



Since January 2020 Elsevier has created a COVID-19 resource centre with free information in English and Mandarin on the novel coronavirus COVID-19. The COVID-19 resource centre is hosted on Elsevier Connect, the company's public news and information website.

Elsevier hereby grants permission to make all its COVID-19-related research that is available on the COVID-19 resource centre - including this research content - immediately available in PubMed Central and other publicly funded repositories, such as the WHO COVID database with rights for unrestricted research re-use and analyses in any form or by any means with acknowledgement of the original source. These permissions are granted for free by Elsevier for as long as the COVID-19 resource centre remains active.

Journal Pre-proof

REVISIÓN Ecografía en el manejo del paciente crítico con infección por SARS-CoV-2 (COVID-19): aplicaciones clínicas en Medicina Intensiva-una revisión narrativa

Virginia Fraile Gutiérrez MD, PhD Dra José María Ayuela Azcárate MD Dr David Pérez Torres MD Dr Lluís Zapata MD, PhD Dr Andrey Luis Rodríguez Yakushev MD Dr Ana Ochagavía Calvo MD, PhD Dra



PII: S0210-5691(20)30155-8

DOI: <https://doi.org/doi:10.1016/j.medin.2020.04.016>

Reference: MEDIN 1507

To appear in: *Medicina intensiva*

Received Date: 27 April 2020

Accepted Date: 28 April 2020

Please cite this article as: Gutiérrez VF, María Ayuela Azcárate J, Torres DP, Zapata L, Yakushev ALR, Calvo AO, REVISIÓN Ecografía en el manejo del paciente crítico con infección por SARS-CoV-2 (COVID-19): aplicaciones clínicas en Medicina Intensiva-una revisión narrativa, *Medicina intensiva* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.medin.2020.04.016>

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2020 Published by Elsevier.

REVISIÓN**Ecografía en el manejo del paciente crítico con infección por SARS-CoV-2 (COVID-19): aplicaciones clínicas en Medicina Intensiva-una revisión narrativa.**

Dra. Virginia Fraile Gutiérrez, MD, PhD*

Servicio de Medicina Intensiva. Hospital Universitario Río Hortega de Valladolid

Dr. José María Ayuela Azcárate, MD

Médico especialista en Medicina Intensiva

Dr. David Pérez Torres, MD

Servicio de Medicina Intensiva. Hospital Universitario Río Hortega de Valladolid

Dr. Lluís Zapata, MD, PhD

Servicio de Medicina Intensiva. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

Universidad Autónoma de Barcelona

Dr. Andrey Luis Rodríguez Yakushev, MD

Servicio de Medicina Intensiva, Área de críticos

Corporación Sanitaria Parc Taulí Sabadell, Barcelona.

Dra. Ana Ochagavía Calvo, MD, PhD

Servicio de Medicina Intensiva, Área de críticos

Corporación Sanitaria Parc Taulí Sabadell, Barcelona. Ciberes

*Autor de correspondencia:

Correo electrónico: vicky_uvi@yahoo.es (V. Fraile Gutiérrez)

RESUMEN

La infección por SARS-CoV-2 (COVID-19) se caracteriza por producir en las formas graves, un cuadro de insuficiencia respiratoria que puede evolucionar hacia neumonía y síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), presentar complicaciones como fenómenos trombóticos y disfunción cardíaca, lo que motiva el ingreso en la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

La ecografía, convertida en una herramienta de uso habitual en la UCI, puede ser muy útil durante la pandemia COVID-19 ya que la información obtenida por el clínico puede ser interpretada e integrada en la valoración global durante la exploración del paciente. Este documento describe algunas de sus aplicaciones con el objetivo de proporcionar una guía a los médicos responsables adaptado al paciente crítico con COVID-19.

Alguna de sus aplicaciones desde el ingreso en la UCI incluyen confirmar la correcta posición del tubo endotraqueal, facilitar la inserción segura de las vías, e identificar complicaciones y fenómenos trombóticos. Además, la ecografía pleuropulmonar puede ser una alternativa diagnóstica válida que permite evaluar el grado de afectación pulmonar, mediante el análisis de patrones ecográficos específicos, identificación del derrame pleural y del barotrauma. La ecocardiografía proporciona información acerca de la afectación cardíaca, detección del *cor pulmonale* y estados de shock.

Palabras clave: COVID-19, coronavirus, ecografía, ultrasonografía, ecocardiografía, paciente crítico.

Ultrasound in the Management of the Critically Ill Patient with SARS-CoV-2 Infection (COVID-19): clinical applications in Intensive Care Medicine – a narrative review

ABSTRACT

The clinical picture of SARS-CoV-2 infection (COVID-19) is characterized in its more severe form, by an acute respiratory failure which can worsen to pneumonia and acute respiratory distress syndrome (ARDS), and get complicated with thrombotic events and heart dysfunction. Therefore, admission to the Intensive Care Unit (ICU) is common.

Ultrasound, which has become an everyday tool in the ICU, can be very useful during COVID-19 pandemic, since it provides the clinician with information which can be interpreted and integrated within a global assessment during the physical examination.

A description of some of the potential applications of ultrasound is depicted in this document, in order to supply the physicians taking care of these patients with a adapted guide to the intensive care setting.

Some of its applications since ICU admission include verification of the correct position of the endotracheal tube, contribution to safe cannulation of lines, and identification of complications and thrombotic events. Furthermore, pleural and lung ultrasound can be an alternative diagnostic test to assess the degree of involvement of the lung parenchyma by means of the evaluation of specific ultrasound patterns, identification of pleural effusions and barotrauma. Echocardiography provides information of heart involvement, detects *cor pulmonale* and shock states.

Keywords: COVID-19; coronavirus; ultrasound; echocardiography; echography; critically ill.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad por SARS-CoV-2 (COVID-19) se caracteriza por producir un cuadro neumónico, con fiebre y tos, acompañado de opacificaciones pulmonares multifocales en vidrio deslustrado, que puede evolucionar a síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) y puede requerir ingreso en un Servicio de Medicina Intensiva (SMI) en un porcentaje elevado de pacientes¹. Por otro lado, la infección por SARS-CoV-2 puede provocar fenómenos trombóticos y alteraciones graves a nivel de otros órganos como el corazón.

La ecografía podría ser una herramienta muy útil en la pandemia COVID-19 debido a que permite obtener imágenes en tiempo real, a pie de cama, y de manera no invasiva en pacientes ingresados en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI)²⁻⁴.

Además, ha demostrado aumentar la seguridad en los procedimientos invasivos. En este contexto, la información obtenida mediante las diferentes modalidades de ultrasonografía podría ser interpretada e integrada en la valoración global durante la exploración del paciente. Recientemente, han sido publicados diversos artículos sobre el papel de la ecografía en la valoración de la función pulmonar y cardiovascular de los pacientes infectados por SARS-CoV-2⁵⁻⁸.

El Comité para Formación y Acreditación de ecografía de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC), ha elaborado este documento con algunas de las múltiples aplicaciones de la ecografía con el objetivo de proporcionar una guía útil a los médicos responsables de la atención a pacientes con COVID-19, particularmente durante el ingreso en UCI (**Tabla 1**).

PREPARACIÓN DEL ECÓGRAFO

La fabricación de equipos ecográficos portátiles ha hecho posible su disponibilidad en la mayoría de los SMI. Además, la existencia de sondas de ultrasonidos con conexión inalámbrica, o conexión USB a una *tablet o smartphone*, aunque proporcionan estudios de menor calidad que equipos de mayor tamaño, son adecuadas para obtener imágenes ecográficas en pacientes COVID-19. Presentan ventajas respecto a las consolas portátiles como son el menor tamaño y peso, su facilidad en el transporte, rápido arranque y asepsia, al poderse cubrir fácilmente con fundas plásticas de un solo uso, lo que reduce el riesgo de contaminación e infección nosocomial y facilita procedimientos de limpieza y esterilización^{7,9}.

Se aconseja la utilización de ecógrafos portátiles dedicados en exclusiva a pacientes COVID-19, con precauciones de asepsia y esterilidad para disminuir infecciones cruzadas, y se recomienda utilizar cubiertas en la sonda y el teclado¹⁰.

La limpieza del equipo se debe realizar según las recomendaciones ante la pandemia^{11,12} (**Anexo 1**)

ECOGRAFÍA EN EL CONTROL DE LA VÍA AÉREA

El control de la vía aérea mediante intubación orotraqueal (IOT) y conexión a ventilación mecánica (VM) es un procedimiento habitual en el manejo del paciente con insuficiencia respiratoria aguda (IRA) grave secundaria a enfermedad por SARS-CoV-2. La IOT es una técnica que puede generar aerosoles, por lo que debe llevarse a cabo por un profesional adecuadamente entrenado, preferiblemente utilizando videolaringoscopia, y con el equipo de protección individual (EPI) recomendado¹³.

La confirmación de una correcta posición del tubo orotraqueal (TOT) tras la IOT es fundamental, habitualmente se basa en la capnografía y la exploración física (visualización directa del paso del TOT a través de las cuerdas vocales, elevación simétrica de ambos hemitórax, ausencia de ruidos a nivel epigástrico, auscultación de murmullo vesicular y condensación en el tubo con la ventilación)¹⁴⁻¹⁶. El acceso subóptimo a recursos como la capnografía y la interferencia que supone el EPI para realizar una exploración física completa, convierten a la ecografía una herramienta muy útil en este contexto.

La ecografía traqueal se ha mostrado no inferior a la capnografía para la exclusión de la intubación esofágica¹⁷. Para ello, es necesario utilizar una sonda lineal o *convex* y adquirir un plano transversal en la región anterior del cuello, en la línea media, encima de la escotadura esternal. En este plano, la tráquea se identifica como una línea

hiperecogénica con forma de U invertida, generada por la interfase mucosa-vía aérea, y un artefacto posterior en cola de cometa (**Figura 1A**). La intubación correcta de la tráquea no produce cambios en la imagen descrita, dado que no se genera una nueva interfase entre la vía aérea del paciente y el TOT (ambas contienen aire) y que, además, el TOT se encuentra detrás del artefacto generado por la tráquea (lo que limitaría su visualización). La intubación inadvertida del esófago se identifica ecográficamente porque produce una nueva interfase entre la mucosa esofágica y el aire contenido en el interior del TOT, que da lugar a un segundo artefacto en cola de cometa que nace a un nivel más profundo que la tráquea, y lateral a esta (**Figura 1B**). La principal ventaja de esta exploración es que no precisa iniciar la ventilación para detectar la posición incorrecta del TOT, evitando la posibilidad de aspiración de contenido gástrico, las limitaciones son la imposibilidad para visualizar el TOT de forma directa en el interior de la vía aérea y las posibles alteraciones anatómicas que presente el paciente.

La ecografía pleural proporciona información anatómica directa sobre la expansión pulmonar y la entrada de aire en los pulmones¹⁸. Puede sustituir a la auscultación y a la radiografía de tórax como métodos para excluir la intubación bronquial selectiva inadvertida (IBSI). Para ello, es necesario utilizar una sonda lineal o *convex* y examinar, al menos, los puntos superior e inferior del protocolo BLUE en ambos hemitórax¹⁹. En estos planos, en ecografía 2D la pleura se identifica como una línea hiperecogénica horizontal, que presenta un movimiento generado por el deslizamiento de la superficie de la pleura parietal sobre la visceral con los movimientos respiratorios, denominado *lung sliding* o signo del deslizamiento pulmonar²⁰. En modo M se puede registrar también de forma estática cortando la línea pleural, lo que produce una imagen denominada *seashore sign* o signo de la orilla de la playa. La presencia de ambos signos en cada hemitórax es indicativa de insuflación bipulmonar (**Figura 1C**). La IBSI tiene como consecuencia la ausencia de aireación del pulmón contralateral, que se detecta mediante la ausencia de *lung sliding*, y un patrón en “código de barras” o signo estratosfera en modo M (**Figura 1D**). La transformación de un patrón en código de barras unilateral en un patrón de deslizamiento pulmonar normal, asociado a la retirada parcial del TOT, confirma que la posición inicial del tubo correspondía a una IBSI del pulmón contralateral (**Algoritmo 1**). Las principales ventajas de esta exploración son la posibilidad de demostrar aireación pulmonar sin utilizar fonendoscopio e inmediatez frente a la radiografía de tórax (Rx), la principal

limitación deriva de la existencia de diagnósticos diferenciales del signo de la estratosfera (ausencia de ventilación, neumotórax, tumores,...).

ECOGRAFIA PLEUROPULMONAR

En la pandemia COVID-19 el rasgo característico en los pacientes graves es el desarrollo de neumonía que progresa hacia SDRA con un patrón característico y diagnóstico en la tomografía computarizada (TC)¹.

La evaluación de los pacientes con IRA a través del protocolo BLUE (*Bedside Lung Ultrasound in Emergency*) es una de las aplicaciones bien conocidas y consolidadas de la ecografía pulmonar¹⁹. Aunque la bibliografía disponible sobre la utilidad del ultrasonido pulmonar (UP) para evaluar a los pacientes con sospecha de infección por SARS-CoV-2 y sus potenciales aplicaciones es aún escasa, existen datos que evidencian la buena correlación entre los hallazgos de UP versus TC torácico⁶.

Las dificultades de movilización, alto riesgo de difusión del microorganismo durante el traslado, y la desinfección posterior de las salas de radiología hacen que, aunque TC sea la modalidad de imagen recomendada, la UP sea una alternativa diagnóstica válida que permite evaluar el grado de afectación pulmonar a pie de cama mediante el análisis de patrones ecográficos específicos²¹. La UP no debe entenderse de forma aislada sino que se complementa con la ecocardiografía en muchas de las patologías del paciente crítico^{22 23}. Las ventajas y limitaciones de la UP se presentan en la **Tabla 2**.

La exploración se realiza en la posición de decúbito supino, dividiendo cada hemitórax en cuadrantes²⁴. Los artículos que evalúan la utilidad de valorar diferentes patrones ecográficos de aireación del pulmón para obtener una puntuación analizan seis áreas en cada hemitórax delimitadas por tres líneas longitudinales (eje largo de clavícula a diafragma) a nivel esternal, axilar anterior y axilar posterior como referencias anatómicas que delimitan tres áreas diferentes: anterior (1 y 2), lateral (3 y 4) y posterior (5 y 6). Trazando una línea transversal a nivel de la mamila estas áreas se dividen en superior e inferior. De esta forma se establecen seis zonas de exploración, para analizar las mismas regiones cuando se realiza de forma evolutiva y que en un estudio piloto reciente ha demostrado no ser inferior a los protocolos que utilizan más cuadrantes²⁵. El derrame pleural (DP) y la presencia de consolidación se analizan en la zona 6 o equivalente al punto PLAPS (*PosteroLateral Alveolar and/or Pleural Syndrome*) del protocolo BLUE²⁴ (**Anexo 2**).

Los patrones de aireación de cada región pulmonar son (**Figura 2**):

- **Patrón A:** Patrón típico de aireación normal. Línea pleural con deslizamiento conservado, presencia de líneas A y ≤ 2 líneas B bien espaciadas (**Figura 2A**)
- **Patrón B1:** Presencia de más de dos líneas B bien espaciadas, difusas en las distintas áreas del tórax, denominadas *septal rockets* (**Figura 2B**)
- **Patrón B2:** Líneas B confluentes separadas entre ellas de ≤ 3 mm (*ground-glass rockets*) debido a pérdida más severa de pulmón aireado (**Figura 2B**)
- **Patrón C:** Consolidación pulmonar, que sugiere pérdida importante de pulmón aireado por acúmulo de líquido y/o células en los alveolos. La consolidación puede detectarse en cualquier punto del hemitórax pero la aplicación del transductor en el punto PLAPS detecta el 95% de los casos (**Figura 2C**).

Los patrones A, B1 y B2 incluyen la presencia de deslizamiento pulmonar (**Anexo 3**). En el caso de los pacientes con COVID-19 los hallazgos característicos dependen de la fase evolutiva de la enfermedad. Las primeras manifestaciones en la UP están representadas por una distribución irregular de líneas B focales y posteriormente confluentes que se extienden a múltiples áreas de la superficie pulmonar. La evolución posterior está representada por la aparición de pequeñas consolidaciones subpleurales con línea pleural engrosada e irregular con áreas asociadas de pulmón blanco, presencia de áreas parcheadas de patrón A y áreas con anomalías sin presencia de grandes DP. La evolución será hacia un patrón de consolidación, especialmente en zonas declives, con o sin broncograma aéreo, y su extensión creciente en la superficie pulmonar indica progresión hacia la fase de IRA que puede requerir VM.

La relación aire/líquido determina la apariencia ecográfica del pulmón y proporciona diferentes patrones según el grado de parénquima aireado, lo que permite asignar una puntuación diferente a cada una de las zonas de estudio.

La UP puede ser útil para monitorizar la evolución de la enfermedad mediante la utilización del *Lung Ultrasound Score (LUS)*^{26,27}. En este *score* se utiliza el modelo de exploración de 12 regiones (**Anexo 4**). La puntuación se calcula sobre la base del peor patrón de ultrasonido detectado en cada una de las 12 regiones examinadas, asignando un valor de: patrón A = 0 puntos; B1 = 1 punto; B2 = 2 puntos; C = 3 puntos. La puntuación total es la suma de los puntos asignados a cada región (desde 0, puntuación que denotaría el pulmón totalmente aireado, a un máximo de 36, que traduciría un pulmón totalmente condensado). Durante la evolución de la infección por SARS-CoV-2 en la UCI los pacientes presentan habitualmente mejoría de los

infiltrados en la Rx de tórax, pero la UP evidencia hallazgos patológicos que persisten más tiempo, con engrosamiento de la línea pleural y abundantes líneas B, que podrían predecir dificultad para la desconexión de la VM y fracaso en el *weaning*²⁷ (**Figura 3**). La puntuación LUS ayuda a conocer la masa pulmonar aireada y puede aportar información clínica y pronóstica, por lo que este *score* podría utilizarse para predecir los pacientes que requieren ingreso hospitalario tras acudir con fiebre y disnea a los servicios de urgencias y, además, detectar pacientes que pueden fracasar en el destete de la VM en las UCIs. Son necesarios estudios para validar esta puntuación en los pacientes con neumonía por SARS-CoV-2.

Otras patologías pulmonares aunque no son frecuentes en la fase precoz de la neumonía por SARS-CoV-2 pueden aparecer durante la evolución de la enfermedad como el neumotórax o el derrame pleural.

Neumotórax

La detección de neumotórax es importante en la evaluación de barotrauma asociado a la VM o iatrogénico tras maniobras de reclutamiento o canalización de vías centrales (CVC). La UP se confirma como una alternativa a la Rx de tórax en el diagnóstico del neumotórax con una especificidad alrededor del 98% y sensibilidad en torno al 75%^{28,29}.

Aunque se pueda realizar un estudio sistemático, en un paciente inestable en decúbito supino y dado que el aire tiende a ocupar la parte anterior del tórax se debe comenzar explorando los campos anteriores. Una sonda lineal o microconvex es suficiente para el análisis de la línea pleural y evaluar los artefactos pulmonares (**Figura 4**).

Tres signos excluyen neumotórax^{20,30}:

A) La presencia de deslizamiento (*lung sliding*), indica que ambas capas pleurales están en contacto, excluye neumotórax (VPN 100%) en el espacio donde el transductor está colocado. Sin embargo, su ausencia no lo confirma por su baja especificidad.

B) Visualizar una sola línea B indica que ambas capas están adheridas, lo excluye con VPN 100%. Mucha precaución en no confundirlas con las líneas E (líneas hiperecoicas verticales, que se inician en los tejidos blandos de la pared torácica en presencia de enfisema subcutáneo (**Figura 4A**)).

C) Presencia del signo del latido pulmonar (*lung pulse*): movimiento pulsátil de la línea pleural sincrónico con los latidos del corazón en ausencia de deslizamiento pulmonar

indica que la pleura parietal y visceral están en contacto, pero la ventilación regional está alterada (por ejemplo: atelectasia) debido a que el aire entre las capas pleurales impide su transmisión.

El diagnóstico se establece de forma secuencial con dos signos (**Algoritmo 2**):

A) Deslizamiento pulmonar (*lung sliding*) abolido con presencia de líneas A (perfil A' en el protocolo BLUE) (**Figura 4B**).

B) Localizar el punto de contacto entre el pulmón colapsado y la colección de aire del neumotórax (punto pulmonar o *lung point*) (**Figura 4C y 5D**). Es un signo dinámico que muestra la alternancia de deslizamiento normal y abolido durante la ventilación en 2D o por la sucesión de imágenes normales (signo de la orilla) durante la inspiración y líneas horizontales (signo de la estratosfera o código de barras) durante la espiración en modo M. Es un signo específico con una sensibilidad del 66% y una especificidad del 100% para diagnosticar neumotórax³⁰. Cuanto más lateral e inferior está el punto pulmonar en la pared torácica, mayor es su extensión. Un punto pulmonar muy posterior o ausente sugiere un neumotórax masivo con atelectasia completa del pulmón³¹.

Derrame pleural

El derrame pleural (DP) es una complicación poco frecuente en el COVID-19, cabe recordar que la Conferencia Internacional de Consenso sobre Ultrasonido Pulmonar establece que “*para la detección de DP, la UP es más precisa que la Rx en supino y es tanto como la TC*” (nivel A)³².

El DP tiende a acumularse por gravedad, en las partes declives de tórax por lo que la exploración debe comenzar cerca del diafragma, usando una sonda convex, siendo el punto PLAPS donde mejor se detecta. El DP se visualiza como un espacio libre de ecos, a menudo anecoico, entre las capas parietal y visceral de la pleura y situado siempre por encima del diafragma³³. El diafragma permite diferenciar entre el DP y la ascitis.

La apariencia del DP deberá interpretarse dentro del contexto clínico y no valorar su apariencia de forma aislada para tomar decisiones terapéuticas, ya que un DP anecoico puede corresponder tanto a un exudado como a un trasudado³⁴ (**Anexo 5**).

ECOGRAFÍA VASCULAR

Uno de los hallazgos más frecuentes en la enfermedad grave por el SARS-CoV-2 es una profunda alteración de la hemostasia, cuya aparición tiene implicaciones pronósticas. Más de dos tercios de los pacientes que fallecen por esta enfermedad

cumplen los criterios diagnósticos de coagulación intravascular diseminada (CID) propuestos por la ISTH (*International Society on Thrombosis and Haemostasis*), mientras que la frecuencia entre los supervivientes es $<1\%$ ³⁵.

El componente predominante de la alteración hemostática no es la diátesis hemorrágica, sino un estado protrombótico, que se asocia a fenómenos tromboembólicos venosos y de trombosis microvascular, con niveles elevados de dímero D y fibrinógeno. En los pacientes críticos, estos fenómenos implican una mayor incidencia de trombosis en dispositivos intravasculares y de fenómenos oclusivos vasculares^{35,36}.

La ecografía vascular permite identificar algunos fenómenos trombóticos, e iniciar una estrategia terapéutica dirigida a su control y prevención, lo que podría mejorar el pronóstico³⁷. Para su estudio es necesario el uso de una sonda lineal de alta frecuencia (7-15 MHz), que permite explorar el territorio venoso, con énfasis en las zonas de inserción de los CVC y completar el estudio en los vasos venosos de ambas piernas hasta la vena poplítea. Se ha estimado que el 90% de los émbolos de los pacientes con tromboembolismo pulmonar proceden de las venas proximales de las extremidades inferiores. Los trombos se visualizan como material ecogénico en el interior del vaso, pero los trombos inmaduros pueden no ser ecogénicos y, en ocasiones, son compresibles parcialmente debido a su consistencia gelatinosa. Por tanto, el criterio diagnóstico principal es la ausencia de compresibilidad del vaso y no la visualización de un coágulo.

El uso de la ecografía vascular aumenta la seguridad y la efectividad durante la inserción de los CVC en comparación con técnicas basadas en referencias anatómicas³⁸⁻⁴⁰. Previo al inicio de la punción debemos explorar los accesos vasculares para determinar el más adecuado y detectar las variables anatómicas vasculares⁴¹. En caso de trombosis venosa y/o alteración anatómica, se debe cambiar la vena de acceso⁴² (**Figura 5**). El tamaño del vaso objetivo a canalizar es importante y, en condiciones ideales, el diámetro externo del catéter debe corresponder como máximo a un tercio del diámetro interno de la vena (por ejemplo, un catéter de 4 French necesita una vena de 4 mm). El riesgo de trombosis aumenta cuando el calibre del catéter utilizado es mayor al recomendado⁴³. Es necesario mantener las medidas de asepsia, incluyendo el uso de gel estéril y funda protectora de la sonda para disminuir el riesgo de bacteriemia asociada a catéter.

Se recomiendan dos abordajes: ecoguiado, se realiza la ecografía previa a la punción para estudio del vaso objetivo, analizando su tamaño, profundidad, permeabilidad y punción vascular según técnica de *Seldinger* que visualiza la punta de la aguja durante su inserción en el interior del vaso durante el procedimiento, así como el avance de la guía metálica y posterior posición del catéter y ecodirigido, tras la comprobación del tamaño del vaso y ausencia de trombos en su interior, la punción se realiza sin visualización de la aguja con el ecógrafo³⁹ (**Anexo 6**).

ECOCARDIOGRAFÍA

La afectación cardiovascular y cardíaca por SARS-CoV-2 parece asociarse a mayor mortalidad. La lesión miocárdica se evidencia por la elevación de biomarcadores de daño miocárdico (troponina I o T o péptidos natriuréticos), que ha sido reportada con una incidencia elevada (7% - 28%)⁴⁴⁻⁴⁸, estando relacionada con un mayor porcentaje de ingresos en SMI, mayor necesidad de VM, coagulopatía, fracaso renal agudo y mayor mortalidad⁴⁴⁻⁴⁷.

El mecanismo de daño miocárdico es complejo, pero la lesión directa mediada por la enzima convertidora de angiotensina 2 (ECA2), la hipoxia y posibilidad de una tormenta inflamatoria de citocinas se han postulado en su patogenia^{49,50}. Existen dos tipos de patrón de lesión miocárdica:

- a) Subagudo: consistente en un aumento progresivo de los biomarcadores de daño miocárdico y de inflamación (dímero D, ferritina, lactato...) con una evolución lenta y deterioro progresivo de las funciones orgánicas, en probable relación con una lesión secundaria a una tormenta de citocinas o una linfocitosis hemofagocítica, que produce la muerte del paciente aproximadamente entre la segunda y tercera semana desde el inicio de los síntomas.
- b) Agudo: afectación de aparición súbita, con evolución desfavorable que produce una disfunción miocárdica fulminante en pocas horas, siendo compatible con una miocarditis o una miocardiopatía de estrés. En base a la evidencia actual este segundo patrón aparentemente es poco frecuente⁵¹⁻⁵³.

La ecocardiografía, tanto en un nivel básico como avanzado, resulta fundamental para el manejo de los pacientes infectados por SARS-CoV-2 con shock o daño miocárdico y la detección de CPA (**Tabla 3**). Es necesario conocer las interacciones producidas entre el pulmón y el corazón de los pacientes en VM, y las de estos con fármacos vasoactivos e inotrópicos y sistemas de oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO)^{54,55}.

Ecocardiografía en la lesión cardíaca aguda

Se deben realizar los estudios ecocardiográficos según las recomendaciones internacionales de cuantificación cardíaca⁵⁶. Ante la elevada carga asistencial derivada de la situación de pandemia es importante minimizar el tiempo dedicado a cada estudio, por lo que es preferible realizar ecocardiografías orientadas que proporcionen respuesta a preguntas sencillas⁵⁷.

En los pacientes con elevación de biomarcadores de daño miocárdico se debe realizar estudio diferencial de infarto agudo de miocardio (IAM), miocarditis o tromboembolismo pulmonar (TEP).

La función sistólica del ventrículo izquierdo (VI) es el elemento más estudiado de la ecocardiografía, y constituye un aspecto esencial de la exploración. Mantener un gasto cardíaco adecuado no solo depende de la contractilidad cardíaca, sino de la precarga, la postcarga, la frecuencia cardíaca y de una sincronía adecuada en la contractilidad segmentaria. Se debe tener en cuenta el efecto de todos estos factores a la hora de interpretar los hallazgos ecocardiográficos.

La fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) se calcula habitualmente por el método biplano. Sin embargo, una estimación visual cualitativa o semicuantitativa ha demostrado una buena correlación con el método estándar en los pacientes críticos, debido a la peor definición del borde endocárdico en esta población, por lo que puede ser una alternativa válida^{2,58}. Cabe destacar que la FEVI está ampliamente influenciada por la contractilidad y la postcarga del VI⁵⁹. Por consiguiente, no representa de forma adecuada la capacidad contráctil del VI en una situación aguda, sino la forma en que la cavidad se adapta a las condiciones de carga, que puede presentar cambios dinámicos muy importantes en los estados de shock⁶⁰.

La enfermedad por SARS-CoV-2 produce frecuentemente afectación de la contractilidad segmentaria. Cuando estas alteraciones se identifican en el territorio teórico de una arteria coronaria debe sospecharse la posibilidad de isquemia aguda secundaria a IAM tipo 1, en especial si se asocia a cambios electrocardiográficos congruentes y elevación de biomarcadores de daño miocárdico. Sin embargo, estudios publicados durante la pandemia muestran mayor incidencia de IAM tipo 2. Por contra, cuando estas alteraciones son difusas o no se corresponden con el territorio de distribución teórico de una arteria coronaria, deben sospecharse diagnósticos alternativos, como la miocarditis o la miocardiopatía de estrés, sobre todo en pacientes inestables^{44,50,61}.

La miocarditis es una entidad frecuentemente asociada a las infecciones por virus, con una amplia gama de presentaciones clínicas, que varían desde un cuadro leve a una situación de shock cardiogénico o arritmias ventriculares que pueden ocasionar la muerte del paciente. El coronavirus SARS-CoV-2 podría lesionar el miocardio por acción directa o indirecta, mediada por la respuesta inflamatoria que desencadena. El cuadro debe sospecharse en pacientes con alteraciones electrocardiográficas y elevación de biomarcadores cardiacos. Aunque el *gold standard* para el diagnóstico es la biopsia endomiocárdica, en la práctica clínica habitual se establece en base a los hallazgos de la resonancia magnética (RM) cardiaca. Sin embargo, los riesgos potenciales de trasladar a un paciente crítico a una RM para su diagnóstico, junto con la dificultad técnica que implica la VM, la convierte en una exploración poco viable en muchos pacientes. La ecocardiografía puede ayudar en el diagnóstico de miocarditis fulminante al visualizar un engrosamiento agudo de las paredes ventriculares secundario a edema intersticial, acompañado de alteraciones de la contractilidad segmentaria, que condicionan una disminución de la FEVI y, ocasionalmente, dilatación del VI, disfunción del ventrículo derecho (VD) y derrame pericárdico sin signos de compromiso hemodinámico⁵⁷.

La miocardiopatía de estrés, síndrome de balonización apical o síndrome de *Tako-Tsubo* es un síndrome clínico, desencadenado generalmente por un factor estresante (como puede ser la infección por SARS-CoV-2). Se caracteriza por una disfunción ventricular izquierda transitoria debida a alteraciones regionales de la contractilidad segmentaria, asociada a cambios electrocardiográficos y elevación de biomarcadores cardiacos⁶². Se han descrito hasta cuatro patrones de alteraciones segmentarias, aunque el más frecuente es la hipocinesia o acinesia de los segmentos medios y apicales, con hipercontractilidad compensadora de los basales, que confiere al VI el aspecto típico balonizado. El diagnóstico diferencial de los patrones menos frecuentes con un síndrome coronario agudo o una miocarditis aguda, requiere la realización de RM cardiaca⁶³.

Ecocardiografía en el paciente con shock

Aunque la ecocardiografía no proporciona información continua sobre el estado hemodinámico de un paciente, es una excelente herramienta que permite caracterizar la causa del estado de shock, elegir la mejor opción terapéutica y valorar la respuesta a la misma⁴. Las Guías Europeas de monitorización hemodinámica en el paciente crítico⁶⁴ recomiendan la realización de ecocardiografía como mejor método de estudio

de la función cardíaca y se establece la cuantificación de la integral velocidad-tiempo del flujo en el tracto de salida del VI (IVT_{TSVI}) como único parámetro para la estimación del volumen sistólico de estos pacientes, omitiendo el cálculo del área del TSVI, y monitorizar sus cambios tras medidas terapéuticas como la administración de fluidos, inotrópicos y vasopresores^{60,64} (**Anexo 7**).

En el caso de la función sistólica global del VI se recomienda la medición de la IVT_{TSVI} y la estimación visual cualitativa de la FEVI, desaconsejándose otros parámetros por ser más complejos de obtener, consumir más tiempo o presentar mayores limitaciones⁶⁰.

En los pacientes que precisen soporte vital extracorpóreo (ECMO) es necesario realizar una ecocardiografía que valore la función cardíaca previo a la canulación, para elegir la modalidad más adecuada: veno-veno o veno-arterial⁶⁵⁻⁶⁷

Ecocardiografía para la detección y manejo del *cor pulmonale agudo*

El *cor pulmonale agudo* (CPA) se define como el fallo ventricular derecho producido como consecuencia de un trastorno pulmonar primario que origina un incremento súbito en las resistencias vasculares pulmonares⁵⁴. Las causas más frecuentes de CPA en los pacientes ingresados en un SMI son el SDRA y el TEP⁶⁸. Los hallazgos ecocardiográficos que definen el CPA son⁶⁹:

1. Dilatación del ventrículo derecho
2. Movimiento paradójico septal
3. Dilatación de la vena cava inferior (VCI)
4. Hipertensión pulmonar
5. Disfunción sistólica del VD

El CPA es una causa frecuente de fallo circulatorio en el SDRA y puede asociarse a un incremento de la mortalidad en sus formas más graves⁷⁰. Su detección obliga a adoptar una estrategia ventilatoria “*con parámetros protectores cardiopulmonares*”, que debe controlar los principales determinantes del aumento de la postcarga del VD: control adecuado de las presiones meseta (<27 cmH₂O) y de distensión (<18 cmH₂O), optimización de la oxigenación y corrección de la hipercapnia^{71,72}.

Valoración del tamaño del ventrículo derecho

La exploración del VD debe comenzarse en el plano paraesternal eje largo de VI (PLAX), que muestra el tamaño del VD y su relación con el VI. El plano paraesternal eje corto (PSAX), a nivel de los músculos papilares o válvula mitral, muestra al VD abrazando al VI en forma de semiluna. Cuando el VD se encuentra dilatado, la pared

anterolateral es difícil de visualizar, apreciándose una rotación de la cavidad en sentido horario. El plano apical de cuatro cámaras (A4C) es el que proporciona mayor información sobre el tamaño del VD, al permitir la comparación con el VI. Para ello, es necesario obtener un plano A4C centrado en el VD, asegurando que no se produce fenómeno de *foreshortening* (acortamiento) del mismo y que no se visualiza el tracto de salida del VI (**Anexo 8**)⁷³. Aunque se pueden realizar medidas estandarizadas del VD, con puntos de corte específicos habitualmente se utiliza la relación entre ambos ventrículos para determinar la dilatación del VD⁶⁹:

- VD/VI <0.6 → tamaño de VD normal.
- VD/VI = 0.6 – 1 → dilatación leve de VD.
- VD/VI >1 → dilatación severa de VD.

Movimiento paradójico septal

El septo interventricular (SIV) es una estructura compartida por ambos ventrículos aunque, funcionalmente forma parte del VI en condiciones normales. Habitualmente, el SIV es convexo hacia VD y cóncavo hacia VI, manteniendo esta morfología durante todo el ciclo cardíaco. Sin embargo, en el CPA, se identifica un SIV aplanado durante todo el ciclo cardíaco, lo que confiere un aspecto característico en forma de D.

Valoración de la vena cava inferior (VCI)

La VCI se estudia en el plano subcostal. En el CPA es esperable encontrar una VCI dilatada (>21 mm) y con escaso colapso respiratorio. Su tamaño y colapsabilidad es el método ecográfico usado para estimar la presión de la aurícula derecha.

Valoración de la hipertensión pulmonar

La valoración de la hipertensión pulmonar mediante ecocardiografía se realiza habitualmente mediante el cálculo de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) a través del cálculo de gradiente de la insuficiencia tricuspídea (**Anexo 9**). Cuando es de poca entidad o la ventana acústica es subóptima, puede registrarse una mejor señal administrando 10 ml de suero salino agitado intravenoso. La PAD puede medirse con un CVC o estimarse a partir del tamaño y variación respirofásica de la VCI. En situaciones agudas de sobrecarga de presión el VD no es capaz de adaptarse con rapidez por lo que las presiones detectadas en estos casos suelen ser relativamente bajas (<60 mmHg).

Cuando la estimación de la PSAP por el método anterior no resulta posible, se puede utilizar el tiempo de aceleración de la arteria pulmonar (TAc) (**Anexo 9**).

Valoración de la función sistólica del ventrículo derecho

La cuantificación de la función sistólica del VD debe seguir las recomendaciones de las Guías internacionales^{56,74}. Los parámetros más utilizados son la excursión sistólica del anillo tricuspídeo (TAPSE) y la velocidad máxima de la onda sistólica a nivel lateral del anillo tricuspídeo medida por Doppler tisular (Onda St), dado que son parámetros fáciles de obtener, reproducibles y con una buena correlación con otros métodos más complejos para estudiar la función sistólica del VD⁵⁴ (**Anexo 10**).

Ecocardiografía en el paciente en decúbito prono

Un gran porcentaje de pacientes con COVID-19 desarrollan SDRA con requerimiento de VM y maniobra de decúbito prono por IRA por largos periodos de tiempo. Durante estos periodos, muchos pacientes requieren un examen ecocardiográfico por diversas causas, sin embargo movilizar al paciente a decúbito supino únicamente para esta prueba puede suponer un empeoramiento de su insuficiencia respiratoria. Las alternativas son la utilización de una sonda transesofágica o la realización de ecocardiografía transtorácica (ETT) en decúbito prono, para ello se debe colocar al paciente en posición de nadador con el miembro superior izquierdo estirado por encima de la cabeza. Se deberá elevar el hombro izquierdo colocando una almohada, colocando el transductor a nivel del quinto espacio intercostal izquierdo línea medioclavicular, para obtener todas las mediciones relacionadas al plano apical⁷⁵ (**Figura 6**).

BIBLOGRAFÍA

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, et al. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. The New England journal of medicine. Feb 20 2020;382(8):727-733.
2. Ayuela Azcarate JM, Clau Terre F, Ochagavia A, Vicho Pereira R. [Role of echocardiography in the hemodynamic monitorization of critical patients]. Medicina intensiva / Sociedad Espanola de Medicina Intensiva y Unidades Coronarias. Apr 2012;36(3):220-232.
3. Ayuela Azcarate JM, Clau-Terre F, Vicho Pereira R, et al. [Consensus document on ultrasound training in Intensive Care Medicine. Care process, use of the technique and acquisition of professional skills]. Medicina intensiva / Sociedad Espanola de Medicina Intensiva y Unidades Coronarias. Jan-Feb 2014;38(1):33-40.
4. Ochagavia A, Baigorri F, Mesquida J, et al. [Hemodynamic monitoring in the critically patient. Recommendations of the Cardiological Intensive Care and CPR

- Working Group of the Spanish Society of Intensive Care and Coronary Units].
 Medicina intensiva / Sociedad Española de Medicina Intensiva y Unidades Coronarias.
 Apr 2014;38(3):154-169.
5. Smith MJ, Hayward SA, Innes SM, Miller A. Point-of-care lung ultrasound in patients with COVID-19 - a narrative review. *Anaesthesia*. Apr 10 2020.
 6. Peng QY, Wang XT, Zhang LN, Chinese Critical Care Ultrasound Study G. Findings of lung ultrasonography of novel corona virus pneumonia during the 2019-2020 epidemic. *Intensive care medicine*. Mar 12 2020.
 7. Buonsenso D, Pata D, Chiaretti A. COVID-19 outbreak: less stethoscope, more ultrasound. *The Lancet. Respiratory medicine*. Mar 20 2020.
 8. Corradi F, Via G, Forfori F, Brusasco C, Tavazzi G. Lung ultrasound and B-lines quantification inaccuracy: B sure to have the right solution. *Intensive care medicine*. Mar 18 2020.
 9. Buonsenso D, Piano A, Raffaelli F, Bonadia N, de Gaetano Donati K, Franceschi F. Point-of-Care Lung Ultrasound findings in novel coronavirus disease-19 pneumoniae: a case report and potential applications during COVID-19 outbreak. *European review for medical and pharmacological sciences*. Mar 2020;24(5):2776-2780.
 10. Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *The Journal of hospital infection*. Mar 2020;104(3):246-251.
 11. SERAM. COVID-19 Lo que el técnico tiene que saber. Version1. 2020, 23/03/2020.
 12. EPA. Products with Emerging Viral Pathogens AND Human Coronavirus claims for use against SARS-CoV-2. 2020.
 13. Alhazzani W, Moller MH, Arabi YM, et al. Surviving Sepsis Campaign: guidelines on the management of critically ill adults with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Intensive care medicine*. Mar 28 2020.
 14. Verification of Endotracheal Tube Placement. *Annals of emergency medicine*. Jul 2016;68(1):152.
 15. Knapp S, Kofler J, Stoiser B, et al. The assessment of four different methods to verify tracheal tube placement in the critical care setting. *Anesthesia and analgesia*. Apr 1999;88(4):766-770.

16. Grmec S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive care medicine*. Jun 2002;28(6):701-704.
17. Chou HC, Tseng WP, Wang CH, et al. Tracheal rapid ultrasound exam (T.R.U.E.) for confirming endotracheal tube placement during emergency intubation. *Resuscitation*. Oct 2011;82(10):1279-1284.
18. Weaver B, Lyon M, Blaivas M. Confirmation of endotracheal tube placement after intubation using the ultrasound sliding lung sign. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. Mar 2006;13(3):239-244.
19. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. Jun 2015;147(6):1659-1670.
20. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding. *Chest*. Nov 1995;108(5):1345-1348.
21. Mayo PH, Copetti R, Feller-Kopman D, et al. Thoracic ultrasonography: a narrative review. *Intensive care medicine*. Sep 2019;45(9):1200-1211.
22. Corradi F, Brusasco C, Pelosi P. Chest ultrasound in acute respiratory distress syndrome. *Current opinion in critical care*. Feb 2014;20(1):98-103.
23. Chiumello D, Umbrello M, Sferazza Papa GF, et al. Global and Regional Diagnostic Accuracy of Lung Ultrasound Compared to CT in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome. *Critical care medicine*. Nov 2019;47(11):1599-1606.
24. Lichtenstein DA, Meziere GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. Jul 2008;134(1):117-125.
25. Cox EGM, Wiersema R, Wong A, van der Horst ICC, Group SS. Six versus eight and twenty-eight scan sites for B-line assessment: differences in examination time and findings. *Intensive care medicine*. Mar 19 2020.
26. Bouhemad B, Brisson H, Le-Guen M, Arbelot C, Lu Q, Rouby JJ. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment. *American journal of respiratory and critical care medicine*. Feb 1 2011;183(3):341-347.
27. Soummer A, Perbet S, Brisson H, et al. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress*. *Critical care medicine*. Jul 2012;40(7):2064-2072.
28. Ding W, Shen Y, Yang J, He X, Zhang M. Diagnosis of pneumothorax by radiography and ultrasonography: a meta-analysis. *Chest*. Oct 2011;140(4):859-866.

29. Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI, Caldito G. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Critical care*. Sep 23 2013;17(5):R208.
30. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A. The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive care medicine*. Oct 2000;26(10):1434-1440.
31. Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive care medicine*. Feb 2011;37(2):224-232.
32. Shackford SR, Rogers FB, Osler TM, Trabulsy ME, Clauss DW, Vane DW. Focused abdominal sonogram for trauma: the learning curve of nonradiologist clinicians in detecting hemoperitoneum. *J Trauma*. Apr 1999;46(4):553-562; discussion 562-554.
33. Mayo PH, Doelken P. Pleural ultrasonography. *Clinics in chest medicine*. Jun 2006;27(2):215-227.
34. DA L. Whole Body Ultrasonography in the Critically Ill. In: Springer, ed: Berlin, Germany; 2010:129-138.
35. Tang N, Li D, Wang X, Sun Z. Abnormal coagulation parameters are associated with poor prognosis in patients with novel coronavirus pneumonia. *Journal of thrombosis and haemostasis : JTH*. Apr 2020;18(4):844-847.
36. Wang J, Hajizadeh N, Moore EE, et al. Tissue Plasminogen Activator (tPA) Treatment for COVID-19 Associated Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS): A Case Series. *Journal of thrombosis and haemostasis : JTH*. Apr 8 2020.
37. Tang N, Bai H, Chen X, Gong J, Li D, Sun Z. Anticoagulant treatment is associated with decreased mortality in severe coronavirus disease 2019 patients with coagulopathy. *Journal of thrombosis and haemostasis : JTH*. Mar 27 2020.
38. Karakitsos D, Labropoulos N, De Groot E, et al. Real-time ultrasound-guided catheterisation of the internal jugular vein: a prospective comparison with the landmark technique in critical care patients. *Critical care*. 2006;10(6):R162.
39. Troianos CA, Hartman GS, Glas KE, et al. Guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. Dec 2011;24(12):1291-1318.

40. Bouaziz H, Zetlaoui PJ, Pierre S, et al. Guidelines on the use of ultrasound guidance for vascular access. *Anaesthesia, critical care & pain medicine*. Feb 2015;34(1):65-69.
41. Benter T, Teichgraber UK, Kluhs L, et al. Anatomical variations in the internal jugular veins of cancer patients affecting central venous access. *Anatomical variation of the internal jugular vein. Ultraschall in der Medizin*. Feb 2001;22(1):23-26.
42. Lamperti M, Bodenham AR, Pittiruti M, et al. International evidence-based recommendations on ultrasound-guided vascular access. *Intensive care medicine*. Jul 2012;38(7):1105-1117.
43. Pittiruti M, Hamilton H, Biffi R, MacFie J, Pertkiewicz M, Espen. *ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition: central venous catheters (access, care, diagnosis and therapy of complications)*. *Clinical nutrition*. Aug 2009;28(4):365-377.
44. Shi S, Qin M, Shen B, et al. Association of Cardiac Injury With Mortality in Hospitalized Patients With COVID-19 in Wuhan, China. *JAMA cardiology*. Mar 25 2020.
45. Huang C, Wang Y, Li X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. Feb 15 2020;395(10223):497-506.
46. Guo T, Fan Y, Chen M, et al. Cardiovascular Implications of Fatal Outcomes of Patients With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA cardiology*. Mar 27 2020.
47. Wang D, Hu B, Hu C, et al. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *Jama*. Feb 7 2020.
48. Tu WJ, Cao J, Yu L, Hu X, Liu Q. Clinicolaboratory study of 25 fatal cases of COVID-19 in Wuhan. *Intensive care medicine*. Apr 6 2020.
49. Inciardi RM, Lupi L, Zaccone G, et al. Cardiac Involvement in a Patient With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA cardiology*. Mar 27 2020.
50. Madjid M, Safavi-Naeini P, Solomon SD, Vardeny O. Potential Effects of Coronaviruses on the Cardiovascular System: A Review. *JAMA cardiology*. Mar 27 2020.
51. Zheng YY, Ma YT, Zhang JY, Xie X. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nature reviews. Cardiology*. Mar 5 2020.
52. Hu H, Ma F, Wei X, Fang Y. Coronavirus fulminant myocarditis saved with glucocorticoid and human immunoglobulin. *European heart journal*. Mar 16 2020.

53. Zeng JH, Liu YX, Yuan J, et al. First case of COVID-19 complicated with fulminant myocarditis: a case report and insights. *Infection*. Apr 10 2020.
54. Zochios V, Parhar K, Tunnicliffe W, Roscoe A, Gao F. The Right Ventricle in ARDS. *Chest*. Jul 2017;152(1):181-193.
55. Vieillard-Baron A, Millington SJ, Sanfilippo F, et al. A decade of progress in critical care echocardiography: a narrative review. *Intensive care medicine*. Jun 2019;45(6):770-788.
56. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the american society of echocardiography and the European association of cardiovascular imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography : official publication of the American Society of Echocardiography*. Jan 2015;28(1):1-39 e14.
57. Gackowski A, Lipczynska M, Lipiec P, Szymanski P. Expert opinion of the Working Group on Echocardiography of the Polish Cardiac Society on performing echocardiographic examinations during COVID-19 pandemic. *Kardiologia polska*. Mar 30 2020.
58. Shahgaldi K, Gudmundsson P, Manouras A, Brodin LA, Winter R. Visually estimated ejection fraction by two dimensional and triplane echocardiography is closely correlated with quantitative ejection fraction by real-time three dimensional echocardiography. *Cardiovascular ultrasound*. Aug 25 2009;7:41.
59. Cikes M, Solomon SD. Beyond ejection fraction: an integrative approach for assessment of cardiac structure and function in heart failure. *European heart journal*. Jun 1 2016;37(21):1642-1650.
60. Orde S, Slama M, Hilton A, Yastrebov K, McLean A. Pearls and pitfalls in comprehensive critical care echocardiography. *Critical care*. Nov 17 2017;21(1):279.
61. Zhou F, Yu T, Du R, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *Lancet*. Mar 28 2020;395(10229):1054-1062.
62. Ghadri JR, Wittstein IS, Prasad A, et al. International Expert Consensus Document on Takotsubo Syndrome (Part II): Diagnostic Workup, Outcome, and Management. *European heart journal*. Jun 7 2018;39(22):2047-2062.
63. Ghadri JR, Wittstein IS, Prasad A, et al. International Expert Consensus Document on Takotsubo Syndrome (Part I): Clinical Characteristics, Diagnostic Criteria, and Pathophysiology. *European heart journal*. Jun 7 2018;39(22):2032-2046.

64. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive care medicine*. Dec 2014;40(12):1795-1815.
65. Abrams D, Garan AR, Abdelbary A, et al. Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive care medicine*. Jun 2018;44(6):717-729.
66. Gutsche JT, Ortoleva J. Echocardiography: Do We Need New Standards for ECMO Patients? *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. Aug 2019;33(8):2356-2357.
67. Ballesteros Sanz MA ea. Recomendaciones de "hacer" y "no hacer" en el tratamiento de los pacientes críticos ante la pandemia por coronavirus causante de COVID-19 de los Grupos de Trabajo de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC). *Medicina intensiva / Sociedad Española de Medicina Intensiva y Unidades Coronarias*. 2020.
68. Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, Dubourg O, Jardin F. Echo-Doppler demonstration of acute cor pulmonale at the bedside in the medical intensive care unit. *American journal of respiratory and critical care medicine*. Nov 15 2002;166(10):1310-1319.
69. Jardin F, Vieillard-Baron A. Acute cor pulmonale. *Current opinion in critical care*. Feb 2009;15(1):67-70.
70. Vieillard-Baron A, Girou E, Valente E, et al. Predictors of mortality in acute respiratory distress syndrome. Focus On the role of right heart catheterization. *American journal of respiratory and critical care medicine*. May 2000;161(5):1597-1601.
71. Repesse X, Charron C, Vieillard-Baron A. Acute respiratory distress syndrome: the heart side of the moon. *Current opinion in critical care*. Feb 2016;22(1):38-44.
72. Kholdani CA, Fares WH. Management of Right Heart Failure in the Intensive Care Unit. *Clinics in chest medicine*. Sep 2015;36(3):511-520.
73. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography : official*

publication of the American Society of Echocardiography. Jul 2010;23(7):685-713; quiz 786-688.

74. Harjola VP, Mebazaa A, Celutkienė J, et al. Contemporary management of acute right ventricular failure: a statement from the Heart Failure Association and the Working Group on Pulmonary Circulation and Right Ventricular Function of the European Society of Cardiology. *European journal of heart failure*. Mar 2016;18(3):226-241.

75. Ugalde D, Medel JN, Romero C, Cornejo R. Transthoracic cardiac ultrasound in prone position: a technique variation description. *Intensive care medicine*. Jun 2018;44(6):986-987.

PIES DE IMÁGENES

Figura 1. Utilidad de la ecografía traqueal y pleural para la comprobación de la IOT.

A) Imagen de ecografía traqueal donde se visualiza la tráquea con su sombra acústica posterior y rodeada por el tiroides. B) Imagen de ecografía traqueal con el transductor desplazado hacia la zona izquierda del cuello, la flecha señala la como identificar el esófago. C) Imagen de ecografía pleural con patrón de aireación normal que indica que el pulmón está insuflado. D) Imagen de ecografía pleural con signo de código de barras que indica que el pulmón no está insuflado, posible intubación selectiva contralateral.

Figura 2. Patrones de aireación pulmonar

A) Patrón típico de aireación normal (perfil A en el protocolo BLUE) mostrando imagen en 2D; B) Patrón A en modo M; C) Patrón B1; D) Patrón B2; E): Consolidación pulmonar (perfil C en el protocolo BLUE), mostrando signo del borde irregular o *shred sign*; F) broncograma aéreo. A,B,C,D,E. Estudio con sonda lineal; F. Sonda *convex*

Figura 3. Paciente ingresado en UCI con neumonía por SARS-CoV-2

Paciente con neumonía por SARS-CoV-2 de dos semanas de evolución, con mejoría clínica y en la Rx simple de tórax, pero con persistencia de hallazgos patológicos en la ecografía pleural y en la TC.

Figura 4. Signos en la ecografía pleural de barotrauma

A) Líneas E, artefacto vertical que no salen de la línea pleural en relación con enfisema subcutáneo; B) Patrón de líneas A y ausencia de deslizamiento pleural, que se confirma con el modo M, en la parte de la izquierda, que representa el signo de la estratosfera; C) Imagen confirmatoria de neumotórax y señala el punto de despegamiento de ambas pleuras visceral y parietal (lung point) en modo M; D) Imagen en 2D del punto pulmonar, zona de despegamiento de ambas pleuras.

Figura 5. Imagen ecográfica de estado protrombótico

A) Imagen de un corte transversal de la vena yugular interna con aumento de ecogenicidad en su interior secundario a un estado protrombótico. B) Imagen de corte transversal de la vena femoral común con un trombo no oclusivo en su interior.

Figura 6. Esquema para estudio de ecocardiografía transtorácica en decúbito prono

Algoritmo 1. Manejo de la vía aérea emergente en pacientes con coronavirus

Algoritmo de manejo de la vía aérea emergente en pacientes con coronavirus, mediante un abordaje integral que incluye la inspección visual y la aplicación de la ecografía. Antes de iniciar la intubación, es necesario asegurar la presencia de *lung sliding* bilateral. Tras la comprobación preliminar, se iniciará la IOT aplicando el algoritmo de vía aérea difícil de cada centro, siendo

recomendable utilizar la videolaringoscopia como primer dispositivo. La visualización directa del paso del TOT a través de las cuerdas vocales permite iniciar la ventilación, proceder a identificar signos visuales de una adecuada intubación y ajustar la posición del TOT mediante ecografía pleural bilateral. La no visualización del paso del TOT a través de las cuerdas vocales obliga a excluir la posibilidad de intubación esofágica antes de iniciar la ventilación, con la finalidad de evitar aspiración bronquial de contenido gástrico.

2. Protocolo secuencial ante sospecha de neumotórax.

Journal Pre-proof

Tabla 1. Principales aplicaciones de la ecografía durante la atención de la pandemia de coronavirus en los Servicios de Medicina Intensiva.

	Técnica	Problema	Zona de estudio	Hallazgos
Control vía aérea	Ecografía traqueal	Intubación esofágica	Plano transversal en la región anterior del cuello	<ul style="list-style-type: none"> - Intubación correcta: línea hiperecogénica con forma de U invertida, con artefacto posterior en cola de cometa. - Intubación esofágica: aparición de segundo artefacto en cola de cometa a un nivel lateral y más profundo que la tráquea.
	Ecografía pleural	Intubación bronquial selectiva inadvertida (IBSI)	Puntos superior e inferior del protocolo BLUE	<ul style="list-style-type: none"> - Intubación correcta: <i>sliding</i> pulmonar bilateral - IBSI: ausencia de <i>sliding</i> pulmonar unilateral
Diagnóstico y seguimiento de la afectación pulmonar	Ecografía pleuropulmonar	Hipoxemia	Puntos del protocolo BLUE Modelo de 12 zonas	<ul style="list-style-type: none"> - Patrones de aireación pulmonar - <i>Lung ultrasound score</i> (LUS)

Complicaciones de la enfermedad	Ecografía pleuropulmonar	Neumotórax	Puntos del protocolo BLUE	<ul style="list-style-type: none"> - Ausencia <i>sliding</i> pulmonar - Patrón de líneas A - Punto pulmonar (<i>lung point</i>)
		Derrame Pleural	Punto PLAPS del protocolo BLUE	<ul style="list-style-type: none"> - Detección y ecogenicidad líquido pleural
	Ecografía vascular	Fenómenos trombóticos	Venas de extremidades	<ul style="list-style-type: none"> - Compresibilidad del vaso - Contenido ecogénico en el vaso
	Ecocardiografía	Miocarditis	Planos ecocardiográficos convencionales	<ul style="list-style-type: none"> - Engrosamiento de las paredes ventriculares - Alteraciones de la contractilidad segmentaria - FEVI deprimida - Dilatación de VI - Derrame pericárdico
		Shock	Planos ecocardiográficos convencionales	<ul style="list-style-type: none"> - Función sistólica de VI - Integral velocidad-tiempo (IVT) del tracto de

				salida de VI (TSVI)
		<i>Cor pulmonale agudo</i>	Planos ecocardiográficos convencionales	<ul style="list-style-type: none"> - Dilatación del ventrículo derecho - Movimiento paradójico septal / septo en D - Dilatación de la vena cava inferior - Hipertensión pulmonar - Disfunción sistólica del VD

VD: Ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; FEVI: fracción de eyección de ventrículo izquierdo; BLUE: *Bedside Lung Ultrasound in Emergency*; Punto PLAPS: *Point PosteroLateral Alveolar and Pleural Syndrome*

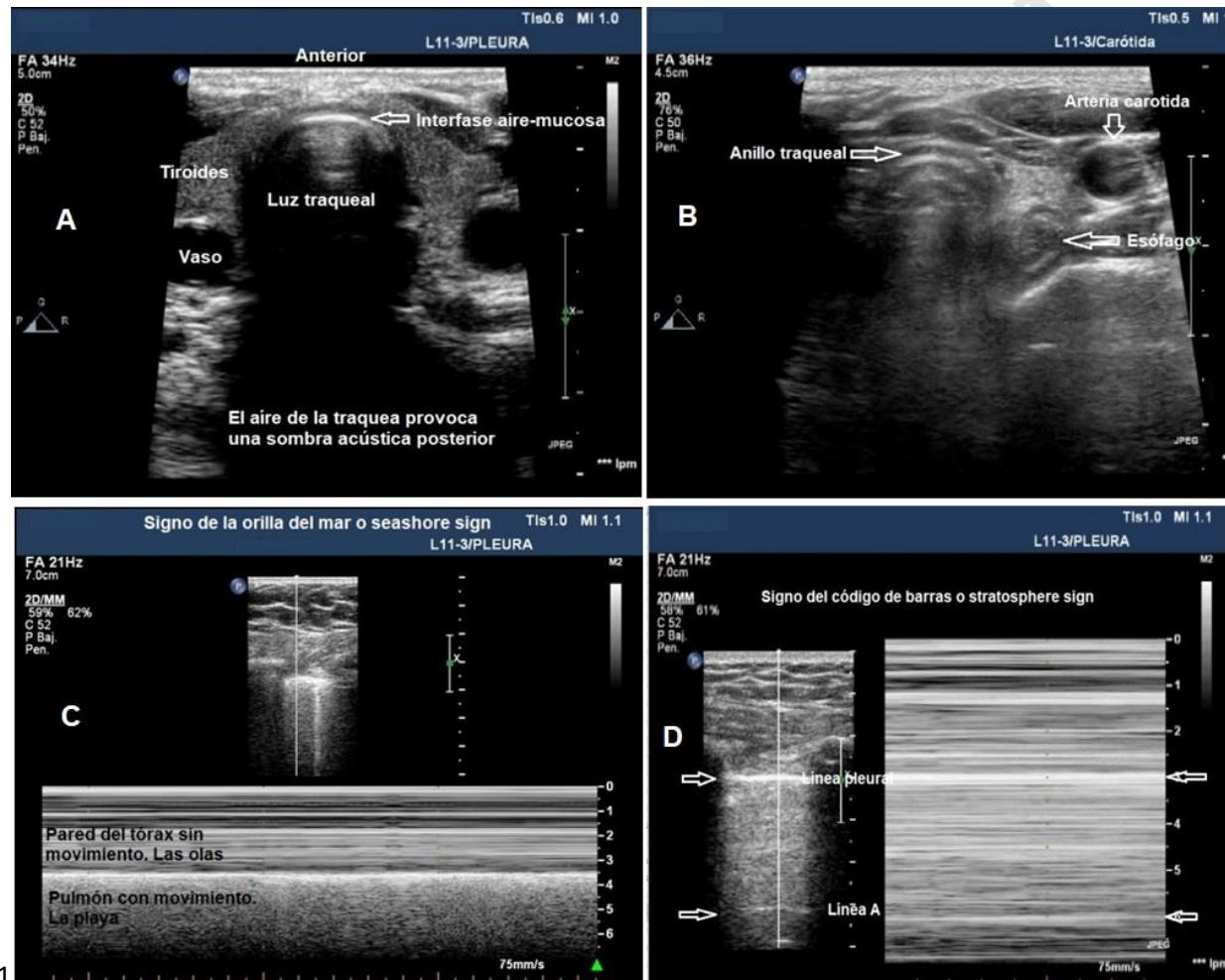
Tabla 2. Principales ventajas e inconvenientes de la ecografía pulmonar.

Ventajas de la UP	Inconvenientes de la UP
<ul style="list-style-type: none"> • Permite obtener imágenes a pie de cama por el mismo. evaluador clínico, reduce la exposición de personal y minimiza riesgos del traslado. • Permite discriminar pacientes bajo riesgo de aquellos de mayor riesgo, que podrían requerir exploración radiológica de segundo nivel. • Es superior a la radiología simple para detectar neumotórax, derrame pleural, neumonía, síndrome intersticial y en el diagnóstico diferencial de la disnea aguda. • Ha demostrado utilidad para el reconocimiento de diferentes patrones de línea B y distinguir entre edema pulmonar cardiogénico y SDRA. • Los dispositivos portátiles son más fáciles de esterilizar por presentar áreas de superficie más pequeñas que otros dispositivos radiológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiente de la experiencia y formación del médico que realiza la exploración y su aprendizaje exige un proceso estructurado de formación. • En la ecografía torácica, la clínica es el factor determinante que ayuda a interpretar los datos obtenidos. Los signos son poco específicos pero muy sensibles • Es una técnica de imagen de superficie, si el proceso patológico no alcanza la pleura no se visualizará. • El ecógrafo y el transductor pueden ser un reservorio de gérmenes y ser una fuente de contaminación.

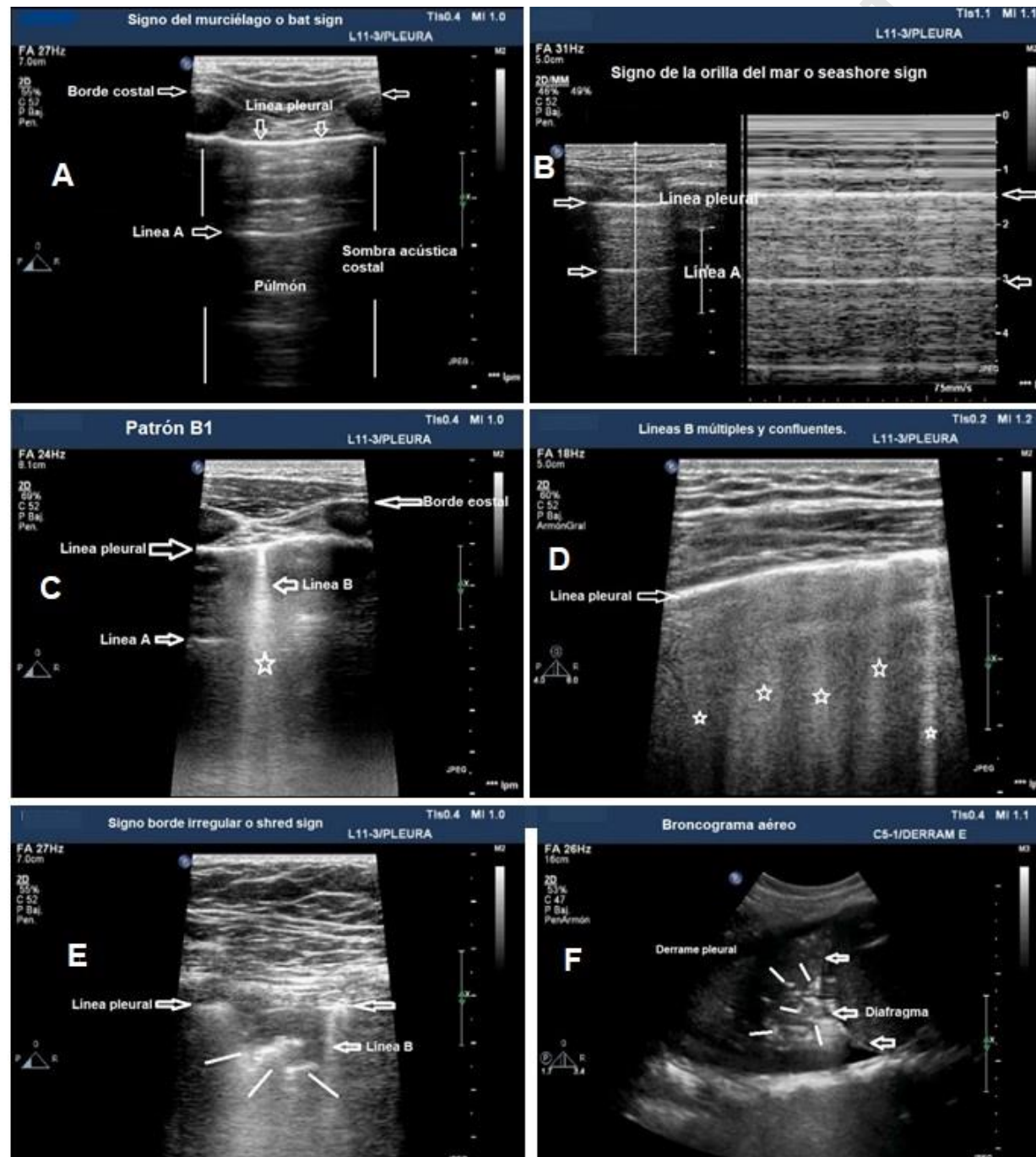
- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Evita la radiación y se puede realizar de forma seriada, permitiendo una monitorización cuasi-continua que detecta cambios tempranos de la afectación pulmonar. | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

Tabla 3. Indicaciones de la ecocardiografía en el paciente con COVID-19

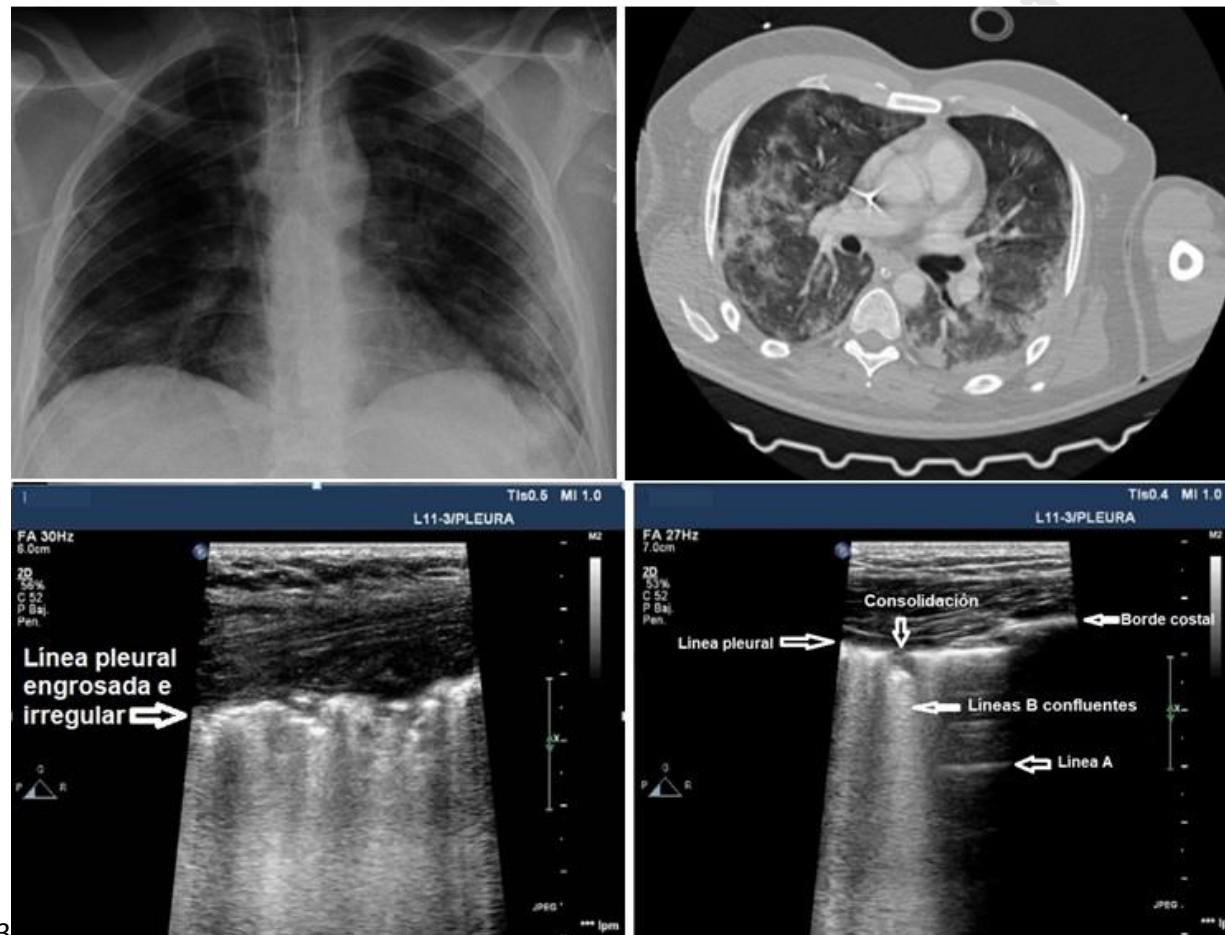
Indicaciones de la ecocardiografía en el paciente con COVID-19
<ul style="list-style-type: none">• Elevación progresiva de biomarcadores de daño miocárdico (troponina T o I, hs-cTn, BNP, NT-proBNP).• Electrocardiograma con signos sugestivos de isquemia o hallazgos de aparición reciente respecto a electrocardiogramas previos.• Requerimiento de drogas vasoactivas a dosis elevadas o en ascenso, sin causa filiada.• Inestabilidad hemodinámica súbita.• Empeoramiento respiratorio súbito con inestabilidad hemodinámica.• Sospecha de <i>cor pulmonale agudo</i>.• Niveles de dímero D elevados, que hagan sospechar tromboembolismo pulmonar.• Estudio de función cardíaca previo al inicio de soporte ECMO.



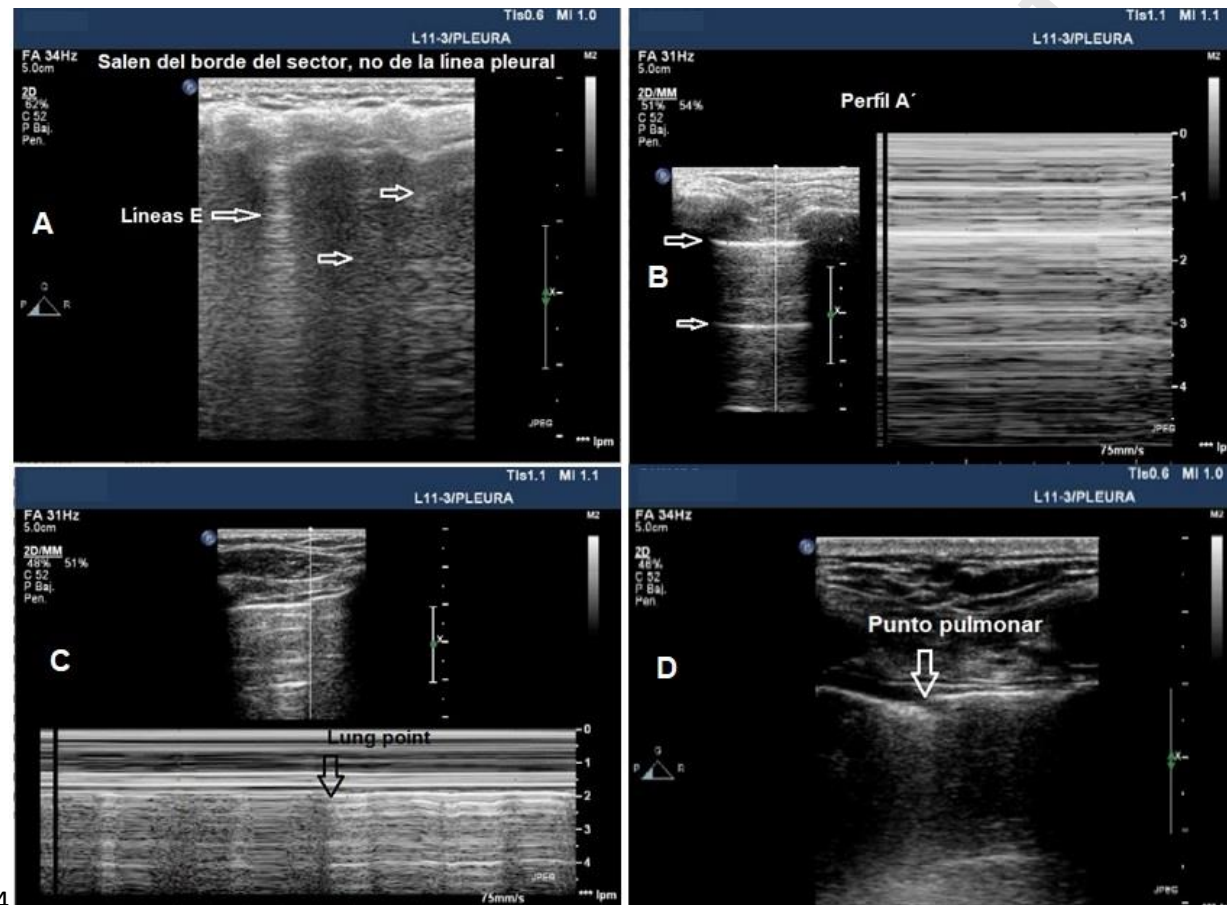
Figr-1



Journal Pre-proof



Figr-3



Figr-4



Figr-5



Figr-6