 155 profesionales sanitarios, pertenecientes a 109 centros hospitalarios. Se excluyeron los resultados de 3 centros por no ser del ámbito nacional

y 2 centros por ser de gestión privada. Finalmente se analizaron los datos de 104 hospitales de gestión pública, de los cuales 58 (55,8%) eran centros de alta complejidad, 30 (28,8%) centros de complejidad intermedia, y 16 (15,4%) de baja complejidad.

#### Resultados relacionados con la organización e infraestructura (Tabla 1).

Encontramos diferencias significativas en la dotación de ecógrafos en función de la complejidad asistencial. El número de centros que poseen 3 o más ecógrafos propios, en el servicio de Neumología, es mayor en centros de alta complejidad respecto a los de baja complejidad (37,9% vs 0%;  $p=0,008$ ), siendo estos últimos los que, en mayor proporción, disponen de un ecógrafo compartido con otros servicios (43,7% vs 13,3% vs 3,4%;  $p=0,0001$ ). En cuanto a la dotación de transductores no se encuentran diferencias entre los distintos niveles asistenciales. Un 35,5% de los centros encuestados dispone de 3 tipos de sondas (convexa, lineal y sectorial), un 41,3% dispone de lineal y convexa y un 20% sólo dispone de una sonda, siendo la más frecuente la convexa (66,6%). La ET se utiliza de forma rutinaria tanto en el área de técnicas broncopleurales como en planta de hospitalización en el 56,7% de los casos sin diferencias entre centros. Sin embargo, en niveles de alta e intermedia complejidad asistencial, existe una mayor tendencia a realizar la ET exclusivamente en el área de técnicas broncopleurales respecto a los centros de baja complejidad (31% vs 6,25%;  $p=0,09$  y 36,6% vs 6,25%;  $p=0,04$ ). En cuanto a la dotación de nuevas técnicas de ultrasonografía, como la elastografía, se encuentra presente en el 13,4% de los centros, sin diferencias en función del nivel asistencial.

#### Resultados relacionados con la cartera de servicios (tabla 2)

La ET presenta su mayor grado de implantación en la valoración del derrame pleural (91,3%), seguido de su uso para establecer un diagnóstico diferencial entre las distintas patologías pulmonares (51,9%) y para descartar neumotórax iatrogénico tras procedimiento bronco-pleurales (50,9%). El menor grado implantación se encuentra en la valoración de disfunción de cuerdas vocales (3,8%) y el uso de elastografía para el estudio de masas (7,6%) y derrames pleurales (5,7%). Sólo se encontraron diferencias significativas en este ítem, al interrogar por el uso de la ET para el diagnóstico y/o seguimiento de enfermedades pulmonares intersticiales (EPI) en centros de baja complejidad respecto a los de media complejidad (31,2% vs 3,3%;  $p=0,02$ ), así como en la realización de ecografía de miembros inferiores (MMII) ante la sospecha de enfermedad tromboembólica, que presenta un mayor desarrollo en centros de baja complejidad con respecto a intermedia (56,2% vs 23,3%;  $p=0,05$ ) y alta complejidad (56,2% vs 20,6%;  $p=0,01$ ).

#### Resultados relacionados con la docencia, formación e investigación

De forma global, el 34,6% y 30,7% imparten docencia de pregrado y postgrado relacionada con la ET y hasta el 17,3% cuentan con investigadores en proyectos propios de ET.

En este campo sólo encontramos diferencias significativas en la participación en proyectos multicéntricos relacionados con la ET de los centros de alta complejidad respecto a los de baja complejidad (25,8% vs 0%;  $p=0,05$ ).

### DISCUSIÓN

Este es el primer estudio de ámbito estatal que evalúa el grado de implantación de la ET en el territorio nacional. Los datos obtenidos muestran un amplio uso de la ET en el estudio de las patologías en las que primero empezó a desarrollarse, pero muestra una necesidad de formación en las nuevas indicaciones en las que nunca es mayor del 65%.

En el ámbito asistencial que más se ha consolidado la ET es en la valoración de los derrames pleurales (91,3%), mejorando los resultados obtenidos en años previos. Después de la alerta de seguridad emitida por Reino Unido en 2008(8) tras identificar una serie de complicaciones iatrogénicas por la inserción de drenajes torácicos, la British Thoracic Society (BTS)(9) recomendó en 2010 la realización de todos los procedimientos pleurales bajo guía ecográfica, pero en 2014 en una encuesta a realizada a 500 neumólogos(10) se vio que hasta un 35% de las ET para guiar estos procedimientos aún no se realizaban por personal de Neumología y en 2016 en una encuesta realizada a médicos residentes de Neumología y Medicina interna, tan sólo el 44% de los encuestados dijo utilizar de forma rutinaria la ET para realizar toracocentesis(11).

En otras exploraciones de reciente introducción como el diagnóstico y seguimiento de las neumonías por SARS-CoV2, la ET ha tenido acogida del 27,8% de los centros sin diferencias entre niveles asistenciales. Estos resultados son inferiores a los obtenidos por la Academia de Ecografía Torácica(12) en Italia, donde el 60,2% de los encuestados utilizaba la ET para el diagnóstico de esta patología y el 63,4% para el seguimiento. Pero esta comparación tiene un sesgo de selección, ya que el grupo italiano estaba formado por socios con un especial interés por la ET, donde hasta un 14,6% de los encuestados comenzó a usar la ET debido a la pandemia, gracias al aumento de equipación e incremento en formación (mediante seminarios web, videos tutoriales, y programas de enseñanza locales) que son los dos pilares claves para el desarrollo de esta técnica.

En 2018 en Italia se intentó esclarecer las principales dificultades para instaurar la ET entre los neumólogos, siendo la causa principal la falta ecógrafos (52%), seguida de la

falta formación (22%)(13). En el momento actual la accesibilidad a ecógrafos en nuestro medio favorece el adecuado desarrollo de esta técnica ya que sólo el 5,7% de los centros encuestados no tiene acceso a esta herramienta. Sin embargo, esta encuesta subraya la necesidad de mejorar la formación global en ecografía, siendo especialmente necesario en las nuevas técnicas diagnósticas y en la valoración cardiaca, miembros inferiores y cuerdas vocales.

El desarrollo continuo de nuevas modalidades ecográficas de mayor complejidad como la elastografía(14,15), hacen que sea necesario un mayor grado de formación para asegurar una adecuada instauración de esta técnica en la práctica clínica. Aunque la ET aparece en el programa de formación posgraduada en Neumología, la curva de aprendizaje necesaria para la identificación de las diferentes patologías no está bien establecida. Las competencias de formación en ET a menudo se desarrollan a pie de cama ,en el entorno clínico ,supervisados por un operador con mayor experiencia, o en cursos de formación específica con sistemas de simulación para adquirir los conocimientos teórico-prácticos(16). La ET no tiene complicaciones derivadas de la técnica ecográfica, pero las decisiones que se toman en base a los resultados evidenciando en ella, hacen que sea necesaria una adecuada formación de los operadores para lograr una alta precisión diagnóstica. Para regularizar y asegurar la capacitación en ET, la BTS(17) ha publicado 5 niveles de formación, que abarcan desde un grado inicial de observador, hasta un nivel experto con permiso de supervisión y entrenamiento a otros profesionales y que se han orientado a 4 rutas (Emergencias, básico, avanzado y experto). Cualquier neumólogo en formación debería alcanzar el nivel básico pudiendo completar el nivel avanzado. El nivel experto se destinaría a personas con dedicación específica, que en nuestra muestra sólo se encuentra en el 5,7%.

Con respecto a aspectos de organización e infraestructura, destacar que en los centros de complejidad alta e intermedia existe una mayor tendencia a que la ET se realice sólo en el área de técnicas broncopleurales, respecto a lo registrado por hospitales de baja complejidad (31% y 36,6% vs 6,15%), mientras que en estos últimos existe un significativo mayor desarrollo en técnicas como la evaluación de TVP (56,2% vs 20,6% y 23,3%), posiblemente debido a una mayor subespecialización de los centros de mayor complejidad.

Solo el 20,1% de los centros encuestados impartían cursos acreditados, siendo ligeramente superior en los centros de alta complejidad. Con respecto a la investigación, el

número de proyectos propios y participación en multicéntricos fue escaso y consideramos que es otro objetivo a mejorar pues la investigación se traduce en mejora de la calidad asistencial y es un objetivo corporativo, al igual que la asistencia.

Una limitación de este estudio fue el escaso porcentaje de profesionales perteneciente a los centros de baja complejidad y la falta de estratificación por comunidades autónomas, que ha impedido realizar un análisis de la variabilidad por territorios. Pero consideramos que la muestra analizada es suficiente para reflejar el estado actual de la ET en España y nos permite establecer recomendaciones para una mejor gestión de estos procesos. A nivel nacional, otros grupos de investigación han desarrollado encuestas para conocer la situación ante distintas patologías tan prevalentes como la EPOC(18) o la situación actual del manejo del derrame pleural(7,11) o el desarrollo de nuevas Unidades de Cuidados Paliativos(19). Consideramos que este tipo de análisis son necesarios para el desarrollo de nuevas líneas estratégicas de las sociedades científicas como la SEPAR, ya que podría servir para realizar una evaluación interna de la calidad asistencial en los servicios, elaboración de guías para la mejora de la calidad asistencial, fomentar el desarrollo de formación y permitir estudios comparativos entre diferentes hospitales. La ecografía es una herramienta que ha aumentado su uso en los últimos años no solo en las Unidades de Técnicas Broncopleurales sino tan bien en planta de hospitalización convencional, unidades de cuidados intermedios o las consultas. La dotación de ecógrafos en los Servicio de Neumología también ha aumentado de forma paralela debido a las claras ventajas que aporta, por lo que parece necesario su implantación progresiva como quinto pilar de la exploración física en todas las patologías pulmonares. Esto implicará que el neumólogo deba adquirir formación para tener unos conocimientos no sólo básicos sino avanzados en esta técnica.

**Tabla 1: Resultados de la encuesta nacional sobre aspectos relacionados con la organización e infraestructura en ecografía.**

ORGANIZACIÓN E INFRAESTRUCTURA	TOTAL N=104	Centros de complejidad alta N= 58	Centros de complejidad intermedia N=30	Centros de complejidad baja N =16
<b>Disponibilidad de ecógrafos</b>				
Disponen de 2 ecógrafos propios en el servicio de Neumología	24/104 (23,0%)	17/58 (29,3%)	5/30 (16,6%)	2/16 (12,5%)
Disponen de 3 o más ecógrafos propios en el servicio de Neumología	27/104 (25,9%)	22/58 (37,9%) <sup>a</sup>	5/30 (16,6%)	0/16 (0%)
Disponen de un ecógrafo compartido con otros servicios	13/104 (12,5%)	2/58 (3,4%) <sup>a</sup>	4/30 (13,3%) <sup>b</sup>	7/16 (43,7%)
Existe un solo ecógrafo en el servicio de Neumología	34/104 (32,6%)	14/58 (2,1%) <sup>4</sup>	14/30 (46,6%)	6/16 (37,5%)
No disponen de ecógrafo	6/104 (5,7%)	2/58 (3,4%)	2/30 (6,6%)	1/16 (6,25%)
<b>Disponibilidad de sondas</b>				
Disponen de sonda lineal, convexa y sectorial	37/104 (35,5%)	23/58 (39,6%)	9/30 (30%)	5/16 (31,2%)
Disponen de sonda lineal y convexa	43/104 (41,3%)	26/58 (44,8%)	11/30 (36,6%)	6/16 (37,5%)
Disponen de una sola sonda	21/104 (20,1%)	9/58 (15,5%)	8/30 (26,6%)	4/16 (25%)
• Lineal	• 3/21	• 1/9	• -	• 2/4
• Convexa	• 13/21	• 4/9	• 7/8	• 2/4
• Microconvex	• 2/21	• 2/9	• -	• -
• Sectorial	• 3/21	• 2/9	• 1/8	• -
<b>Nuevas aplicaciones</b>				
Disponen de elastografía	14/104 (13,4%)	9/58 (15,5%)	3/30 (10%)	2/16 (12,5%)
Tipo de elastografía:				
• STRAIN	6/104 (5,7%)	4/58 (6,8%)	1/30 (3,3%)	1/16 (6,2%)
• SWE	0/104 (0%)	0/58 (0%)	0/30 (0%)	0/16 (0%)
• AMBOS	8/104 (7,6%)	5/58 (8,6%)	2/30 (6,6%)	1/16 (6,2%)
Sonda para elastografía				
• LINEAL	2/104 (1,9%)	1/58 (1,7%)	0/30 (0%)	1/16 (6,2%)
• CONVEXA	5/104 (4,8)	3/58 (5,1%)	2/30 (6,6%)	0/16 (0%)
• AMBAS	7/104 (6,7%)	5/58 (8,6%)	1/30 (3,6%)	1/16 (6,2%)
Disponen de elastografía en el EBUS	13/104 (12,5%)	11/58 (18,9%)	1/30 (3,3%)	1/16 (6,25%)
<b>Personal dedicado a ET</b>				
La ET se realiza sólo en el área de técnicas broncopleurales	30/104 (28,8%)	18/58 (31,0%)	11/30 (36,6%) <sup>b</sup>	1/16 (6,25%)
La ET se realiza en el área de técnicas broncopleurales y en la planta de hospitalización de manera rutinaria	59/104 (56,7%)	32/58 (55,1%)	17/30 (56,6%)	10/16 (62,5%)
Hay una persona con dedicación especial para realizar ET	6/104 (5,7%)	4/58 (6,8%)	0/30 (0%)	2/16 (12,5%)

SWE: Shear wave ; ET: Ecografía torácica

Datos expresados en frecuencias absolutas (%)

<sup>a</sup> p < 0,05 alta complejidad comparado con baja complejidad

<sup>b</sup> p < 0,05 intermedia complejidad comparada con baja complejidad

<sup>c</sup> p < 0,05 alta complejidad comparada con intermedia complejidad

**Tabla 2: Resultados de la encuesta nacional sobre aspectos relacionados con la cartera de servicios de ecografía.**

CARTERA DE SERVICIOS	TOTAL N=104	Centros de complejidad alta N= 58	Centros de complejidad intermedia N=30	Centros de complejidad baja N =16
Utilizan la ET de manera rutinaria para diagnóstico y manejo del <b>DERRAME PLEURAL</b>	95/104 (91,3%)	55/58 (94,8%)	27/30 (89,9%)	13/16 (81,2%)
Utilizan la ET de manera rutinaria para diagnóstico y/o seguimiento de las <b>ENFERMEDADES PULMONARES INTERSTICIALES</b>	16/104 (15,3%)	10/58 (17,2%)	1/30 (3,3%) <sup>b</sup>	5/16 (31,2%)
Utilizan la ET de manera rutinaria para descartar <b>NEUMOTÓRAX IATROGÉNICO</b> tras procedimientos broncopleurales	53/104 (50,9%)	36/58 (62,0%)	10/30 (33,3%)	7/16 (43,7%)
Utilizan la ET de manera rutinaria para diagnóstico y/o <b>seguimiento de las NEUMONIAS</b>	32/104 (30,7%)	19/58 (32,7%)	7/30 (23,3%)	6/16 (37,5)
Utilizan la ET de manera rutinaria para guiar <b>MANIOBRAS DE RECLUTAMIENTO PULMONAR</b>	6/104 (5,9%)	5/58 (8,6%)	0 (0%)	1/16 (6,25%)
Utilizan la ET de manera rutinaria para establecer <b>DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL</b> entre distintas patologías pulmonares	54/104 (51,9%)	32/58 (55,1%)	15/30 (49,9%)	7/16 (43,7%)
Utilizan la ET de manera rutinaria para valoración de <b>DISFUNCIÓN DE CUERDAS VOCALES</b>	4/104 (3,8%)	2/58 (3,4%)	1/30 (3,3%)	1/16 (6,25%)
Utilizan la ET de manera rutinaria para diagnóstico y seguimiento de pacientes con <b>COVID-19</b>	29/104 (27,8%)	18/58 (31,0%)	6/30 (20%)	5/16 (31,2%)
Utilizan la <b>ECOSCOPIA</b> para estimación de FEVI, medida de cavidades, valoración de pericardio y cálculo de TAPSE	25/104 (24,0%)	15/58 (25,8%)	6/30 (20%)	4/16 (25%)
Realizan <b>ecografía de MMII</b> de manera habitual ante la sospecha de enfermedad tromboembólica	28/104 (26,9%)	12/58 (20,6%) <sup>a</sup>	7/30 (23,3%) <sup>b</sup>	9/16 (56,2%)
Utilizan la <b>ELASTOGRAFÍA</b> para valoración de masas	8/104 (7,6%)	7/58 (12,1%)	0 (0%)	1/16 (6,2%)
Utilizan la <b>ELASTOGRAFÍA</b> para valoración de derrames pleurales	6/104 (5,7%)	4/58 (6,8%)	1/30 (3,3%)	1/16 (6,2%)

MMII: Miembros inferiores; COVID-19: Coronavirus SARS-CoV2

Datos expresados en frecuencias absolutas (%)

<sup>a</sup> p < 0,05 alta complejidad comparado con baja complejidad

<sup>b</sup> p < 0,05 intermedia complejidad comparada con baja complejidad

<sup>c</sup> p < 0,05 alta complejidad comparada con intermedia complejidad



**Tabla 3: Resultados de la encuesta nacional sobre aspectos relacionados con la docencia, formación e investigación en ecografía.**

DOCENCIA, FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN	TOTAL N=104	Centros de complejidad alta N= 58	Centros de complejidad intermedia N=30	Centros de complejidad baja N =16
Imparten cursos acreditados en patología pleural	21/104 (20,1%)	16/58 (27,5%)	4/30 (13,3%)	1/16 (6,2%)
Imparten docencia de pregrado relacionada con la ET.	36/104 (34,6%)	24/58 (41,3%)	9/30 (30%)	3/16 (18,7%)
Imparten docencia de posgrado relacionada con la ecografía torácica	32/104 (30,7%)	21/58 (36,2%)	9/30 (30%)	2/16 (12,5%)
Cuentan con investigadores en proyectos sobre ecografía torácica propios	18/104 (17,3%)	14/58 (24,1%)	3/30 (10%)	1/16 (6,2%)
Participan en proyectos multicéntricos relacionados con la ecografía torácica	18/104 (17,3%)	15/58 (25,8%)*	3/30 (10%)	0/16 (0%)

ET:Ecografía torácica

Datos expresados en frecuencias absolutas (%)

<sup>a</sup> p < 0,05 alta complejidad comparado con baja complejidad

<sup>b</sup> p < 0,05 intermedia complejidad comparada con baja complejidad

<sup>c</sup> p < 0,05 alta complejidad comparada con intermedia complejidad

#### BIBLIOGRAFÍA:

- Villena Garrido V, Cases Viedma E, Fernández Villar A, de Pablo Gafas A, Pérez Rodríguez E, Porcel Pérez JM, et al. Normativa sobre el diagnóstico y tratamiento del derrame pleural. Actualización. *Arch Bronconeumol*. 2014;50(6):235-49.
- Pallarés JP.C. Manual de procedimientos SEPAR: Ecografía torácica. Consultado [10/01/21]. Disponible en: [www.separ.es](http://www.separ.es)
- Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659-70.
- Kearon C, Ginsberg JS, Hirsh J. The role of venous ultrasonography in the diagnosis of suspected deep venous thrombosis and pulmonary embolism. *Ann Intern Med*. 1998;129(12):1044-9.
- Kumar A, Sinha C, Singh AK, Bhadani UK. Vocal cord dysfunction: Ultrasonography-aided diagnosis during routine airway examination. *Saudi J Anaesth*. 2017;11(3):370-1.
- Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, et al. Focused Cardiac Ultrasound in the Emergent Setting: A Consensus Statement of the

- American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2010;23(12):1225-30.
7. Botana-Rial M, Núñez-Delgado M, Leiro-Fernández V, Fernández-Villar A. Resultados de una encuesta nacional sobre la situación actual del manejo del derrame pleural. *Arch Bronconeumol*. 2019;55(5):274-6.
  8. Lamont T, Surkitt-Parr M, Scarpello J, Durand M, Hooper C, Maskell N. Safety Alerts Insertion of chest drains: summary of a safety report from the National Patient Safety Agency. *BMJ*.2009;339:b4923.
  9. Havelock T, Teoh R, Laws D, Gleeson F, on behalf of the BTS Pleural Disease Guideline Group. Pleural procedures and thoracic ultrasound: British Thoracic Society pleural disease guideline 2010. *Thorax*. 2010;65(Suppl 2):i61-76.
  10. De Lucas Ramos P, Rodríguez-Moro JM. Libro Blanco. La Neumología en España. Respira. Fundación Española del Pulmón. SEPAR; 2015.11
  11. Porcel JM, Cases-Viedma E, Bielsa S. Una encuesta a médicos residentes sobre la realización de toracocentesis diagnósticas y terapéuticas: ¿una laguna en la formación? *Revista Clínica Española*. 2016;216(9):474-80.
  12. Zanfortin A, Tursi F. How Is COVID-19 Changing Lung Ultrasound? A Survey by the Thoracic Ultrasound Academy. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2021;40(2):417-8.
  13. Zanfortin A, Tursi F, Marchetti G, Pellegrino G, Vigo B, Smargiassi A, et al. Clinical Use and Barriers of Thoracic Ultrasound: A Survey of Italian Pulmonologists. *Eur Respir J*.2018;52(suppl 62). Disponible en: [https://erj.ersjournals.com/content/52/suppl\\_62/PA378](https://erj.ersjournals.com/content/52/suppl_62/PA378)
  14. Zhou B, Bartholmai BJ, Kalra S, Osborn TG, Zhang X. Lung US Surface Wave Elastography in Interstitial Lung Disease Staging. *Radiology*. 2019;291(2):479-84.
  15. Jiang B, Li X, Yin Y, Zhang Q, Zang T, Song W, et al. Ultrasound elastography: a novel tool for the differential diagnosis of pleural effusion. *Eur Respir J*.2019;54(2):1802018.
  16. Laursen CB, Clive A, Hallifax R, Pietersen PI, Asciak R, Davidsen JR, et al. European Respiratory Society Statement on Thoracic Ultrasound. *Eur Respir J*.2020;2001519.
  17. Stanton AE, Edey A, Evison M, Forrest I, Hippolyte S, Kastelik J, et al. British Thoracic Society Training Standards for Thoracic Ultrasound (TUS). *BMJ Open Respiratory Research*.2020;7:e000552. Disponible en: <https://bmjopenrespres.bmj.com/content/7/1/e000552>
  18. Calle Rubio M, Rodríguez Hermosa JL, Miravittles M, López-Campos JL. Conocimiento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, presencia de síntomas respiratorios crónicos y uso de la espirometría en la población española: estudio CONOCEPOC 2019. *Arch Bronconeumol*. 2020 Sep 16: S0300-2896(20)30271-4.

19. Barril S, Alonso A, Rodríguez-Portal JA, Viladot M, Giner J, Aparicio F, et al. Cuidados paliativos en la enfermedad pulmonar intersticial difusa: resultados de una encuesta de ámbito nacional. *Arch Bronconeumol*.2018;54(3):123-7.



