



Doctorado en Biotecnología, Medicina y Ciencias Biosanitarias  
Escuela Internacional de Doctorado  
Universidad Francisco de Vitoria

## TESIS DOCTORAL

# **IMPACTO DE UN PROTOCOLO DE DOBLE COMPROBACIÓN CON ECOGRAFÍA CLÍNICA EN EL DIAGNÓSTICO DE INSUFICIENCIA CARDÍACA AGUDA EN UN SERVICIO DE URGENCIAS**

Tomás Villén Villegas

DIRECTORES:

JOSÉ LUIS VÁZQUEZ MARTÍNEZ  
DIANA MONGE MARTÍN

Madrid, febrero de 2025



# AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo supone la culminación de un camino que comenzó el 17 de septiembre de 2007 alrededor de las 8:30 de la mañana, cuando crucé el umbral de la puerta principal del Massachusetts General Hospital de Boston sin saber nada de ecografía (ni casi de inglés), iniciando un período que cambió mi vida para siempre. Echando la vista atrás no puedo más que agradecer a todas las personas que lo han hecho posible, comenzando por supuesto por mis mentores Vicki Noble y Andrew Liteplo, que junto con mis “co-fellows” Rob Miller y Alice Murray hicieron despertar el interés en la ecografía y sembraron en mí la semilla de la investigación, además de hacer que un trocito de mi corazón quedase allí en Boston para tener una excusa eterna para volver a visitarlo. Pero reconozco que nada de esto habría sucedido si Julio Cobo no hubiese colgado aquel anuncio en el tablón del despacho en 2006 donde se convocaban las “Becas para estancias en otros centros”. Muchas gracias por tu apoyo, tu ayuda y el haber hecho posible todo esto.

Mi camino posterior ha estado marcado por la figura de Ramón Nogué y la de Ricardo Campo, no sólo por el privilegio de ser grandes amigos sino también una fuente constante de inspiración a nivel clínico y docente. Hago extensible de este agradecimiento también a todos los miembros del grupo ecoSEMES, a quienes tengo el honor de coordinar y el privilegio de ver crecer por sus propios méritos.

Tengo que admitir, además, que este trabajo es el fruto de una “epifanía” que tuvo lugar un pase de guardia en el Servicio de Urgencias del Hospital Universitario La Paz. Gracias por ello a mi amigo César Carballo por prender la mecha que ha culminado con este proceso. De igual modo, tengo que agradecer enormemente a Yale Tung y Rafael Llamas, porque sin vosotros y vuestro empujón final no habría podido terminar este trabajo de investigación. Gracias también a Fernando Neria por toda la “magia” que has hecho con la metodología y el análisis, por convertir mis ideas abstractas en numéricas. Ni en el escenario más optimista podría haber esperado todos los resultados que has podido obtener de mi rudimentaria base de datos.

Por muchos motivos tengo que agradecer a la institución a la que orgullosamente pertenezco: la Universidad Francisco de Vitoria. Empezando por mi jefe, Fernando Caballero, quien confió (y todavía me asombra al pensarlo) en mi proyecto y me otorgó la gran responsabilidad de enseñar ecografía a las nuevas generaciones de médicos. Gracias a toda la “pradera” y a la segunda planta del Edificio E también por vuestra cercanía, amistad y tantas conversaciones y experiencias enriquecedoras que han convertido este trabajo en una aventura apasionante. También este logro es gracias a todos mis alumnos, quienes hacen que cada día quiera y tenga que ser mejor en mi trabajo docente e investigador.

Dejo un lugar especial a mis dos directores. A José Luis Vázquez, tu experiencia y dedicación son un ejemplo diario para mí. Además, he tenido la suerte de ver en primera persona cómo la ecografía ha cambiado tu forma de hacer Medicina y el impacto que ha tenido en todos los que te rodean, tanto compañeros como pacientes. Me siento un privilegiado por ello. A Diana Monge, por tus ánimos constantes, tus correcciones de estilo (traduciendo este texto al español) y todo el tiempo que has dedicado, que me consta que ha sido muchísimo, en defender no sólo este trabajo, sino todo mi proyecto en la Universidad. Gracias por tanto a los dos.

Por último, dejo a los más importantes: mi familia. Gracias Ángela por tu amor, paciencia y apoyo incondicional, incluso cuando las dificultades llegaron y parecían insuperables. Sin tu constante motivación, comprensión y ayuda, este proyecto nunca habría sido posible. Igualmente, a Nacho, Emma y Álex, por ser mi fuente constante de alegría, inspiración y fuerza, a pesar de sufrir mis ausencias. Cada uno de vosotros me enseña algo nuevo cada día y me impulsa a seguir adelante. Vuestra presencia ha iluminado cada momento de este camino y este logro es también vuestro.

*A mis padres, a quienes les debo todo.*



# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>5</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>11</b>
<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>15</b>
<b>2. ABSTRACT</b> .....	<b>20</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1. LA INSUFICIENCIA CARDÍACA AGUDA</b> .....	<b>23</b>
3.1.1. DEFINICIÓN.....	23
3.1.2. EPIDEMIOLOGÍA .....	25
3.1.3 FISIOPATOLOGÍA.....	25
3.1.4. PRESENTACIONES CLÍNICAS .....	28
3.1.5. DIAGNÓSTICO.....	31
3.1.5.1. HISTORIA CLÍNICA Y EXPLORACIÓN FÍSICA.....	31
3.1.5.2. RADIOGRAFÍA DE TÓRAX.....	32
3.1.5.3. PÉPTIDOS NATRIURÉTICOS.....	33
<b>3.2. ECOGRAFÍA CLÍNICA</b> .....	<b>35</b>
3.2.1 CONCEPTO, PERSPECTIVA HISTÓRICA E INTRODUCCIÓN .....	35
3.2.2. ECOGRAFÍA PULMONAR .....	36
3.2.2.1 CONCEPTO.....	36
3.2.2.2. EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA BÁSICA PULMONAR.....	37
3.2.2.3. DESLIZAMIENTO PLEURAL.....	38

3.2.2.4 ARTEFACTOS BÁSICOS .....	43
3.2.2.4. ECOGRAFÍA DE LA LÍNEA PLEURAL.....	45
3.2.2.5 DERRAME PLEURAL.....	46
3.2.2.6. ECOGRAFÍA PULMONAR EN LA ICA .....	48
3.2.2.7. MONITORIZACIÓN.....	50
3.2.3. ECOGRAFÍA CLÍNICA CARDÍACA.....	51
3.2.3.1. CONCEPTO Y ÁMBITO DE UTILIZACIÓN .....	51
3.2.3.2. PATRONES DE PATOLOGÍA.....	52
3.2.3.3. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO FOCUS.....	54
3.2.3.4. FOCUS EN LA ICA .....	54
3.2.4. VENA CAVA INFERIOR.....	55
3.2.4.1. CONSIDERACIONES ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS .....	55
3.2.4.2. APLICACIONES CLÍNICAS Y LIMITACIONES .....	56
3.2.4.3. VCI EN ICA .....	57
3.2.5. ECOGRAFÍA CLÍNICA MULTIÓRGANO.....	57
3.2.6. INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ECOGRAFÍA CLÍNICA E ICA.....	58
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>63</b>
<b>5. OBJETIVOS .....</b>	<b>67</b>
5.1. PRINCIPAL.....	67
5.2. SECUNDARIOS.....	67
<b>6. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>71</b>
<b>7. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>75</b>

<b>7.1 TIPO DE ESTUDIO .....</b>	<b>75</b>
<b>7.2. ÁMBITO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>75</b>
<b>7.3. POBLACIÓN DEL ESTUDIO.....</b>	<b>75</b>
7.3.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	75
7.3.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN .....	76
<b>7.4. CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL.....</b>	<b>76</b>
<b>7.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....</b>	<b>77</b>
<b>7.6. VARIABLES RECOGIDAS.....</b>	<b>77</b>
7.6.1. DEMOGRÁFICAS.....	77
7.6.2. CLÍNICAS .....	77
7.6.3. ECOGRÁFICAS.....	78
7.6.3.1. PULMONARES .....	78
7.6.3.2. ECOGRAFÍA CARDÍACA .....	78
7.6.3.3. VENA CAVA INFERIOR .....	78
7.6.4. ANALÍTICAS.....	79
<b>7.7. MÉTODO DE EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA.....</b>	<b>79</b>
<b>7.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>82</b>
<b>7.9. ASPECTOS ÉTICOS .....</b>	<b>83</b>
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>87</b>
<b>8.1. DESCRIPCIÓN Y DEMOGRÁFICOS DE LA MUESTRA.....</b>	<b>87</b>
<b>8.2. ICA FRENTE A DIAGNÓSTICO ALTERNATIVO .....</b>	<b>88</b>
<b>8.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VCI .....</b>	<b>91</b>

8.3.1. DIÁMETRO MÁXIMO ESPIRATORIO DE LA VCI .....	91
8.3.2. DIÁMETRO MÍNIMO INSPIRATORIO DE LA VCI .....	91
8.3.3. ÍNDICE DE COLAPSABILIDAD DE LA VCI .....	92
<b>8.4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA ECOGRAFÍA PULMONAR.....</b>	<b>93</b>
8.4.1. NÚMERO TOTAL DE LÍNEAS B.....	93
8.4.2. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS B EN AMBOS GRUPOS .....	94
8.4.2.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS MAPAS DE DENSIDAD DE LÍNEAS B .....	96
8.4.3 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LÍNEAS B PULMONARES.....	97
<b>8.5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN CARDÍACA.....</b>	<b>98</b>
8.5.1. VALVULOPATÍAS .....	98
8.5.2. IDENTIFICACIÓN DE FEVI <40% PREVIAMENTE DESCONOCIDA.....	100
8.5.3. RESULTADOS DEL PATRÓN DE DISFUNCIÓN DIASTÓLICA.....	100
<b>8.6. RESULTADOS GLOBALES DEL PROTOCOLO DE DOBLE COMPROBACIÓN .....</b>	<b>103</b>
8.6.1. PACIENTES CON CAMBIO DE ACTITUD EN CUANTO A UBICACIÓN Y MANEJO.....	103
8.6.2. IMPACTO GLOBAL DEL PROTOCOLO .....	104
<b>8.7. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA LA BÚSQUEDA DE DIAGNÓSTICO ALTERNATIVO.....</b>	<b>105</b>
<b>8.8. RANDOM FOREST PARA EL DIAGNÓSTICO DE ICA FRENTE A ALTERNATIVO .....</b>	<b>107</b>
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>113</b>
<b>9.1. LIMITACIONES.....</b>	<b>118</b>

<b>9.2. FUTURO .....</b>	<b>120</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO I. CUADERNO DE RECOGIDA DE DATOS.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO II. INFORME DE APROBACIÓN DEL CEIC.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO III. HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE.....</b>	<b>154</b>
<b>ANEXO IV. PUBLICACIÓN DEL ARTÍCULO EN REVISTA CIENTÍFICA DE ESTE TRABAJO.....</b>	<b>158</b>



# ABREVIATURAS

<b>AD</b>	Aurícula derecha
<b>AI</b>	Aurícula izquierda
<b>BNP</b>	Péptido natriurético tipo B ( <i>B-type natriuretic peptide</i> )
<b>cm</b>	centímetros
<b>DPN</b>	disnea paroxística nocturna
<b>EC</b>	Ecografía Clínica
<b>ECC</b>	Ecografía Clínica cardíaca
<b>ECG</b>	Electrocardiograma
<b>EPOC</b>	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
<b>EVLW</b>	agua pulmonar extravascular ( <i>extravascular lung water</i> )
<b>FA</b>	fibrilación auricular
<b>FAST</b>	<i>Focused Assessment with Sonography for Trauma</i>
<b>FC</b>	frecuencia cardíaca
<b>FEVI</b>	Fracción de eyección de ventrículo izquierdo
<b>FoCUS</b>	Focused cardiac ultrasound
<b>GC</b>	Gasto cardíaco
<b>h</b>	horas
<b>HTA</b>	Hipertensión arterial
<b>IA</b>	Inteligencia artificial
<b>IC</b>	Insuficiencia cardíaca
<b>IC</b>	Índice de colapsabilidad / intervalo de confianza
<b>ICA</b>	Insuficiencia cardíaca aguda
<b>kg</b>	kilogramos
<b>lpm</b>	latidos por minuto
<b>LVEDP</b>	Presión telediastólica de ventrículo izquierdo ( <i>left ventricle end diastolic pressure</i> )
<b>mmHg</b>	milímetros de mercurio
<b>MUE</b>	Medicina de Urgencias y Emergencias
<b>NT-proBNP</b>	Fracción amino-terminal del BNP ( <i>N-Terminal pro B-type natriuretic peptide</i> )
<b>PCWP</b>	Presión de enclavamiento pulmonar ( <i>Pulmonary capillary wedge pressure</i> )

<b>PoCUS</b>	<i>Point-of-Care Ultrasound</i>
<b>PVC</b>	Presión venosa central
<b>RVEDP</b>	Presión telediastólica de ventrículo derecho ( <i>right ventricle end diastolic pressure</i> )
<b>S3</b>	tercer ruido
<b>SUH</b>	Servicio de Urgencias Hospitalario
<b>TAPSE</b>	Excursión sistólica del plano del anillo tricuspídeo ( <i>Tricuspid annulus plane systolic excursion</i> )
<b>TAs</b>	Tensión arterial sistólica
<b>TEP</b>	tromboembolismo pulmonar
<b>UCI</b>	unidad de cuidados intensivos
<b>VCI</b>	Vena cava inferior
<b>VD</b>	ventrículo derecho
<b>VI</b>	Ventrículo izquierdo
<b>VMNI</b>	Ventilación mecánica no invasiva
<b>VPN</b>	valor predictivo negativo
<b>VPP</b>	valor predictivo positivo
<b>VTI</b>	Integral velocidad-tiempo ( <i>velocity-time integral</i> )



# RESUMEN



# 1. RESUMEN

**INTRODUCCIÓN:** La insuficiencia cardíaca aguda es una afección común que puede llevar a una morbilidad y mortalidad importantes, especialmente en los Servicios de Urgencias, donde su prevalencia ha aumentado en los últimos años. Existe un riesgo creciente de clasificación errónea de la afección debido a la concurrencia de diversos aspectos inherentes a la práctica de la medicina de emergencia, como el sobreaforo y la similitud con otras condiciones debido a la expresión clínica similar.

**OBJETIVO:** Determinar la efectividad de un protocolo de doble verificación utilizando ecografía de punto de atención en el manejo de pacientes diagnosticados con insuficiencia cardíaca aguda en un servicio de Urgencias

**MÉTODO:** Estudio observacional prospectivo y analítico de corte transversal con pacientes diagnosticados con insuficiencia cardíaca aguda por el equipo médico saliente, quienes se someten a una evaluación ecográfica multiorgánica que incluye el corazón (reconocimiento de patrones de patología y cuantificación de enfermedad valvular y fracción de eyección del ventrículo izquierdo mediante el método de Simpson biplano), los pulmones (determinación de líneas B y su distribución) y la vena cava inferior (diámetros máximo, mínimo e índice de colapsabilidad). Las mediciones se realizaron mediante una herramienta automatizada basada en inteligencia artificial. La precisión del modelo de bosque aleatorio fue del 100% en términos de sensibilidad, especificidad y valores predictivos.

**RESULTADOS:** Se incluyeron 96 pacientes. Se encontró un diagnóstico alternativo en el 33% de ellos. Entre el 77% en los que se confirmó el diagnóstico de insuficiencia cardíaca aguda, el 73,4% tenía una causa o condición subyacente no conocida previamente (fracción de eyección del ventrículo izquierdo inferior al 40% o valvulopatía moderada-severa). La introducción del protocolo tuvo un impacto clínicamente relevante en el 73% de todos los pacientes incluidos. Las variables más importantes asociadas con la predicción de la insuficiencia cardíaca aguda fueron el puntaje pulmonar, los niveles séricos de NT-proBNP, el índice de asimetría y el índice de colapsabilidad de la vena cava inferior. Construimos un modelo de árbol de decisión y un modelo de random forest, ambos basados en machine learning.

**CONCLUSIONES:** La implementación de un protocolo de doble verificación utilizando ecografía clínica, que incluye la evaluación cardíaca, pulmonar y de la vena cava inferior en pacientes diagnosticados con insuficiencia cardíaca aguda, demuestra una alta utilidad

para garantizar un diagnóstico preciso y una clasificación adecuada de estos pacientes. Se debería fomentar su uso en este entorno particular.





# **ABSTRACT**



## 2. ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Acute heart failure is a common condition which potentially can carry to important morbidity and mortality, especially in the Emergency Departments in which its prevalence is getting higher during the last years. There is an increasing risk of misclassification of the condition based on the concurrence of diverse aspects that are inherent to the practice of emergency medicine like, overcrowding and mimicking with other conditions because of the similarity in their clinical expression.

**OBJETIVE:** To determine the effectiveness of a double-check protocol using Point-of-Care Ultrasound in the management of patients diagnosed with Acute Heart Failure in an Emergency Department.

**METHOD:** Prospective analytical cross-sectional observational study with patients diagnosed with Acute Heart Failure by the outgoing medical team, who undergo multi-organ ultrasound evaluation including cardiac (recognition of patterns of pathology and quantification of valve disease and LVEF by biplane Simpsons method), pulmonary (determination of B lines, and distribution), and inferior vena cava ultrasound (maximum, minimum diameters and collapsibility index). The measurements were taken by an automated tool based on artificial intelligence. The precision of the random forest model was 100% in terms of sensitivity, specificity and predictive values.

**RESULTS:** 96 patients were included. An alternative diagnosis was found in 33% of them. Among the 77% where AHF diagnosis was confirmed, 73.4% had an underlying cause or condition not previously known (Left Ventricular Ejection Fraction less than 40% or moderate-severe valvulopathy). The introduction of the protocol had a clinically relevant impact on 73% of all included patients. The most important variables associated to prediction of AHF were the lung score, NT-proBNP serum levels, the asymmetry index and the collapsibility index of IVC. We built a decision tree model and a random forest model both based in machine learning

**CONCLUSIONS:** The implementation of a double-check protocol using POCUS, including cardiac, pulmonary, and inferior vena cava assessment in patients diagnosed with Acute Heart Failure, demonstrates a high utility in ensuring accurate diagnosis and proper classification of these patients, and should be encouraged to be used in this particular environment.



# 3

## **INTRODUCCIÓN**



## 3. INTRODUCCIÓN

### 3.1. LA INSUFICIENCIA CARDÍACA AGUDA

#### 3.1.1. DEFINICIÓN

La Insuficiencia Cardíaca Aguda (ICA) es una entidad clínica altamente prevalente, y con una tendencia al alza progresiva en los Servicios de Urgencias Hospitalarios (SUH) (1) suponiendo un desafío diario para los profesionales encargados de su manejo clínico integral. Se trata de una entidad que potencialmente puede poner en riesgo la vida del paciente y que genera una tasa de ingresos considerable, prácticamente suponiendo una de las mayores causas de ingreso en planta de hospitalización en patología del ámbito cardiovascular y la principal en pacientes mayores de 65 años (2).

Desde un punto de vista meramente clínico, podemos considerar a la ICA como el desarrollo brusco o agudo de síntomas o signos compatibles con Insuficiencia Cardíaca (IC) y se muestran en la siguiente tabla:

Sintomas	Signos
<b>Típicos</b>	<b>Más Específicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disnea</li> <li>• Ortopnea</li> <li>• Disnea paroxística nocturna</li> <li>• Tolerancia reducida al ejercicio</li> <li>• Fatiga, cansancio, incremento del tiempo de recuperación tras ejercicio</li> <li>• Edema maleolar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevación de presión venosa yugular</li> <li>• Reflujo hepatoyugular</li> <li>• Tercer ruido (ruido de galope)</li> <li>• Lateralización del ápex (palpación)</li> </ul>
<b>Menos típicos</b>	<b>Menos específicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tos nocturna</li> <li>• Autoescucha de sibilancias</li> <li>• Sensación de abotargamiento</li> <li>• Pérdida de apetito</li> <li>• Confusión (especialmente en ancianos)</li> <li>• Depresión</li> <li>• Palpitaciones</li> <li>• Mareo</li> <li>• Síncope</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganancia de peso (&gt;2 kg/semana)</li> <li>• Pérdida de peso (in advanced HF)</li> <li>• Caquexia</li> <li>• Soplo cardíaco</li> <li>• Edema periférico (tobillo, sacro, escrotal)</li> <li>• Crepitantes</li> <li>• Derrame pleural</li> <li>• Taquicardia</li> <li>• Pulso irregular</li> <li>• Taquipnea</li> <li>• Respiración de Cheyne-Stokes</li> <li>• Hepatomegalia</li> <li>• Ascitis</li> <li>• Frialdad acra</li> <li>• Oliguria</li> </ul>

Tabla 1. Signos y síntomas de la IC

La identificación de la ICA supone un desafío importante para el ámbito de la Medicina de Urgencias y Emergencias (MUE) no únicamente por el gran número de pacientes que acuden a los SUH con esta patología sino por la necesidad de su rápida identificación de cara a una potencial reducción de morbimortalidad asociada (1).

### 3.1.2. EPIDEMIOLOGÍA

Como se ha señalado en el punto anterior, la ICA presenta una elevada y creciente prevalencia en prácticamente cualquier contexto asistencial. Supone una elevada carga del total de ingresos hospitalarios, especialmente cuando se aísla en un entorno de enfermedad cardiovascular, y presenta una mortalidad hospitalaria no desdeñable que se establece entre un 4-11% (3). El paciente tipo presenta una edad en torno a 70 años, con una proporción aproximada 1:1 entre hombres y mujeres. Dada la edad y el tipo de causa que puede llevar al desarrollo de una IC es esperable la presencia de patología concomitante en estos pacientes, destacando enormemente la prevalencia de fibrilación auricular (FA) entre un 22 y un 43%. Otras comorbilidades frecuentes son la hipertensión arterial (HTA) entre un 53 y 72%, la enfermedad coronaria entre un 30 y 68%, la diabetes entre un 27 y 45% y el EPOC entre un 19 y 31% (4).

Aunque cualquier patología puede verse afectada por el sobreaforo habitual de los SUH (5), la alta prevalencia y la potencial alta morbimortalidad de la ICA la hacen especialmente sensible de ser detectada de forma segura y precoz. Además, los pacientes precisan que el médico responsable decida una ubicación ágil (alta, observación o ingreso hospitalario) (6).

Estos datos nos permiten inferir el concepto de fragilidad y potencial gravedad de los pacientes que sufren un episodio de ICA durante el curso clínico de su patología o patologías de base.

### 3.1.3 FISIOPATOLOGÍA

En la actualidad, aunque todavía no existe una clara explicación global basada en la fisiopatología, sabemos que este trastorno abarca una red intrincada de mecanismos que no solo afectan al corazón como bomba, sino que también involucran una interacción sistémica con órganos vitales como los riñones, el hígado y los pulmones.

Uno de los primeros mecanismos clave en la fisiopatología de la ICA es la sobrecarga hemodinámica, donde se produce una disminución de la capacidad contráctil del miocardio. Esto provoca una reducción de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo, lo que genera un aumento del volumen y presión telediastólica (7). Este proceso activa el mecanismo de Frank-Starling, un fenómeno que busca optimizar la fuerza contráctil mediante el estiramiento de las fibras musculares, logrando compensar temporalmente el

déficit funcional. No obstante, cuando este mecanismo se prolonga, la presión sobre el ventrículo izquierdo desencadena una serie de cambios estructurales conocidos como remodelado ventricular, lo que altera la geometría del corazón y afecta su función a largo plazo.

El sistema cardiovascular no actúa de manera aislada, y una de las respuestas más relevantes en la ICA es la activación de los sistemas neurohormonales (8). Ante la disminución del gasto cardíaco y la consiguiente hipoperfusión tisular, se activa el eje renina-angiotensina-aldosterona(9) y el sistema nervioso simpático. Estas vías buscan compensar el fallo del corazón a través de un aumento de la retención de sodio y agua, incrementando el volumen circulante. Este fenómeno genera vasoconstricción y aumenta la resistencia vascular, lo que inicialmente puede mejorar la perfusión tisular, pero a largo plazo causa una sobrecarga de volumen que agrava la disfunción ventricular (10) y promueve la progresión del remodelado cardíaco. La liberación excesiva y mantenida de noradrenalina y angiotensina II está asociada con efectos adversos como fibrosis miocárdica, hipertrofia ventricular y un mayor riesgo de arritmias.

Un aspecto crucial en el desarrollo de la ICA es la congestión venosa sistémica, que refleja el aumento de la presión venosa central debido a la incapacidad del corazón para bombear eficazmente la sangre hacia la circulación sistémica (11). Esta congestión afecta principalmente al sistema venoso esplácnico, uno de los principales reservorios sanguíneos del cuerpo, provocando síntomas clínicos como edema periférico, ascitis y disnea. La congestión venosa no solo contribuye al deterioro de la función cardíaca, sino que también juega un papel determinante en la disfunción renal a través del síndrome cardiorrenal. La presión elevada en las venas renales disminuye el flujo sanguíneo renal y el filtrado glomerular, lo que conlleva a una retención de sodio y agua, empeorando aún más la sobrecarga de volumen (12).

En este contexto, la inflamación y el estrés oxidativo emergen como factores adicionales que contribuyen a la progresión de la insuficiencia cardíaca. El endotelio vascular, expuesto a una sobrecarga crónica y a la activación neurohormonal (13), comienza a producir mediadores inflamatorios (14) como citocinas (IL-6, TNF- $\alpha$ ) y radicales libres que amplifican el daño endotelial. Este estado inflamatorio persistente provoca disfunción endotelial, reduciendo la biodisponibilidad de óxido nítrico, un vasodilatador clave, lo que contribuye a la vasoconstricción patológica y al deterioro hemodinámico. Además, el exceso de radicales

libres y la disminución de los sistemas antioxidantes (15) favorecen un estado proinflamatorio y profibrótico, lo que perpetúa el ciclo de remodelado miocárdico y empeora la progresión de la insuficiencia cardíaca.

El remodelado cardíaco patológico es una de las características fundamentales de la ICA. Este proceso implica cambios estructurales y funcionales (16) que comprometen la capacidad del miocardio para cumplir su función de bombeo. El remodelado afecta tanto al ventrículo izquierdo como al derecho, y se acompaña de hipertrofia, fibrosis y, en casos avanzados, dilatación ventricular (17). A nivel celular, los cambios en la matriz extracelular, como el aumento de la producción de colágeno y la activación de las metaloproteinasas(18), son determinantes en la rigidez del tejido cardíaco. Los cardiomiocitos también experimentan alteraciones importantes, particularmente en proteínas como la titina (19), responsable de regular la elasticidad de las fibras musculares. Estas alteraciones a nivel molecular y tisular resultan en una menor capacidad de relajación del ventrículo, lo que exacerba la disfunción diastólica y empeora los síntomas congestivos.

Además, el remodelado no solo se limita al corazón. Las investigaciones recientes han demostrado que el pulmón y el riñón también sufren cambios estructurales significativos durante el curso de la insuficiencia cardíaca(20). En los pulmones, la hipertensión pulmonar asociada a la ICA favorece el engrosamiento de la membrana alveolo-capilar y la fibrosis de los pequeños vasos, lo que reduce la capacidad de intercambio gaseoso y aumenta la disnea (21). En los riñones, la inflamación crónica y el estrés oxidativo inducen daño tubular, disminuyendo aún más la capacidad de filtración y contribuyendo al síndrome cardiorrenal (22).

Toda la interacción de sistemas implicados en el proceso fisiopatológico puede resumirse en la siguiente figura:



Figura 1. Fenómenos implicados en la fisiopatología de la insuficiencia cardíaca, tomado de Sánchez-Marteles y cols (23).

### 3.1.4. PRESENTACIONES CLÍNICAS

Aunque la ICA podría ser de nueva aparición, en la mayoría de los casos esta se encontrará relacionada a una descompensación de una IC crónica de base. En este contexto cabe destacar que aunque la ICA “de novo” potencialmente tendrá mayor mortalidad en el episodio, es su descompensación la que presenta un problema de salud pública mayor en cuanto a su alta tasa de rehospitalizaciones (24) que conlleva este diagnóstico.

Si nos atenemos a la clasificación de la ICA según el perfil hemodinámico y fisiopatológico del paciente a su llegada a Urgencias o en el momento de la valoración médica, de forma reciente y extendida se ha planteado la siguiente clasificación, conociéndose como Clasificación de Stevenson (25) (Tabla 2)

	CONGESTIÓN -	CONGESTIÓN +
PERFUSIÓN +	CALIENTE Y SECO	CALIENTE Y HÚMEDO
PERFUSIÓN -	FRÍO Y SECO	FRÍO Y HÚMEDO

*Tabla 2. Fenotipos clínicos de la ICA según Stevenson.*

De todas formas dichos fenotipos pueden corresponder a una o varias definiciones o tipos clínicos de ICA (25), por lo que se suele adaptar una clasificación bastante más razonable y práctica desde el punto de vista clínico en el que se encuentra no solamente una mera relación entre la presencia de hipoperfusión y la de congestión (26) , sino los mecanismos fisiopatológicos que llevan a cada una de las denominaciones clínicas o tipos clínicos, asumiendo que la posibilidad de entrecruzamiento entre los fenotipos de Stevenson es algo que hay que tener en cuenta a la hora de la evaluación de este tipo de pacientes (27). En la siguiente tabla (Tabla 3) se pueden observar las características anteriormente mencionadas desglosadas según las entidades clínicas que pueden estar implicadas.

	<b>Descompensación aguda de IC</b>	<b>Edema agudo de pulmón</b>	<b>Insuficiencia ventricular derecha aislada</b>	<b>Shock cardiogénico</b>
<b>Mecanismo principal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disfunción VI</li> <li>• Retención renal de sodio y agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento de postcarga y/o disfunción de VI predominante</li> <li>• Enfermedad valvular</li> </ul>	Disfunción VD y/o hipertensión pulmonar precapilar	Disfunción grave VI
<b>Causa de síntomas</b>	Acumulación de líquido, incremento de la presión intraventricular	Redistribución de líquido a los pulmones e insuficiencia respiratoria aguda	Incremento de PVC y a menudo hipoperfusión sistémica	Hipoperfusión sistémica
<b>Inicio</b>	Gradual (días)	Rápido (horas)	Gradual o rápido	Gradual o rápido
<b>Alteraciones hemodinámicas principales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de LVEDP y PCWP</li> <li>• GC normal o bajo</li> <li>• TAs normal o alta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de LVEDP y PCWP</li> <li>• Gasto cardíaco normal</li> <li>• TAs normal o alta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de RVEDP</li> <li>• Gasto cardíaco normal</li> <li>• TAs baja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de LVEDP y PCWP</li> <li>• Gasto cardíaco bajo</li> <li>• TAs baja</li> </ul>
<b>Fenotipo Stevenson</b>	Caliente y húmedo O frío y húmedo	Caliente y húmedo	Frío y seco O frío y húmedo	Frío y húmedo

*Tabla 3. Clasificación fisiopatológica de la ICA.*

Tenemos que destacar que dentro de casi cualquier clasificación académica o fisiopatológica (como son las citadas anteriormente en este apartado) el perfil de paciente que acude a un SUH con un cuadro clínico compatible con ICA, lo hará con una alta probabilidad bajo una forma de descompensación aguda de ICA. Habrá que tener en

cuenta, además, que el síntoma cardinal presente en la práctica totalidad de esos pacientes será la disnea que deberá ser fisiopatológicamente secundaria a edema pulmonar por aumento de la PCWP (28) .

### 3.1.5. DIAGNÓSTICO

Tenemos que considerar que clásicamente se ha considerado al diagnóstico de IC como puramente clínico. Por ello, podremos pensar en principio que se podría llegar a dicho diagnóstico a través de la observación de signos y síntomas concretos, pero la bibliografía muestra que tienen una precisión bastante escasa (29) dado que aparecen en otros síndromes clínicos diferentes tanto desde un punto de vista fisiopatológico como especialmente terapéutico. Es por tanto que el diagnóstico de ICA tendrá que ser basado en un enfoque multimodal, teniendo en cuenta no sólo la clínica sino los hallazgos de pruebas complementarias concretas.

#### 3.1.5.1. HISTORIA CLÍNICA Y EXPLORACIÓN FÍSICA.

La historia clínica es una herramienta fundamental en el diagnóstico de ICA. Una adecuada anamnesis proporciona información crucial sobre la presentación clínica, la duración y la progresión de los síntomas, así como antecedentes médicos y factores de riesgo cardiovascular que pueden contribuir tanto como desencadenante como concomitante. Un interrogatorio exhaustivo dirigido a los síntomas específicos asociados con la ICA puede guiar al médico en la identificación correcta de este síndrome (30).

Respecto a la exploración física, tiene como objetivo la detección de signos clínicos de congestión y de evaluación de la perfusión, lo que ayudaría en principio a la detección del fenotipo clínico mencionado en el apartado anterior. Igualmente tiene como objetivo la identificación de signos asociados y/o concomitantes como la auscultación cardíaca arrítmica que sugiera la existencia de una FA o la auscultación pulmonar de una disminución del murmullo vesicular compatible con un derrame pleural (31).

A pesar de que podamos considerar que, dado que el diagnóstico y los criterios de IC e ICA son meramente clínicos, la historia clínica y la exploración físicas deberían presentar una precisión diagnóstica excelente. Sin embargo, numerosos estudios ponen de manifiesto (32) que ésta tiene muchas limitaciones *per se* a la hora de llegar al diagnóstico, debido a

su escasa precisión especialmente en su sensibilidad. Algunas de estas sensibilidades se muestran en la siguiente tabla:

Síntoma / signo	Sensibilidad
Galope por tercer ruido (S3)	12.7%
Ortopnea	52.1%
Disnea paroxística nocturna (DPN)	46.2%
Edemas maleolares	51.9%
Presencia de soplo	27.4%
Reflejo hepatoyugular	14.0%

*Tabla 4. Sensibilidades de signos/síntomas asociados a IC*

### 3.1.5.2. RADIOGRAFÍA DE TÓRAX

La radiografía de tórax es una herramienta clásicamente considerada como fundamental en la evaluación inicial de pacientes con sospecha de ICA. A través de esta prueba basada en el uso de radiaciones ionizantes, se pueden obtener signos indirectos sobre la función cardíaca y evaluación directa de la presencia de alteraciones en el parénquima pulmonar. En pacientes con ICA, se suele buscar la presencia de cardiomegalia (33), como signo indirecto de alteración morfo-funcional cardíaca. En cuanto a su precisión diagnóstica, no es suficiente para hacer un diagnóstico per se, pero podría añadir cierta información a la hora de tener en cuenta el diagnóstico de ICA. Por otro lado, la presencia de cardiomegalia puede indicar la gravedad de la insuficiencia cardíaca, aunque los datos para soportar esta afirmación son parciales (34)

Fundamentalmente, la radiografía permite evaluar la presencia o no de congestión pulmonar, que es una característica común en la IC, especialmente en pacientes que consultan por ICA en los SUH. Se buscan signos de engrosamiento de los vasos sanguíneos pulmonares y opacidades en los campos pulmonares. Estos hallazgos sugieren la presencia de edema pulmonar secundario a la insuficiencia cardíaca, que en principio y dada la fisiopatología de la propia enfermedad, tendrían un componente de implicación pronóstica en cuanto al número y densidad de la afectación pulmonar (35)

Sin embargo, la radiografía de tórax tiene limitaciones importantes (34) y conceptualmente de precisión. No proporciona una imagen directa del corazón en sí mismo, sino que muestra las estructuras circundantes, lo que puede dificultar la evaluación precisa de la función cardíaca. Además, no distingue entre causas específicas de congestión pulmonar. Puede ser difícil diferenciar entre insuficiencia cardíaca, neumonía o edema pulmonar no cardíaco. La sensibilidad y especificidad de la radiografía para detectar insuficiencia cardíaca pueden variar según la calidad de la imagen y la experiencia del médico (36).

### 3.1.5.3. PÉPTIDOS NATRIURÉTICOS

Desde el inicio de los 2000, se comenzaron a publicar los primeros resultados asociados al emergente papel diagnóstico de los péptidos natriuréticos (37). Entre ellos, el péptido natriurético tipo B (BNP) y la fracción aminoterminal del propéptido natriurético tipo B (NT-proBNP) son especialmente relevantes (38).

El BNP es secretado por los ventrículos del corazón en respuesta al estrés mecánico y neurohormonal. En pacientes con insuficiencia cardíaca aguda descompensada, los niveles de BNP aumentan significativamente. Su medición proporciona información valiosa para el diagnóstico, pronóstico y seguimiento de estos pacientes.

El NT-proBNP es más estable y tiene una vida media más prolongada en comparación con el BNP (39). Esto significa que sus niveles no fluctúan tanto debido a factores como el estrés o la actividad física, lo que facilita su medición y seguimiento a lo largo del tiempo. Además, su umbral diagnóstico es más alto, lo que puede ser útil en pacientes con obesidad o insuficiencia renal, donde los niveles de BNP pueden estar influenciados por estas condiciones. El NT-proBNP tiende a ser más específico para la insuficiencia cardíaca que el BNP (40), lo que lo convierte en una herramienta valiosa para descartar o confirmar la presencia de esta afección. Además, a diferencia del BNP, el NT-proBNP no se ve afectado por la función ventricular específica (sistólica o diastólica), lo que puede ayudar a diferenciar entre diferentes tipos de insuficiencia cardíaca (41), (42)

En el diagnóstico, un nivel elevado de BNP (>100 pg/ml) tiene una considerable sensibilidad (90%) y relativa especificidad (76%) para diferenciar la insuficiencia cardíaca de otras causas de disnea (29). Comparado con la historia clínica, exploración física, análisis de laboratorio y radiografía de tórax, el BNP se ha destacado históricamente como buen predictor del diagnóstico final de insuficiencia cardíaca (43).

Aun así y por supuesto, es importante reconocer las limitaciones asociadas con el uso del NT-proBNP en el contexto de la ICA (37,38,44):

- Variabilidad individual: Los niveles de NT-proBNP pueden variar significativamente entre individuos debido a factores como la edad, el sexo, la función renal y la presencia de comorbilidades. Por lo tanto, no se puede establecer un umbral único para todos los pacientes.
- Comorbilidades: Algunas condiciones médicas, como la insuficiencia renal crónica, la obesidad y la EPOC, pueden afectar los niveles de NT-proBNP. Esto puede dificultar la interpretación precisa en pacientes con múltiples comorbilidades.
- Edad: Los niveles de BNP tienden a aumentar con la edad. Por lo tanto, se debe considerar la edad del paciente al interpretar los resultados.
- Otros factores: El BNP también puede elevarse en situaciones no relacionadas con la insuficiencia cardíaca, como el estrés físico o emocional, la hipertensión pulmonar y la insuficiencia renal aguda.
- Umbral diagnóstico: Aunque un nivel elevado de NT-proBNP sugiere insuficiencia cardíaca, no es específico para esta afección. Se debe combinar con otros hallazgos clínicos y pruebas para un diagnóstico preciso.
- Diferenciación de causas: El NT-proBNP no puede distinguir entre insuficiencia cardíaca sistólica y diastólica. Se requieren otras pruebas, como la ecocardiografía, para determinar la función ventricular específica.

De todas formas hay que recordar que los péptidos natriuréticos tienen bastante más utilidad como marcadores pronósticos que puramente diagnósticos (45) correlacionándose directamente con aumento de mortalidad y parcialmente con un aumento significativo en la tasa de reingresos tras evaluarse en el alta hospitalaria o en el SUH.

## 3.2. ECOGRAFÍA CLÍNICA

### 3.2.1 CONCEPTO, PERSPECTIVA HISTÓRICA E INTRODUCCIÓN

Probablemente una de las aplicaciones tecnológicas más disruptivas de los últimos 30 años en el plano de la Medicina generalista, o puramente transversal como es el caso de la Medicina de Urgencias y Emergencias (MUE) (46), es la aparición de la Ecografía Clínica (EC). Este término se corresponde con la traducción castellanizada (47) del término anglosajón PoCUS (point-of-care ultrasound) (48).

Tenemos obligatoriamente que hacer una distinción entre la ecografía convencional y la EC dado que ésta destaca por su accesibilidad y por su indicación y versatilidad clínica. Además, mientras que la ecografía convencional a menudo requiere equipos con características técnicas complejas y muy frecuentemente son voluminosos, la EC comienza a desarrollarse a mediados de los 90 con la aparición de equipos portátiles (49) que pudiesen llevarse a la propia localización del enfermo, a la cabecera del paciente (de ahí una de sus denominaciones iniciales, *bedside ultrasound*). Este hecho tecnológico fue el impulsor de esta disciplina, facilitando que la EC pueda y deba ser realizada por el médico encargado del cuidado del paciente a la cabecera del este, en situaciones de emergencia, de alta incertidumbre diagnóstica (50) incluso en entornos no hospitalarios (51). En 1996 (52) una de las primeras publicaciones que se consideran dentro del concepto de EC dio origen al protocolo FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma), que popularizó y prácticamente universalizó el concepto de ecografía realizada por un “no especialista” abriendo una ventana de oportunidad que prácticamente ha universalizado esta técnica. Posteriormente se ha comprobado que la precisión diagnóstica de un radiólogo frente a un médico no radiólogo eran equivalentes dentro de ciertas aplicaciones específicas y concretas (53,54).

Además de las características conceptuales anteriormente mencionadas, en relación con la miniaturización de los equipos, existen unas características diferenciales que constituyen la base de la utilización de la EC en entornos clínicos (55) :

- Es una exploración focalizada y limitada, conceptualmente más parecida a una extensión de la exploración física convencional que a una prueba diagnóstica en sí misma.

- Tiene una indicación clara y estrecha, que básicamente busca entender y clarificar la condición fisiopatológica que hay subyacente en el síndrome o sintomatología por la que el paciente consulta y/o está siendo atendido.
- Está diseñada para ser filosóficamente dicotómica, respondiéndose con SI y NO a preguntas que el médico encargado del cuidado integral del paciente se hace, con el fin de estrechar el diagnóstico diferencial y mitigar la incertidumbre diagnóstica.
- Debe realizarse, como se indicó anteriormente, en el punto de cuidado y atención del paciente, sin someter a éste a desplazamientos innecesarios y potencialmente peligrosos (56)
- Para que sea efectiva debe estar precedida de la mayor y mejor cantidad de información clínica obtenida de una historia clínica y exploración física lo más completa posible, y debe realizarse a continuación de las anteriores.

Existen dentro de la EC numerosas aplicaciones que han sido consideradas “básicas” dentro de las competencias que todo especialista en MUE debería tener (57) y que deben ser aplicadas en un entorno de SUH (58), pero para este trabajo en concreto nos ceñiremos únicamente a las aplicaciones que tienen cabida dentro del concepto de evaluación integral, multiórgano o multiventana que deberán valorarse en un paciente con ICA (59).

### 3.2.2. ECOGRAFÍA PULMONAR

#### 3.2.2.1 CONCEPTO

La ecografía pulmonar es una disciplina que en sí misma es probablemente la que mejor encarna los valores conceptuales de la EC dada la necesidad que tiene de ser aplicada y entendida desde un punto de vista meramente clínico, no existiendo por tanto una exploración reglada como en el caso de otras aplicaciones de la EC (60) como la ecografía abdominal o la cardíaca.

Su inicio, aunque parcialmente incierto en cuanto a que el origen real, se cree atribuir a estudios veterinarios en perros y caballos (61). Se debe probablemente a la contribución del Dr. Daniel Lichtenstein, intensivista francés que durante la década de los años 90 comenzó su actividad investigadora sentando las bases de lo que hoy conocemos como

ecografía pulmonar(62,63), a pesar de que estudios bastante anteriores ya habían descrito los hallazgos ecográficos propios de la presencia de líquido libre dentro de la cavidad pleural (64). Lo revolucionario de los estudios de Lichtenstein radican en la descripción de hallazgos que se corresponden con patología parenquimatosa, mediante la definición de imágenes artefactuales, no reales, que lo que indican básicamente es el grado de aireación del parénquima pulmonar, siendo en 1997 la primera vez en la bibliografía que se describió una imagen ecográfica artefactual relacionada con la presencia de síndrome alveolo-intersticial.(63)

### 3.2.2.2. EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA BÁSICA PULMONAR.

A diferencia de otras exploraciones constituyentes de la ecografía pulmonar, como la búsqueda d un neumotórax, dada la necesidad de explorar hacia la profundidad necesitaremos una sonda ecográfica de baja frecuencia. Los estudios de Lichtenstein sugieren la utilización de una sonda microconvexa (60) pero dada la escasez de este tipo de dispositivos en los SUH, y en general en cualquier tipo de equipo de ecografía diseñado para EC, la sonda ideal será una cónvex. Localizaremos el espacio entre dos costillas colocando el eje mayor de la sonda entre las dos costillas, formándose el clásico “signo del murciélago” (65) descrito en la siguiente figura :



Figura 2. Signo del murciélago obtenido con sonda cónvex

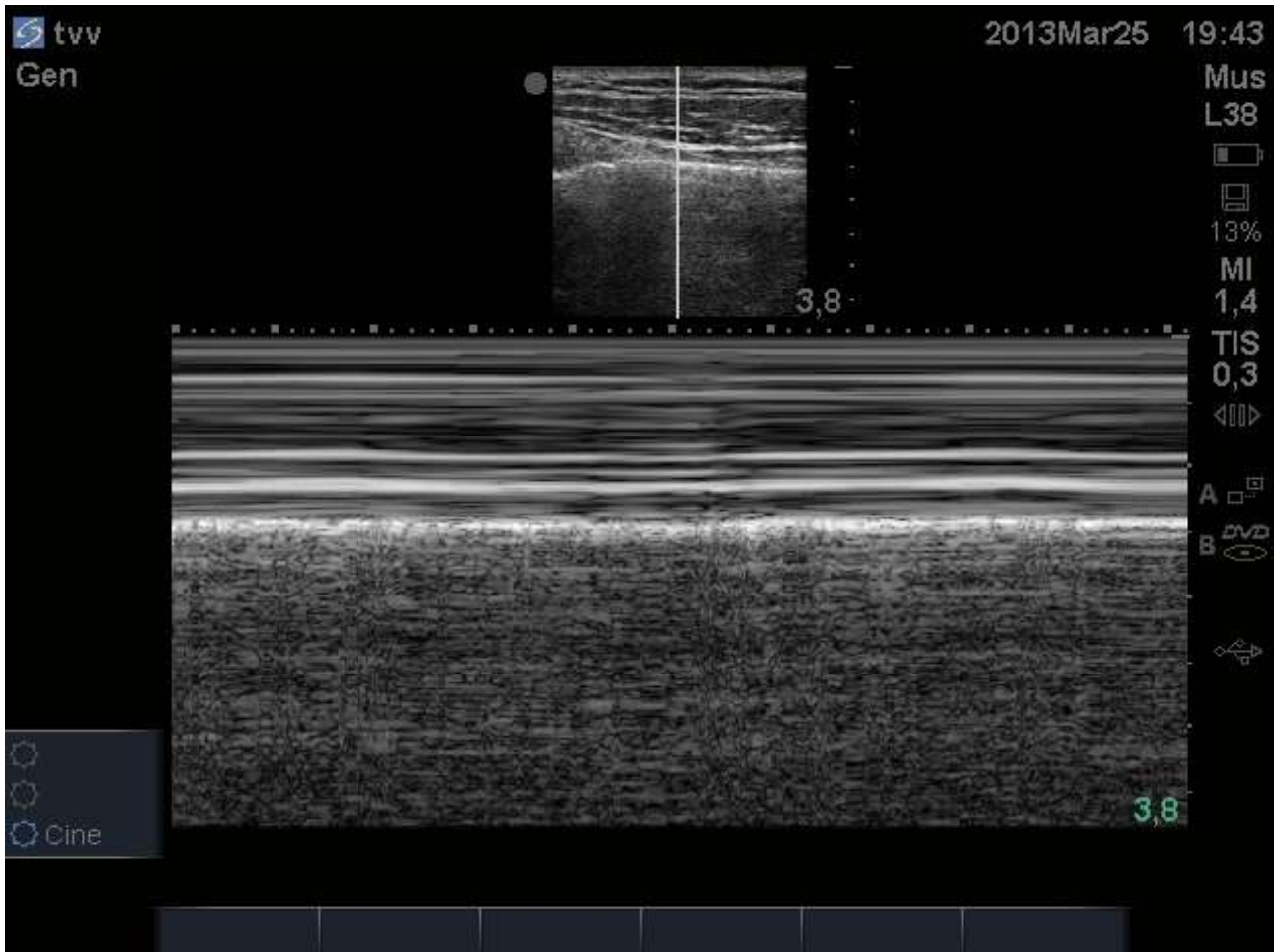
Se aprecian en esta imagen las sombras acústicas generadas por las costillas y justo bajo ellas una línea hiperecogénica que se corresponde, artefactualmente ya sin una clara referencia anatómica real, con la línea pleural.

### 3.2.2.3. DESLIZAMIENTO PLEURAL

Dentro de la exploración pulmonar, el estudio del deslizamiento pleural desempeña un papel fundamental a la hora de evaluar patologías relacionadas con la alteración en la integridad pleural (66). Tenemos que recordar que, en condiciones normales, la capa visceral de la pleura está en contacto con la parietal y durante la respiración el pulmón se expande y se produce una fricción entre ambas (67).

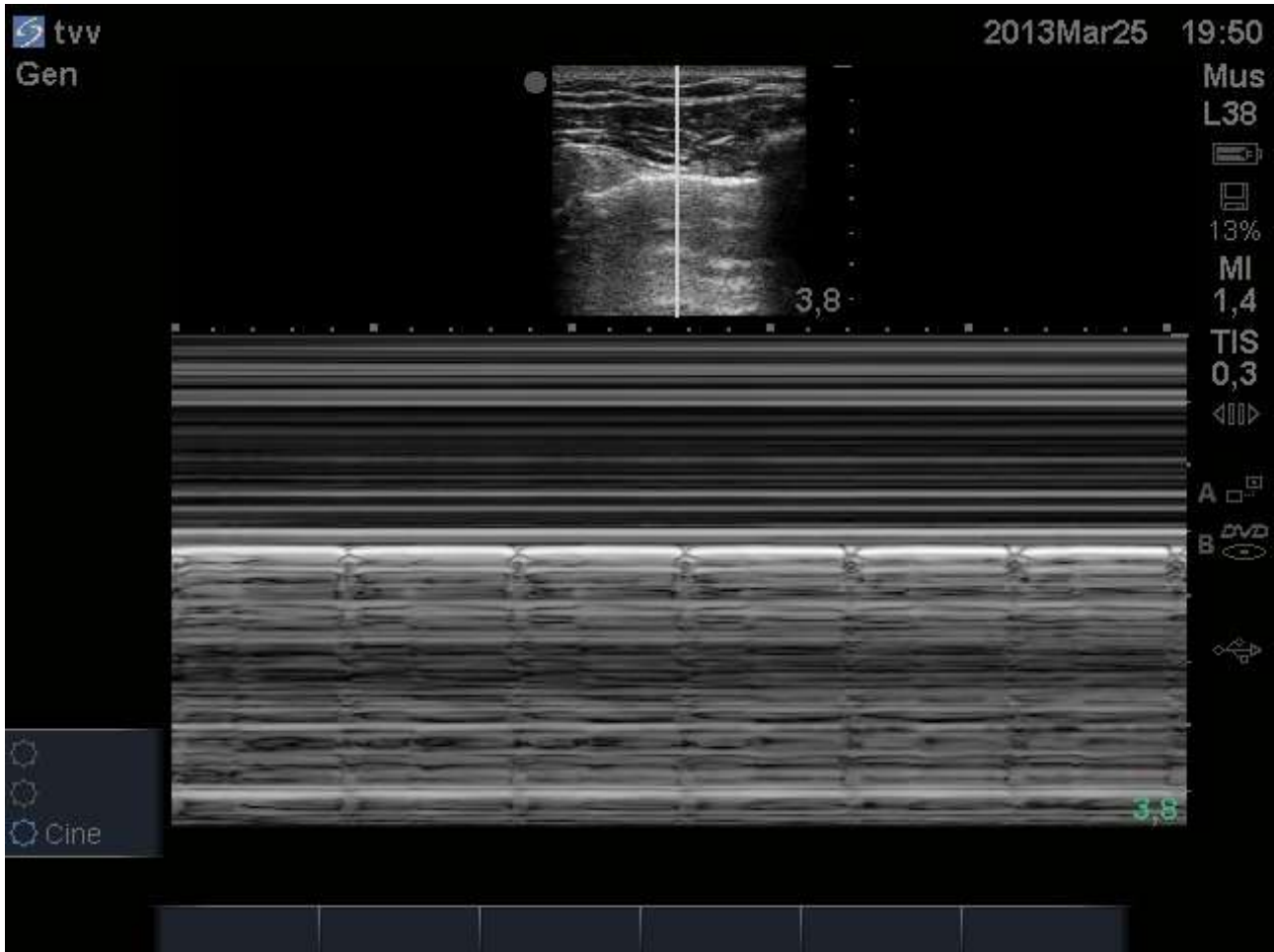
La imagen ecográfica que obtendremos al atravesar la pleura será la de una línea, exactamente la misma que se produce en un cambio brusco de impedancia acústica al pasar de tejido blando al aire, por lo que la imagen que vemos no se corresponde anatómicamente a la pleura y por ello deberemos denominarla línea pleural.

Esta línea pleural, aún sin ser una imagen real, reflejará este movimiento de fricción anteriormente mencionado cuando se produzcan las condiciones necesarias para su aparición: que el pulmón esté ventilado y que ambas capas de la pleura estén en contacto. Ecográficamente se mostrará como un movimiento de vaivén de un lado a otro de la pantalla, denominado deslizamiento pleural. En modo M, que puede ser utilizado cuando haya que demostrar este movimiento y no exista posibilidad de hacerlo mediante un clip de vídeo (como en este trabajo) dado que en profesionales con un mínimo entrenamiento no ofrece ninguna ventaja adicional (68), haremos coincidir la línea entre dos costillas atravesando la línea pleural y obtendremos un patrón lineal por encima de ésta y un patrón más “granular” por debajo, dado que el movimiento de deslizamiento se transmite hacia la profundidad en la zona artefactual. Clásicamente, esto se conoce como el “signo de la orilla del mar”.



*Figura 3. Signo de la "orilla del mar"*

En el caso de que ambas capas de la pleura estén en contacto, pero no exista ventilación efectiva, ese movimiento de fricción o deslizamiento no ocurrirá, pero la línea pleural reflejará la energía cinética de los latidos cardíacos que se transmiten a lo largo de toda la pleura. Este fenómeno se conoce como pulso pulmonar (69) y se objetivará como una sacudida rítmica, coincidente con la frecuencia cardíaca, de la pleura pero sin ver el movimiento de deslizamiento anteriormente citado. En modo M observaremos un patrón lineal a ambos lados de la línea pleural con una transmisión hacia el interior de la imagen de dichas sacudidas. Una de las principales causas de este fenómeno es la intubación selectiva durante el proceso de control de la vía aérea (70).



*Figura 4. Pulso pulmonar.*

Por último, cuando ambas capas de la pleura no tienen una relación anatómico-fisiológica normal, y esto puede ser por diferentes motivos patológicos, no se apreciará ningún movimiento. Esto puede producirse bien porque ambas capas de la pleura no estén en contacto (neumotórax) o bien porque exista una condición que adhiera patológicamente las capas y no permita este deslizamiento, como en caso de una pleurodesis o una enfermedad pleural, o incluso en contexto de una sobredistensión pulmonar en el caso de una ventilación mecánica invasiva con PEEP alta por ejemplo (71). En este caso hablaremos de ausencia de deslizamiento y al utilizar modo M obtendremos una imagen lineal tanto por encima como por debajo de la línea pleural y que es clásicamente denominada “signo de la estratosfera” por el autor que lo describió.

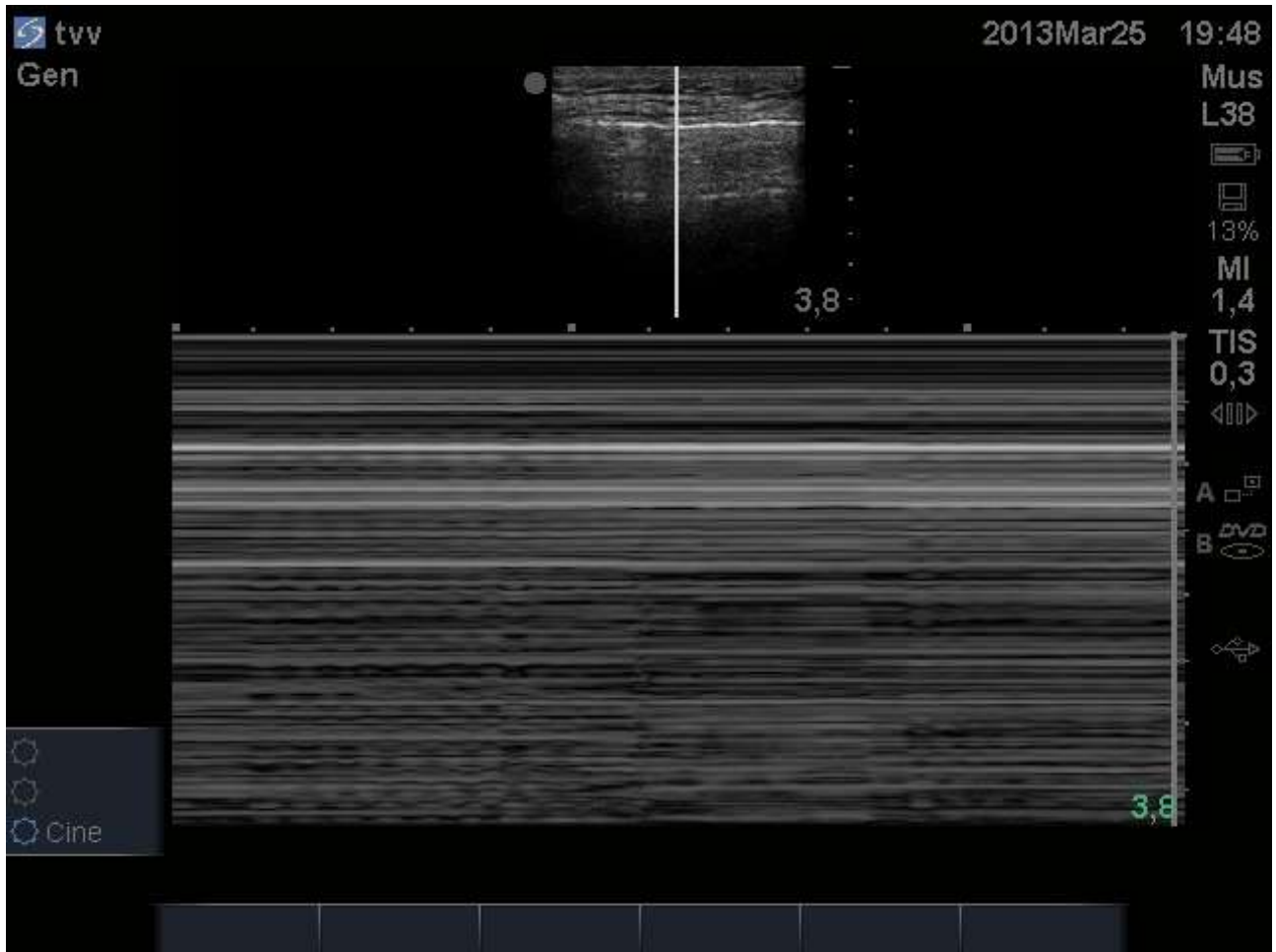


Figura 5. Ausencia de deslizamiento (signo de la “estratosfera”)

Por último, podemos encontrar una imagen en la que se alternan los patrones de deslizamiento y de ausencia de deslizamiento, con un punto de transición móvil. A este signo se denomina punto pulmonar (72) y únicamente puede ser observado en el contexto de un neumotórax no completo con una especificidad estimada del 100% (73), dado que representa la zona exacta donde ambas pleuras empiezan a despegarse, como explica la siguiente figura:

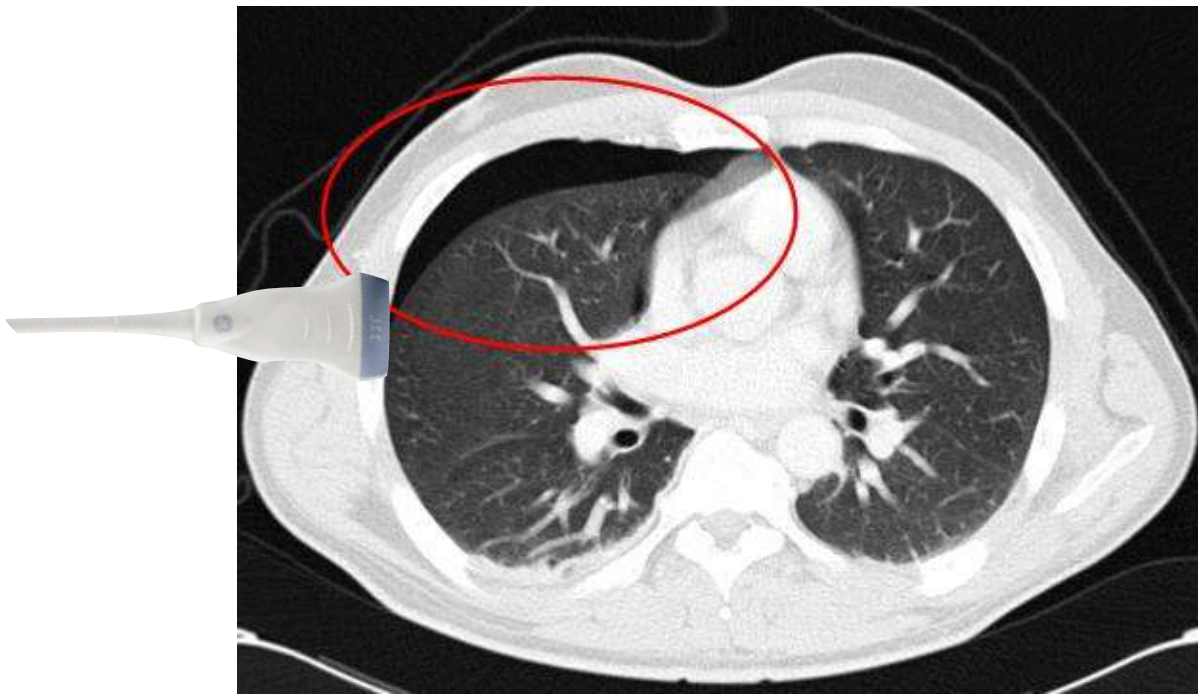


Figura 6. Zona de identificación en el tórax del punto pulmonar.

En la siguiente tabla se resumen, por tanto, todas las posibilidades de movimiento pleural y su significación fisiopatológica:

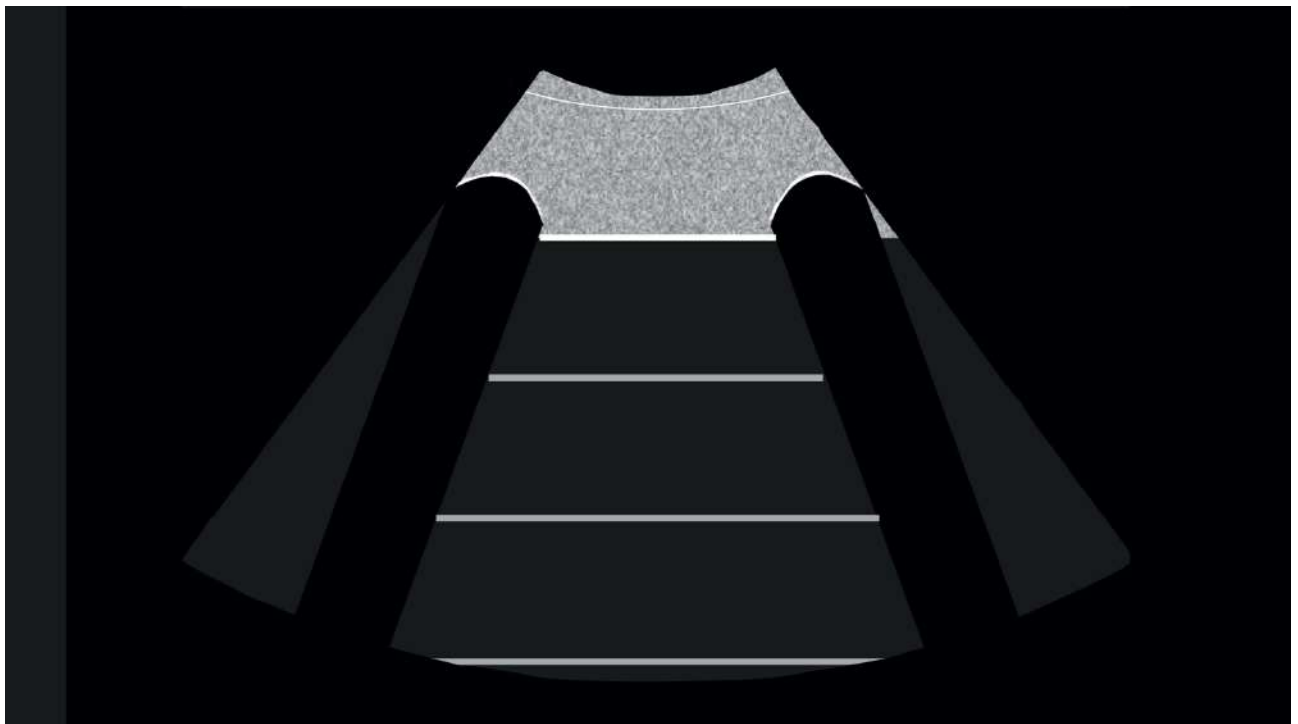
<b>Deslizamiento pleural</b>	<b>No deslizamiento pleural</b>	<b>Pulso pulmonar</b>	<b>Punto pulmonar</b>
NORMAL	NEUMOTÓRAX PLEURODESIS CIRUGÍAS ENFS PLEURALES	PARADA RESPIRATORIA ATELECTASIA	NEUMOTÓRAX

Tabla 5. Correlación clínica de los diferentes tipos de movimiento pleural

### 3.2.2.4 ARTEFACTOS BÁSICOS

A pesar de que la nomenclatura para describir y ordenar dichos artefactos ha ido cambiando, gracias a un trabajo global de consenso (74) entre múltiples especialistas, actualmente la definición de las imágenes artefactuales que definen cada patrón de aireación está altamente estandarizada y por tanto podemos dividir las en:

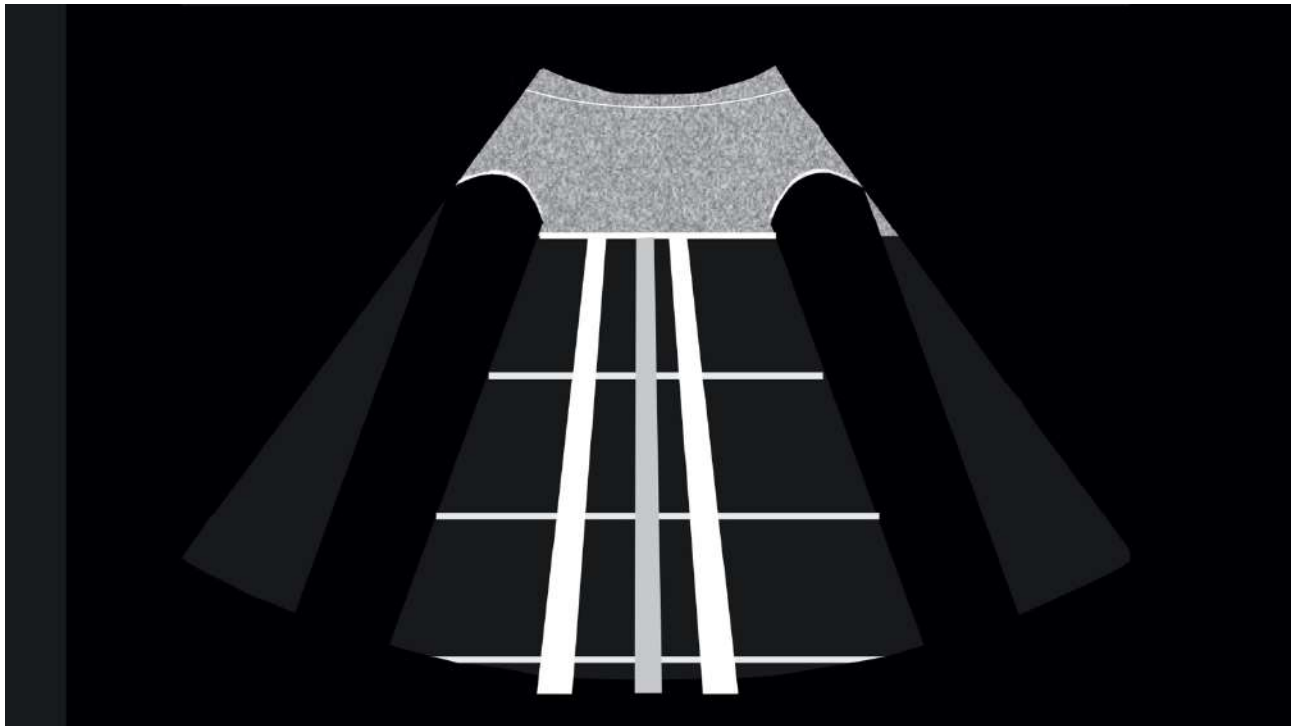
- Líneas A: se trata de un artefacto típico de reverberación que produce el aire cuando el haz de ultrasonidos lo intenta atravesar. En este caso son líneas horizontales, extendidas hasta la profundidad del espacio potencialmente ocupado por el pulmón en la imagen ecográfica básica proporcionada por el “signo del murciélago” que son equidistantes entre sí y representan la distancia múltiplo que hay desde la superficie de la piel hasta la línea pleural. Este artefacto se visualizará cuando el pulmón tenga una aireación normal, o incluso en situaciones donde la aireación es mayor de la habitual como en situaciones de hiperinsuflación (asma, EPOC).



*Figura 7. Representación de las líneas A pulmonares*

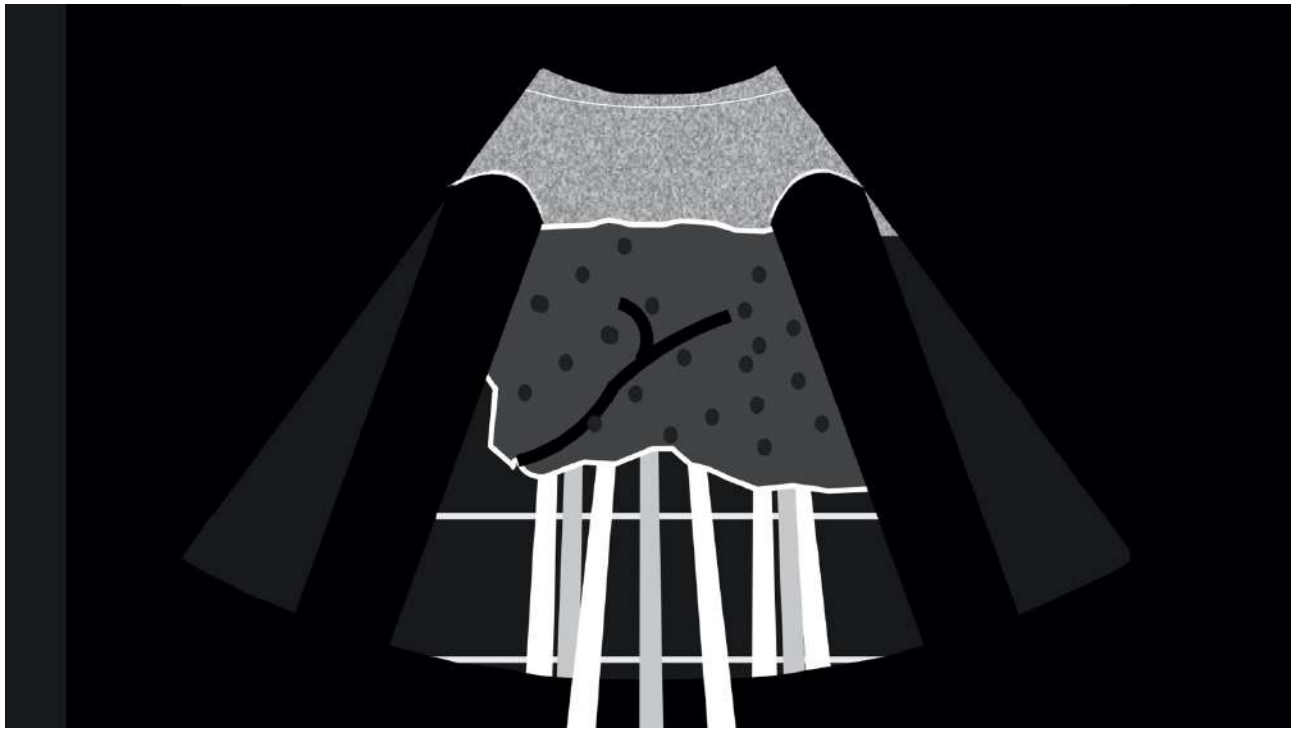
- Líneas B: podría definirse como el artefacto contrario al anterior. Cuando existe una pérdida de aireación en el parénquima pulmonar, por cualquier causa ya sea alveolar o intersticial o una mezcla de ambas, se generan desde la línea pleural artefactos lineales hiperecogénicos (75), bien definidos, que se mueven con la línea pleural (en el caso de

que la línea pleural tenga deslizamiento) y que lleguen hasta el final de la pantalla sin perder energía, borrando además las líneas A definidas en el punto anterior. Dado que puntualmente pueden verse en pacientes sin patología se definirá la presencia de un proceso que altere patológicamente esta relación de aire y materia en el parénquima pulmonar cuando se observen tres o más líneas B en un espacio intercostal (partiendo siempre del signo del murciélago). Igualmente podremos afirmar que el número de líneas B y el grado de aireación siguen una relación inversamente proporcional (a mayor número de líneas B observadas, menor grado de aireación en ese parénquima pulmonar). Hay que añadir, además, que estas líneas B pueden superponerse formando conglomerados o *clusters* de líneas B, lo que indicarían que ese segmento en concreto tiene aún menor grado de aireación (76).



*Figura 8. Representación de las líneas B pulmonares*

- Patrón C o patrón de consolidación: esta imagen es la única que no es de tipo artefactual, implicando una nula aireación del parénquima pulmonar a ese nivel y secundariamente la producción de una consolidación de tipo parenquimatosa. Las consolidaciones parenquimatosas, en principio, únicamente se producirán en el contexto de una afectación tanto alveolar como intersticial y generalmente de tipo infeccioso (neumonía), mecánico / obstructivo (atelectasia) o de tipo tumoral. Para hablar de consolidación, ésta deberá ser de tamaño mayor a 1.5 cm (77).



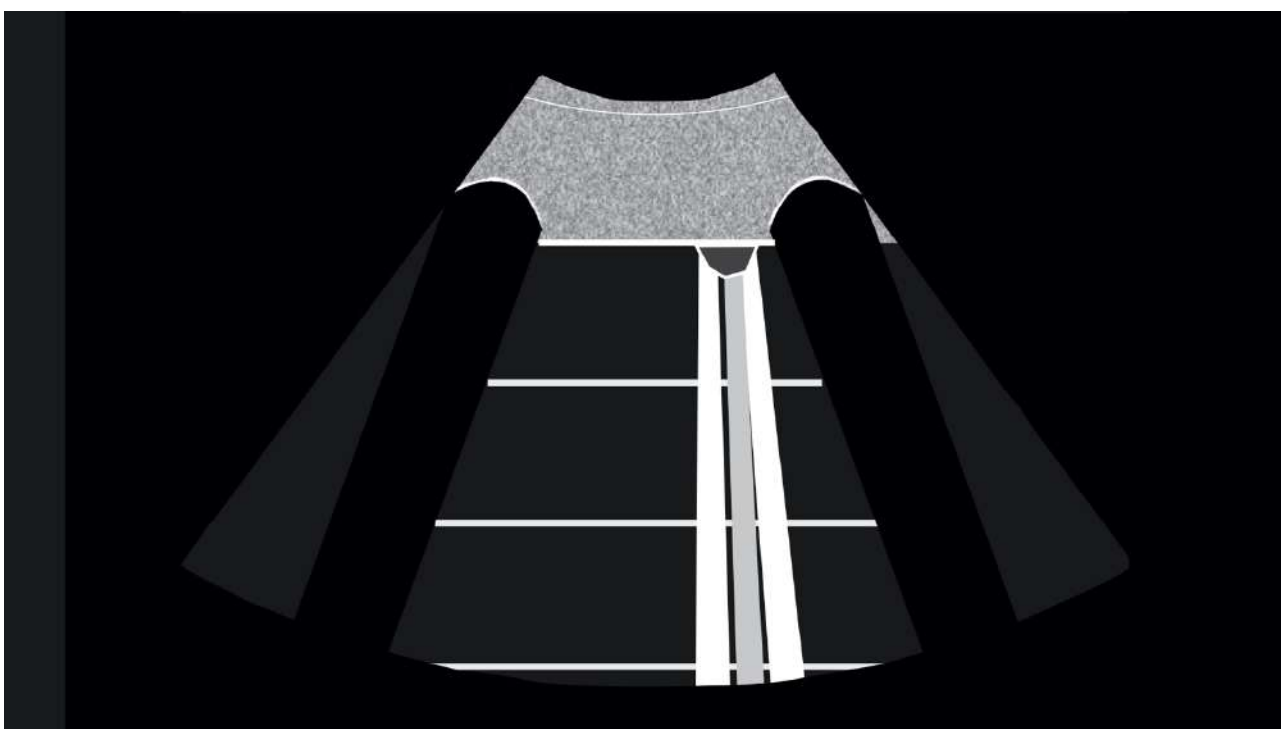
*Figura 9. Representación de una consolidación parenquimatosa.*

#### 3.2.2.4. ECOGRAFÍA DE LA LÍNEA PLEURAL

La presencia de líneas B y su distribución nos ofrecen una idea diagnóstica bastante certera sobre el proceso que lleva a la presencia de un síndrome intersticial ecográfico (difuso o no dependiendo de dicha distribución). De todas formas, por sí mismas, y a pesar de que han existido intentos por diferenciar los tipos de síndrome intersticial en base al tipo de líneas B y su separación (78), esta diferencia es puramente académica y muy dependiente del tipo de equipamiento y de valores puramente físicos del haz de ultrasonidos (79), por lo que no puede llegarse a la conclusión de que esta diferencia sea únicamente fisiopatológica en relación a la ocupación alveolar o intersticial.

Esta diferencia sí que se puede llegar a apreciar en representación ecográfica de la línea pleural, de tal manera que situaciones clínicas con mayor perfil crónico y de afectación intersticial (como por ejemplo cualquier tipo de fibrosis pulmonar) alteran dicha línea, con una apariencia irregular (80), a diferencia de afectaciones alveolares de evolución aguda o subaguda, como en del edema pulmonar (81), que mantendrían la imagen de la pleura como una línea similar a la del pulmón normal.

Otra de las alteraciones típicas de la línea pleural que separa los procesos más secundarios a presencia de edema alveolar frente a pérdida de aireación intersticial es la consolidación subpleural (82) . Definida como un área triangular de base pleural y vértice hacia el interior del parénquima, de menos de 1 cm de tamaño y que aparece en diferentes situaciones clínicas (83), dependiendo del contexto de prevalencia epidemiológica, así puede corresponder a un infarto pulmonar en contexto de enfermedad tromboembólica (84), con una lesión típica de infección respiratoria y neumonitis vírica tanto en adultos (85) como en edad pediátrica (86), o ser la lesión predominante en situaciones en unidad de críticos (87). Por tanto, la aparición de esta lesión, aunque aporta sensibilidad, exigirá de un entorno clínico para potenciar sus valores predictivos.



*Figura 10. Representación de una consolidación subpleural con líneas B asociadas.*

### 3.2.2.5 DERRAME PLEURAL

Una de las primeras aplicaciones de la ecografía a nivel pleuropulmonar es la evidencia y estudio del derrame pleural, fundamentalmente por la facilidad que tiene los ultrasonidos de detectar la presencia de líquido, hecho que puede ser incluso aplicable a operadores con poca experiencia (88). En este caso, el derrame pleural se localizará en la zona más declive de la cavidad libre estando, por tanto, en relación con el receso costofrénico posterior. Este punto de referencia anatómico es constante independientemente de la postura del paciente (sentado, semisentado o incluso en decúbito supino) por lo que nuestra

exploración ecográfica comenzará en este punto, a nivel de línea axilar posterior con un corte coronal y el marcador de la sonda hacia la cabeza del paciente, con una sonda de baja frecuencia.

En el caso de que no exista derrame, se observará un artefacto de imagen en espejo por encima del diafragma, en el que se observará la apariencia de que el hígado o el bazo aparecen a ambos lados de dicha estructura.

La presencia de un derrame pleural se caracteriza por la existencia de una imagen anecoica por encima del diafragma. En ocasiones, dependiendo del ángulo de incidencia del haz de ultrasonido, también en condiciones normales puede observarse una imagen que parece anecoica en condiciones normales. Para diferenciar entre ambas condiciones, podemos utilizar diferentes signos. El primero de ellos es el “signo de la columna” (89) en el que, en el caso de un derrame pleural, éste actuaría como ventana acústica para poder observar cuerpos vertebrales por encima de la referencia anatómica del diafragma. El segundo es observar directamente una imagen tisular en el interior del derrame (90) correspondiente a la atelectasia pasiva del pulmón secundaria a dicho derrame.

Igualmente, existen varias fórmulas para el cálculo del volumen de derrame para hacer una estimación del mismo únicamente desde la evaluación ecográfica (91), e incluso pudiendo lograr su categorización (92), ambas con evidentes beneficios potenciales en un entorno clínico.



*Figura 11. Derrame pleural derecho.*

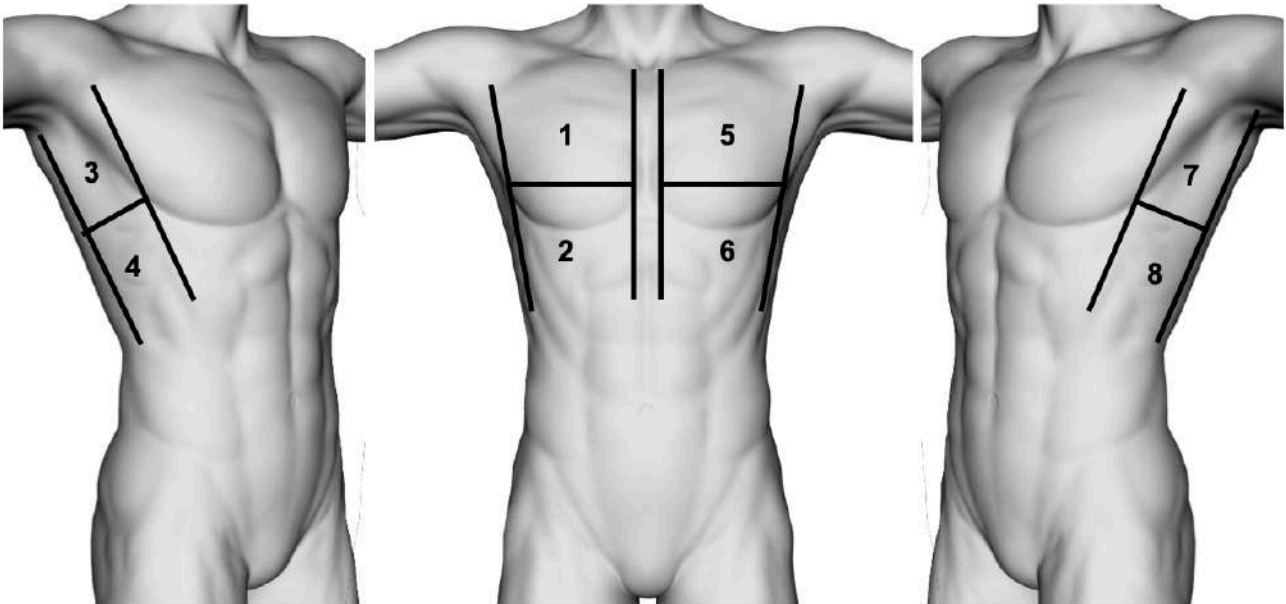
### 3.2.2.6. ECOGRAFÍA PULMONAR EN LA ICA

Con lo mencionado anteriormente, parece evidente que los pacientes que acuden a un SUH teniendo la disnea como síntoma cardinal en el contexto de la descompensación de la IC (ver Tabla 4) el mecanismo subyacente es un aumento de la PCWP con la consiguiente aparición de edema pulmonar a nivel alveolar.

Por tanto, es esperable la aparición de líneas B sin formar ni consolidaciones subpleurales ni consolidaciones parenquimatosas, debido a la ausencia de afectación intersticial (93), con una precisión global mayor a la de la radiografía convencional (94).

La presencia de estos artefactos para diferenciar situaciones clínicas compatibles con ICA frente a otro tipo de síndromes clínicos causantes de disnea, como la EPOC (95) ,ya fue evidenciada desde el principio de las publicaciones en ecografía pulmonar, aunque el diagnóstico en sí no se basa únicamente en la mera detección de tres o más líneas B en un espacio intercostal sino en la presencia de varios espacios afectados de forma bilateral, formando el denominado síndrome intersticial difuso ecográfico (74).

Para ello, debemos tener una percepción lo más objetiva posible de la distribución de estos artefactos y de su localización, asumiendo que el líquido se comportará de forma a priori gravitacionalmente dependiente. Es por este motivo que se establece una sistemática de 8 zonas pulmonares, a diferencia de otras divisiones en menos zonas, como las seis clásicas zonas BLUE (96) en las que el tórax se divide a través de las líneas paraesternales, axilares anteriores y axilares posteriores obteniéndose dos zonas por cada área marcada, como se aprecia en la figura (Fig. 3)



*Figura 12. División del tórax en 8 áreas según el Consenso Internacional de Ecografía Pulmonar (74) de 2012.*

Con esta división definiremos objetivamente la presencia de un síndrome intersticial difuso ecográfico al encontrar dos o más zonas positivas en cada uno de los dos hemitórax de forma bilateral.

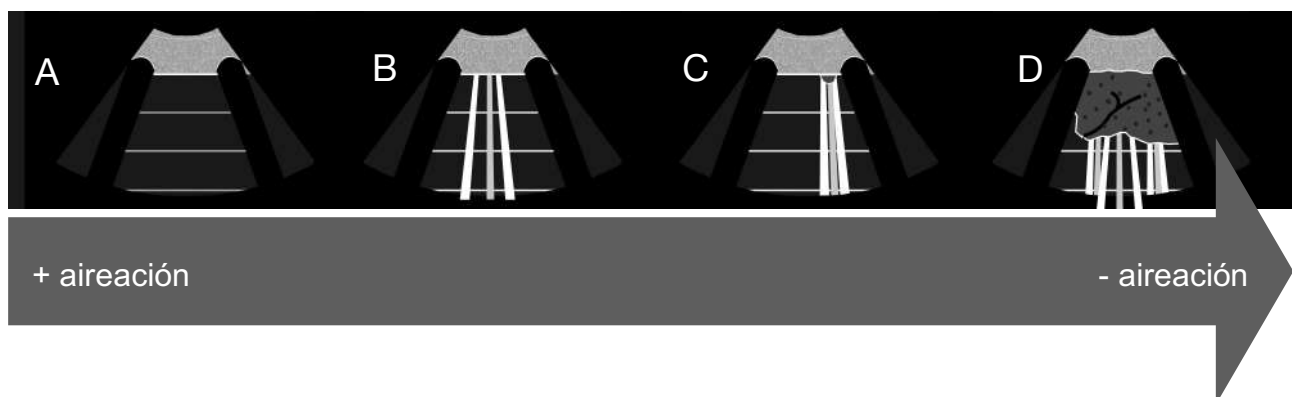
Diversos estudios muestran la elevada precisión diagnóstica de la ecografía pulmonar aislada para el diagnóstico de ICA, aunque su utilidad, tal como se ha contado desde el inicio de este apartado, se ve exponencialmente incrementada cuando se incorpora dentro de una estrategia diagnóstica integrada con la información clínica, con unos valores óptimos de razones de verosimilitud tanto positiva como negativa (97).

Aun así, no podemos afirmar que la ecografía pulmonar sea en sí misma una herramienta suficiente para el diagnóstico, aunque la presencia de un síndrome intersticial difuso con

una distribución simétrica y sin claros signos de afectación intersticial (línea pleural irregular y/o presencia de consolidaciones subpleurales con áreas parcheadas de parénquima sano en mitad de las zonas de afectación de líneas B) sugeriría fuertemente su diagnóstico siempre y cuando la ICA esté incluida dentro de los diagnósticos diferenciales, condición que es necesaria para aplicar una razón de verosimilitud.

### 3.2.2.7. MONITORIZACIÓN

Especialmente en patología no alveolar, existe una graduación en la aireación parenquimatosa, que los ultrasonidos son capaces de detectar dada su capacidad de revelar densidades tisulares correspondiéndose con un color concreto dentro de la escala de grises. En este caso el grado de aireación será expresado con un mayor o menor número de los artefactos e imágenes anteriormente mencionados (98), tal como se puede ver en la siguiente figura. (Fig.2)



*Figura 13. Diferentes imágenes ecográficas pulmonares ordenadas según la aireación en patología intersticial (A. líneas A; B. líneas B aisladas; C. líneas B confluentes con una consolidación subpleural; D: consolidación parenquimatosa)*

Si utilizásemos la ecografía pulmonar únicamente para fines diagnósticos, probablemente estaríamos subestimando su característica más importante. En el caso concreto de la ICA los cambios producidos por los tratamientos más comúnmente utilizados modificarían la aireación del pulmón en un plazo que no debería ser mayor al de horas (99). En otras circunstancias, como en el reclutamiento en el contexto de la ventilación mecánica, éste cambio en la aireación se produce muy rápido, en minutos, por lo que la ecografía pulmonar se ha destacado como una herramienta de valor incuestionable para la monitorización de su efectividad a tiempo real (100). Ello hace de la ICA una condición patológica

prácticamente “hecha a medida” para la ecografía pulmonar, donde los cambios producidos por las estrategias terapéuticas (a través de la presión positiva en dispositivos de soporte respiratorio o incluso a través de las acciones farmacológicas que inducen a la diuresis) se van a producir en un espacio temporal a corto plazo (101).

### 3.2.3. ECOGRAFÍA CLÍNICA CARDÍACA

#### 3.2.3.1. CONCEPTO Y ÁMBITO DE UTILIZACIÓN

Al igual que EC es la traducción o adaptación al español del acrónimo anglosajón PoCUS, la EC cardíaca (ECC) es el equivalente del FoCUS (Focused Cardiac Ultrasound) (102). En este caso, sí que existe un problema de confusión con su equivalente reglado, la ecocardiografía, por lo que las recomendaciones internacionales dejan clara cuál es su marco de utilización desde un punto de vista eminentemente práctico. Así pues, podemos contextualizar y conceptualizar sus indicaciones (103) y “reglas básicas” (104) que en cualquier ámbito no puramente cardiológico deberían respetarse (102,105):

- De nuevo, se considera a la EC cardíaca como una extensión de la exploración física (una especie de fonendoscopio visual -aunque esta terminología no debería utilizarse-) en vez de una prueba diagnóstica
- Debe ser una exploración limitada en cuanto al número de vistas utilizadas para la evaluación morfofuncional del corazón
- Al igual que la EC, la orientación de las cuestiones dirigidas debería ser bimodal o dicotómica, buscando un SI o NO como respuesta
- La evaluación debería ser cualitativa mayoritariamente pudiendo ser semicuantitativa en ocasiones concretas; esta evaluación funcional cardíaca debería hacerse tomando como referencia la estimación visual.
- Tiene que buscarse la orientación hacia un objetivo concreto, bien sea hacia el diagnóstico o bien hacia la monitorización, siendo éste conceptualmente tiempo-dependiente.

- Si se detecta alguna anomalía estructural, especialmente si no es explicada por la fisiopatología, requerirá de forma siguiente la realización de una prueba reglada.

### 3.2.3.2. PATRONES DE PATOLOGÍA

En la filosofía FoCUS la caracterización semicuantitativa de patrones se basa en la aplicación de conceptos básicos de fisiopatología cardíaca en la evaluación mediante la estimación visual de la estructura y fisiología del corazón. Patogénicamente, la hipertrofia afecta visualmente a los ventrículos y se produce por una sobrecarga de presión mantenida en el tiempo, es decir crónica. Las aurículas sometidas a una sobrecarga de presión o de volumen crónicas sufren una dilatación significativa. Tanto la detección de la hipertrofia ventricular y/o de la dilatación auricular son evaluables mediante estimación visual, hecho que ya es conocido en la bibliografía (106).

Además de lo anterior, la estimación visual permite la identificación del derrame pericárdico, los signos de fisiopatología de taponamiento cardíaco, la estimación de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), los signos de cor pulmonale y globalmente la presencia o ausencia de contracción mecánica cardíaca.

Los patrones patológicos, por tanto, se muestran en la siguiente tabla:

<p><b>[1] DISFUNCIÓN SISTÓLICA AGUDA VI</b></p>	<p><b>[2] DISFUNCIÓN SISTÓLICA AGUDA VD</b></p>	<p><b>[3] DISFUNCIÓN BIVENTRICULAR SISTÓLICA AGUDA</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• HIPOCINESIA GLOBAL VI (visual + EPSS AUMENTADO)</li> <li>• NO SIGNOS CRÓNICOS VI</li> <li>• ± ALTERACIONES SEGMENTARIAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DILATACIÓN VD</li> <li>• HIPOCINESIA VD (visual + TAPSE reducido)</li> <li>• NO SIGNOS CRÓNICOS VD</li> <li>• ± DISCINESIA SISTÓLICA SEPTAL (sobrecarga presión)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HIPOCINESIA VI GLOBAL</li> <li>• HIPOCINESIA VD (visual + TAPSE reducido)</li> <li>• NO SIGNOS CRÓNICOS VI NI VD</li> </ul>
<p><b>[4] HIPOVOLEMIA GRAVE</b></p>	<p><b>[5] DERRAME PERICÁRDICO</b></p>	<p><b>[6] TAPONAMIENTO</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VI PEQUEÑO tamaño telediastólico y telesistólico (VI hiperdinámico)</li> <li>• VD PEQUEÑO, VD HIPERDINÁMICO</li> <li>• VCI PEQUEÑA Y COLAPSABLE (Respiración espontánea) VCI PEQUEÑA Ventilación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ESPACIO ANECOICO/HIPOECOICO EN ESPACIO PERICÁRDICO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DERRAME PERICÁRDICO</li> <li>• SIGNOS DE COMPRESIÓN (COLAPSO: sistólico AD, diastólico VD, sistólico AI, diastólico VI)</li> <li>• VCI PLETÓRICA</li> </ul>
<p><b>[7] PARADA CARDÍACA</b></p>	<p><b>[8] Sospecha de DISFUNCIÓN VALVULAR GRAVE AGUDA</b></p>	<p><b>[9] Sospecha de COR PULMONALE CRÓNICO</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• COMPLETA AUSENCIA DE MOVIMIENTO MIOCÁRDICO (incluso con movimiento valvular)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MOVIMIENTO VALVULAR ANORMAL ("flail" valvular aórtica o mitral, prolapso, restricción)</li> <li>• y/o AGUJERO ANATÓMICO en valvas</li> <li>• y/o presencia de MASAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DILATACIÓN VD</li> <li>• HIPOCINESIA VD (visual + TAPSE reducido)</li> <li>• HIPERTROFIA VD Y DILATACIÓN AD</li> </ul>
<p><b>[10] Sospecha de DISFUNCIÓN CRÓNICA VI (MIOCARDIOPATÍA DILATADA)</b></p>	<p><b>[11] Sospecha de DISFUNCIÓN CRÓNICA VI (MIOCARDIOPATÍA DILATADA)</b></p>	<p><b>[12] Sospecha de ENFERMEDAD VALVULAR CRÓNICA</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DILATACIÓN VI Y AI</li> <li>• HIPOCINESIA GLOBAL VI</li> <li>• ± ALTERACIONES DE LA CONTRACTILIDAD SEGMENTARIA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HIPERTROFIA VI MARCADA</li> <li>• DILATACIÓN AI</li> <li>• ± HIPOCINESIA GLOBAL VI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ENGROSAMIENTO VALVULAR ANORMAL</li> <li>• MOVIMIENTO VALVULAR ANORMAL</li> </ul>

TABLA 6. Patrones de reconocimiento visual de patología según Via G, et al. (102) en 2014

### 3.2.3.3. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO FOCUS

A pesar de la revolución que supuso la definición del concepto FoCUS en 2014 (102), creando un marco común de utilización para médicos especialistas distintos a la Cardiología, el mero uso de la estimación visual (107) como herramienta para la evaluación cardíaca es, en muchas ocasiones, insuficiente .

Es por ello que, en la actualidad, se está aumentando exponencialmente el uso de tecnologías que clásicamente estaban fuera de la definición de EC cardíaca o FoCUS pero que en determinadas circunstancias aportan una información de incuestionable valor para el clínico pudiéndose igualmente realizarse a pie de cama. Actualmente hay soporte en la bibliografía para asegurar que con entrenamiento adecuado, un no especialista puede realizar mediciones utilizando diferentes modalidades de Doppler (108) como el pulsado, continuo o tisular. Es por ello que aplicaciones típicamente consideradas como “avanzadas” o puramente ecocardiográficas ahora están al alcance de especialistas en MUE (109,110) o en otras especialidades que valoren pacientes críticos (111) . Parte de estas aplicaciones incluyen:

- Doppler pulsado: medición de la integral velocidad-tiempo (VTI) aórtica como surrogado del gasto cardíaco, y medición del flujo transmitral para estimación de la disfunción diastólica.
- Doppler continuo: medición de velocidades y gradientes para cuantificación de disfunción valvular.
- Doppler tisular: medición de velocidades anulares para cuantificación de disfunción diastólica.

### 3.2.3.4. FOCUS EN LA ICA

Hay que recordar que la ecografía es la técnica no invasiva que más se acerca al patrón oro del diagnóstico de IC, que es el aumento de la presión telediastólica de la AI y un aumento de la PCPW, más que una definición clínica (112).

Por tanto, la demostración de un patrón de disfunción diastólica tipo IV, demostración del conglomerado fisiopatológico descrito anteriormente, en un contexto evocador donde la IC

estuviese en el diagnóstico diferencial, nos daría probablemente el diagnóstico de ICA con bastante certeza, y para ello es necesaria la realización de una ecografía cardíaca.

Igualmente, la evaluación mediante la filosofía FoCUS o EC cardíaca ayudaría en la identificación de patrones de patología que pudieran confundirse con una ICA, como el derrame pericárdico o el patrón de cor pulmonale agudo. Pero no hay que olvidar que la IC tiene alteraciones estructurales u orgánicas a nivel cardíaco que son causas por sí mismas para el desencadenamiento de un episodio o episodios de ICA como es una valvulopatía, que puede ocurrir hasta en el 33% de los casos (113).

Por último, desde un punto de vista más terapéutico, la IC se clasifica según la FEVI que presenta el paciente. Así pues, FEVI por debajo del 40% se consideraría una entidad en sí denominada IC con fracción de eyección no preservada, a diferencia de las FEVI por encima del 50% denominadas IC con fracción de eyección preservada. Por supuesto, para la obtención de este parámetro de forma cómoda e incruenta, se precisa la utilización de la ecografía y debe hacerse con una medición estandarizada (114), aunque igualmente subrogada (técnica de Simpson biplano) (115). La detección y posterior clasificación de la IC según la FEVI es necesaria, dada la actual diferencia en cuanto al manejo terapéutico y pronóstico de estas situaciones (116).

### 3.2.4. VENA CAVA INFERIOR

#### 3.2.4.1. CONSIDERACIONES ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS

Esta estructura venosa sufre de forma visible por deformaciones en su estructura tridimensional por las variaciones de presiones tanto a nivel hidrostático, esta es su propia presión intravascular, como las de alrededor (presión intratorácica con las diferentes presiones respiratorias, o incluso presiones intraabdominales). Anatómicamente está situada desde el abdomen hasta el tórax, con su desembocadura directa en la AD, y este hecho le ha servido para que clásicamente se ha ya relacionado con la PVC (117) a través de las deformaciones anteriormente citadas, que se manifiestan en un corte ecográfico bidimensional como diferentes diámetros cuando éste corte se realiza en su eje mayor desde un acceso sagital paramedial derecho.

Las variaciones tanto de su diámetro máximo y mínimos (causadas por las variaciones de presiones intratorácicas inspiratoria y espiratoria) y su índice de colapsabilidad, que está representado por la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max}} * 100$$

donde *IC* es el índice de colapsabilidad, *Dmax* el diámetro máximo espiratorio y *Dmin* el diámetro mínimo inspiratorio.

#### 3.2.4.2. APLICACIONES CLÍNICAS Y LIMITACIONES

Dada su correlación con la PVC anteriormente mencionada, uno de los usos de la evaluación ecográfica de la VCI es la de inferir situaciones de respuesta a volumen, posicionándose hace unos años como una de las herramientas más prometedoras en este campo dada la dificultad de detectar a los pacientes respondedores de una forma incruenta, pero no tardaron en aparecer trabajos de diversa índole en los que se ponían en tela de juicio los principios fisiopatológicos de inferir esa respuesta en base a parámetros demasiado simplificados, como es asumir que la colapsabilidad y la variabilidad en los diámetros obedece únicamente a variaciones en la presión hidrostática o intravascular de la VCI (118).

A partir de ahí, la evaluación de la VCI no permite su lectura como una visión monoorgánica sino en un contexto ecográfico y fisiopatológico, siendo una herramienta que proporciona cierta información, especialmente cuando los valores obtenidos son extremos, dado que situaciones con una PVC muy alta indican no respuesta a volumen por lo general, y situaciones con una PVC mínima sí que es muy seguro proporcionar volumen como primera medida, siempre en el contexto de una hipotensión y reflejando esa PVC los valores de la VCI (119).

Igualmente, para utilizar la VCI el paciente requiere de unos parámetros respiratorios controlados, ya sea bien por encontrarse en respiración activa espontánea o bien totalmente pasiva, conectado a ventilación mecánica invasiva (120). Por tanto, la utilización de la ventilación mecánica no invasiva (VMNI) es probablemente una de las mayores limitaciones conceptuales y uno de los errores a la hora de evaluar la VCI (118).

### 3.2.4.3. VCI EN ICA

Teniendo como referencia inicial fisiopatológica el aumento de presiones intracardíacas, es razonable pensar, y patológicamente plausible, que se traduzca en un aumento retrógrado (121) de presiones hacia la VCI produciendo una disminución en su CI y un aumento de sus diámetros máximos y/o mínimos. Este es precisamente el inicio de las hipótesis de diferentes trabajos sobre la precisión de estas medidas en el diagnóstico de IC, dada la facilidad en su obtención comparada con otros métodos más complejos. Estos estudios optimizan el punto de corte del CI en torno al 20% con una sensibilidad media del 62% y una especificidad del 86% (122), pero destaca la heterogeneidad de los mismos.

Por ello una de las conclusiones universales de este tipo de estudios es que la evaluación ecográfica de la VCI no debería ser tomada como única medida y debería, por tanto, ser integrada en un proceso de razonamiento más complejo, dado a que los valores aislados tienen un rendimiento subóptimo.

De todas formas, la evaluación de la VCI sí que tiene un papel más evidente en el manejo y monitorización del paciente con ICA, bien como guía de la terapia deplectiva o bien como marcador pronóstico de reingresos (123) o mayor estancia media en hospitalización (124).

### 3.2.5. ECOGRAFÍA CLÍNICA MULTIÓRGANO

Hemos visto que la precisión por separado de algunas exploraciones ecográficas no es suficiente para llegar a una orientación diagnóstica, dado que, por ejemplo, la evidencia de una FEVI reducida, o una VCI de tamaño grande con poca colapsabilidad, o un patrón B bilateral pueden verse en numerosas patologías distintas de la ICA.

Desde el inicio de la EC, son varias los autores, instituciones y Sociedades Científicas que han propuesto el uso de la EC multiórgano (57,105) como potencial solución de paliar este problema, además de que una valoración multiorgánica, enfocada en problemas clínicos, tiene más sentido desde un punto de vista de manejo integral (125). Así, tendríamos la suma de las precisiones diagnósticas por separado, optimizando tanto los valores de sensibilidad como los de especificidad para un problema concreto. Igualmente, es en contextos clínicos de alta prevalencia donde la EC multiórgano presenta una rentabilidad mayor, apoyándose en los valores predictivos en lugar de la sensibilidad o especificidad.

Son varias las aplicaciones de la EC multiórgano o multiventana, destacando la enfermedad tromboembólica venosa (126) o la sepsis (127), además de la evaluación de la inestabilidad hemodinámica sin causa (128). En el caso de la ICA (129) creemos que se trata de un escenario clínico igualmente favorecedor para su uso, entendiendo que permitiría no solo buscar un diagnóstico dicotómico sino desenmascarar o desvelar el trasfondo fisiopatológico que lleva al paciente a manifestar la sintomatología cardinal, especialmente la disnea.

### 3.2.6. INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ECOGRAFÍA CLÍNICA E ICA

El uso de la Inteligencia Artificial (IA) es algo todavía relativamente reciente en el ámbito de la EC, pero en los últimos cinco años muchos equipos incorporan herramientas de cálculo automatizado (130). Simultáneamente comenzaron los estudios de validación y/o de concordancia para saber cuánto de fiable eran este tipo de herramientas a la hora de medir variables que posteriormente tenían una utilización con fines clínicos (131,132). El objetivo principal de la utilización de estas herramientas sería disminuir la tasa de variabilidad interoperador, que se atribuye a la ecografía de forma genérica, aunque en la EC, dadas las aplicaciones concretas de su uso, no sean tan importantes como en su equivalente reglado. Aun así, otro de los objetivos que alcanza la implementación de estrategias y herramientas basadas en aplicaciones de IA dentro de la EC es el de disminuir el tiempo necesario para la realización de mediciones asociando una potencial disminución de la variabilidad del resultado por movimiento de la sonda (especialmente en aplicaciones basadas en la detección y medición de flujos Doppler).

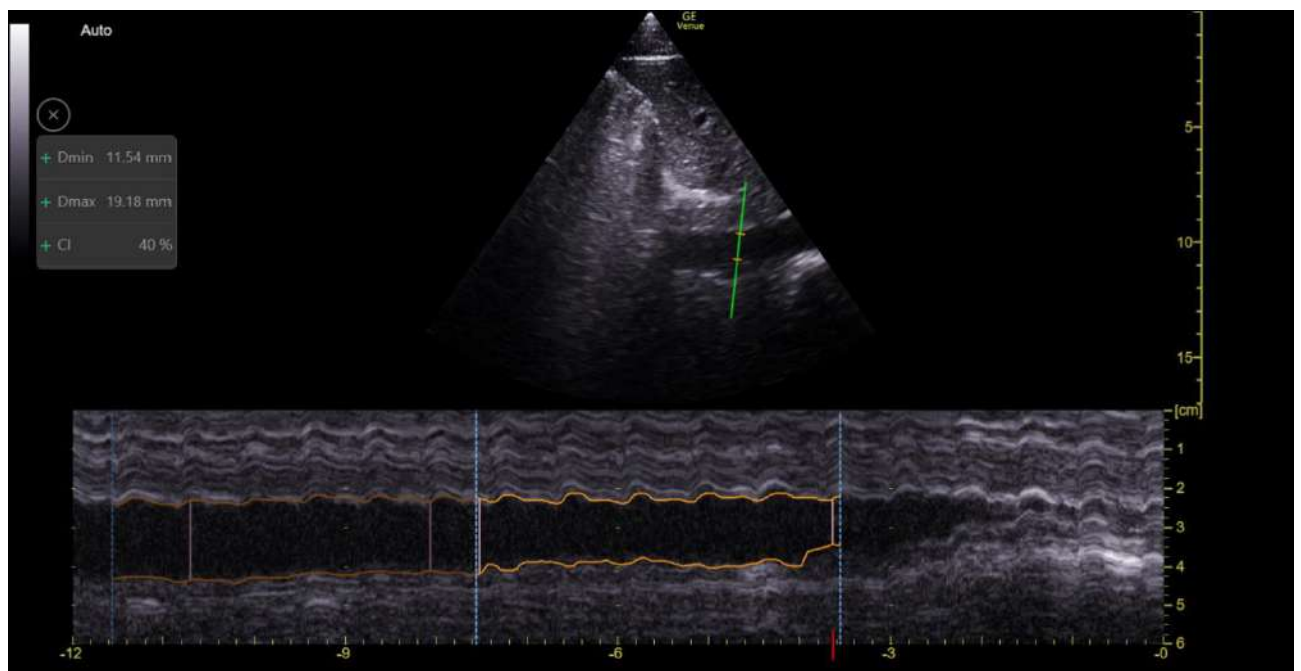
Dentro de dichas aplicaciones destacan especialmente dos a la hora de ser aplicadas a un entorno clínico de ICA, aunque podría ser aplicable a otros escenarios críticos como el shock de causa indeterminada, o la disnea sin etiología aparente, son:

- Detección automática de líneas B (133,134): teniendo en cuenta que para el diagnóstico de síndrome intersticial difuso no se requiere un claro conteo de estos artefactos, el número total de líneas B (denominado score pulmonar) sí que tiene implicaciones clínicas en cuanto a la medición de la afectación alveolar por el aumento del EVLW (135). Igualmente, el cambio obtenido por el tratamiento puede monitorizarse y para ello es necesaria la medición de estos artefactos en número y en localización. Esta localización automática presenta una excelente correlación con la evaluación por un experto, dada la facilidad en el reconocimiento de estos artefactos.



Figura 14. Detección automática de líneas B pulmonares

- Detección automática de medidas de VCI (136): la necesidad de mediciones tanto del diámetro máximo espiratorio y del mínimo inspiratorio y el porcentaje de colapsabilidad requieren de tiempo. Actualmente existen sistemas basados en IA que directamente trazan una línea de Modo M anatómico en el punto de evaluación de la VCI (perpendicular al eje mayor del vaso en ese punto concreto) y obtiene automáticamente dichos valores cuantitativos con una excelente correlación con expertos.



*Figura 15. Medición automática de diámetros y colapsabilidad de la VCI.*

Adicionalmente podemos destacar que hay varias herramientas con utilidad potencial en el contexto de la atención al paciente cardiovascular, y concretamente igual en la IC, como:

- Auto FEVI (137): cálculo automático tanto a través de una técnica de Simpson biplano (con la necesidad de obtener dos vistas apicales) o bien en una apical cuatro cámaras estándar, a tiempo real.
- Auto diástole: únicamente con una vista apical, el software localiza el punto para la evaluación del flujo transmitral y categoriza y mide las ondas E y A para obtener el tipo de disfunción diastólica (138)
- Auto VTI (139): aunque más centrada para la evaluación hemodinámica, también podría detectar situaciones de bajo gasto cardíaco, a través del flujo a través del tracto de salida aórtico.



# 4

## **HIPÓTESIS**



## 4. HIPÓTESIS

La Ecografía Clínica es una herramienta útil en pacientes clasificados de ICA como diagnóstico principal en un SUH para comprobar dicho diagnóstico, encontrar diagnósticos alternativos y además para encontrar información adicional que pueda justificar un cambio de actitud terapéutica o logística de cara a la ubicación u optimización del flujo de esos pacientes dentro del Servicio.





# 5

## **OBJETIVOS**



## 5. OBJETIVOS

### 5.1. PRINCIPAL

Evaluar la efectividad de un protocolo de doble comprobación con EC multiórgano en pacientes diagnosticados de ICA en un SUH, medida como la proporción de pacientes bien clasificados frente a mal clasificados (encontrando un diagnóstico alternativo).

### 5.2. SECUNDARIOS

- Enumerar cuáles son los diagnósticos alternativos que se clasifican erróneamente como ICA.
- Comprobar cuáles son las variables medidas y la técnica empleada que se asocian a la identificación de un diagnóstico alternativo y a la obtención de información adicional en pacientes con diagnóstico confirmado de ICA.
- Describir cambios en la ubicación de los pacientes tras la aplicación del protocolo de doble comprobación: cambios en la actitud en urgencias (observación, alta o ingreso) y cambios en la ubicación (cambios de Servicio hospitalario)
- Crear un algoritmo diagnóstico y obtener un árbol de decisión que prediga la confirmación del diagnóstico de ICA, tanto de forma simple como a través de un modelo de *machine learning* que pondere las variables medibles.





# **JUSTIFICACIÓN**



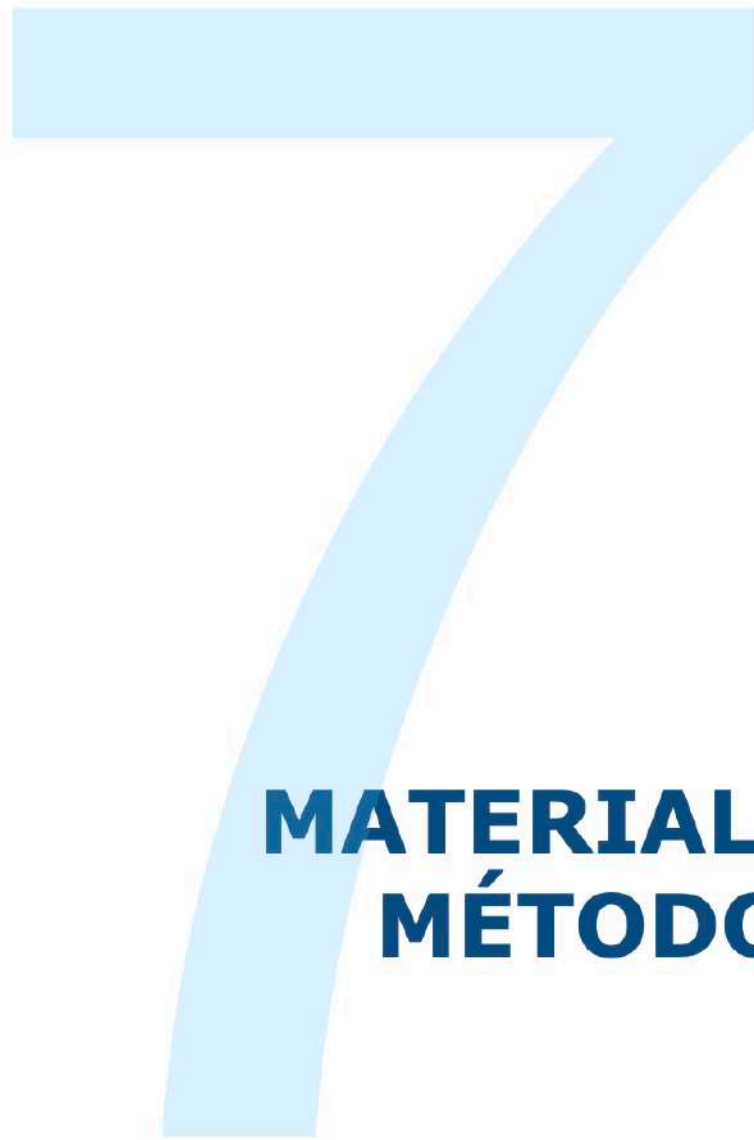
## 6. JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta todo lo descrito en el apartado de introducción, la ICA es una patología con una probabilidad alta de mala clasificación, rondando aproximadamente el 30%, en los SUH (29). Dada la alta prevalencia de esta patología en el contexto sanitario de la MUE, se hacen necesarias medidas que conformen una “red de seguridad” para este tipo de pacientes, dado el problema potencial de esa mala clasificación: el tratamiento de la ICA es potencialmente deletéreo para otros diagnósticos diferenciales, especialmente los que cursan con una infección de tipo bacteriano, pudiendo condicionar una potencial sepsis/shock séptico, o en el caso del derrame pericárdico que podría condicionar un taponamiento cardíaco.

La EC es una herramienta que presenta una implementación cada vez mayor dentro de los SUH y tiene una potencial alta capacidad para evidenciar patrones concretos que se corresponden a estados fisiopatológicos en los que el diagnóstico de ICA o alternativos se podrían plantear de una forma a priori más precisa que el criterio clínico de un profesional sanitario añadiendo pruebas complementarias como la determinación sanguínea de NT-proBNP o la radiografía de tórax. Además, la EC se está convirtiendo en un estándar de cuidado dentro de la evaluación de numerosos síndromes clínicos como la disnea sin causa o el paciente con sintomatología de potencial origen cardiovascular.

En la bibliografía, aunque existen trabajos que exploran la precisión de diferentes aplicaciones de la EC (97,122) en el diagnóstico de IC e ICA tanto por separado como según el concepto de multiórgano (129), hasta la fecha no existen trabajos como este en el que se integren en la práctica clínica diaria de los SUH el uso de un protocolo ecográfico que asegure una adecuada clasificación de los pacientes. Además, se pretende evaluar el impacto de este protocolo ecográfico a la hora de la gestión de la ubicación de los pacientes y/o comprobar en un entorno clínico real esta tasa de mala clasificación que se le asume al diagnóstico clínico junto con biomarcadores de la ICA (140) .





# **MATERIAL Y MÉTODOS**



## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1 TIPO DE ESTUDIO

Se trata de un estudio observacional, prospectivo analítico y transversal, de tipo unicéntrico.

### 7.2. ÁMBITO DEL ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el Servicio de Urgencias del Hospital Universitario de La Paz, un centro hospitalario de tercer nivel de complejidad, situado en el norte del municipio de Madrid que presta atención sanitaria a una población promedio de unos 500.000 habitantes. El Servicio de Urgencias atendió, según los datos de su último registro, a unos 260.000 pacientes, con una tasa de ingresos del 12.07% generando 27.301 ingresos urgentes.

El Servicio de Urgencias está separado por tipos de patología, con una estructura arquitectónica propia para las urgencias pediátricas, gineco-obstétricas, traumatológicas y por último médicas. Dentro de este recinto de Urgencias médicas, donde se atiende una mediana de 550 pacientes diarios, existen varios espacios diferenciados para atender los pacientes según su prioridad y gravedad, desde boxes de atención inicial hasta consultas ambulatorias. Además, consta de salas de preingreso u observación donde los pacientes esperan a la disponibilidad de espacio en hospitalización o realizan una evolución temporal terapéutica. El total de camas del Servicio de Urgencias supera el número de 100.

### 7.3. POBLACIÓN DEL ESTUDIO

#### 7.3.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se definió como caso a todo paciente que estaba en el cambio de guardia a las 8.00 am con el diagnóstico principal de ICA. Se incluyeron pacientes con los siguientes criterios:

- Mayores de 18 años
- Pacientes en los que el juicio principal sea “insuficiencia cardíaca”, “insuficiencia cardíaca aguda”, “insuficiencia cardíaca congestiva” sin otros diagnósticos secundarios que pudieran ser considerados parte del diagnóstico diferencial.

- Pacientes que estuviesen pendiente de evolución clínica o a la espera de ingreso hospitalario.
- Pacientes en los que no se hubiese usado la EC para llegar a dicha orientación diagnóstica, y en cuyo cuidado directo o supervisión haya estado implicado personal adjunto del SUH (se excluyen pacientes vistos exclusivamente por médicos residentes)
- Sujetos que tras haber recibido la información sobre el estudio, los objetivos y los posibles riesgos que de participar en él puedan derivarse, otorguen por escrito su consentimiento de participar.

### 7.3.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Situación de inestabilidad hemodinámica: TAs menor a 100 mmHg o FC mayor a 130 lpm o necesidad de fármacos vasoactivos en el momento de la inclusión, o necesidad de VMNI o ventilación mecánica
- Diagnóstico de “cuadro mixto” o inclusión en el diagnóstico diferencial de uno que pudiese ser considerado como alternativo (TEP, infección respiratoria, neumonía)
- Imposibilidad de obtener vistas ecográficas por situación clínica del paciente (ej: imposibilidad de realizar decúbito supino)
- Negativa a participar en el estudio

## 7.4. CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL

Asumiendo una presencia de diagnósticos alternativos en nuestra muestra de un 15%, esto es mucho menor que en la bibliografía, pero buscando ser especialmente conservadores a la hora de obtener el cálculo, asignándose además una potencia del 80%, un error alfa de 0.05 y una proporción de pérdidas del 5%, se obtuvo un resultado del tamaño de muestra total de 81 pacientes. El número final de pacientes incluidos fue de 96 para tener una precisión suficiente en la evaluación de las otras variables y objetivos secundarios del estudio.

## 7.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se incluyeron 96 pacientes no consecutivos que cumplían criterios de inclusión, según un muestreo oportunístico, es decir, cuando uno de los reclutadores estaba presente en el SUH para realizar la exploración ecográfica.

## 7.6. VARIABLES RECOGIDAS

### 7.6.1. DEMOGRÁFICAS

- Edad
- Sexo

### 7.6.2. CLÍNICAS

- Antecedentes personales de:
  - IC
  - Diabetes
  - Cardiopatía isquémica
  - EPOC
  - Enfermedad renal crónica
  - FA
  - Valvulopatía conocida previa
  - FEVI disminuida previa
- Tratamiento o estrategia terapéutica elegida para la terapia deplectiva

### 7.6.3. ECOGRÁFICAS

#### 7.6.3.1. PULMONARES

- Número de líneas B por cuadrante en el sistema de 8 zonas pulmonares
- *Score* pulmonar (suma de las anteriores hasta un máximo de 40 - 5 por zona-)
- Presencia de consolidación parenquimatosa
- Presencia de derrame pleural

#### 7.6.3.2. ECOGRAFÍA CARDÍACA

- Presencia de patrón compatible con derrame pericárdico cuantificado al menos como moderado.
- Presencia de patrón compatible con cor pulmonale agudo.
- Cálculo de FEVI en % según método de Simpson biplano
- Cuantificación de valvulopatía a nivel aórtico, mitral o tricuspídea y categorización de las mismas como al menos moderada
- Cuantificación de presiones derechas y categorización de hipertensión pulmonar al menos como moderada
- Patrón de disfunción diastólica

#### 7.6.3.3. VENA CAVA INFERIOR

- Diámetro máximo espiratorio
- Diámetro mínimo inspiratorio
- Índice de colapsabilidad en %

#### 7.6.4. ANALÍTICAS

- NT-proBNP

#### 7.7. MÉTODO DE EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA

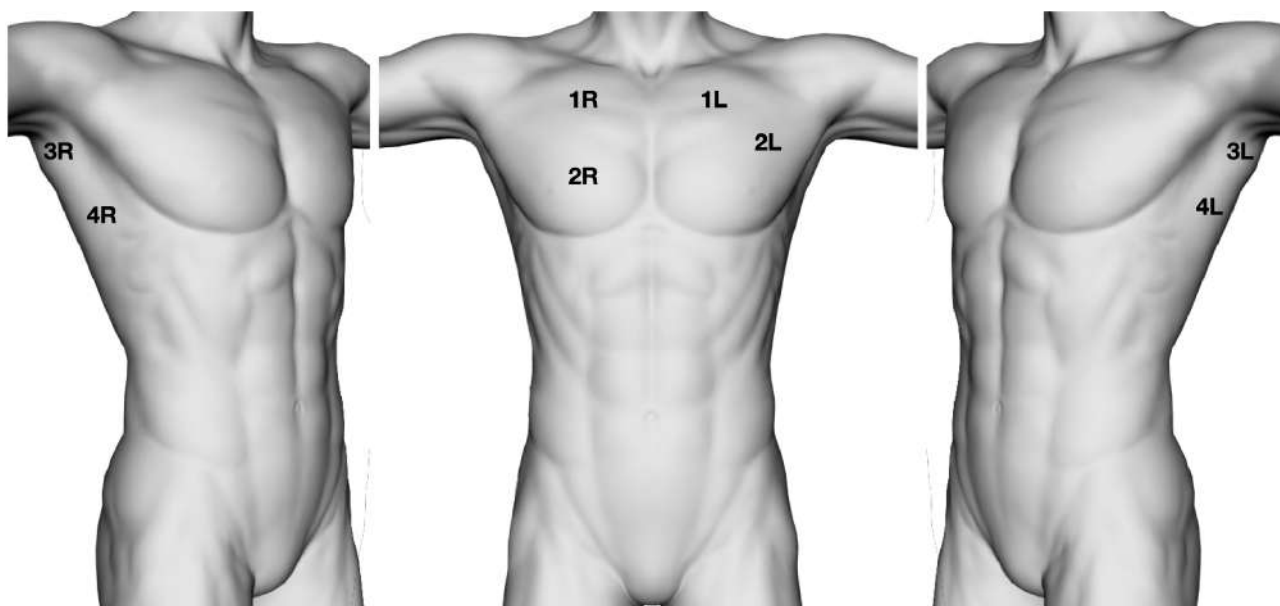
Se utilizó un ecógrafo de la marca GE Healthcare de la serie Venue con herramientas de cálculo automático, con sonda phased array 3S, sonda cóvex C1-5 y sonda lineal L4-20. El equipo tenía disponible modo B, además de Doppler color, pulsado, continuo y tisular. Además, tenía posibilidad de cálculos cardiológicos para la medición de flujos y gradientes de presión (Figura 5)



*Figura 16. Ecógrafo GE Venue, con el que se realizó este trabajo, con herramientas de cálculo automático basado en IA.*

Partiendo de una posición semisentada, estándar en el cuidado de pacientes con sospecha de ICA, se utiliza una metodología basada en 8 zonas pulmonares para la evaluación de las líneas B pulmonares. Dadas las características basales de los pacientes (ver Resultados) la edad avanzada y la frecuente coexistencia de comorbilidad causando

cardiomegalia precisó una modificación de las zonas, utilizando por tanto una sistemática adaptada recogida en la siguiente figura



*Figura 17. Sistemática pulmonar adaptada en nuestro protocolo*

Se procedió al conteo de líneas B en cada espacio intercostal delimitado por dos costillas, según el signo del murciélago (Fig 2), entre 0 y 5, asignando este último a todas aquellas situaciones donde se observasen 5 ó más líneas B. Con la suma aritmética de las ocho zonas exploradas se construyó un score pulmonar (141). Este conteo se realiza de forma automática mediante el software “Auto B Lines” del equipo.

El diagnóstico de presunción de ICA se establecería con la definición de la evidencia de un síndrome intersticial difuso (74), según el cual se necesitaría la presencia de tres o más líneas B en, al menos, dos de las cuatro zonas de un hemitórax y además de forma bilateral. Para el diagnóstico alternativo de neumonía se utilizaría la evidencia de una consolidación parenquimatosa o un patrón focal de líneas B con o sin alteraciones de la línea pleural. Para el diagnóstico alternativo de infección respiratoria, la sospecha sería la evidencia de un patrón B bilateral o no, con alteraciones de la línea pleural en forma de consolidaciones subpleurales.

Para la evaluación ecográfica de la VCI se solicitó al paciente pasar a posición en decúbito y se realizó un corte parasagital derecho, obteniendo una visión de eje largo del vaso. A partir de ahí, a 2-3 cm de la desembocadura en la AD se realizó el punto de corte para la

determinación de los diámetros máximos, mínimos y el índice de colapsabilidad. Esta determinación igualmente se realizó con el software propio “Auto IVC”.

Dentro de la evaluación ecocardiográfica, ésta se basó en la realización de una primera evaluación visual en la que se identificaba un patrón obstructivo que pudiese constituir un diagnóstico alternativo (derrame pericárdico y/o signos de cor pulmonale agudo). Hay que destacar que, en la consideración del diagnóstico alternativo de derrame, éste debe tener una categoría, al menos, moderada, definido como la presencia de una cámara de material anecoico o hipoecogénico circunferencial, de al menos 1 cm de espesor y dicha cámara no desaparezca durante la sístole. Posteriormente, y basándose en la aplicación de criterios fuera del concepto FoCUS, como es la cuantificación, se realizaron las siguientes determinaciones:

- Cálculo del patrón de disfunción diastólica: mediante la utilización de Doppler pulsado en una vista apical 4 cámaras, con la caja de muestreo a nivel de la zona de apertura mitral y la obtención de las ondas E y A. Para la obtención y medición de las ondas e' y a' se utilizó Doppler tisular a nivel del anillo mitral.
- Cálculo de estenosis/insuficiencias valvulares: con una categorización al menos moderada, asumiendo su potencial relevancia clínica en lugar de incluir las leves. Se realiza la medición en la vista más adecuada con la que se pueda evaluar con Doppler continuo de la forma más perpendicular posible, intentando aislar la válvula a estudiar del resto (apical 5 cámaras, apical 4 cámaras).

En general, para la realización de la exploración ecográfica multiórgano, el tiempo dedicado era menor a los 10 minutos, fortaleciendo el compromiso de los examinadores con la interferencia con el curso clínico del paciente. La sistemática completa, con ventanas exploradas y orden de realización, se resume en la siguiente figura:

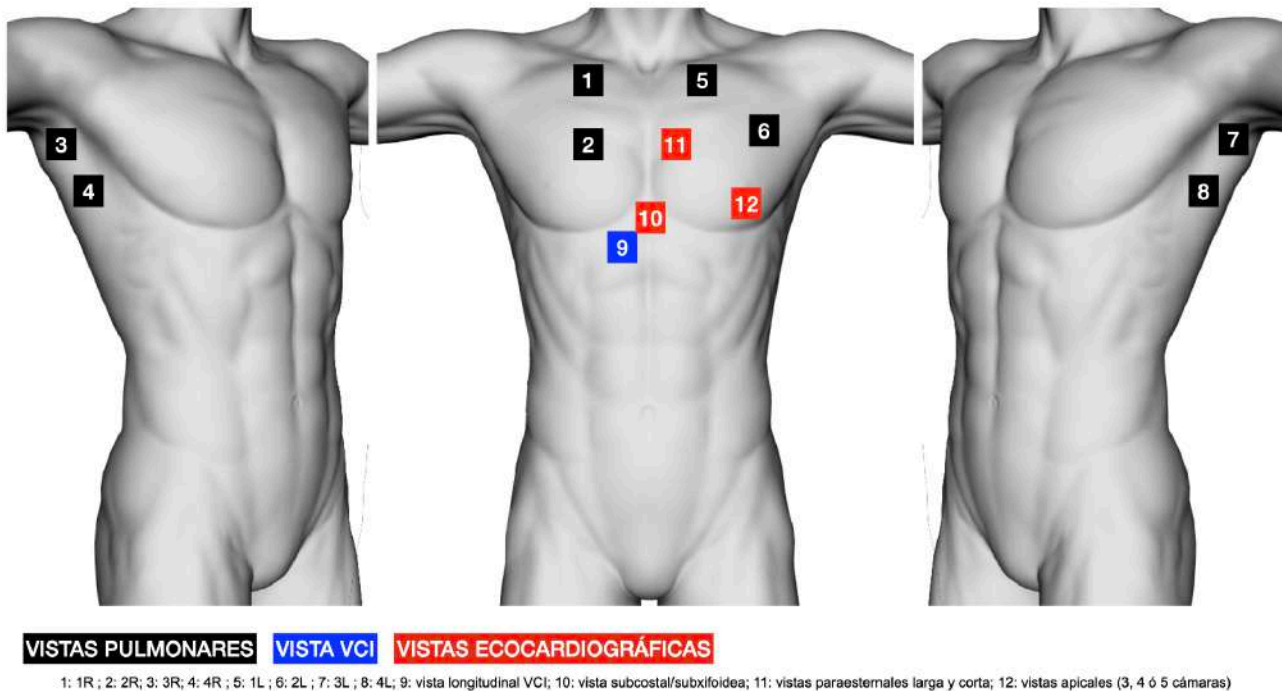


Figura 18 . Secuencia estandarizada del protocolo de EC aplicada en este trabajo.

## 7.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos cualitativos se presentaron como frecuencias absolutas (n) y porcentajes relativos (%), mientras que los datos cuantitativos se presentaron como media y desviación estándar (DE) o como mediana y rango intercuartílico (RIC), dependiendo de la normalidad de la distribución. La comparación entre pacientes con y sin un diagnóstico alternativo se realizó mediante la prueba de suma de rangos de Wilcoxon, la prueba de Chi-cuadrado de Pearson o la prueba exacta de Fisher. Se consideró significativo cuando el valor de p obtenido fue menor que 0.05. Se utilizó el paquete "cutpointr" en R (142) para obtener las curvas ROC y determinar los puntos de corte óptimos para los diámetros máximo y mínimo y el coeficiente de colapsabilidad de la vena cava inferior. El punto de corte óptimo se ajustó utilizando el índice de Youden, y se calcularon los parámetros de las pruebas diagnósticas (sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo). El árbol de decisiones para los diagnósticos alternativos se obtuvo utilizando los paquetes "Rpart" y "Rpart.plot", con el 80% de las muestras utilizado para determinar el árbol de decisiones y el 20% restante para validarlo.

Adicionalmente, se creó un modelo de *random forest*, utilizándose el paquete “Caret” (143) con la misma selección de pacientes en cuanto al 80% de las muestras para su entrenamiento y el mismo 20% para su testeo.

En la siguiente figura se representa en qué consiste este modelo de predicción basado en sucesivos árboles de decisión.

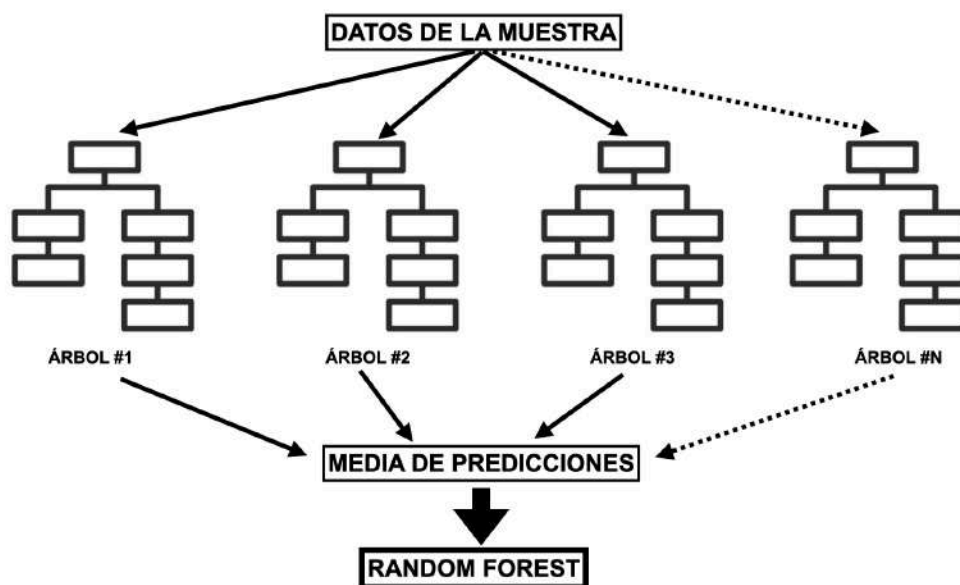


Figura 19. Representación esquemática del modelo “Random Forest”

Todos los análisis se realizaron utilizando el software R versión 4.2.3.

## 7.9. ASPECTOS ÉTICOS

- Normas generales y particulares para los investigadores.

Los investigadores atendieron a lo dispuesto en este protocolo y a las normas de buena práctica clínica, cumplimentando las hojas del CRD.

Siguiendo las directrices sobre estudios observacionales, el estudio fue evaluado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario La Paz, en base a los principios de la declaración de Helsinki. (ver Anexos I y II)

- Consentimiento informado.

Todos los pacientes fueron informados, antes de iniciar el estudio, de los objetivos, procedimientos e incomodidades y riesgos del estudio según una hoja específica de información. La hoja de información y los modelos de consentimiento informado aparecen en los anexos de este protocolo.

- Dispositivos de seguridad y confidencialidad.

El paciente fue identificado mediante un código numérico con la finalidad de respetar la confidencialidad de los datos personales de los pacientes, según establece la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal. La colección y el manejo de muestras siguió las indicaciones establecidas en la Ley 14/2007, de 3 de julio, de investigación biomédica.



# 8

## **RESULTADOS**



## 8. RESULTADOS

### 8.1. DESCRIPCIÓN Y DEMOGRÁFICOS DE LA MUESTRA

Nuestro estudio finalmente incluyó a 96 pacientes, que fueron reclutados en un período comprendido entre septiembre de 2018 y abril de 2019. Las características sociodemográficas y clínicas de la muestra se describen en la siguiente tabla

<b>N = 96</b>	
<b>Edad</b> <sup>1</sup>	83 [73 – 88]
<b>Sexo</b> <sup>2</sup>	
Masculino	44 (46.3%)
Femenino	51 (53.7%)
<b>Tiempo de espera en el SUH (h)</b> <sup>1</sup>	22.0 [14.0 – 34.5]
<b>Patologías previas</b> <sup>2</sup>	
Historia de IC	52 (49.8%)
EPOC	15 (14.4%)
FA	39 (49.3%)
Diabetes	36 (34.6%)
Enfermedad renal	9 (8.6%)
<b>NT-proBNP (pg/ml)</b> <sup>1</sup>	4,658.5 [2,223.8 – 11,428.2]
<b>Diámetro basal VCI (max)</b> <sup>3</sup>	2.03 ± 0.50
<b>Diámetro inspiratorio VCI (min)</b> <sup>3</sup>	1.43 ± 0.64
<b>Índice de colapsabilidad</b> <sup>1</sup>	25.91 [17.13-48.92]
<b>Score pulmonar</b> <sup>1</sup>	23.5 [10.8-31.2]
<b>Tipo de disfunción diastólica</b> <sup>2</sup>	
1	12 (13.3%)
2	9 (10.0%)
3	21 (23.3%)
4	9 (10.0%)
No valorable (FA)	39 (43.3%)

<sup>1</sup> Mediana [RIC]; <sup>2</sup> n (%); <sup>3</sup> Media ± DE

Tabla 7 . Parámetros demográficos y resultados de la muestra estudiada.

Podemos destacar que se trata de una población con una mediana de edad avanzada y con una tasa importante de comorbilidades. Casi la mitad de los pacientes tenían antecedentes de IC y/o fibrilación auricular, y algo más de un tercio (34.6%) eran diabéticos. Este es un hecho que deberemos tener en cuenta a la hora de analizar las conclusiones del estudio. La proporción mujeres/hombres es aproximadamente 1:1.25.

Del resto de parámetros destaca la elevada cifra de NT-proBNP 4685.5 pg/ml, (RIC 2,223.8 – 11,428.2) por lo que parece que la elevación de este biomarcador estaba presente prácticamente en el momento del diagnóstico de presunción de ICA en todos los pacientes.

Destaca además el tiempo medio de espera en el SUH de 22 horas de mediana (RIC 14-34.5 h), indicando indirectamente la dificultad en el manejo de pacientes con los antecedentes clínicos descritos anteriormente.

Los valores ecográficos se discutirán oportunamente en los siguientes apartados.

## 8.2. ICA FRENTE A DIAGNÓSTICO ALTERNATIVO

El objetivo principal era detectar o separar a los pacientes que presentan buena clasificación bajo un estándar de cuidado “clásico”, sin utilizar EC basándose en criterios clínicos, radiológicos y analíticos, frente a la aparición de hallazgos ecográficos que, haciéndonos comprender la fisiopatología y añadidos al cuadro clínico completo del paciente, hagan pensar en que un diagnóstico alternativo es más probable que la ICA.

El protocolo con EC detectó a 32 pacientes (33% del total de la muestra) con hallazgos ecográficos no compatibles con ICA y hallazgos compatibles con la presencia de un diagnóstico alternativo

Se compararon ambos grupos de pacientes (con diagnóstico alternativo a la ICA y sin él) para ver las posibles diferencias en las características clínicas estudiadas, recogándose en la siguiente tabla:

<b>Diagnóstico alternativo</b>			
	<b>No, N = 64<sup>1</sup></b>	<b>Sí, N = 32<sup>1</sup></b>	<b>Valor P</b>
<b>Edad</b>	83 [71-89]	84 [77-87]	0,533
<b>Sexo</b>			0,428
	Masculino	31 (49.2%)	13 (40.6%)
	Femenino	32 (50.8%)	19 (59.4%)
<b>Tiempo de espera en SUH (h)</b>	21.0 [13.0-27.5]	23.0 [15.8-40.5]	0,490
<b>NT-proBNP (pg/ml)</b>	5,072.5 [2,304.3-9,110.3]	3,393.5 [1,537.0-13,121.0]	0,649
<b>Diámetro basal VCI (max)</b>	2.16 ± 0.41	1.77 ± 0.55	<b>&lt;0,001</b>
<b>Diámetro inspiratorio VCI (min)</b>	1.62 ± 0.51	1.04 ± 0.70	<b>&lt;0,001</b>
<b>Índice de colapsabilidad</b>	20.86 [15.19-33.01]	53.16 [24.67-59.39]	<b>&lt;0,001</b>
<b>Score pulmonar</b>	27.0 [20.8-34.0]	7.5 [4.0-16.8]	<b>&lt;0,001</b>
<b>Tipo de disfunción diastólica</b>			<b>&lt;0,001</b>
	1	5 (7.9%)	7 (25.9%)
	2	2 (3.2%)	7 (25.9%)
	3	15 (23.8%)	6 (22.2%)
	4	9 (14.3%)	0 (0.0%)
	No valorable	32 (50.8%)	7 (25.9%)

<sup>1</sup>Media ± DE; Mediana [RIC]; n (%)

<sup>2</sup>Prueba de suma de rangos de Wilcoxon; prueba de Chi-cuadrado de Pearson; Prueba exacta de Fischer

*Tabla 8. Comparación de pacientes de la muestra clasificados como ICA frente a aquellos con diagnóstico alternativo.*

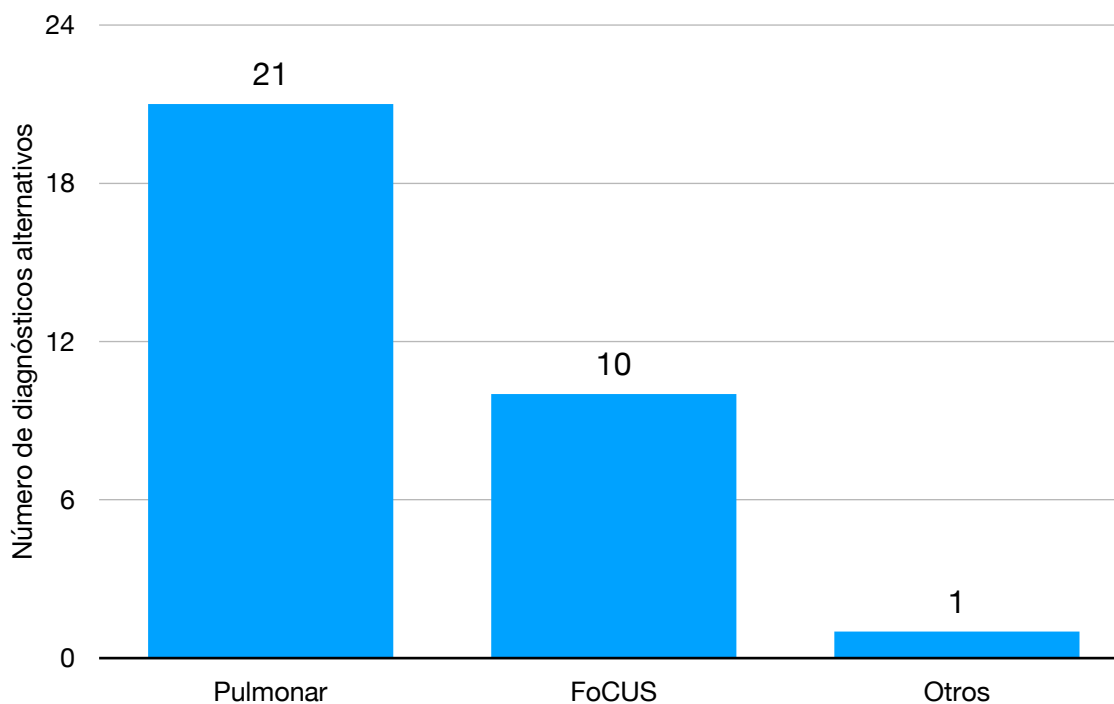
Según vemos en esta tabla, las diferencias estadísticamente significativas se encuentran en los parámetros ecográficos: el diámetro máximo de la VCI, el diámetro mínimo inspiratorio de la VCI, el índice de colapsabilidad de la VCI, el número total de líneas B y el tipo de disfunción diastólica. En el resto de parámetros demográficos y clínicos de la muestra, no hay diferencias estadísticamente significativas. Esto asegura la comparabilidad de ambos grupos de pacientes tras la aplicación del protocolo de EC.

Tras aplicar el protocolo con EC, en la siguiente tabla se resumen los diagnósticos alternativos hallados en los 32 pacientes del estudio

<b>Diagnóstico alternativo</b>	<b>N</b>	<b>Porcentaje sobre total</b>
Infección respiratoria	10	31,25
Neumonía	10	31,25
Derrame pericárdico	9	28,125
TEP	1	3,125
Derrame pleural unilateral	1	3,125
Crisis HTA	1	3,125
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100</b>

*Tabla 9. Diagnósticos alternativos detectados por el protocolo en número total y frecuencia relativa.*

Dentro de la detección de estos diagnósticos alternativos, la exploración “responsable” o la que podemos considerar que ha sido la aplicación fundamental a la hora de objetivar un cambio en el diagnóstico y manejo del paciente ha sido, como se sintetiza en la siguiente figura, la ecografía pulmonar.



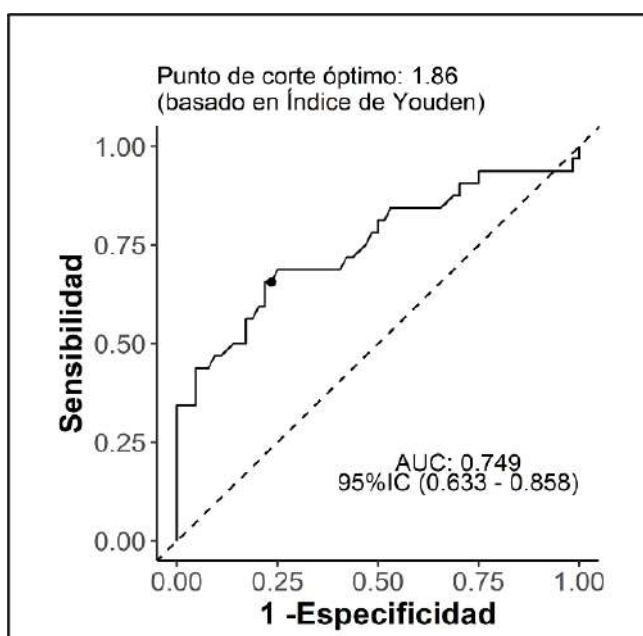
*Figura 20 . Técnica responsable de encontrar cada uno de los diagnósticos alternativos*

### 8.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VCI

Dentro de los resultados de la precisión de las distintas mediciones de la vena cava inferior para el diagnóstico de ICA, a continuación se describe cada una de dichas mediciones por separado.

#### 8.3.1. DIÁMETRO MÁXIMO ESPIRATORIO DE LA VCI

El diámetro máximo espiratorio de la VCI presentó una sensibilidad del 66% y una especificidad del 77%. El punto de corte óptimo para su diagnóstico se establece en 1.86 cm, como se puede observar a continuación:

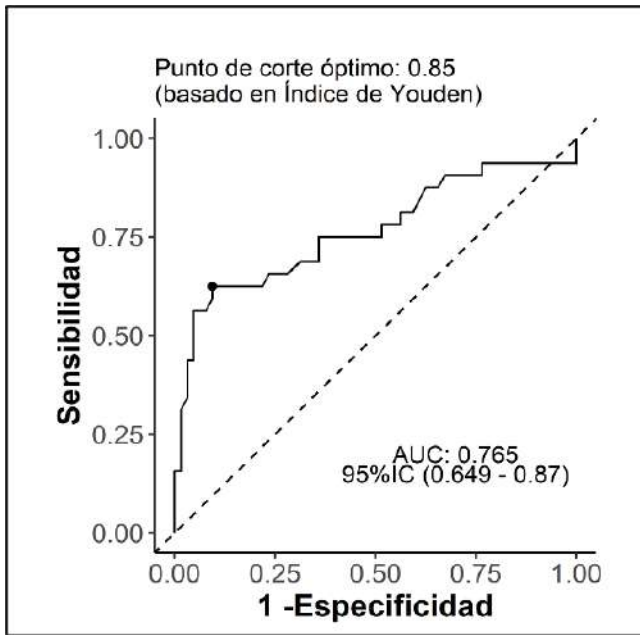


Diámetro máximo VCI	
Parámetro	Valor
Punto de corte óptimo	1,86
Índice de Youden	0,42
Precisión	0,73
Sensibilidad	0,66
Especificidad	0,77
VVP	0,58
VVN	0,82

Figura 21 y Tabla 10 : Rendimiento diagnóstico del diámetro máximo espiratorio de la VCI.

#### 8.3.2. DIÁMETRO MÍNIMO INSPIRATORIO DE LA VCI

El diámetro mínimo inspiratorio de la VCI presentó en la muestra una sensibilidad del 63% y una especificidad del 91%, siendo igualmente el punto óptimo de corte establecido en 0.85 cm. El resto de parámetros se resumen a continuación:



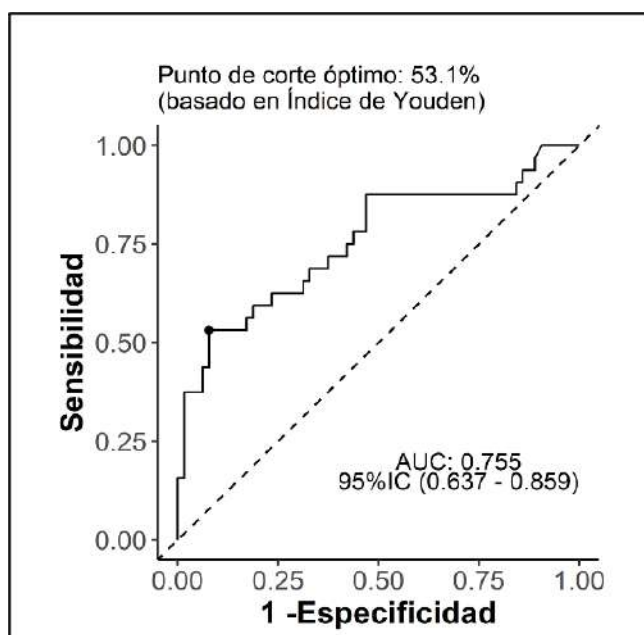
**Diámetro mínimo VCI**

Parámetro	Valor
Punto de corte óptimo	0,85
Índice de Youden	0,53
Precisión	0,81
Sensibilidad	0,63
Especificidad	0,91
VVP	0,77
VVN	0,83

Figura 22 y Tabla 11. Rendimiento diagnóstico del diámetro mínimo inspiratorio de la VCI .

### 8.3.3. ÍNDICE DE COLAPSABILIDAD DE LA VCI

El índice de colapsabilidad de la VCI presentó una sensibilidad del 53% y una especificidad del 92%, con un punto de corte óptimo establecido en el 53.09%. El resto de valores igualmente se expresan a continuación



### Índice de colapsabilidad VCI

Parámetro	Valor
Punto de corte óptimo	53,09
Índice de Youden	0,45
Precisión	0,79
Sensibilidad	0,53
Especificidad	0,92
VVP	0,77
VVN	0,80

Figura 23 y Tabla 12. Rendimiento diagnóstico del índice de colapsabilidad de la VCI.

En resumen, estos tres parámetros (diámetro máximo, diámetro mínimo e índice de colapsabilidad) son los que serán tenidos en cuenta con posterioridad en el algoritmo de decisión, siendo el modelo de decisión automática el que decida el mejor de ellos.

## 8.4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA ECOGRAFÍA PULMONAR

### 8.4.1. NÚMERO TOTAL DE LÍNEAS B

Como se ha visto previamente en la Tabla 8, el número de líneas B (formando el score pulmonar) tenía una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ICA frente al de diagnóstico alternativo, con una mediana de 27 líneas B, rango intercuartílico [20.8-34.0], frente a la mediana de 7.5 y un rango intercuartílico de [4.0-16.8]. Dicha diferencia presentó una significación estadística con una p menor a 0.001.

Para diferenciar entre el diagnóstico de ICA frente a otras condiciones patológicas con presencia de un patrón B bilateral, en las que la mera utilización del score no pudiera discriminar, se utilizaron otros métodos de diagnóstico adicionales de presunción a través de la ecografía pulmonar, que se describen en los siguientes apartados.

## 8.4.2. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS B EN AMBOS GRUPOS

Para crear este criterio ecográfico, se calculó la mediana de líneas B en cada uno de los campos pulmonares utilizados según la metodología recogida en la figura de la sección de Métodos, en la cual se dividió el tórax en 8 zonas asimétricas tanto en los pacientes del grupo ICA frente a los pacientes en los que se encontró un diagnóstico alternativo. En las siguientes figuras se muestran los mapas de densidad de líneas B de los campos pulmonares en ambos grupos de pacientes.

En esta figura se representa la distribución de líneas B en el grupo ICA y en el grupo de diagnóstico alternativo independientemente del tiempo de estancia en Urgencias.

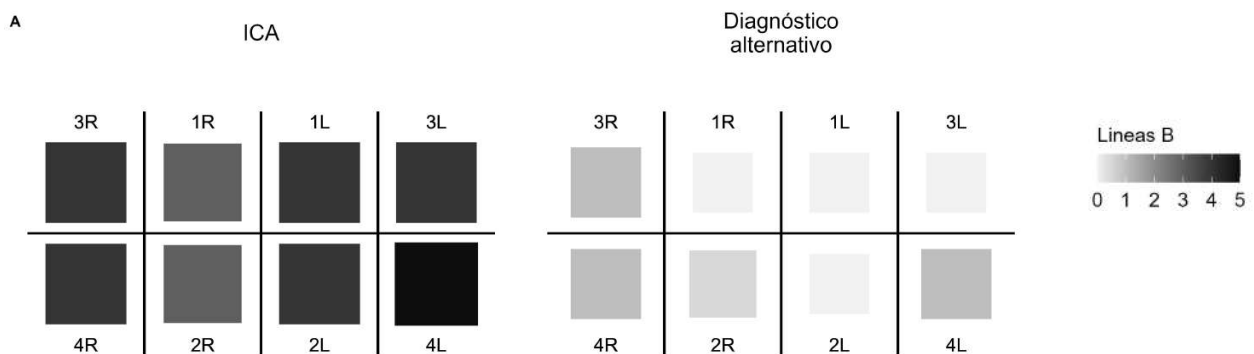


Figura 24. Mediana de líneas B por área pulmonar en ambos grupos

En la siguiente figura se representa el mapa de distribución de líneas B en los grupos ICA y diagnóstico alternativo de la muestra con una estancia en el SUH de hasta 12 horas.

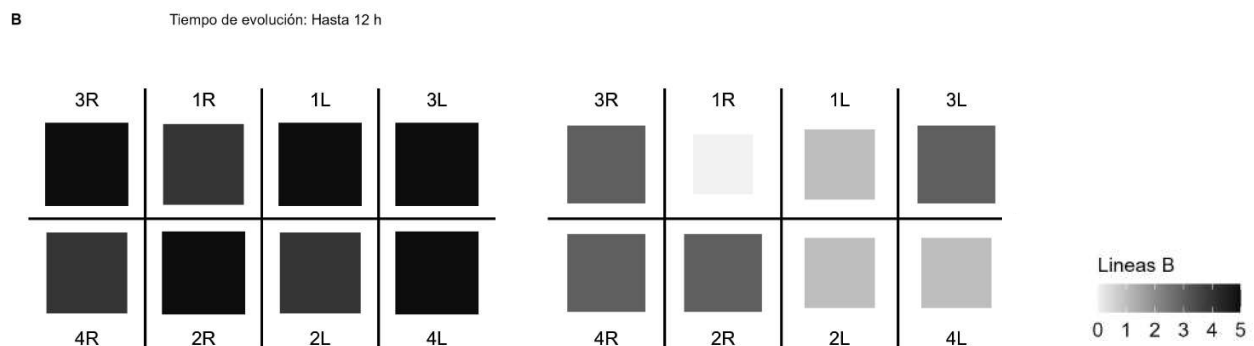
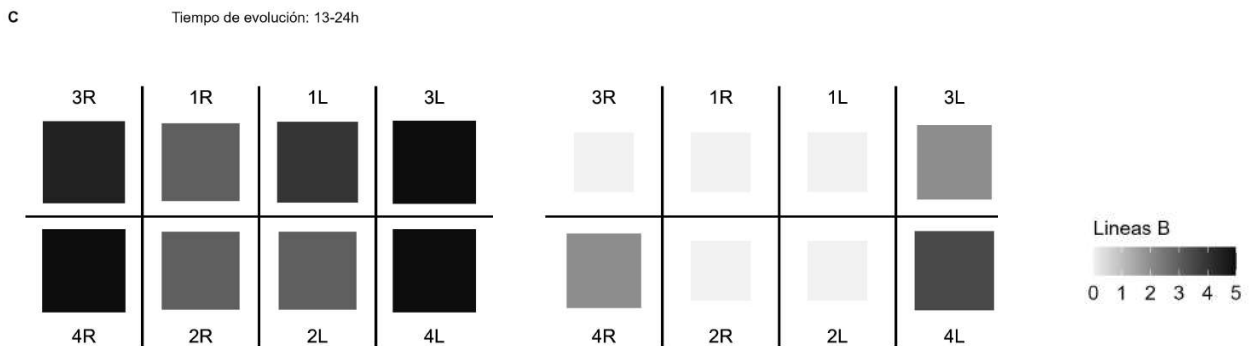


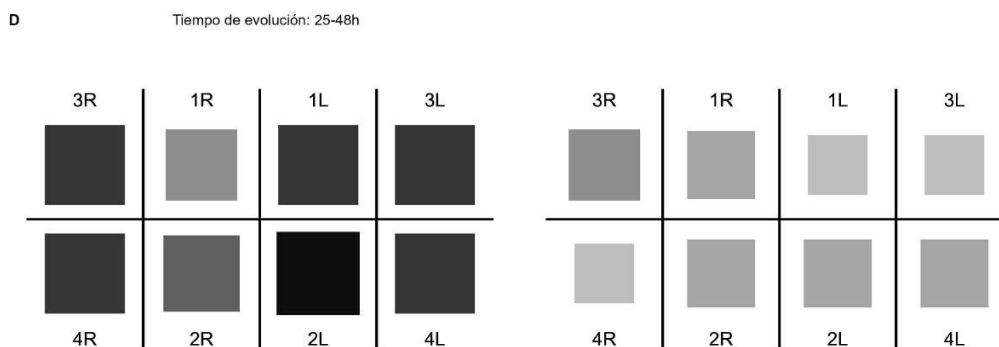
Figura 25. Mediana de líneas B por área pulmonar en ambos grupos con hasta 12 horas de evolución en el SUH

A continuación, en la figura se muestra la densidad de distribución de líneas B en ambos grupos con un tiempo de estancia en el SUH de entre 13 y 24 horas.



*Figura 26. Mediana de líneas B por área pulmonar en ambos grupos entre 12 y 24 horas de evolución en el SUH*

En la figura que se representa a continuación, se muestra el mapa de densidad de líneas B en ambos grupos con un tiempo de estancia entre 25 y 48 horas en el SUH.



*Figura 27. Mediana de líneas B por área pulmonar en ambos grupos entre 25 y 48 horas de evolución en el SUH*

Por último, en la figura se representa la mediana de densidad de líneas B en ambos grupos con un tiempo de estancia superior a las 48 h.



Figura 28. Mediana de líneas B por área pulmonar en ambos grupos con más de 48 horas de evolución en el SUH

#### 8.4.2.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS MAPAS DE DENSIDAD DE LÍNEAS B

A través de la observación de los “mapas de calor” de las líneas B se puede constatar visualmente que existe un mayor número de líneas B en el grupo de los pacientes clasificados como ICA frente a los diagnósticos alternativos, algo que ya conocíamos a través del score pulmonar.

Igualmente, podemos observar que el tiempo de evolución en el SUH es un factor determinante a la hora de explorar la presencia de un patrón B en el pulmón de los pacientes, especialmente en el grupo donde el protocolo los clasifica como ICA. Se observa un patrón de “aclaramiento de líneas B” o de disminución en el número y localización de las mismas que sigue una dirección desde el ápex hacia la base pulmonar e igualmente de derecha hacia izquierda, siendo 1R el sitio menos probable de encontrar un gran número de líneas B, evolucionando hacia 3R especialmente en pacientes con más de 48 horas de estancia en el SUH. Por contra, tenemos la base pulmonar izquierda, en el campo pulmonar 4L como el punto donde existirá menor aclaramiento de líneas B y, por tanto, habrá más posibilidad de encontrar líneas B “residuales” en un paciente con diagnóstico de ICA.

Los patrones pulmonares de distribución temporal y geográfica de las líneas B en pacientes con un diagnóstico alternativo siguen una pauta menos previsible y describible. Destaca la ausencia de un patrón de aclaramiento y la presencia de una distribución poco simétrica, algo que es crucial para el siguiente punto de este trabajo.

### 8.4.3 ÍNDICE DE ASIMETRÍA DE LÍNEAS B PULMONARES

Para constatar de forma cuantitativa la presencia de una distribución simétrica de líneas B, se creó una fórmula para cuantificar la asimetría o simetría de la mediana de líneas B en cada uno de los cuadrantes. Para ello, se recogían por área el número de líneas B (entre 0 y 5) en cada cuadrante y se partía de dos supuestos para la aplicación de las fórmulas que componían el índice. Este número de líneas de cada cuadrante se enfrentaba con su homónimo contralateral. En el caso de que existiesen 2 o más cuadrantes iguales (con una diferencia de 0) se aplicaba la siguiente fórmula en la que se acentuaba más la presencia de asimetría.

$$IAS_1 = \sum_{n=1}^4 |(nR - nL)| \times 2$$

Como se puede ver en la primera fórmula, se realiza el sumatorio de líneas B de cada cuadrante del 1 al 4 del valor absoluto de su diferencia, multiplicándose el valor x 2.

En patrones más asimétricos de entrada, no hacía falta este factor de corrección, con la fórmula aplicada

$$IAS_2 = \sum_{n=1}^4 |(nR - nL)|$$

Con ella se obtenía el sumatorio de los valores absolutos de la diferencia entre cuadrantes.

Los resultados donde se observa una diferencia significativa en la distribución del índice de asimetría en ambos grupos se representan en el siguiente diagrama de cajas:

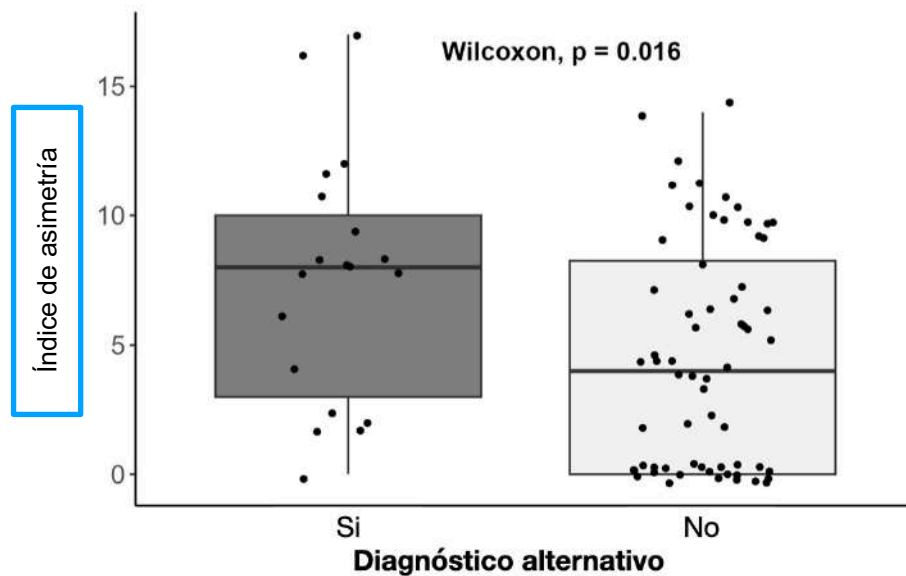


Figura 29. Diagrama de cajas del índice de asimetría en según la presencia o no de diagnóstico alternativo.

Como se observa en la figura, la mediana del índice de asimetría en pacientes con diagnóstico alternativo frente a la de los pacientes con ICA presentó una diferencia estadísticamente significativa, hecho que confirma que, efectivamente, el patrón de líneas B pulmonares es más simétrico en la ICA que en cualquiera de los diagnósticos alternativos.

## 8.5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN CARDÍACA

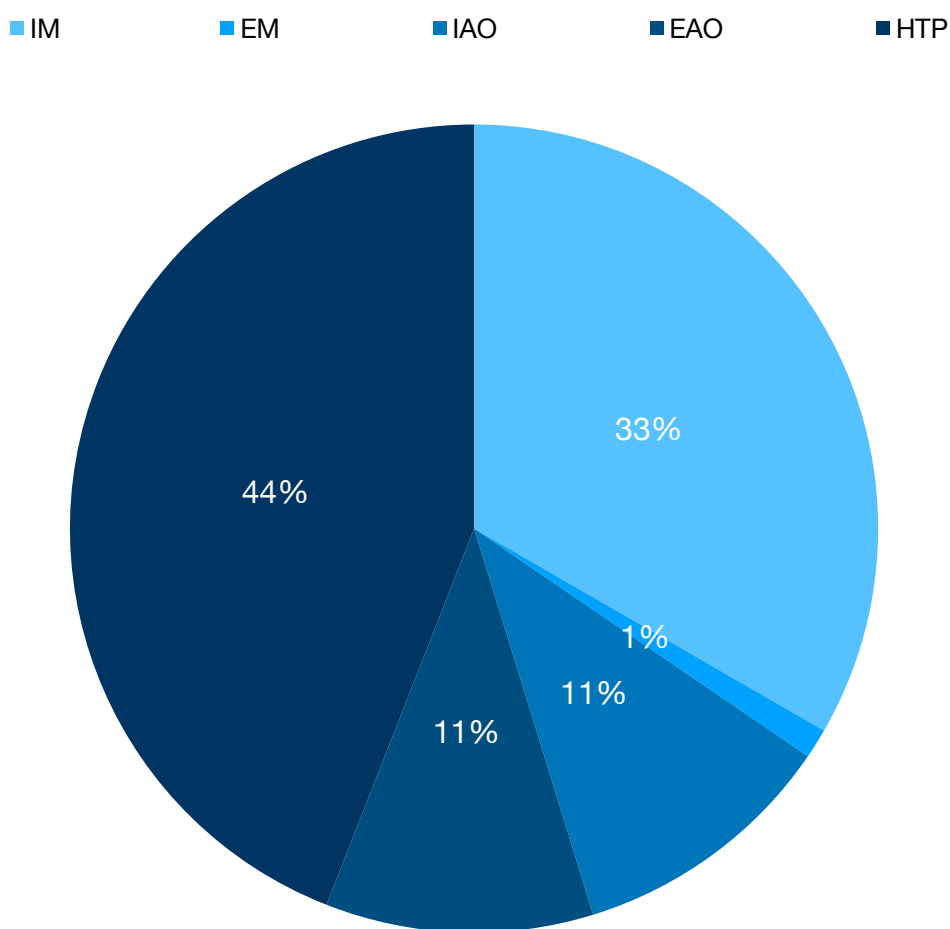
Tal como queda recogido en la Figura 20, diez de los diagnósticos alternativos fueron detectados mediante la evaluación funcional y/o morfológica del corazón, mediante una metodología basada en FoCUS. Dichos diagnósticos comprendieron la objetivación de un patrón de derrame pericárdico cuantificaco al menos moderado, en nueve de esos casos, o la de un patrón de cor pulmonale agudo en uno de ellos.

### 8.5.1. VALVULOPATÍAS

Tras la reevaluación ecográfica y el estudio de la presencia de alteraciones valvulares clínicamente relevantes (con una cuantificación que categorice dicha valvulopatía como, al menos, moderada), el protocolo encontró patología valvular en 56 pacientes, suponiendo un 58.33% del total de la muestra. De los pacientes en los que se confirmó el diagnóstico

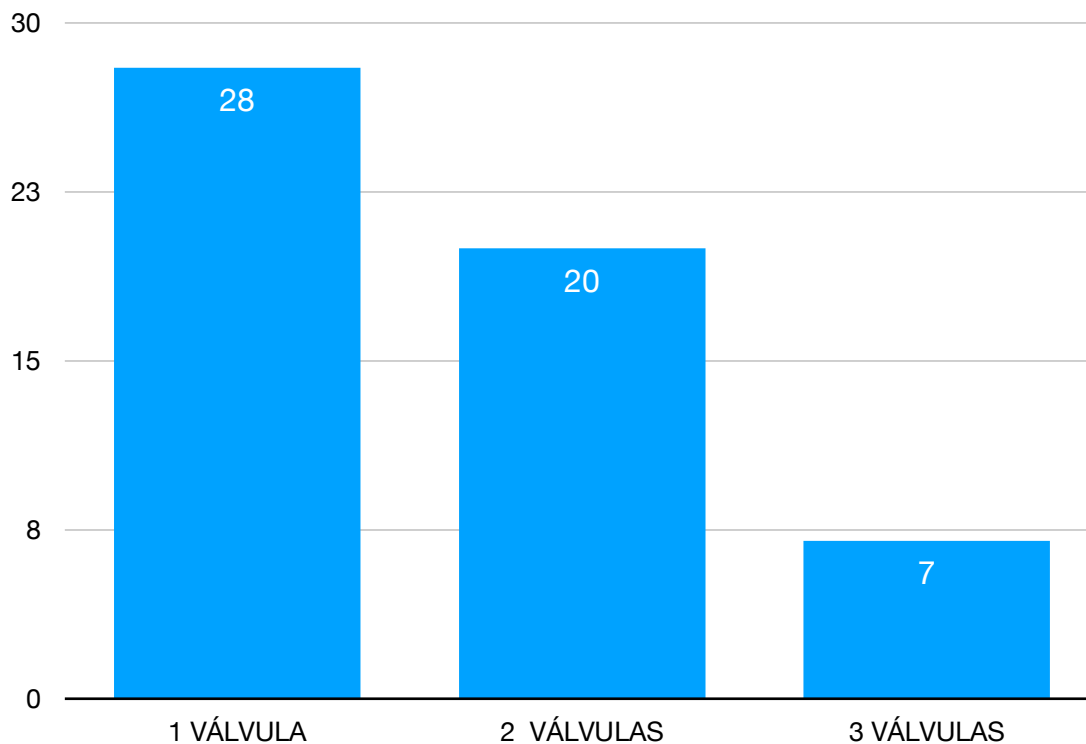
de ICA (N=64) se encontró valvulopatía en 41, suponiendo un 64.1% de los pacientes de ese grupo. Además, se identificó valvulopatía en 15 de los pacientes con un diagnóstico alternativo (N=32) , suponiendo a su vez un 48.5% de dicho grupo.

Las valvulopatías repartidas por válvula afectada se resumen en la siguiente figura, y hay que indicar que, en algunos pacientes, se constató la presencia de más de una válvula significativamente enferma. La valvulopatía predominante fue la tricuspídea (constituyendo una hipertensión pulmonar) con un 44% de frecuencia relativa.



*Figura 30. Representación de patologías valvulares según origen detectadas por el protocolo (N=56).*

Dado que en ocasiones se constató la presencia de una enfermedad multiválvula, hecho en parte esperable por la importante presencia de comorbilidad de la muestra, se recogieron el número de válvulas que se objetivaron enfermas durante la evaluación ecocardiográfica de los pacientes. Esto se representa con el número total de pacientes en la siguiente figura:



*Figura 31. Número de pacientes en relación con el número de válvulas afectadas.*

### 8.5.2. IDENTIFICACIÓN DE FEVI <40% PREVIAMENTE DESCONOCIDA

El protocolo de EC detectó la presencia de una FEVI disminuida (medida por debajo del 40%) siendo este hecho no conocido previamente bien por ausencia de pruebas al respecto o incluso porque en la última prueba la FEVI se había cuantificado por encima de ese valor. Esto ocurrió en 16 de los 64 pacientes (25%) que fueron clasificados como ICA.

En el grupo de pacientes con un diagnóstico alternativo (N=32), en 3 pacientes se identificó una FEVI <40% con igual criterio que en el anterior grupo. Estos 3 pacientes suponen un 9.4% del total de pacientes de este grupo.

En total, por tanto, el protocolo detectó 19 pacientes con una FEVI < 40%, que en números absolutos implica que, del total de la muestra, suponen un 19.8%.

### 8.5.3. RESULTADOS DEL PATRÓN DE DISFUNCIÓN DIASTÓLICA

Probablemente es la medición más cercana a la presencia de un patrón oro en el diagnóstico de IC, dado que infiere los valores de presiones de llenado en la AI a través de la identificación y medición del flujo transmitral en diástole. Según visualizamos en la Tabla

X, la diferencia de este patrón de disfunción diastólica tanto en el grupo de pacientes ICA frente al grupo de diagnóstico alternativo presentó una diferencia significativa con p menor a 0.001.

Los resultados agrupados por tipo de disfunción diastólica en ambos grupos se representan en la siguiente figura mediante la distribución de frecuencias relativas.

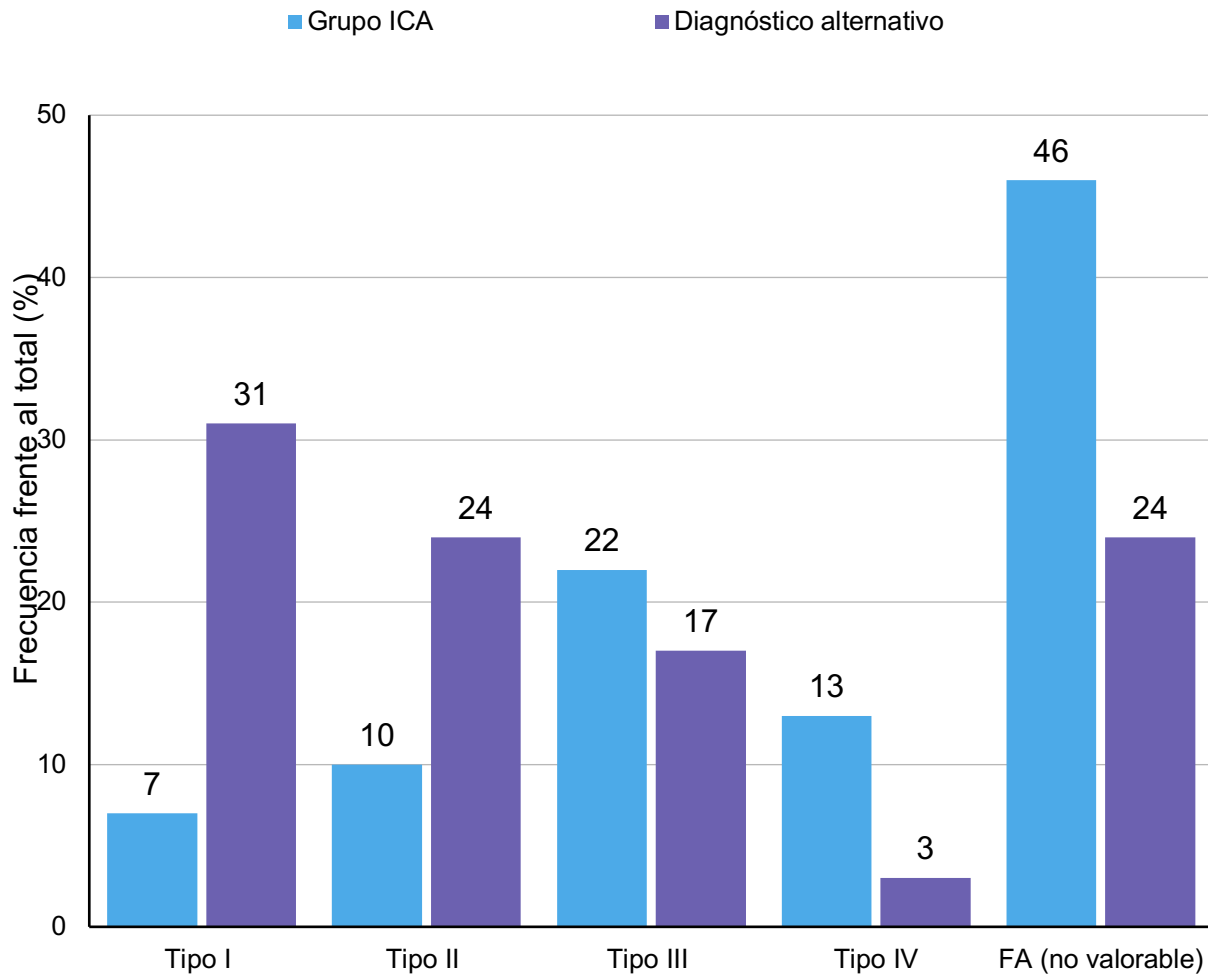


Figura 32. Distribución de las frecuencias relativas de los diferentes patrones de disfunción diastólica en ambos grupos (ICA frente a diagnóstico alternativo)

El grado de disfunción diastólica es un parámetro semicuantitativo cuyo uso principal en situaciones donde se sospecha la ICA es asegurar el diagnóstico, especialmente en entornos clínicos o casos con alta incertidumbre. Dado que los pacientes incluidos en este

protocolo presentaban un tiempo muy significativo de estancia en el SUH decidimos analizar cuál era el impacto de ese tiempo de estancia, y, por tanto, tiempo recibiendo terapia diurética (144), en el tipo de disfunción diastólica encontrada en cada uno de los pacientes tanto del grupo ICA como del grupo de diagnóstico alternativo. Así pues, la diferencia entre tipos de disfunción diastólica entre tipo 1 (no disfunción) y tipo 4 (restricción grave) en función del tiempo de evolución en los 31 pacientes del grupo ICA excluidos los 33 no valorables por encontrarse en fibrilación auricular (FA), se expresa en la siguiente tabla en la que se encuentra una diferencia con tendencia a la significación.

Disfunción diastólica						
	Media N = 31 <sup>1</sup>	1, N = 5 <sup>1</sup>	2, N = 2 <sup>1</sup>	3, N = 15 <sup>1</sup>	4, N = 9 <sup>1</sup>	Valor P <sup>2</sup>
<b>Tiempo evol (h)</b>	19.0 (13.0, 24.0)	24.0 (20.0, 48.0)	58.0 (41.0, 75.0)	15.0 (13.0, 24.0)	15.0 (12.0, 20.5)	0.062

<sup>1</sup>Mean ± SD; Median [IQR]; n (%)

<sup>2</sup>Kruskal-Wallis rank sum test

*Tabla 13. Patrones de disfunción diastólica de 1 a 4 en función del tiempo de evolución.*

Analizando estos mismos valores, agrupándose por presencia de disfunción significativa (tipos 3 y/o 4) frente a no significativa (tipos 1 y/o 2) se encuentra finalmente una significación estadística y se representan en esta siguiente Tabla

Disfunción diastólica				
	Media N = 31 <sup>1</sup>	No disfunción, N = 7 <sup>1</sup>	Sí disfunción, N = 24 <sup>1</sup>	Valor p <sup>2</sup>
<b>Tiempo.evol (h)</b>	19.0 (13.0, 24.0)	24.0 (22.0, 60.0)	15.0 (12.5, 23.0)	<b>0.012</b>

<sup>1</sup>Mean ± SD; Median [IQR]; n (%)

<sup>2</sup>Wilcoxon rank sum test

*Tabla 14: Diferencias entre presencia o no de disfunción diastólica agrupada (1-2 frente a 3-4) entre ambos grupos*

Se aprecia, por tanto, una diferencia significativa ( $p=0.012$ ) cuando agrupamos los valores de disfunción diastólica. Este hecho se explicará oportunamente en el apartado de discusión.

## 8.6. RESULTADOS GLOBALES DEL PROTOCOLO DE DOBLE COMPROBACIÓN

### 8.6.1. PACIENTES CON CAMBIO DE ACTITUD EN CUANTO A UBICACIÓN Y MANEJO

Durante la inclusión de los pacientes dentro del protocolo del estudio, todos tenían una actitud o conducta a seguir tras ser evaluados por su equipo médico tratante en el SUH. Ésta actitud bien puede ser el ingreso en planta de hospitalización, la observación en el propio SUH (para completar un ciclo terapéutico y posteriormente reevaluar) o el alta domiciliaria.

En la siguiente tabla se observan los cambios de actitud detectados tras la aplicación del protocolo.

<b>Actitud inicial</b>	<b>Actitud post-protocolo</b>	<b>Número de pacientes</b>
Observación	Ingreso	7
Alta	Ingreso	1
Ingreso	Alta	1
Ingreso	Cambio de Servicio de ingreso	2
Ingreso	Ingreso en UCI	2

*Tabla 15. Cambios en el manejo de los pacientes incluidos en el protocolo según la ubicación (N=96).*

En todos los pacientes con identificación de un diagnóstico alternativo (N=32) se produjo un cambio en el tratamiento, que generalmente produjo una minimización en la terapia diurética. Además, en otros 7 pacientes del grupo ICA se realizó un cambio en la actitud

terapéutica asociado a la aplicación de este protocolo de comprobación. En total, de los 96 pacientes incluidos en el estudio, en el 42.7% se produjo este cambio en el manejo.

## 8.6.2. IMPACTO GLOBAL DEL PROTOCOLO

De los 96 pacientes incluidos en el estudio, el protocolo de doble comprobación ecográfica encontró información clínicamente relevante en 74 de ellos, suponiendo un 77.1% del total. Los pacientes según la naturaleza de la información recogida por el protocolo se describen en la siguiente figura

<b>Actitud post-protocolo</b>	<b>Número de pacientes</b>	<b>Frecuencia relativa</b>
Presencia de diagnóstico alternativo	32	33%
Cambio de ubicación	14	14.6%
Hallazgo de valvulopatía significativa	41	42.7%
Hallazgo de FEVI < 40%	19	19.8%

*Tabla 16. Número y frecuencias relativas de pacientes en los que el protocolo tuvo un impacto clínicamente relevante.*

Además del hecho de que literalmente uno de cada tres pacientes presentó un diagnóstico alternativo, con el consiguiente cambio terapéutico secundario (siendo el más frecuente la retirada o la minimización de la terapia diurética), el protocolo tuvo un impacto altamente importante a la hora de la gestión del cambio de ubicación de los pacientes tanto en el grupo ICA como en el de diagnóstico alternativo, posibilitando una teórica optimización del flujo intrahospitalario dentro del SUH. Además, este protocolo se ha convertido en una herramienta significativa en la detección de patología relevante, especialmente para aquellos pacientes dentro del grupo ICA dada su importancia pronóstica y terapéutica que se discutirá más tarde, con un 42.7% de pacientes totales con una valvulopatía significativa no conocida o no detectada y un 19.8% con una FEVI reducida.

## 8.7. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA LA BÚSQUEDA DE DIAGNÓSTICO ALTERNATIVO

Como se describió en la sección de Metodología, se utilizó al 80% de la muestra como entrenamiento del algoritmo de decisión para ser validado con el 20% restante de la muestra. El algoritmo tomó en consideración los siguientes parámetros para su realización:

- Score pulmonar (primer punto de corte en 8; segundo punto de corte en 21)
- NT-proBNP (punto de corte en 11.000 pg/dl)
- Índice de colapsabilidad VCI (punto de corte en 56%)

El árbol se encuentra en la siguiente figura:

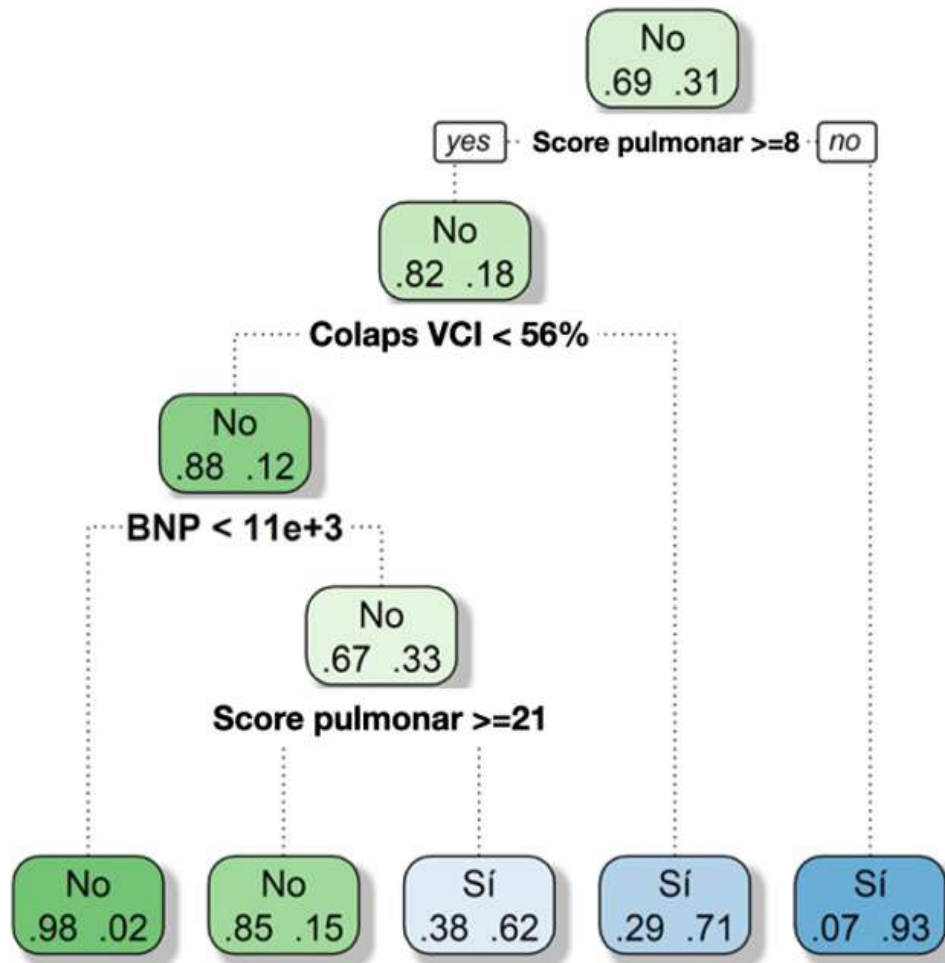


Figura 33. Árbol de decisión para la búsqueda de un diagnóstico alternativo frente a ICA, con valores de precisión diagnóstica.

Los resultados del árbol de decisión en cuanto a precisión diagnóstica fueron los siguientes:

- Sensibilidad 100%
- Especificidad 81.8%
- VPP: 71.4%
- VPN: 100%
- Precisión global: 87.5%

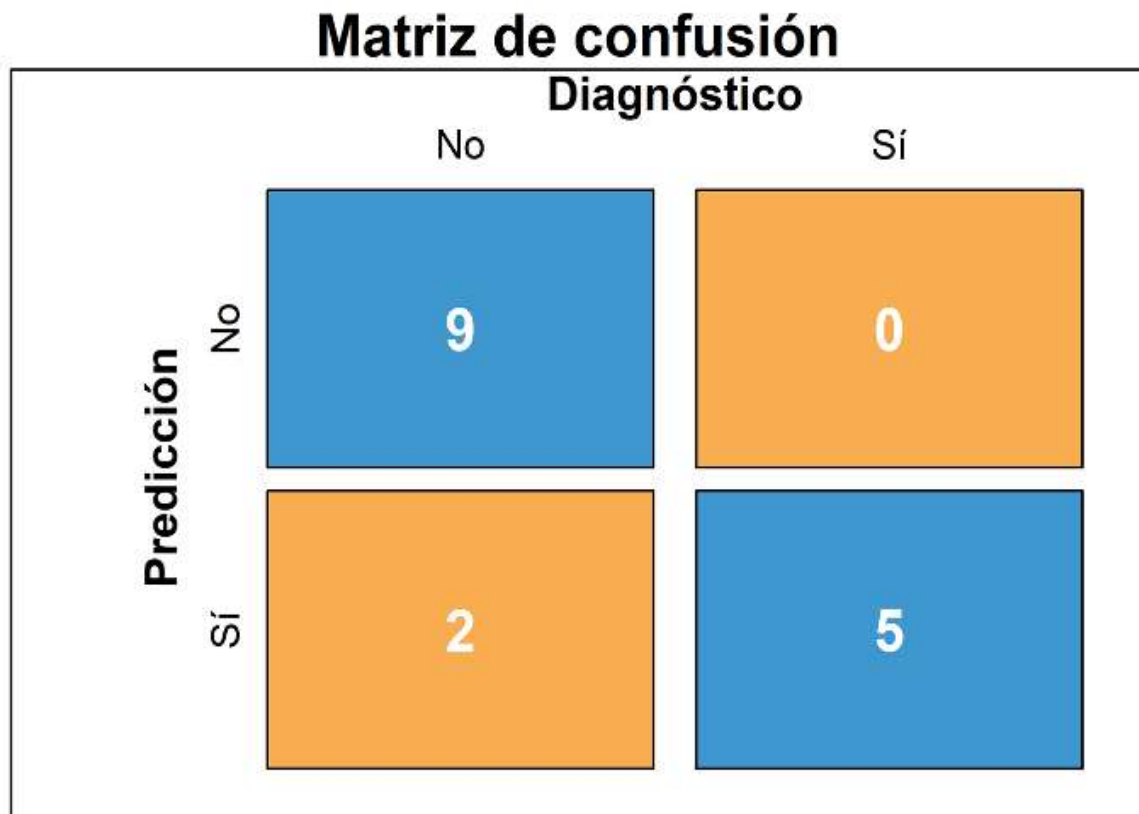


Figura 34. Representación del testeo del árbol de decisión.

En la figura anterior vemos, tal como del total de 16 pacientes utilizados para el testeo del árbol de decisión, éste únicamente clasifica de forma errónea a dos de ellos, asumiendo que presentan ICA, pero no posteriormente no tienen dicho diagnóstico.

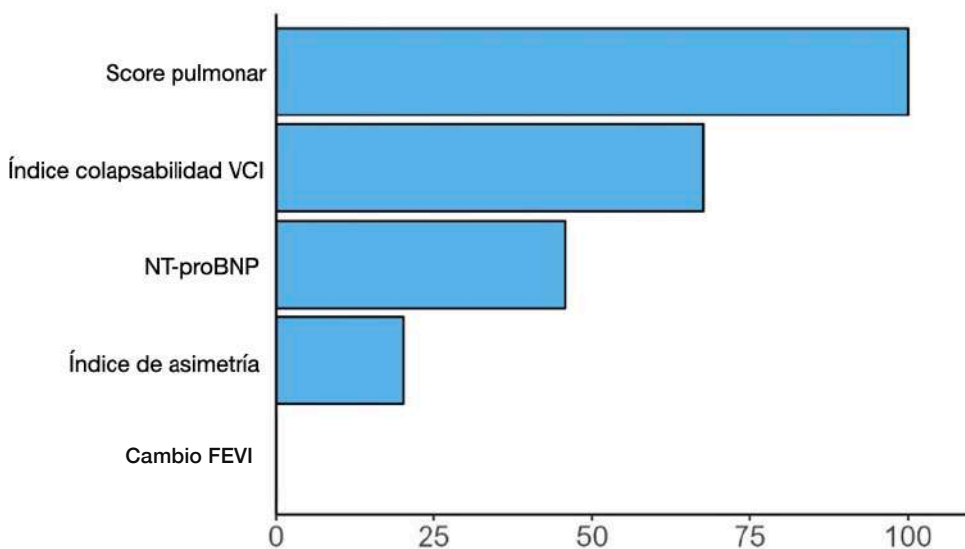
## 8.8. RANDOM FOREST PARA EL DIAGNÓSTICO DE ICA FRENTE A ALTERNATIVO

Para la realización de un *random forest*, un modelo similar al *machine learning* de inteligencia artificial en el que se hace un árbol de decisión de diferentes árboles de decisión, el proceso es similar al árbol de decisión anterior, pero en este caso existe una ponderación por cada una de las variables analizadas. Para ello, de todas las variables introducidas, el modelo final escogió las siguientes:

- Score pulmonar: índice de ponderación de 100

- Índice de colapsabilidad de la VCI: índice de ponderación de 71.28
- NT-proBNP. índice de ponderación de 45.77
- Índice de asimetría: índice de ponderación de 19.44
- Cambio en FEVI (de conservada a menor del 40%): índice de ponderación de 0

La ponderación por cada uno de los items incluidos, se representa en la siguiente figura:



*Figura 34. Ponderación de las variables del modelo de Random Forest.*

Y tras su aplicación, los resultados en términos de precisión diagnóstica son los siguientes:

Este modelo en cuanto a la precisión diagnóstica global presentó una sensibilidad, especificidad, valores predictivos positivo y negativo y precisión global del **100%**.

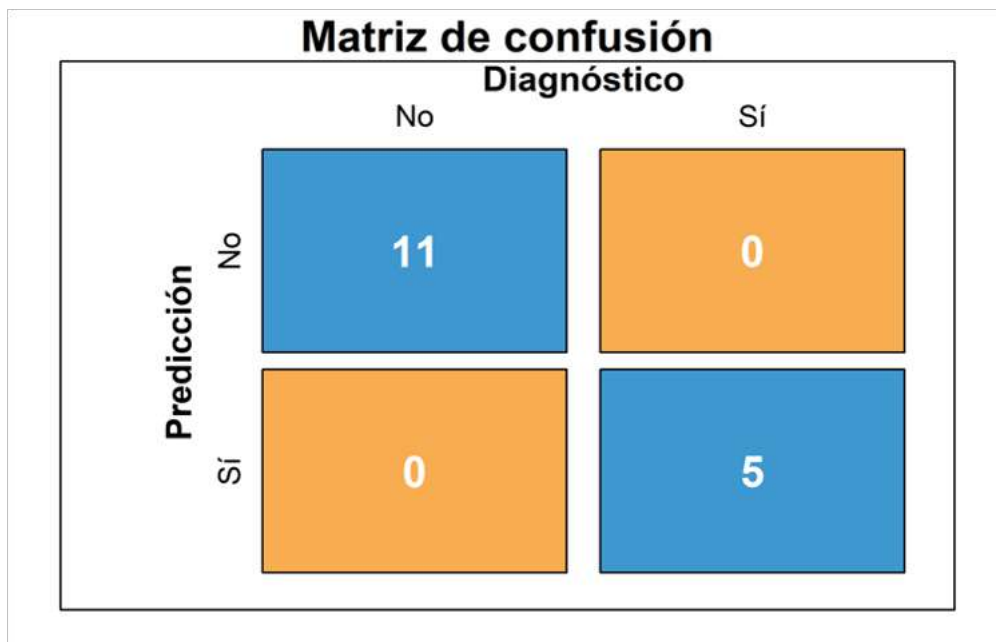


Figura 35. Representación de los resultados del testeo del modelo Random Forest.





# 9

## **DISCUSIÓN**



## 9. DISCUSIÓN

Como se ha mencionado al principio de este trabajo, la ICA es una condición altamente prevalente en prácticamente todos los niveles asistenciales de los sistemas sanitarios, y especialmente en los SUH, que requiere un reconocimiento adecuado e incluso precoz para evitar la aparición de morbilidad asociada a su potencial mala clasificación.

Tenemos que partir de la premisa de que la EC presenta una mejoría con respecto a la exploración física para la evaluación de diferentes patologías ya no solamente cardíacas (145) sino también a nivel respiratorio (146), y que conceptualmente la EC debería ser un complemento y no un sustituto de la exploración física, potenciando su rendimiento diagnóstico global (147).

En este trabajo se ha mostrado que la precisión de un algoritmo de detección para los pacientes que han sido clasificados como ICA, clasifica mejor a un número mayor ellos que la mera observación y la utilización de pruebas complementarias como los biomarcadores, concretamente el NT-proBNP.

Este hecho ya se había evidenciado en varios estudios previos (140), considerando que la información obtenida por la utilización de las distintas aplicaciones de la EC puede ser incluso más valiosa que la determinación de biomarcadores. A este respecto, destaca que la utilización de la determinación de líneas B en ecografía pulmonar es la herramienta que más información proporciona. El estudio de Pivetta y colaboradores (97) demuestra, sobre probablemente la mayor muestra existente en toda la bibliografía en ICA en un SUH, que la mera incorporación de la ecografía pulmonar al resto de proceso diagnóstico más “tradicional” o “clásico” proporciona una óptima capacidad de clasificación. Los resultados de este trabajo son igualmente consistentes, dado que, de todas las variables, la que tiene mayor peso tanto a nivel de árboles de decisión como en el modelo de *random forest*, es el número de líneas B expresado como el *score* pulmonar. Este hecho demuestra que en un entorno específico como es el de un SUH, los pacientes con ICA acuden mayoritariamente por disnea que fisiopatológicamente se traduce en un aumento de la PCWP con el consiguiente aumento del agua extravascular pulmonar (EVLW), que es precisamente lo que se detecta a través de la exploración pulmonar en forma de líneas B.

El metaanálisis de Darwish y colaboradores (148) demuestra de forma expresa la diferente capacidad de clasificación de la VCI utilizando los diámetros y el índice de colapsabilidad

ecográficos. Nuestros resultados son especialmente consistentes con este trabajo dado que, a pesar de que, probablemente de forma paradójica, el diámetro mínimo inspiratorio es el que mayor precisión obtuvo, es el índice de colapsabilidad el que fue elegido en los modelos de precisión con un punto de corte de 56%. Aunque el cálculo de este porcentaje estaría dificultado por la obtención de ventana y determinación cuantitativa de los valores de diámetro, los nuevos sistemas de detección basados en inteligencia artificial, como los que se usaron en este trabajo, podría facilitar esta determinación. Volviendo al tema de la evidencia previa disponible, aunque en la bibliografía se usa con una mayor tendencia el corte de 20% (149) del índice de colapsabilidad, los valores intermedios cercanos al 50% (que pueden ser incluso inferidos mediante una mera estimación visual) también tienen una buena capacidad de clasificación. En nuestro estudio, se demuestra al igual que en otros anteriores y el metaanálisis referido, el punto de corte de 56% es eminentemente específico, con un 92% y medianamente sensible, con un 56%.

Lo realmente trascendente a nivel de metodología, es el uso de la ecografía multiórgano o multiventana, aunque es una tendencia relativamente antigua dado que también existen estudios previos, como el de Anderson y colaboradores (129) en 2013, que utilizan la VCI con el mencionado punto de corte de colapsabilidad del 20% aunque para el diagnóstico de ICA el único parámetro ecocardiográfico es la presencia de una FEVI reducida. Igualmente utilizan un número total de líneas B superior a 10, alcanzando, mediante la utilización combinada de las tres modalidades (pulmonar, VCI y cardíaca), una sensibilidad global del 36% (IC95% 22-51) y una especificidad del 100% (IC95% 95-100), suponiendo esta la primera clara aparición de un protocolo multiórgano para el diagnóstico de ICA. A pesar de ser demasiado simplista, la elección de los puntos de corte resulta en la creación de protocolo que adolece de sensibilidad, pero tiene una excelente especificidad, algo esperable para este tipo de estudios multiórgano. Así, se potencian las precisiones diagnósticas que tiene cada una de las técnicas por separado.

Una de los primeros resultados al comienzo del estudio es puramente técnico: la necesidad de adaptar la sistemática de zonas en ecografía pulmonar frente a la estandarizada propuesta por Volpicelli y colaboradores en 2012 (74) y que se ha popularizado hasta la actualidad sobre las puntos de Lichtenstein en su estudio de 2008 (96). Aunque este hecho ya ha sido recientemente nombrado por Gargani y colaboradores (150) en el contexto de la ICA, es importante incidir en que este es el primer estudio que tiene en cuenta la alta prevalencia de cardiomegalia y alteraciones estructurales pulmonares en este subgrupo de pacientes, especialmente en la modificación de la zona 2 del hemitórax izquierdo.

El hallazgo de patologías consideradas como diagnósticos alternativos muestran patologías en las que el tratamiento principal con terapia diurética, en el que prácticamente se basa el tratamiento por defecto en la ICA, puede ser especialmente deletéreo. Sobre todas ellas destaca especialmente el derrame pericárdico, donde el diurético puede comprometer potencialmente la estabilidad hemodinámica por un desbalance de presión entre las cavidades derechas, fundamentalmente VD, y la presión dentro del saco pericárdico. En una primera reflexión, el encontrar 9 diagnósticos de derrame pericárdico puede parecer excesivo, sin embargo, este hallazgo es perfectamente congruente con lo descrito por Blaivas (151) ya en 2001. A nuestro juicio, este diagnóstico está siendo claramente infravalorado en todos los pacientes que acuden por patología cardiovascular en los SUH y probablemente por falta de uso e implementación de la EC. Del resto de patologías, es más fisiopatológicamente entendible que un paciente con una neumonía, una infección respiratoria o incluso un TEP sean clasificados como ICA por la confluencia en la sintomatología sobre un paciente tipo con la comorbilidad descrita en la muestra (4).

A este respecto, hay que destacar varios acontecimientos centinela, que, aunque no pueden ser directamente relacionados con la mala clasificación diagnóstica dada la naturaleza de este estudio, sí que podemos sospechar fuertemente su plausibilidad. En tres de los derrames pericárdicos se observó una evolución hacia el éxito durante la hospitalización. Además, en dos de las neumonías hubo complicaciones asociadas (un éxito y un ingreso en UCI) y teniendo en cuenta que fueron incluidas en el estudio cuando llevaban, respectivamente, 48 y 36 horas de evolución con diuréticos, parece plausible, insistimos, que esa relación entre mala clasificación y aumento de morbimortalidad exista. Por último, el paciente diagnosticado como TEP precisó ingreso en UCI. Estos acontecimientos centinela nos instruyen sobre la necesidad de una clasificación correcta lo más precoz posible, aunque el diseño del estudio no permita hacer una correlación directa entre mala clasificación y morbimortalidad.

En la utilización por separado de cada una de las aplicaciones de la EC para el diagnóstico de ICA, los resultados son bastante similares a los existentes en la bibliografía disponible, especialmente los referidos a los diferentes valores de la VCI. En nuestro estudio se estimó un punto de corte de índice de colapsabilidad del 56% similar al de estudios como el de Curbelo en 2018 (152), con el que se tiende a tener una moderada sensibilidad y una elevada especificidad. Obviamente los puntos de corte definirán ambos valores, pero en nuestro modelo el de 56% es el que presentaba una mayor precisión y área bajo la curva.

Otro de los puntos en los que este trabajo es especialmente novedoso es la evaluación pulmonar. Obviamente, no es nuevo el hecho de que un patrón B bilateral que constituye un síndrome intersticial difuso ecográfico tiene un alto valor predictivo positivo para ICA y una alta razón de verosimilitud positiva cuando la ICA está en el diagnóstico diferencial, algo que este trabajo refrenda. Lo novedoso, e inédito en la bibliografía hasta la fecha, es tanto la elección del score pulmonar mediante la suma aritmética de las líneas B de 0 a 5, algo que ya existía en otros artículos, como, sobre todo, el mapa de densidad o “mapa de calor” de las líneas B. Sobre él se puede entender, fundamentalmente observando la parte del grupo de pacientes clasificados como ICA, cómo el patrón de aclaramiento o desaparición de dichas líneas sigue una dirección ápex-base y derecha-izquierda, algo que ya estaba descrito en otro tipo de estudios de imagen de EVLW (153). Comprender este aclaramiento ayudará en el futuro a evaluar patrones intersticiales difusos de mucho tiempo de evolución donde se objetivará una distribución alternativa de líneas B (especialmente en pacientes con más de 24 horas de evolución). Igualmente novedoso es el índice de asimetría. Volpicelli en 2020 (154) durante el período pandémico fue el primero que introdujo el concepto de que un patrón B simétrico hacía el diagnóstico de neumonía COVID-19 altamente improbable. En nuestro estudio hemos querido cuantificar dicha asimetría en el número y distribución de líneas B, haciendo que este cálculo deje de ser puramente subjetivo, basado a criterio del explorador y se convierta en numérico. El índice de asimetría, con su significación estadística, a nuestro juicio es extremadamente importante dado que objetiva este hecho y además es tomado en cuenta por los modelos que se explicarán con posterioridad en este apartado. Además, tenemos que recordar que la presencia de líneas B no sólo afecta al diagnóstico y/o a la monitorización en sí mismas, sino que también ha demostrado un importante impacto a nivel pronóstico tanto en otras patologías (155,156) como en la propia ICA (157).

Dentro de los pacientes clasificados como ICA, destaca de forma importante un dato, que es la alta tasa de una FEVI menor del 40% (158) sin un claro predominio por sexos (159) que, bien previamente era desconocida por ausencia de pruebas complementarias, bien presentaba una aparición de novo al tener una prueba reglada (ecocardiograma) realizado con anterioridad. Estos resultados son similares a los de Groenewen (160) en los que parece inferirse que la prevalencia de pacientes con FEVI disminuida está infraestimada en la realidad. Hay que recordar que la IC con FEVI reducida se puede beneficiar, incluso en estadios precoces y en episodios agudos de ICA, de tratamientos específicos como sugiere Girerd y colaboradores (161) en una revisión reciente y posteriores guías de práctica clínica.

Probablemente tendría sentido desde un punto de vista de evolución y pronóstico, la detección precoz de estos pacientes para instaurar estas terapias (162) incluso desde su estancia en el SUH (163).

Del resto de información clínica, la alta prevalencia de valvulopatía no conocida, además de ser consistente con estudios desde clásicos (164) hasta los más modernos (165) hacen hincapié en la alta prevalencia de “causas valvulares” como desencadenantes o principales agentes fisiopatológicos en la patogenia de la ICA. Pensamos que este número, ligeramente mayor al descrito en la bibliografía, podría hacer que estas causas valvulares, en parte, fuesen las responsables de ICAs sin un desencadenante claro. Igualmente, como en el párrafo anterior, el conocer la presencia de una valvulopatía significativa podría tener importancia en la instauración de tratamientos específicos (166) además de identificar la causa subyacente.

Respecto al patrón de disfunción diastólica, como se comentó en la parte de resultados, nos acerca probablemente al patrón oro (167) en el diagnóstico de ICA, dada su capacidad de inferir un aumento de presión telediastólica de aurícula izquierda. Nuestros datos apoyan esto, dada la diferencia entre ambos grupos y sobre todo la ausencia de patrones tipo 4 en el grupo de diagnóstico alternativo, lo que refuerza positivamente este aspecto. En este caso, si nos referimos al diagnóstico en sí de ICA, podríamos pensar que la ausencia de una disfunción diastólica significativa podría hacernos dudar de ese diagnóstico, pero no debemos dejar de tener en cuenta que los pacientes incluidos en este trabajo no son pacientes naïve (en el sentido de que no son recientes diagnósticos y que no tienen ningún tipo de tratamiento), sino que han sido incluidos con un elevado tiempo de evolución y en todos ellos se ha comenzado una estrategia de depleción a través de diuréticos. Por ello, decidimos incluir el tiempo de evolución como una variable. Por un lado, se obtuvo una tendencia cercana a la significación cuando se mostraron los tipos de disfunción por separado, y por otro se obtuvo un resultado estadísticamente significativo cuando se agruparon. Esto sugiere que el efecto de la terapia deplectiva a lo largo del tiempo tiene como resultado un cambio en el patrón de disfunción diastólica, como ya sugieren algunos trabajos (168). Como consecuencia práctica, unido además con lo expuesto a la hora de analizar el patrón de líneas B, a la hora de evaluar un paciente que ha sido diagnosticado como ICA, la ausencia de un patrón de disfunción diastólica y la ausencia de criterios compatibles con síndrome intersticial difuso, especialmente respecto a que el número de líneas B sea menor de lo normal, no debe hacernos dudar de dicho diagnóstico cuando el tiempo de evolución o estancia en el SUH ha sido elevado, dado que asumiremos que esos

cambios han sido producidos por la terapia deplectiva. Esto supone algo que fisiopatológicamente tiene sentido, pero en el caso de la ecografía pulmonar no está previamente descrito en la bibliografía, aunque sí está descrito en el contexto de la disfunción diastólica (169) siendo efectivamente un factor que condiciona el pronóstico.

Probablemente el resultado más importante de todos los obtenidos en este trabajo son los árboles de decisión y el *random forest*. Según nuestro conocimiento, hasta la fecha no existen trabajos similares en los que, con variables analíticas y ecográficas, obtengamos unos algoritmos de estas características, y menos que se realicen en un entorno puramente clínico como es el caso de este trabajo. Ya de por sí, el modelo de árbol de decisión básico presenta una más que prometedora cifra de 100% de sensibilidad para el diagnóstico de ICA utilizando unos parámetros básicos que actualmente están a disposición de prácticamente cualquier SUH. Añadido el modelo de *random forest*, destaca sobremanera la perfección en la clasificación (un 100% de sensibilidad, especificidad y valores predictivos). Estas cifras deberán ser confirmadas en estudios siguientes con un mayor número de pacientes.

## 9.1. LIMITACIONES

Dentro de este apartado de limitaciones, existen varias que podrían hipotéticamente comprometer la validez externa de este estudio, que creemos que tienen que comentadas.

La primera de ellas es la selección de los pacientes. En la muestra no se han incluido pacientes con disnea a estudio en los que la aplicación del algoritmo presenta la precisión indicada para el diagnóstico de ICA o de diagnósticos distintos a la ICA, y este hecho es crucial para entender la filosofía de este trabajo. Los pacientes incluidos ya tenían un diagnóstico de ICA realizados por un médico adjunto en un SUH (basándose en parámetros estándar y sin incluir el uso de la EC). Por tanto, este algoritmo no se debería usar para diagnosticar pacientes sin una orientación diagnóstica clara, incurriendo positivamente en este caso en un sesgo de selección y un problema de validez externa. Obviamente, se puede plantear este hecho como pregunta de investigación para futuros trabajo.

Otras de las potenciales limitaciones son inherentes al SUH donde se recogió la muestra. El SUH del Hospital Universitario La Paz es un centro de alta complejidad con un número mayor de visitas, bastante por encima de la mayoría de los hospitales en España. Dentro de su estructura arquitectónica, se han añadido varios espacios que originalmente no

formaban parte de su plano inicial, y, entre ellos están las salas de observación. Igualmente, este SUH está en situación de sobreaforo (170) durante gran parte del tiempo. La necesidad de llegar a una orientación diagnóstica con celeridad para posteriormente pasar a una de las áreas de observación, añadido a este sobreaforo continuado, podría condicionar una mayor tasa de fallos en la clasificación, por lo que los resultados de este trabajo podrían estar condicionados por estos hechos haciéndolos únicamente aplicables a hospitales de estas características. A pesar de ello, la tasa de mala clasificación del 33% es consistente con estudios previos, especialmente con el de Martindale, que la cifran en torno a un 28-30%. Por ello no creemos que haya sido determinante a la hora de tener esa tasa de diagnósticos alternativos.

Además, podemos considerar de igual manera el hecho de que este trabajo haya sido realizado de forma unicéntrica. Esto, en principio, podría ser tomado como una limitación, pero como queda expuesto en este párrafo, y en el anterior, tanto las tasas de mala clasificación como los parámetros demográficos siguen la misma distribución que los trabajos existentes en la bibliografía (171), por lo que pensamos que este impacto es mínimo.

Otra de las potenciales limitaciones es la presencia de diagnósticos combinados o patrones mixtos de patología, fundamentalmente la coexistencia de ICA con uno de sus diagnósticos alternativos como es la infección respiratoria o la neumonía. Aunque en entornos clínicos estos diagnósticos son especialmente prevalentes, trabajos como los de Bezati (172) indican que la fisiopatología responsable de la clínica del paciente suele ser una única y no una mezcla. De todas formas, tras el protocolo de comprobación únicamente 2 pacientes de los 32 en los que se constató un posible diagnóstico alternativo, fueron diagnosticados al alta hospitalaria de un cuadro mixto, persistiendo el diagnóstico de presunción de ICA en el código de diagnóstico final.

Por último, podemos destacar como una limitación potencial la pericia del operador. Aunque la clasificación como uno de los diagnósticos alternativos se realiza mediante habilidades que pueden considerarse básicas o con una curva de aprendizaje no alta, las destrezas necesarias para la obtención de información clínicamente relevante, especialmente dentro del grupo de pacientes con ICA, como son la cuantificación de patología valvular o el cálculo de la FEVI, sí que requieren mayor experiencia. No existen trabajos de concordancia en la bibliografía en las que especialistas en MUE se enfrenten a especialistas en Cardiología, aunque podemos destacar que la experiencia de los tres operadores que participaron en la

evaluación y toma de parámetros ecográficos de este trabajo es mayor a 10 años. Es por ello, que, aun constituyendo una limitación conceptual y real por falta de evidencia científica al respecto, esperamos que el grado de concordancia entre un experto y nuestros operadores fuese máximo, sobre todo cuando se decidió que toda cuantificación habría de ser categorizada como “al menos moderada”, y FEVI “menor del 40%” disminuyendo drásticamente una potencial influencia de técnica o una operador-dependencia. Aun así, a la hora de extrapolar este trabajo y su validez a operadores con menos experiencia en cuantificación y uso de herramientas avanzadas de ecocardiografía, haría que se tuviesen que tomar con cautela los resultados obtenidos, como se ha comprobado en diferentes casos como los de Jiménez y colaboradores con respecto a la enfermedad tromboembólica venosa (173), dado que las vistas ecográficas necesarias para obtener una buena cuantificación precisan mayor complejidad. Lo que no parece ser una limitación es la identificación del diagnóstico alternativo, dado que las habilidades para detectar una consolidación parenquimatosa pulmonar, o un patrón B parcheado, o incluso un derrame pericárdico circunferencial son mucho menores.

## 9.2. FUTURO

Como recordamos de la metodología, teniendo en cuenta que el contaje de líneas B y su mapeo, y los valores de VCI, incluyendo el índice de colapsabilidad, pueden ser obtenidos por herramientas automáticas, este trabajo abre la posibilidad de crear procesos de decisión basados en machine learning aplicados no solo a ICA sino a otras patologías de tipo pulmonar, como ya se ha comenzado a realizar (174). Entendemos que únicamente introduciendo los valores del biomarcador utilizado cualquier ecógrafo moderno sería capaz de sugerir a su usuario si el paciente está bien clasificado o por el contrario sugiere que debería buscar un determinado diagnóstico alternativo.

Probablemente para ello haría falta un estudio con mayor número de pacientes, idealmente de tipo multicéntrico, en el que se pudiese testear el algoritmo y no únicamente en los 20 pacientes de la muestra. Este aumento en el número de pacientes para futuros estudios similares no valdría únicamente para probar los árboles de decisión, sino para constatar lo evidenciado a nivel pulmonar, como el índice de asimetría y/o la evolución temporal por áreas de líneas B. Igualmente fenómenos como la comprobación de la alta prevalencia de derrames pericárdicos objetivados en nuestra muestra, sería importante confirmar mediante estudios futuros de mayor tamaño muestral.

Entendemos que este trabajo supone un punto de partida bastante prometedor no solo en la realización de protocolos como éste, sino en otros similares para cualquier tipo de patología que presente las características de la ICA: que sea suficientemente prevalente, que tenga diagnósticos diferenciales con expresión clínica parecida que puedan confundirse, que cada uno de esos diagnósticos presenten una actitud terapéutica diametralmente opuesta al diagnóstico inicial, que tengan patrones reconocibles por EC y que potencialmente mitiguen la incertidumbre diagnóstica del nivel asistencial donde se produzca.

Por último, otro de los mensajes que pueden extraerse de este trabajo, y otros similares, es la necesidad de una formación específica en el campo de la EC. Si consideramos que esta disciplina supone un aumento en la seguridad de los pacientes, como se ha comprobado especialmente en el ámbito de los procedimientos (175), y en especialidades como la MUE donde se trabaja en un entorno especialmente influido por la incertidumbre diagnóstica (176), debemos implementar una estrategia docente que debe incluir la formación en pregrado, algo que ya se está implementando fundamentalmente a nivel de facultades de Medicina en Estados Unidos y Canadá (177) y que incluso en Europa comienza a implantarse, aunque a una velocidad más lenta de lo deseable (178) a pesar de contar con guías y recomendaciones claras sobre cómo implantar estrategias educativas similares (179,180). Por ello, hemos de trabajar en la adquisición las competencias más básicas, que son las recogidas en este trabajo, cuando nos referíamos a la detección de los diagnósticos alternativos, que, se basan en el mero reconocimiento visual de patrones o la visualización de estructuras y/o artefactos que se interpretarán en el contexto clínico adecuado. Artículos como el de Solomon (181) son un fiel reflejo de esta corriente que probablemente extenderá el cambio producido por la ecografía clínica a las facultades de Medicina en los próximos años.





# 10

## **CONCLUSIONES**



## 10. CONCLUSIONES

- La ecografía es una herramienta valiosa en la valoración de pacientes diagnosticados de ICA en un SUH por su capacidad de detectar la posible mala clasificación de estos.
- Hasta un tercio de los pacientes diagnosticados como ICA presenta un diagnóstico alternativo siendo los más prevalentes la infección respiratoria, la neumonía, el derrame pericárdico significativo y el TEP.
- La detección de un diagnóstico alternativo se fundamenta en el reconocimiento de un patrón de EC cardíaca basado en el reconocimiento visual y en los artefactos y/o imágenes de ecografía pulmonar.
- La aplicación de mediciones ecocardiográficas como la cuantificación de enfermedad valvular y/o el cálculo de la FEVI, ofrece información clínica muy relevante en pacientes diagnosticados de ICA.
- Un protocolo de doble comprobación con EC en pacientes diagnosticados con ICA ofrece no únicamente la detección de potenciales diagnósticos alternativos, sino cambios en la actitud del especialista en MUE en prácticamente el 50% de ellos, ofreciendo información relevante en el 77%.
- La implementación de los valores obtenidos por EC en un modelo de predicción *random forest* basado en *machine learning* presentó una precisión diagnóstica perfecta en la clasificación de pacientes en el grupo de ICA y en el hallazgo de un diagnóstico alternativo, que deberá ser confirmada en estudios posteriores con un mayor número de pacientes.





# **BIBLIOGRAFÍA**



## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Böhm M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 21 de septiembre de 2021;42(36):3599-726.
2. Miró Ò, Llorens P, Aguiló S, Alquézar-Arbé A, Fernández C, Burillo-Putze G, et al. Epidemiological aspects, clinical management and short-term outcomes in elderly patients diagnosed with acute heart failure in the emergency department in Spain: results of the EDEN-34 study. *Rev Clin Esp*. abril de 2024;224(4):204-16.
3. Yancy CW, Fonarow GC, ADHERE Scientific Advisory Committee. Quality of care and outcomes in acute decompensated heart failure: The ADHERE Registry. *Curr Heart Fail Rep*. septiembre de 2004;1(3):121-8.
4. Follath F, Yilmaz MB, Delgado JF, Parissis JT, Porcher R, Gayat E, et al. Clinical presentation, management and outcomes in the Acute Heart Failure Global Survey of Standard Treatment (ALARM-HF). *Intensive Care Med*. abril de 2011;37(4):619-26.
5. Di Somma S, Paladino L, Vaughan L, Lalle I, Magrini L, Magnanti M. Overcrowding in emergency department: an international issue. *Intern Emerg Med*. marzo de 2015;10(2):171-5.
6. Miró Ò, Llorens P, Gil V, López Díez MP, Jacob J, Herrero P, et al. Decisions to admit vs. discharge patients with acute heart failure from the emergency department: consistency with a measure of severity of decompensation and the impact on prognosis. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg*. agosto de 2023;35(4):261-9.
7. McMurray JJV. Clinical practice. Systolic heart failure. *N Engl J Med*. 21 de enero de 2010;362(3):228-38.
8. Levine B, Kalman J, Mayer L, Fillit HM, Packer M. Elevated circulating levels of tumor necrosis factor in severe chronic heart failure. *N Engl J Med*. 26 de julio de 1990;323(4):236-41.
9. McMurray JJV. CONSENSUS to EMPHASIS: the overwhelming evidence which makes blockade of the renin-angiotensin-aldosterone system the cornerstone of therapy for systolic heart failure. *Eur J Heart Fail*. septiembre de 2011;13(9):929-36.

10. López B, González A, Querejeta R, Larman M, Díez J. Alterations in the pattern of collagen deposition may contribute to the deterioration of systolic function in hypertensive patients with heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 4 de julio de 2006;48(1):89-96.
11. Cotter G, Metra M, Milo-Cotter O, Dittrich HC, Gheorghiade M. Fluid overload in acute heart failure--re-distribution and other mechanisms beyond fluid accumulation. *Eur J Heart Fail*. febrero de 2008;10(2):165-9.
12. Aronson D, Abassi Z, Allon E, Burger AJ. Fluid loss, venous congestion, and worsening renal function in acute decompensated heart failure. *Eur J Heart Fail*. junio de 2013;15(6):637-43.
13. Colombo PC, Doran AC, Onat D, Wong KY, Ahmad M, Sabbah HN, et al. Venous congestion, endothelial and neurohormonal activation in acute decompensated heart failure: cause or effect? *Curr Heart Fail Rep*. junio de 2015;12(3):215-22.
14. Colombo PC, Onat D, Harxhi A, Demmer RT, Hayashi Y, Jelic S, et al. Peripheral venous congestion causes inflammation, neurohormonal, and endothelial cell activation. *Eur Heart J*. febrero de 2014;35(7):448-54.
15. Tsutsui H, Kinugawa S, Matsushima S. Oxidative stress and heart failure. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. diciembre de 2011;301(6):H2181-2190.
16. Konstam MA, Kramer DG, Patel AR, Maron MS, Udelson JE. Left ventricular remodeling in heart failure: current concepts in clinical significance and assessment. *JACC Cardiovasc Imaging*. enero de 2011;4(1):98-108.
17. Aimo A, Teis A, Kasa G, Juncà G, Lupón J, Domingo M, et al. Left-to-right ventricular volume ratio and outcome in heart failure with preserved ejection fraction. *J Cardiovasc Med Hagerstown Md*. 1 de agosto de 2023;24(8):552-60.
18. Yan AT, Yan RT, Spinale FG, Afzal R, Gunasinghe HR, Arnold M, et al. Plasma matrix metalloproteinase-9 level is correlated with left ventricular volumes and ejection fraction in patients with heart failure. *J Card Fail*. septiembre de 2006;12(7):514-9.
19. Santiago CF, Huttner IG, Fatkin D. Titin-related Cardiomyopathy: Is it a Distinct Disease? *Curr Cardiol Rep*. septiembre de 2022;24(9):1069-75.
20. Husain-Syed F, McCullough PA, Birk HW, Renker M, Brocca A, Seeger W, et al.

Cardio-Pulmonary-Renal Interactions: A Multidisciplinary Approach. *J Am Coll Cardiol*. 9 de junio de 2015;65(22):2433-48.

21. Apostolo A, Giusti G, Gargiulo P, Bussotti M, Agostoni P. Lungs in heart failure. *Pulm Med*. 2012;2012:952741.

22. Metra M, Davison B, Bettari L, Sun H, Edwards C, Lazzarini V, et al. Is worsening renal function an ominous prognostic sign in patients with acute heart failure? The role of congestion and its interaction with renal function. *Circ Heart Fail*. enero de 2012;5(1):54-62.

23. Sánchez-Marteles M, Rubio Gracia J, Giménez López I. Fisiopatología de la insuficiencia cardiaca aguda: un mundo por conocer. *Rev Clínica Esp*. enero de 2016;216(1):38-46.

24. Farmakis D, Parissis J, Lekakis J, Filippatos G. Acute heart failure: Epidemiology, risk factors, and prevention. *Rev Espanola Cardiol Engl Ed*. marzo de 2015;68(3):245-8.

25. Stevenson LW. Are hemodynamic goals viable in tailoring heart failure therapy? Hemodynamic goals are relevant. *Circulation*. 21 de febrero de 2006;113(7):1020-7; discussion 1033.

26. de la Espriella R, Cobo M, Santas E, Verbrugge FH, Fudim M, Girerd N, et al. Assessment of filling pressures and fluid overload in heart failure: an updated perspective. *Rev Espanola Cardiol Engl Ed*. enero de 2023;76(1):47-57.

27. Nohria A, Tsang SW, Fang JC, Lewis EF, Jarcho JA, Mudge GH, et al. Clinical assessment identifies hemodynamic profiles that predict outcomes in patients admitted with heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 21 de mayo de 2003;41(10):1797-804.

28. Picano E, Scali MC. The lung water cascade in heart failure. *Echocardiogr Mt Kisco N*. octubre de 2017;34(10):1503-7.

29. Martindale JL, Wakai A, Collins SP, Levy PD, Diercks D, Hiestand BC, et al. Diagnosing Acute Heart Failure in the Emergency Department: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. marzo de 2016;23(3):223-42.

30. Figueroa MS, Peters JL. Congestive heart failure: Diagnosis, pathophysiology, therapy, and implications for respiratory care. *Respir Care*. abril de 2006;51(4):403-12.

31. Rahi W, Hussain I, Nguyen DT, Graviss EA, Quinones MA, Nagueh SF. Accuracy of

Clinical Evaluation and Chest X-ray for HFpEF Diagnosis: Comparison Against Right Heart Catheterization. *Am J Cardiol.* 1 de noviembre de 2023;206:219-20.

32. Thibodeau JT, Drazner MH. The Role of the Clinical Examination in Patients With Heart Failure. *JACC Heart Fail.* julio de 2018;6(7):543-51.

33. Petrie MC. It cannot be cardiac failure because the heart is not enlarged on the chest X-ray. *Eur J Heart Fail.* marzo de 2003;5(2):117-9.

34. Llorens P, Javaloyes P, Masip J, Gil V, Herrero-Puente P, Martín-Sánchez FJ, et al. Prognostic value of chest radiographs in patients with acute heart failure: the Radiology in Acute Heart Failure (RAD-ICA) study. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg.* octubre de 2019;31(5):318-26.

35. Kobayashi M, Bercker M, Huttin O, Pierre S, Sadoul N, Bozec E, et al. Chest X-ray quantification of admission lung congestion as a prognostic factor in patients admitted for worsening heart failure from the ICALOR cohort study. *Int J Cardiol.* 15 de enero de 2020;299:192-8.

36. Kennedy S, Simon B, Alter HJ, Cheung P. Ability of physicians to diagnose congestive heart failure based on chest X-ray. *J Emerg Med.* enero de 2011;40(1):47-52.

37. Hall C. NT-ProBNP: the mechanism behind the marker. *J Card Fail.* junio de 2005;11(5 Suppl):S81-83.

38. Bayes-Genis A, Docherty KF, Petrie MC, Januzzi JL, Mueller C, Anderson L, et al. Practical algorithms for early diagnosis of heart failure and heart stress using NT-proBNP: A clinical consensus statement from the Heart Failure Association of the ESC. *Eur J Heart Fail.* noviembre de 2023;25(11):1891-8.

39. Mueller C, McDonald K, de Boer RA, Maisel A, Cleland JGF, Kozhuharov N, et al. Heart Failure Association of the European Society of Cardiology practical guidance on the use of natriuretic peptide concentrations. *Eur J Heart Fail.* junio de 2019;21(6):715-31.

40. Schmitt W, Rühls H, Burghaus R, Diedrich C, Duwal S, Eissing T, et al. NT-proBNP Qualifies as a Surrogate for Clinical End Points in Heart Failure. *Clin Pharmacol Ther.* agosto de 2021;110(2):498-507.

41. Mueller T, Gegenhuber A, Poelz W, Haltmayer M. Diagnostic accuracy of B type

natriuretic peptide and amino terminal proBNP in the emergency diagnosis of heart failure. *Heart Br Card Soc.* mayo de 2005;91(5):606-12.

42. Cunningham JW, Myhre PL. NT-proBNP Response to Heart Failure Therapies: An Imperfect Surrogate. *J Am Coll Cardiol.* 28 de septiembre de 2021;78(13):1333-6.

43. Adamo M, Pagnesi M, Mebazaa A, Davison B, Edwards C, Tomasoni D, et al. NT-proBNP and high intensity care for acute heart failure: the STRONG-HF trial. *Eur Heart J.* 14 de agosto de 2023;44(31):2947-62.

44. Madamanchi C, Alhosaini H, Sumida A, Runge MS. Obesity and natriuretic peptides, BNP and NT-proBNP: mechanisms and diagnostic implications for heart failure. *Int J Cardiol.* 20 de octubre de 2014;176(3):611-7.

45. Martín Sánchez FJ, Covarrubias M, Terán C, Llorens P, Herrero P, Jacob J, et al. [Prognostic role of NT-proBNP in emergency department in the elderly with acute heart failure]. *Rev Espanola Geriatr Gerontol.* 2013;48(4):155-60.

46. Kendall JL, Hoffenberg SR, Smith RS. History of emergency and critical care ultrasound: the evolution of a new imaging paradigm. *Crit Care Med.* mayo de 2007;35(5 Suppl):S126-130.

47. Villén Villegas T, Campo Linares R, Alonso Viladot JR, Martínez Mas R, Luque Hernández MJ, Ruiz Durán M, et al. Description of basic competencies in clinical ultrasound imaging for emergency departments. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg.* octubre de 2022;34(5):377-87.

48. Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography. *N Engl J Med.* 24 de febrero de 2011;364(8):749-57.

49. Kirkpatrick AW, Sirois M, Laupland KB, Liu D, Rowan K, Ball CG, et al. Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (EFAST). *J Trauma.* agosto de 2004;57(2):288-95.

50. Platts-Mills TF, Nagurney JM, Melnick ER. Tolerance of Uncertainty and the Practice of Emergency Medicine. *Ann Emerg Med.* junio de 2020;75(6):715-20.

51. Fox JC, Irwin Z. Emergency and critical care imaging. *Emerg Med Clin North Am.*

agosto de 2008;26(3):787-812, ix-x.

52. Rozycki GS, Shackford SR. Ultrasound, what every trauma surgeon should know. *J Trauma*. enero de 1996;40(1):1-4.

53. Shojaee M, Faridaalae G, Sabzghabaei A, Safari S, Mansoorifar H, Arhamidolatabadi A, et al. Sonographic Detection of Abdominal Free Fluid: Emergency Residents vs Radiology Residents. *Trauma Mon*. 2013;17(4):377-9.

54. Brenchley J, Walker A, Sloan JP, Hassan TB, Venables H. Evaluation of focussed assessment with sonography in trauma (FAST) by UK emergency physicians. *Emerg Med J EMJ*. junio de 2006;23(6):446-8.

55. Nogué, R. La ecografía en medicina de urgencias: una herramienta al alcance de los urgenciólogos. *Emergencias*. 20:75-7.

56. Temsah MH, Al-Sohime F, Alhaboob A, Al-Eyadhy A, Aljamaan F, Hasan G, et al. Adverse events experienced with intrahospital transfer of critically ill patients: A national survey. *Medicine (Baltimore)*. 7 de mayo de 2021;100(18):e25810.

57. Villén Villegas T, Campo Linares R, Alonso Viladot JR, Martínez Mas R, Luque Hernández MJ, Ruiz Durán M, et al. Description of basic competencies in clinical ultrasound imaging for emergency departments. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg*. octubre de 2022;34(5):377-87.

58. Atkinson P, Bowra J, Lambert M, Lamprecht H, Noble V, Jarman B. International Federation for Emergency Medicine point of care ultrasound curriculum. *CJEM*. marzo de 2015;17(2):161-70.

59. Pellicori P, Platz E, Dauw J, Ter Maaten JM, Martens P, Pivetta E, et al. Ultrasound imaging of congestion in heart failure: examinations beyond the heart. *Eur J Heart Fail*. mayo de 2021;23(5):703-12.

60. Lichtenstein D. Lung ultrasound in the critically ill. *Curr Opin Crit Care*. junio de 2014;20(3):315-22.

61. Rantanen NW. Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract*. abril de 1986;2(1):49-66.

62. Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the

critically ill. Lung sliding. Chest. noviembre de 1995;108(5):1345-8.

63. 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. noviembre de 1997;156(5):1640-6.

64. Joyner CR, Herman RJ, Reid JM. Reflected ultrasound in the detection and localization of pleural effusion. JAMA. 1 de mayo de 1967;200(5):399-402.

65. Bhoil R, Ahluwalia A, Chopra R, Surya M, Bhoil S. Signs and lines in lung ultrasound. J Ultrason. 16 de agosto de 2021;21(86):e225-33.

66. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. Chest. junio de 2015;147(6):1659-70.

67. Galloy AE, Reinhardt JM, Raghavan ML. Role of lung lobar sliding on parenchymal distortion during breathing. J Appl Physiol Bethesda Md 1985. 1 de septiembre de 2023;135(3):534-41.

68. Avila J, Smith B, Mead T, Jurma D, Dawson M, Mallin M, et al. Does the Addition of M-Mode to B-Mode Ultrasound Increase the Accuracy of Identification of Lung Sliding in Traumatic Pneumothoraces? J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med. noviembre de 2018;37(11):2681-7.

69. Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Mezière G. The «lung pulse»: an early ultrasound sign of complete atelectasis. Intensive Care Med. diciembre de 2003;29(12):2187-92.

70. Gottlieb M, Holladay D, Burns KM, Nakitende D, Bailitz J. Ultrasound for airway management: An evidence-based review for the emergency clinician. Am J Emerg Med. mayo de 2020;38(5):1007-13.

71. Rode B, Vučić M, Siranović M, Kovač N, Kelečić M, Gopčević A. Ultrasonographic finding of lung sliding in patients on mechanical ventilation with alveolar-interstitial syndrome. Eur J Anaesthesiol. abril de 2011;28(4):303-5.

72. Santos-Silva J, Lichtenstein D, Tuinman PR, Elbers PWG. The lung point, still a sign specific to pneumothorax. Intensive Care Med. septiembre de 2019;45(9):1327-8.

73. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The «lung point»: an ultrasound sign specific to pneumothorax. Intensive Care Med. octubre de 2000;26(10):1434-40.

74. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* abril de 2012;38(4):577-91.
75. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact: an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med.* abril de 1999;25(4):383-8.
76. Volpicelli G. Lung Ultrasound B-Lines in Interstitial Lung Disease: Moving From Diagnosis to Prognostic Stratification. *Chest.* octubre de 2020;158(4):1323-4.
77. Kreuter M, Mathis G. Emergency ultrasound of the chest. *Respir Int Rev Thorac Dis.* 2014;87(2):89-97.
78. Hasan AA, Makhoul HA. B-lines: Transthoracic chest ultrasound signs useful in assessment of interstitial lung diseases. *Ann Thorac Med.* abril de 2014;9(2):99-103.
79. Mento F, Demi L. Dependence of lung ultrasound vertical artifacts on frequency, bandwidth, focus and angle of incidence: An in vitro study. *J Acoust Soc Am.* diciembre de 2021;150(6):4075.
80. Fairchild R, Chung M, Yang D, Sharpless L, Li S, Chung L. Development and Assessment of Novel Lung Ultrasound Interpretation Criteria for the Detection of Interstitial Lung Disease in Systemic Sclerosis. *Arthritis Care Res.* septiembre de 2021;73(9):1338-42.
81. Picano E, Pellikka PA. Ultrasound of extravascular lung water: a new standard for pulmonary congestion. *Eur Heart J.* 14 de julio de 2016;37(27):2097-104.
82. Dietrich CF, Mathis G, Cui XW, Ignee A, Hocke M, Hirche TO. Ultrasound of the pleurae and lungs. *Ultrasound Med Biol.* febrero de 2015;41(2):351-65.
83. Mathis G. [Thoraxsonography--part 2--Subpleural lung lesions]. *Praxis.* 21 de abril de 2004;93(17):719-24.
84. Squizzato A, Rancan E, Dentali F, Bonzini M, Guasti L, Steidl L, et al. Diagnostic accuracy of lung ultrasound for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost JTH.* julio de 2013;11(7):1269-78.
85. Bitar ZI, Shamsah M, Maadarani O, Bamasood OM, Bitar AZ, Alfoudri H. Lung Ultrasound and Sonographic Subpleural Consolidation in COVID-19 Pneumonia Correlate with Disease Severity. *Crit Care Res Pract.* 2021;2021:6695033.

86. La Regina DP, Bloise S, Pepino D, Iovine E, Laudisa M, Cristiani L, et al. Lung ultrasound in bronchiolitis. *Pediatr Pulmonol*. enero de 2021;56(1):234-9.
87. Corradi F, Brusasco C, Pelosi P. Chest ultrasound in acute respiratory distress syndrome. *Curr Opin Crit Care*. febrero de 2014;20(1):98-103.
88. Steinmetz P, Oleskevich S, Dyachenko A, McCusker J, Lewis J. Accuracy of Medical Students in Detecting Pleural Effusion Using Lung Ultrasound as an Adjunct to the Physical Examination. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. noviembre de 2018;37(11):2545-52.
89. Dickman E, Terentiev V, Likourezos A, Derman A, Haines L. Extension of the Thoracic Spine Sign: A New Sonographic Marker of Pleural Effusion. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. septiembre de 2015;34(9):1555-61.
90. Han J, Xiang H, Ridley WE, Ridley LJ. Jellyfish sign: Pleural effusion. *J Med Imaging Radiat Oncol*. octubre de 2018;62 Suppl 1:33.
91. Tang D, Yi H, Zhang W. Ultrasound quantification of pleural effusion volume in supine position: comparison of three model formulae. *BMC Pulm Med*. 4 de julio de 2024;24(1):316.
92. Badiei A. From light to sound: Ultrasound outshines Light's criteria for pleural effusions classification. *Respirol Carlton Vic*. 28 de agosto de 2024;
93. Gargani L, Girerd N, Platz E, Pellicori P, Stankovic I, Palazzuoli A, et al. Lung ultrasound in acute and chronic heart failure: a clinical consensus statement of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI). *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 23 de noviembre de 2023;24(12):1569-82.
94. Agricola E, Arbelot C, Blaivas M, Bouhemad B, Copetti R, Dean A, et al. Ultrasound performs better than radiographs. *Thorax*. septiembre de 2011;66(9):828-9; author reply 829.
95. Lichtenstein D, Mezière G. A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med*. diciembre de 1998;24(12):1331-4.
96. Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest*. julio de 2008;134(1):117-25.

97. Pivetta E, Goffi A, Nazerian P, Castagno D, Tozzetti C, Tizzani P, et al. Lung ultrasound integrated with clinical assessment for the diagnosis of acute decompensated heart failure in the emergency department: a randomized controlled trial. *Eur J Heart Fail.* junio de 2019;21(6):754-66.
98. Volpicelli G, Bouhemad B. Quantify or Diagnose Acute Respiratory Distress Syndrome by Lung Ultrasound. *Am J Respir Crit Care Med.* 1 de julio de 2023;208(1):112-3.
99. Curtain JP, Talebi A, McIntosh A, McConnachie A, O'Donnell J, Welsh P, et al. Measuring congestion with a non-invasive monitoring device in heart failure and haemodialysis: CONGEST-HF. *Eur J Heart Fail.* 13 de mayo de 2024;
100. Cammarota G, Vaschetto R, Vetrugno L, Maggiore SM. Monitoring lung recruitment. *Curr Opin Crit Care.* 1 de junio de 2024;30(3):268-74.
101. Volpicelli G, Melniker LA, Cardinale L, Lamorte A, Frascisco MF. Lung ultrasound in diagnosing and monitoring pulmonary interstitial fluid. *Radiol Med (Torino).* marzo de 2013;118(2):196-205.
102. Via G, Hussain A, Wells M, Reardon R, ElBarbary M, Noble VE, et al. International evidence-based recommendations for focused cardiac ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* julio de 2014;27(7):683.e1-683.e33.
103. Breitzkreutz R, Walcher F, Seeger FH. Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Crit Care Med.* mayo de 2007;35(5 Suppl):S150-161.
104. Neskovic AN, Skinner H, Price S, Via G, De Hert S, Stankovic I, et al. Focus cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 1 de mayo de 2018;19(5):475-81.
105. Neri L, Storti E, Lichtenstein D. Toward an ultrasound curriculum for critical care medicine. *Crit Care Med.* mayo de 2007;35(5 Suppl):S290-304.
106. Rich S, Sheikh A, Gallastegui J, Kondos GT, Mason T, Lam W. Determination of left ventricular ejection fraction by visual estimation during real-time two-dimensional echocardiography. *Am Heart J.* septiembre de 1982;104(3):603-6.

107. Secko MA, Lazar JM, Saliccioli LA, Stone MB. Can junior emergency physicians use E-point septal separation to accurately estimate left ventricular function in acutely dyspneic patients? *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. noviembre de 2011;18(11):1223-6.
108. Anavekar NS, Oh JK. Doppler echocardiography: a contemporary review. *J Cardiol*. diciembre de 2009;54(3):347-58.
109. Jarman RD, McDermott C, Colclough A, Bøtker M, Knudsen L, Harris T, et al. EFSUMB Clinical Practice Guidelines for Point-of-Care Ultrasound: Part One (Common Heart and Pulmonary Applications) LONG VERSION. *Ultraschall Med Stuttg Ger* 1980. febrero de 2023;44(1):e1-24.
110. L'Hermitte N, Markarian T, Grau-Mercier L, Coisy F, Muller L, Saadi L, et al. Diagnostic performance of a clinical ultrasound-based algorithm for acute heart failure in patients presenting to the emergency department with dyspnea. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg*. abril de 2024;36(2):109-15.
111. Vives M, Hernández A, Carmona P, Villen T, Borrat X, Sánchez E, et al. Diploma on Basic Echocardiography training and competencies for Intensive Care and Emergency medicine: Consensus document of the Spanish Society of Anesthesiology and Critical Care (SEDAR) and the Spanish Society of Emergency Medicine (SEMES). *Rev Esp Anesthesiol Reanim*. 2022;69(7):402-10.
112. Nazerian P, Vanni S, Zanobetti M, Polidori G, Pepe G, Federico R, et al. Diagnostic accuracy of emergency Doppler echocardiography for identification of acute left ventricular heart failure in patients with acute dyspnea: comparison with Boston criteria and N-terminal prohormone brain natriuretic peptide. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. enero de 2010;17(1):18-26.
113. Chioncel O, Adamo M, Nikolaou M, Parissis J, Mebazaa A, Yilmaz MB, et al. Acute heart failure and valvular heart disease: A scientific statement of the Heart Failure Association, the Association for Acute CardioVascular Care and the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. julio de 2023;25(7):1025-48.
114. Naser N, Stankovic I, Neskovic A. The Reliability of Automated Three-Dimensional Echocardiography-HeartModelA.I. Versus 2D Echocardiography Simpson Methods in Evaluation of Left Ventricle Volumes and Ejection Fraction in Patients With Left Ventricular

Dysfunction. *Med Arch Sarajevo Bosnia Herzeg.* agosto de 2022;76(4):259-66.

115. Bahl A, Johnson S, Altwail M, Brackney A, Xiao J, Price J, et al. Left Ventricular Ejection Fraction Assessment by Emergency Physician-Performed Bedside Echocardiography: A Prospective Comparative Evaluation of Multiple Modalities. *J Emerg Med.* diciembre de 2021;61(6):711-9.

116. Cotter G, Deniau B, Davison B, Edwards C, Adamo M, Arrigo M, et al. Optimization of Evidence-Based Heart Failure Medications After an Acute Heart Failure Admission: A Secondary Analysis of the STRONG-HF Randomized Clinical Trial. *JAMA Cardiol.* 1 de febrero de 2024;9(2):114-24.

117. Stawicki SP, Braslow BM, Panebianco NL, Kirkpatrick JN, Gracias VH, Hayden GE, et al. Intensivist use of hand-carried ultrasonography to measure IVC collapsibility in estimating intravascular volume status: correlations with CVP. *J Am Coll Surg.* julio de 2009;209(1):55-61.

118. Via G, Tavazzi G, Price S. Ten situations where inferior vena cava ultrasound may fail to accurately predict fluid responsiveness: a physiologically based point of view. *Intensive Care Med.* julio de 2016;42(7):1164-7.

119. Guerrero-Gutiérrez MA, García-Guillén FJ, Adame-Encarnación H, Monera-Martínez F, Ñamendys-Silva SA, Córdova-Sánchez BM. Reliability of point-of-care ultrasound to evaluate fluid tolerance performed by critical care residents. *Eur J Med Res.* 12 de octubre de 2023;28(1):431.

120. Kim DW, Chung S, Kang WS, Kim J. Diagnostic Accuracy of Ultrasonographic Respiratory Variation in the Inferior Vena Cava, Subclavian Vein, Internal Jugular Vein, and Femoral Vein Diameter to Predict Fluid Responsiveness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Diagn Basel Switz.* 27 de diciembre de 2021;12(1):49.

121. Kaptein YE, Kaptein EM. Comparison of subclavian vein to inferior vena cava collapsibility by ultrasound in acute heart failure: A pilot study. *Clin Cardiol.* enero de 2022;45(1):51-9.

122. Squizzato A, Maroni L, Marrazzo C, Riva N, Guasti L. Diagnostic accuracy of inferior vena cava ultrasound for heart failure in patients with acute dyspnoea: a systematic review and meta-analysis. *Emerg Med J EMJ.* marzo de 2021;38(3):232-9.

123. Sampath-Kumar R, Ben-Yehuda O. Inferior vena cava diameter and risk of acute decompensated heart failure rehospitalisations. *Open Heart*. septiembre de 2023;10(2):e002331.
124. Hebl V, Zakharova MY, Canoniero M, Duprez D, Garcia S. Correlation of natriuretic peptides and inferior vena cava size in patients with congestive heart failure. *Vasc Health Risk Manag*. 2012;8:213-8.
125. Hussain A, Via G, Melniker L, Goffi A, Tavazzi G, Neri L, et al. Multi-organ point-of-care ultrasound for COVID-19 (PoCUS4COVID): international expert consensus. *Crit Care Lond Engl*. 24 de diciembre de 2020;24(1):702.
126. Nazerian P, Vanni S, Volpicelli G, Gigli C, Zanobetti M, Bartolucci M, et al. Accuracy of point-of-care multiorgan ultrasonography for the diagnosis of pulmonary embolism. *Chest*. mayo de 2014;145(5):950-7.
127. Sweeney DA, Wiley BM. Integrated Multiorgan Bedside Ultrasound for the Diagnosis and Management of Sepsis and Septic Shock. *Semin Respir Crit Care Med*. octubre de 2021;42(5):641-9.
128. Perera P, Mailhot T, Riley D, Mandavia D. The RUSH exam: Rapid Ultrasound in SHock in the evaluation of the critically ill. *Emerg Med Clin North Am*. febrero de 2010;28(1):29-56, vii.
129. Anderson KL, Jenq KY, Fields JM, Panebianco NL, Dean AJ. Diagnosing heart failure among acutely dyspneic patients with cardiac, inferior vena cava, and lung ultrasonography. *Am J Emerg Med*. agosto de 2013;31(8):1208-14.
130. Shokoohi H, LeSaux MA, Roohani YH, Liteplo A, Huang C, Blaivas M. Enhanced Point-of-Care Ultrasound Applications by Integrating Automated Feature-Learning Systems Using Deep Learning. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. julio de 2019;38(7):1887-97.
131. Blaivas M, Adhikari S, Savitsky EA, Blaivas LN, Liu YT. Artificial intelligence versus expert: a comparison of rapid visual inferior vena cava collapsibility assessment between POCUS experts and a deep learning algorithm. *J Am Coll Emerg Physicians Open*. octubre de 2020;1(5):857-64.
132. Blaivas M, Blaivas L. Machine learning algorithm using publicly available echo

database for simplified «visual estimation» of left ventricular ejection fraction. *World J Exp Med.* 20 de marzo de 2022;12(2):16-25.

133. Russell FM, Ehrman RR, Barton A, Sarmiento E, Ottenhoff JE, Nti BK. B-line quantification: comparing learners novice to lung ultrasound assisted by machine artificial intelligence technology to expert review. *Ultrasound J.* 30 de junio de 2021;13(1):33.

134. Goldsmith AJ, Jin M, Lucassen R, Duggan NM, Harrison NE, Wells W, et al. Comparison of pulmonary congestion severity using artificial intelligence-assisted scoring versus clinical experts: A secondary analysis of BLUSHED-AHF. *Eur J Heart Fail.* julio de 2023;25(7):1166-9.

135. Mayr U, Lukas M, Habenicht L, Wiessner J, Heilmaier M, Ulrich J, et al. B-Lines Scores Derived From Lung Ultrasound Provide Accurate Prediction of Extravascular Lung Water Index: An Observational Study in Critically Ill Patients. *J Intensive Care Med.* enero de 2022;37(1):21-31.

136. Gohar E, Herling A, Mazuz M, Tsaban G, Gat T, Kobal S, et al. Artificial Intelligence (AI) versus POCUS Expert: A Validation Study of Three Automatic AI-Based, Real-Time, Hemodynamic Echocardiographic Assessment Tools. *J Clin Med.* 8 de febrero de 2023;12(4):1352.

137. Sveric KM, Ulbrich S, Dindane Z, Winkler A, Botan R, Mierke J, et al. Improved assessment of left ventricular ejection fraction using artificial intelligence in echocardiography: A comparative analysis with cardiac magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol.* 1 de enero de 2024;394:131383.

138. Singh A, Sun D, Mor-Avi V, Addetia K, Patel AR, DeCara JM, et al. Can echocardiographic assessment of diastolic function be automated? *Int J Cardiovasc Imaging.* mayo de 2022;38(5):965-74.

139. Zhai S, Wang H, Sun L, Zhang B, Huo F, Qiu S, et al. Artificial intelligence (AI) versus expert: A comparison of left ventricular outflow tract velocity time integral (LVOT-VTI) assessment between ICU doctors and an AI tool. *J Appl Clin Med Phys.* agosto de 2022;23(8):e13724.

140. Liteplo AS, Marill KA, Villen T, Miller RM, Murray AF, Croft PE, et al. Emergency thoracic ultrasound in the differentiation of the etiology of shortness of breath (ETUDES):

sonographic B-lines and N-terminal pro-brain-type natriuretic peptide in diagnosing congestive heart failure. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. marzo de 2009;16(3):201-10.

141. Mongodi S, Bouhemad B, Orlando A, Stella A, Tavazzi G, Via G, et al. Modified Lung Ultrasound Score for Assessing and Monitoring Pulmonary Aeration. *Ultraschall Med Stuttg Ger* 1980. octubre de 2017;38(5):530-7.

142. Thiele C, Hirschfeld G. **cutpointr**: Improved Estimation and Validation of Optimal Cutpoints in *R*. *J Stat Softw* [Internet]. 2021 [citado 15 de mayo de 2024];98(11). Disponible en: <http://www.jstatsoft.org/v98/i11/>

143. Kuhn M. Building Predictive Models in *R* Using the **caret** Package. *J Stat Softw* [Internet]. 2008 [citado 31 de mayo de 2024];28(5). Disponible en: <http://www.jstatsoft.org/v28/i05/>

144. Mullens W, Damman K, Harjola VP, Mebazaa A, Brunner-La Rocca HP, Martens P, et al. The use of diuretics in heart failure with congestion - a position statement from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. febrero de 2019;21(2):137-55.

145. Kobal SL, Trento L, Baharami S, Tolstrup K, Naqvi TZ, Cercek B, et al. Comparison of effectiveness of hand-carried ultrasound to bedside cardiovascular physical examination. *Am J Cardiol*. 1 de octubre de 2005;96(7):1002-6.

146. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology*. enero de 2004;100(1):9-15.

147. Díaz-Gómez JL, Mayo PH, Koenig SJ. Point-of-Care Ultrasonography. *N Engl J Med*. 21 de octubre de 2021;385(17):1593-602.

148. Darwish OS, Mahayni A, Kataria S, Zuniga E, Zhang L, Amin A. Diagnosis of Acute Heart Failure Using Inferior Vena Cava Ultrasound: Systematic Review and Meta-analysis. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med*. julio de 2020;39(7):1367-78.

149. Spevack R, Al Shukairi M, Jayaraman D, Dankoff J, Rudski L, Lipes J. Serial lung and IVC ultrasound in the assessment of congestive heart failure. *Crit Ultrasound J*. diciembre de 2017;9(1):7.

150. Gargani L, Girerd N, Platz E, Pellicori P, Stankovic I, Palazzuoli A, et al. Lung ultrasound in acute and chronic heart failure: a clinical consensus statement of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI). *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 23 de noviembre de 2023;24(12):1569-82.
151. Blaivas M. Incidence of pericardial effusion in patients presenting to the emergency department with unexplained dyspnea. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med*. diciembre de 2001;8(12):1143-6.
152. Curbelo J, Aguilera M, Rodriguez-Cortes P, Gil-Martinez P, Suarez Fernandez C. Usefulness of inferior vena cava ultrasonography in outpatients with chronic heart failure. *Clin Cardiol*. abril de 2018;41(4):510-7.
153. Schober OH, Meyer GJ, Bossaller C, Creutzig H, Lichtlen PR, Hundeshagen H. Quantitative determination of regional extravascular lung water and regional blood volume in congestive heart failure. *Eur J Nucl Med*. 1985;10(1-2):17-24.
154. Volpicelli G, Lamorte A, Villén T. What's new in lung ultrasound during the COVID-19 pandemic. *Intensive Care Med*. julio de 2020;46(7):1445-8.
155. Gargani L, Bruni C, Romei C, Frumento P, Moreo A, Agoston G, et al. Prognostic Value of Lung Ultrasound B-Lines in Systemic Sclerosis. *Chest*. octubre de 2020;158(4):1515-25.
156. Szabó IA, Gargani L, Morvai-Illés B, Polestyuk-Németh N, Frigy A, Varga A, et al. Prognostic Value of Lung Ultrasound in Aortic Stenosis. *Front Physiol*. 2022;13:838479.
157. Dubón-Peralta EE, Lorenzo-Villalba N, García-Klepzig JL, Andrés E, Méndez-Bailon M. Prognostic value of B lines detected with lung ultrasound in acute heart failure. A systematic review. *J Clin Ultrasound JCU*. febrero de 2022;50(2):273-83.
158. Solomon SD, Ostrominski JW, Vaduganathan M, Claggett B, Jhund PS, Desai AS, et al. Baseline characteristics of patients with heart failure with mildly reduced or preserved ejection fraction: The FINEARTS-HF trial. *Eur J Heart Fail*. 11 de mayo de 2024;
159. Dewan P, Rørth R, Raparelli V, Campbell RT, Shen L, Jhund PS, et al. Sex-Related Differences in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction. *Circ Heart Fail*. diciembre de 2019;12(12):e006539.

160. Groenewegen A, Rutten FH, Mosterd A, Hoes AW. Epidemiology of heart failure. *Eur J Heart Fail.* agosto de 2020;22(8):1342-56.
161. Girerd N, Leclercq C, Hanon O, Bayés-Genís A, Januzzi JL, Damy T, et al. Optimisation of treatments for heart failure with reduced ejection fraction in routine practice: a position statement from a panel of experts. *Rev Espanola Cardiol Engl Ed.* octubre de 2023;76(10):813-20.
162. Solomon SD, McMurray JJV, Claggett B, de Boer RA, DeMets D, Hernandez AF, et al. Dapagliflozin in Heart Failure with Mildly Reduced or Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med.* 22 de septiembre de 2022;387(12):1089-98.
163. Li J, Song Y, Chen F. Evaluating the impact of Sacubitril/valsartan on diastolic function in patients with heart failure: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 10 de mayo de 2024;103(19):e37965.
164. McKee PA, Castelli WP, McNamara PM, Kannel WB. The natural history of congestive heart failure: the Framingham study. *N Engl J Med.* 23 de diciembre de 1971;285(26):1441-6.
165. Mosterd A, Hoes AW. Clinical epidemiology of heart failure. *Heart Br Card Soc.* septiembre de 2007;93(9):1137-46.
166. Kang DH, Park SJ, Shin SH, Hwang IC, Yoon YE, Kim HK, et al. Ertugliflozin for Functional Mitral Regurgitation Associated With Heart Failure: EFFORT Trial. *Circulation.* 1 de mayo de 2024;
167. Myhre PL, Vaduganathan M, Greene SJ. Diagnosing heart failure with preserved ejection fraction in 2019: the search for a gold standard. *Eur J Heart Fail.* marzo de 2020;22(3):422-4.
168. Nagueh SF. Left Ventricular Diastolic Function: Understanding Pathophysiology, Diagnosis, and Prognosis With Echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging.* enero de 2020;13(1 Pt 2):228-44.
169. Ghany R, Palacio A, Chen G, Dawkins E, Ghany A, Forbes E, et al. A screening echocardiogram to identify diastolic dysfunction leads to better outcomes. *Echocardiogr Mt Kisco N.* agosto de 2017;34(8):1152-8.

170. Hoot NR, Aronsky D. Systematic review of emergency department crowding: causes, effects, and solutions. *Ann Emerg Med.* agosto de 2008;52(2):126-36.
171. Llorens P, Javaloyes P, Martín-Sánchez FJ, Jacob J, Herrero-Puente P, Gil V, et al. Time trends in characteristics, clinical course, and outcomes of 13,791 patients with acute heart failure. *Clin Res Cardiol Off J Ger Card Soc.* octubre de 2018;107(10):897-913.
172. Bezati S, Velliou M, Ventoulis I, Simitzis P, Parissis J, Polyzogopoulou E. Infection as an under-recognized precipitant of acute heart failure: prognostic and therapeutic implications. *Heart Fail Rev.* julio de 2023;28(4):893-904.
173. Jiménez Hernández S, Ruiz-Artacho P, Maza Vera MT, Ortiz Villacian E, Chehayeb J, Campo Linares R, et al. Ultrasound imaging obtained by emergency department physicians to diagnose deep vein thrombosis: accuracy, safety, and efficiency. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg.* junio de 2019;31(3):167-72.
174. Howell L, Ingram N, Lapham R, Morrell A, McLaughlan JR. Deep learning for real-time multi-class segmentation of artefacts in lung ultrasound. *Ultrasonics.* mayo de 2024;140:107251.
175. Milling TJ Jr, Rose J, Briggs WM, Birkhahn R, Gaeta TJ, Bove JJ, et al. Randomized, controlled clinical trial of point-of-care limited ultrasonography assistance of central venous cannulation: the Third Sonography Outcomes Assessment Program (SOAP-3) Trial. *Crit Care Med.* agosto de 2005;33(8):1764-9.
176. Smith SW, Lee DC, Goldfrank LR. Reflections on Mortality and Uncertainty in Emergency Medicine. *JAMA Intern Med.* 1 de enero de 2020;180(1):88-90.
177. Nicholas E, Ly AA, Prince AM, Klawitter PF, Gaskin K, Prince LA. The Current Status of Ultrasound Education in United States Medical Schools. *J Ultrasound Med Off J Am Inst Ultrasound Med.* noviembre de 2021;40(11):2459-65.
178. Prosch H, Radzina M, Dietrich CF, Nielsen MB, Baumann S, Ewertsen C, et al. Ultrasound Curricula of Student Education in Europe: Summary of the Experience. *Ultrasound Int Open.* junio de 2020;6(1):E25-33.
179. Hoppmann RA, Mladenovic J, Melniker L, Badea R, Blaivas M, Montorfano M, et al. International consensus conference recommendations on ultrasound education for undergraduate medical students. *Ultrasound J.* 27 de julio de 2022;14(1):31.

180. Hoppmann RA, Rao VV, Bell F, Poston MB, Howe DB, Riffle S, et al. The evolution of an integrated ultrasound curriculum (iUSC) for medical students: 9-year experience. *Crit Ultrasound J*. diciembre de 2015;7(1):18.

181. Solomon SD, Saldana F. Point-of-care ultrasound in medical education--stop listening and look. *N Engl J Med*. 20 de marzo de 2014;370(12):1083-5.





# **ANEXOS**



# ANEXOS

## ANEXO I. CUADERNO DE RECOGIDA DE DATOS.

### PROTOCOLO ICARUS

ID PACIENTE:	¿CARDIOPATÍA CONOCIDA?
--------------	------------------------

SEXO                      EDAD

H       M      

TIEMPO DE EVOLUCIÓN (horas)	TA	/	FC	NT-pro BNP
-----------------------------	----	---	----	------------

#### MAPA LÍNEAS B (auto B lines: rellenar de 0 a 5)

3R	1R	1L	3L
4R	2R	2L	4L

IVC	LUNG SCORE	PATRON DIASTOLÓGICO				FA <input type="checkbox"/>
Máx		TIPO I <input type="checkbox"/>	TIPO II <input type="checkbox"/>	TIPO III <input type="checkbox"/>	TIPO IV <input type="checkbox"/>	
Mín						
IC						

#### DIAGNÓSTICO ALTERNATIVO

TEP	DERRAME PERICÁRDICO	NEUMONÍA	INFECCIÓN RESP	OTROS

<b>HALLAZGOS ECOCARDIO (marcar la valvulopatía o con un círculo)</b>				
FEVI (%)	¿FEVI previa conocida?		¿Valvulopatía previa?	
	NO SÍ (describir)			
EAO	IAO	EM	IM	HTP
Leve-Mod-Grave	Leve-Mod-Grave	Leve-Mod-Grave	Leve-Mod-Grave	Leve-Mod-Grave
Otros hallazgos:				

<b>PLAN PRE ICARUS</b>		
Ingreso	Observación	Alta
<b>PLAN POST ICARUS</b>		
Ingreso	Observación	Alta

# ANEXO II. INFORME DE APROBACIÓN DEL CEIC.

Ref: 57/187086.9/19



## INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS

D. Jesús Frías Iniesta, Vicepresidente del Comité de Ética de la Investigación con medicamentos del Hospital Universitario La Paz

### CERTIFICA

Que este Comité ha evaluado la propuesta del investigador Yale Tung Chen del Servicio de Urgencias del Hospital Universitario "La Paz" para que se realice el estudio titulado **IMPACTO DE UN PROTOCOLO DE DOBLE COMPROBACIÓN MEDIANTE ECOGRAFÍA CLÍNICA EN EL DIAGNÓSTICO DE INSUFICIENCIA CARDÍACA AGUDA EN UN SERVICIO DE URGENCIAS. Estudio ICARUS**, Versión 2.0 de 16 Noviembre 2019, Hoja de Información al Paciente/Consentimiento Informado, Versión 2.0. de 16 Noviembre 2019, código HULP: **PI-3865**

y considera que teniendo en cuenta la respuesta a las aclaraciones solicitadas:

- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- La capacidad del investigador y los medios de disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.
- Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado y no interfiere con el respeto a los postulados éticos.

Y que este Comité acepta que dicho estudio sea realizado por el investigador Yale Tung Chen del Servicio de Urgencias del Hospital Universitario "La Paz" como investigador principal.

Lo que firmo en Madrid a 12 de Diciembre 2019

Firmado:  
D. Jesús Frías Iniesta



La autenticidad de este documento se puede comprobar en [www.madrid.org/csv](http://www.madrid.org/csv) mediante el siguiente código seguro de verificación: **128975021989838509614**

# ANEXO III. HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

*Protocolo URGG/HULP\_2019\_08  
Versión 1.0. OCTUBRE 2019*

## HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO INFORMADO

**Título Del Estudio:** Impacto de un protocolo de doble comprobación mediante ecografía clínica en el diagnóstico de Insuficiencia Cardíaca Aguda en un Servicio de Urgencias. Estudio ICARUS.

**PROMOTOR:** Grupo de Trabajo en Ecografía de la Sociedad Española de Urgencias y Emergencias

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:** Dr. Yale Tung Chen.

**CENTRO:** Servicio de Urgencias. Hospital General. Hospital Universitario La Paz, Madrid.

---

### INTRODUCCIÓN

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación en el que se le invita a participar. El estudio ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica el Hospital de La Paz.

Nuestra intención es tan sólo que usted reciba la información correcta y suficiente para que pueda evaluar y juzgar si quiere o no participar en este estudio. Para ello lea esta hoja informativa con atención y nosotros le aclararemos las dudas que le puedan surgir después de la explicación. Además, puede consultar con las personas que considere oportuno.

### ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La insuficiencia cardíaca o insuficiencia cardíaca congestiva, se produce cuando el músculo del corazón no bombea sangre tan bien como debería hacerlo. Determinadas afecciones, como las arterias estrechadas en el corazón (enfermedad de las arterias coronarias) o la presión arterial alta, dejan progresivamente el corazón demasiado débil o rígido como para llenarse y bombear de forma eficaz. No es posible revertir todas las afecciones que provocan la insuficiencia cardíaca, pero el diagnóstico precoz y los tratamientos pueden mejorar los signos y síntomas de la insuficiencia cardíaca y ayudarle a vivir más tiempo.

En los últimos años, la ecografía practicada a pie de cama, ha demostrado resultar una herramienta, que entre otras cualidades, es inocua, barata, dinámica, reproducible y aporta valiosa información en la valoración del paciente con disnea.

El objetivo de este estudio es describir y comparar marcadores ecográficos para valorar el diagnóstico y la gravedad de la insuficiencia cardíaca, contrastando el uso de estos parámetros frente a los clásicamente empleados (clínicos, físicos y analíticos)

## **PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA**

Debe saber que su participación en este estudio es voluntaria y que puede decidir no participar o cambiar su decisión y retirar el consentimiento en cualquier momento sin que ello conlleve consecuencias negativas para usted en su futura relación asistencial.

## **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO**

En el estudio van a participar 71 pacientes con descompensación de insuficiencia cardíaca, de ambos sexos y mayores de edad, que acuden a este servicio de urgencias.

Si usted decide participar, además del tratamiento, las pruebas de imagen o las muestras de sangre que se extraen en la práctica clínica habitual con fines diagnósticos y terapéuticos, se le realizará una ecografía clínica a pie de cama.

La ecografía "clínica" o "a pie de cama", consiste en el uso de los ultrasonidos por parte del médico responsable que le está atendiendo, tratando de mejorar el rendimiento de la exploración física tradicional (auscultación, palpación,...). Por tanto no es una prueba exhaustiva, sino dirigida al problema concreto objeto de estudio. Este tipo de exploración estará limitada por el grado de formación, la habilidad y la experiencia del explorador, que conoce cuáles son sus capacidades y limitaciones. No debe pretender en ningún caso demorar y/o sustituir una ecografía reglada (realizada generalmente por radiólogos, cardiólogos), con un grado de experiencia y formación mayor.

Esta prueba adicional tiene como fin valorar el diagnóstico y la gravedad de la insuficiencia cardíaca en comparación con los marcadores habituales (clínica, flujo espiratorio pico, analítica,...) y tratar de correlacionar estas medidas con la ecografía, así como correlacionarlo con la evolución o posibles complicaciones (infección, neumomediastino, neumotórax,...).

Se le realizará una primera ecografía clínica del tórax, para observar el corazón, pulmón y la pleura, en el momento de ser incluido en el estudio.

Todos los procedimientos que se le realizarán serán los habituales para el diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia cardíaca que usted padece.

## **BENEFICIOS Y RIESGOS DERIVADOS DE SU PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO**

No va a tener ningún beneficio para su salud por participar en este estudio.

La ecografía, es una técnica inocua, requiere de la aplicación de un gel conductor hidrosoluble, y puede causarle pequeñas molestias como dolor por la presión ejercida, enrojecimiento o un pequeño hematoma.

Si tiene dudas o necesita alguna aclaración sobre estos términos o expresiones no dude en consultar con los miembros del equipo investigador.

### **PUBLICACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Los resultados del estudio se harán públicos, según alguno de los cauces aceptados por la comunidad científica, manteniendo en todo caso la confidencialidad y derecho de los participantes.

### **CONFIDENCIALIDAD**

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos de carácter personal de todos los sujetos participantes se ajustará a lo dispuesto en el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD).

Tanto el Centro como el Promotor son responsables respectivamente del tratamiento de sus datos y se comprometen a cumplir con la normativa de protección de datos en vigor. Los Comités de Ética de la Investigación, los representantes de la Autoridad Sanitaria en materia de inspección y el personal autorizado por el Promotor, únicamente podrán acceder para comprobar los datos personales, los procedimientos del estudio clínico y el cumplimiento de las normas de buena práctica clínica (siempre manteniendo la confidencialidad de la información).

De acuerdo con lo que estable la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, rectificación, oposición y supresión de sus datos, para lo cual deberá dirigirse a su médico del estudio. Además de los derechos que ya conoce (acceso, modificación, oposición y cancelación de datos) ahora también puede limitar el tratamiento de datos que sean incorrectos, solicitar una copia o que se trasladen a un tercero (portabilidad) los datos que usted ha facilitado para el estudio. Para ejercitar sus derechos, diríjase al investigador principal del estudio el Dr. Yale Tung Chen o al Delegado de Protección de datos del centro Jose Manuel Laperal González [tfn.. 91426998/ e-mail: protecciondedatos.sanidad@madrid.org]

Le recordamos que los datos no se pueden eliminar aunque deje de participar en el ensayo para garantizar la validez de la investigación y cumplir con los deberes legales y los requisitos de autorización de medicamentos. Así mismo tiene derecho a dirigirse a la Agencia de Protección de Datos si no quedara satisfecho.

Tanto el centro como el Promotor son responsables respectivamente del tratamiento de sus datos y se comprometen a cumplir con la normativa de protección de datos en vigor. Los datos recogidos para el estudio estarán

### CONSENTIMIENTO INFORMADO POR ESCRITO

**Título Del Estudio:** Impacto de un protocolo de doble comprobación mediante ecografía clínica en el diagnóstico de Insuficiencia Cardíaca Aguda en un Servicio de Urgencias. Estudio ICARUS.

**PROMOTOR:** Grupo de Trabajo en Ecografía de la Sociedad Española de Urgencias y Emergencias

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:** Dr. Yale Tung Chen.

**CENTRO:** Servicio de Urgencias. Hospital General. Hospital Universitario La Paz, Madrid.

Yo (nombre y apellidos).....

He leído la hoja de información que se me ha entregado.

He podido hacer preguntas sobre el estudio.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He hablado con:

..... (nombre del investigador)

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1º cuando quiera.

2º Sin tener que dar explicaciones.

3º Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

- Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio y doy mi consentimiento para el acceso y utilización de mis datos en las condiciones detalladas en la hoja de información.

**Firma del paciente:**

**Firma del investigador:**

**Nombre:**

**Nombre:**

**Fecha:**

**Fecha:**

\*\*\* Este documento se firmará por duplicado, quedándose una copia el investigador y otra el paciente.\*\*\*

# ANEXO IV. PUBLICACIÓN DEL ARTÍCULO EN REVISTA CIENTÍFICA DE ESTE TRABAJO.

Villén et al. *The Ultrasound Journal* (2024) 16:25  
<https://doi.org/10.1186/s13089-024-00373-6>

The Ultrasound Journal

ORIGINAL ARTICLE

Open Access



## Results of the implementation of a double-check protocol with point-of-care ultrasound for acute heart failure in the emergency department

Tomás Villén<sup>1\*</sup>, Yale Tung<sup>2</sup>, Rafael Llamas<sup>3</sup>, Fernando Neria<sup>1</sup>, César Carballo<sup>4</sup>, José Luis Vázquez<sup>5</sup> and Diana Monge<sup>1</sup>

### Abstract

**Objective** To determine the effectiveness of a double-check protocol using Point-of-Care Ultrasound in the management of patients diagnosed with Acute Heart Failure in an Emergency Department.

**Method** Prospective analytical cross-sectional observational study with patients diagnosed with Acute Heart Failure by the outgoing medical team, who undergo multi-organ ultrasound evaluation including cardiac, pulmonary, and inferior vena cava ultrasound.

**Results** 96 patients were included. An alternative diagnosis was found in 33% of them. Among the 77% where AHF diagnosis was confirmed, 73.4% had an underlying cause or condition not previously known (Left Ventricular Ejection Fraction less than 40% or moderate-severe valvulopathy). The introduction of the protocol had a clinically relevant impact on 47% of all included patients.

**Conclusions** The implementation of a double-check protocol using POCUS, including cardiac, pulmonary, and inferior vena cava assessment in patients diagnosed with Acute Heart Failure, demonstrates a high utility in ensuring accurate diagnosis and proper classification of these patients.

**Keywords** Ultrasonography, Heart failure, Diagnosis, Diagnostic errors

### Background

Emergency Departments (ED) constitute one of the cornerstones of virtually any healthcare system when it comes to managing a high volume of patients and are also the source of most hospitalized patients, facing a very significant number of diverse pathologies on a daily basis, many of which are time-dependent and require a highly accurate diagnosis in a short time. Among them, Acute Heart Failure (AHF) is particularly prevalent, accounting for a high percentage of all ED visits due to shortness of breath or dyspnea [1], and also requiring an accurate and early diagnosis upon which its morbidity and mortality depend. To achieve this, Emergency Physicians have a

\*Correspondence:

Tomás Villén

[tomas.villen@ufv.es](mailto:tomas.villen@ufv.es)

<sup>1</sup>School of Medicine, Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, Spain

<sup>2</sup>Internal Medicine Department, Hospital Universitario La Paz, Madrid, Spain

<sup>3</sup>Emergency Department, Hospital Universitario Reina Sofía, Córdoba, Spain

<sup>4</sup>Emergency Department, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain

<sup>5</sup>Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain

<sup>6</sup>Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain

<sup>7</sup>Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain

<sup>8</sup>Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain

<sup>9</sup>Pediatric Intensive Care Unit, Hospital Universitario Ramón y Cajal, Madrid, Spain

Springer Open

© The Author(s) 2024. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

diagnostic arsenal which, although it has been developing and increasing in recent years, is still not fully accurate. On one hand, the scarcity of time and the convergence of multiple patients simultaneously, combined with the limited accuracy of traditional medical history and physical examination, and the imprecision of standard complementary tests (ECG and chest X-ray) do not provide an ideal starting point. The emergence of biomarkers, especially NT-proBNP, has significantly improved the diagnosis, but its specificity for AHF diagnosis is also not optimal since it also elevates in multiple clinical scenarios. All of this makes the possibility of a misclassification of AHF patients in ED a very high percentage [2].

Furthermore, adding Clinical Ultrasound (CU) presents the advantage of being performed at the patient's bedside, evaluating multi-organ function with the mission of revealing real-time pathophysiology underlying a patient whose symptoms or signs suggest AHF. Although the individual assessment of the heart, lungs, and inferior vena cava is fairly accurate, when performed collectively, the accuracy is optimized [3]. The aim of this study is to understand the impact that a dual-check protocol with CU has on patients who have been diagnosed with AHF through a "traditional" approach (medical history, examination, complementary tests, and biomarkers) in terms of detecting misclassified patients and the additional information revealed by CU that is relevant from a diagnostic and therapeutic standpoint.

## Methods

This is a prospective analytical cross-sectional observational study conducted at a tertiary-level hospital. Following approval from the Ethics and Research Committee, adult patients were included who appeared during the morning shift rounds with a diagnosis of AHF made without POCUS using opportunistic sampling (when the expert, not part of the treating team, performing POCUS was present) and obtaining informed consent. Exclusion criteria included hemodynamic instability or cardiogenic shock, patient refusal, or AHF not being considered the primary diagnosis for their Emergency Department stay by the outgoing treating team.

After the ultrasound assessment, the evaluator communicated the findings to the treating team, discussing the images obtained, and the course of action was decided accordingly taking in consideration the whole clinical picture (ultrasound, clinical information, other tests). In order to ensure the accuracy of the diagnosis made by the protocol, the final diagnosis in the clinical ward (when the patient was eventually admitted) when available.

## Ultrasound evaluation

The study evaluators were certified Emergency Medicine experts by national and international scientific societies

with over 10 years of experience. After collecting demographic parameters, a systematic evaluation was carried out using an ultrasound machine, including cardiac ultrasound with a phased-array probe, lung ultrasound, and ultrasound evaluation of the inferior vena cava using a curvilinear probe. Among the ultrasound parameters, left ventricular ejection fraction (LVEF) was measured using a biplane Simpson technique, categorized as <40% or >41%. Diastolic pattern was assessed using pulsed Doppler flow across the mitral valve and Tissue Doppler at the mitral annulus level. Valvular pathology was evaluated using continuous wave Doppler. For lung evaluation, a technique involving the division of the chest into 8 zones [4] was performed (anterior and laterals) using curvilinear probe and lung preset. The number of B-lines was counted using automatic calculation (auto B-lines) [5]. Similarly, for the assessment of the inferior vena cava, the automatic calculation tool for diameters and collapsibility percentage (auto IVC) was used, given its excellent correlation with expert visualization [6]. The number of B-lines per area (0 to 5) was used to calculate a lung score, [7] the arithmetic sum of these lines, ranging from 0 to 40, as a measure of lung aeration. Regarding the pulmonary diagnosis, a pneumonia was considered when a consolidation pattern or a focal B lines pattern were visualized, and respiratory infection with several and/or bilateral foci of B lines with subpleural consolidations appearances. Although the performance time was not originally recorded, evaluators indicated that entire protocol was performed in less than 15 min at the patient's bedside.

## Statistical analysis

Qualitative data were presented as absolute frequencies (n) and relative percentages (%), while quantitative data were presented as mean  $\pm$  SD or as median [Interquartile Range] depending on the normality of distribution. Comparison between patients with and without an alternative diagnosis was performed with Wilcoxon rank sum test, Pearson's Chi-squared test or Fisher's exact test. Significance was considered when the p-value obtained was less than 0.05. The "cutpointr" package in R was used to obtain ROC curves and determine optimal cutoff points for maximum and minimum diameters and collapsibility coefficient of the inferior vena cava [8]. The optimal cutoff point was adjusted using the Youden Index, and diagnostic test parameters (Sensitivity, Specificity, ppv - Positive Predictive Value, and npv - Negative Predictive Value) were calculated. The decision tree for alternative diagnoses was obtained using the "rpart" and "rpart.plot" packages, with 80% of the samples used to determine the decision tree and the remaining 20% to validate it.

All analyses were performed using R software version 4.2.3.

**Table 1** Demographics and ultrasound parameters

	Overall, N=96 <sup>1</sup>	Alternative diagnosis		p-value <sup>2</sup>
		No, N=64 <sup>1</sup>	Yes, N=32 <sup>1</sup>	
Age	83 [73–88]	83 [71–89]	84 [77–87]	0.533
Sex				0.428
Male	44 (46.3%)	31 (49.2%)	13 (40.6%)	
Female	51 (53.7%)	32 (50.8%)	19 (59.4%)	
Waiting time in ED (h)	22.0 [14.0–34.5]	21.0 [13.0–27.5]	23.0 [15.8–40.5]	0.490
BNP (pg/ml)	4,658.5 [2,223.8–11,428.3]	5,072.5 [2,304.3–9,110.3]	3,393.5 [1,537.0–13,121.0]	0.649
IVC basal diameter (max)	2.03±0.50	2.16±0.41	1.77±0.55	<0.001
IVC inspiratory diameter (min)	1.43±0.64	1.62±0.51	1.04±0.70	<0.001
IVC Collapsibility index	25.91 [17.13–48.92]	20.86 [15.19–33.01]	53.16 [24.67–59.39]	<0.001
Lung score	23.5 [10.8–31.3]	27.0 [20.8–34.0]	7.5 [4.0–16.8]	<0.001
Diastolic dysfunction type				<0.001
1	12 (13.3%)	5 (7.9%)	7 (25.9%)	
2	9 (10.0%)	2 (3.2%)	7 (25.9%)	
3	21 (23.3%)	15 (23.8%)	6 (22.2%)	
4	9 (10.0%)	9 (14.3%)	0 (0.0%)	
Non-valuable (AFib)	39 (43.3%)	32 (50.8%)	7 (25.9%)	

<sup>1</sup>Mean ± SD; Median [IQR]; n (%)<sup>2</sup>Wilcoxon rank sum test; Pearson's Chi-squared test; Fisher's exact test**Table 2** Alternative diagnosis detected by the protocol

	N=32
Respiratory infection (no PNA)	10 (31.2%)
Pneumonia	10 (31.2%)
Pericardial effusion	9 (28.1%)
Pulmonary embolism	1 (3.1%)
Unilateral pleural effusion (no HF)	1 (3.1%)
HTN emergency (no HF)	1 (3.1%)

## Results

There were no losses due to participation rejection or absence of an ultrasound window, resulting in a total of 96 included patients. Demographic characteristics and ultrasound parameters are shown in Table 1.

The double-check protocol identified an alternative diagnosis in 32 of the included patients (33.3%) (Table 2), leading to therapeutic and/or clinical strategy changes (change of location, admission/discharge decision) in all of them. Among the 64 patients in whom the protocol reaffirmed the diagnosis of AHF, a clinically relevant echocardiographic finding was present in 47 (73.4%), including 17 (26.6%) with previously unknown LVEF < 40% and 42 (65.6%) with previously unknown or

undescribed moderate or severe mitral, aortic, or tricuspid valve disease. Overall, the protocol's application had an impact on 47% of all included patients, either through the identification of an alternative diagnosis or the discovery of additional/relevant pathology in patients with confirmed AHF diagnosis.

Analyzing each ultrasound examination separately, the accuracy of the inferior vena cava evaluation is shown in Fig. 1.

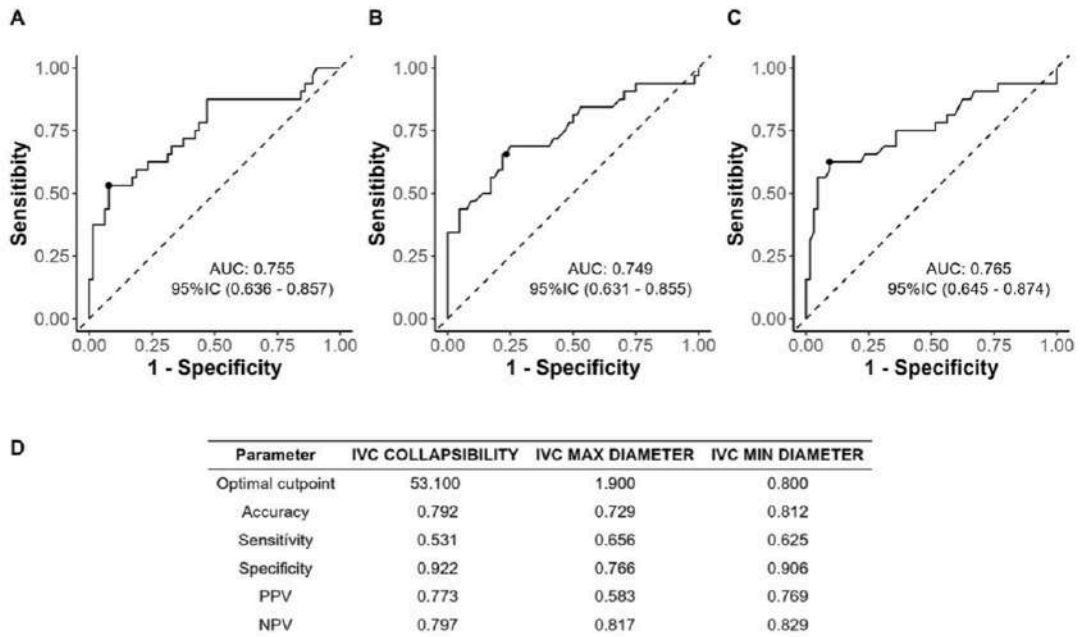
Regarding the lung pattern, the difference in the lung score was calculated not compared to all patients with an alternative diagnosis, but to patients diagnosed with pulmonary pathology (PE, respiratory infection, and pneumonia). As distinguishing a B-pattern between cardiogenic cause and others involves symmetry, a numerical asymmetry index was created, defined by the absolute value of the B-line difference between equivalent quadrants, with a correction factor involving a multiplication by 2 when there were two equivalent zones with a difference of 0, to accentuate the effect of asymmetry. Thus, the index ranged between 0 (completely symmetric) and 20 (completely asymmetric). The distribution of this lung asymmetry index between patients with and without an alternative diagnosis is shown in Fig. 1. Additionally, to observe the densitometric distribution of B-lines by regions, in addition to the lung score, a density map was created using the median of B-lines globally and adjusted for evolution time, as seen in Fig. 2.

With all variables included, a decision tree was constructed using the variables that our statistical model suggested were of greater significance in establishing a strategy for detecting an alternative diagnosis, shown in Fig. 3.

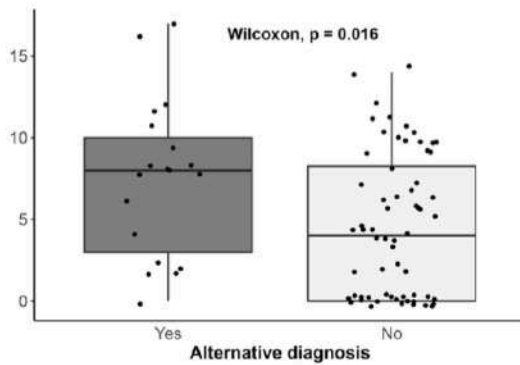
Regarding "particular" alternative diagnosis that could hypothetically be part of the AHF clinical spectrum, in our series, nor pericardial effusions nor the unilateral pleural effusion were associated to AHF in the final discharge medical report. In addition, the patient diagnosed as hypertensive emergency after the protocol application was discharged from the ED without diuretics, making the AHF diagnosis, at least, unlikely.

## Discussion

In this study, we highlight the importance of adding POCUS evaluation to patients diagnosed with AHF in the ED. The proportion of misclassified patients is consistent with available literature [9] and presents a particularly concerning number, mainly because initiating specific AHF treatment can be detrimental for conditions detected as alternatives. Notably, the high number of significant pericardial effusions detected draws attention. This phenomenon was previously described by Blaiwas [10], where misclassification as "classic AHF" and



**Fig. 1** Diagnostic accuracy values for acute heart failure (AHF) of the inferior vena cava (maximum and minimum diameters, collapsibility index)



**Fig. 2** Box plot displaying the asymmetry index

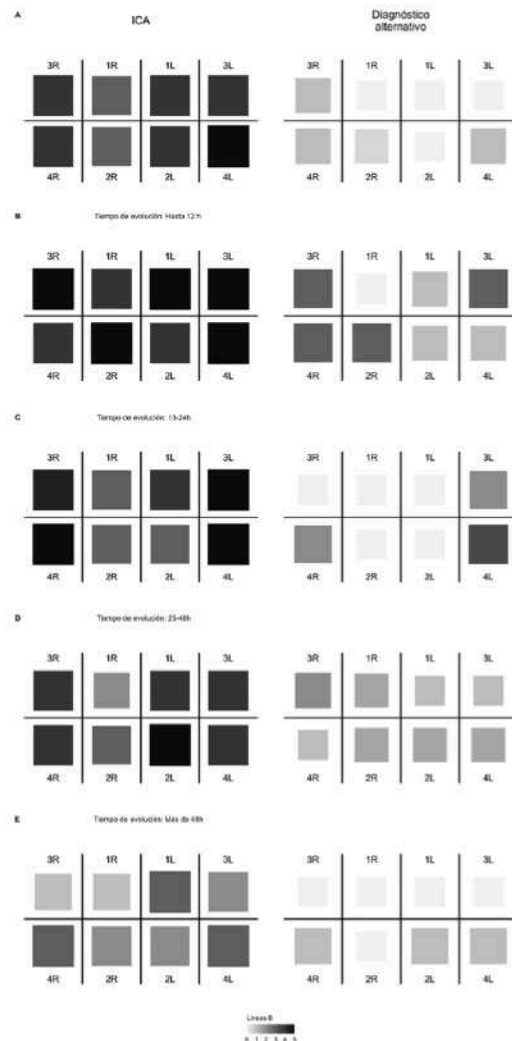
initiation of intensive diuretic treatment could potentially lead to hemodynamic instability.

This study also introduces two concepts not previously described in the literature: the asymmetry index and the temporal progression of B-lines adjusted for evolution time. The asymmetry index quantifies differences between interstitial pneumonia caused by SARS-CoV-2 and AHF. Since the distinguishing factor between them is the presence of a symmetric B-pattern [11], we sought

to quantify symmetry, leading to the asymmetry index which, with significant implications, opens the potential for application in other patient groups. The index could be valuable in the differential diagnosis between asymmetric interstitial pathologies (interstitial pneumonia, ARDS) and symmetric interstitial or alveolar pathologies (pulmonary fibrosis or AHF), given that both circumstances exhibit a bilateral B-pattern, making B-lines indistinguishable. The second concept, the density of B-lines, offers relevant information, particularly when considering evolution time and the probable location of B-lines. Additionally, it indicates lung reeration patterns with a centrifugal tendency, as observed in the graphs.

Regarding the evaluation of the inferior vena cava, the standalone precision values are consistent with other studies in the available literature, but we know that the precision is reinforced with multi-window evaluation, which forms the basis of the decision tree (Fig. 4).

With all these aspects considered, the decision tree suggested by our statistical model exhibits excellent classification ability. It's worth noting that this model does not consider the presence of significant pericardial effusion initially. Clinically, the initial cardiac assessment appears necessary to exclude both pericardial effusion and acute cor pulmonale patterns, which if absent, would lead to



**Fig. 3** Map of median B-lines density by quadrant, basal (A), and according to time of evolution

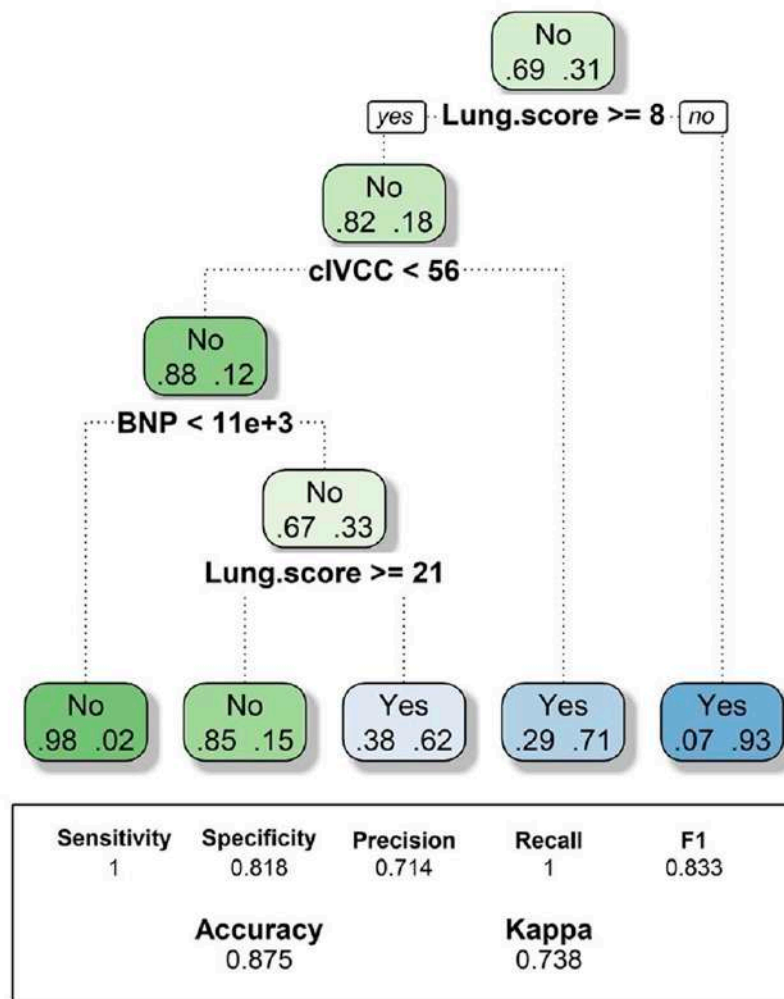
subsequent pulmonary and inferior vena cava evaluations, as suggested. However, we are currently developing a "random forest" model that includes all variables, where both the asymmetry index and the presence of pericardial effusion are incorporated. Initial testing indicates perfect classification ability (100% sensitivity and specificity), though further studies are needed to confirm this.

Conceptually, the study highlights that the competencies required to find an alternative diagnosis don't demand high expertise and should be part of basic ultrasound training for Emergency Medicine specialists [12]. This is where the study has significance in the day-to-day operations of an Emergency Department. On the other hand, in cases where an alternative diagnosis isn't found, detecting relevant information for AHF management, such as valve pathology or non-preserved LVEF, requires quantitative measurements (Doppler quantification, biplane Simpson method, etc.) and, thus, more extensive training [13].

Limitations of this study include its single-center nature, conducted in a Level 3 hospital with a high-demand Emergency Department, potentially affecting external validity when applied to centers of different complexity or lower demand. Additionally, patients were already selected since they had been diagnosed with AHF by at least one treating team, rendering the protocol's application invalid for patients with isolated clinical suspicion of AHF upon ED arrival. Nonetheless, the information derived from the early-stage B-line density map along with the asymmetry index could be applicable in these cases. Moreover, all diagnostic precision values need contextualization due to the highly selected patient population and the prevalence environment in which they are found. While the initial sample size calculation suggested around 87 patients for the main variable (detection of an alternative diagnosis), a larger sample size might be advisable to strengthen the description of the other variables or to include a larger cohort to test the protocol's application. Finally, given the baseline characteristics of the patients included in this study always considering the main diagnosis, the possibility of the temporal coincidence of a respiratory infection and heart failure is not reflected, something that, according to some studies, is relatively common [14] and can be considered as a main limitation.

**Conclusion**

In a population of patients diagnosed with AHF in an Emergency Department, the application of POCUS in the form of an established double-check protocol aids in identifying misclassified patients and provides additional relevant clinical information for the remaining patients where AHF is confirmed. Furthermore, this study introduces novel statistically significant tools for evaluating various lung B-patterns, opening up possibilities for their utilization.



**Fig. 4** Final decision tree for alternative diagnosis (calculated with a random 80% of sample and tested on remaining 20%)

**Acknowledgements**

Not applicable.

**Author contributions**

All listed authors have made substantial contributions in this research, writing of this manuscript, read it, and approved.

**Funding**

For the development of this research no funding or grants have been received.

**Data availability**

Availability of data and supplemental material can be requested if needed.

**Declarations**

**Ethics approval and consent to participate**

All recruited patients signed the approved consent by our institution Ethics Committee (HULP PI-3865).

**Competing interests**

All authors don't disclose any competing interest.

Received: 18 August 2023 / Accepted: 15 March 2024

Published online: 17 April 2024

**References**

- Fabbri A, Marchesini G, Carbone G, Cosentini R, Ferrari A, Chiesa M, Bertini A, Rea F (2017) Italian Society of Emergency Medicine (SIMEU). Acute Heart

- failure in the Emergency Department: the SAFE-SIMEU Epidemiological Study. *J Emerg Med* 53(2):178–185
- Martindale JL, Wakai A, Collins SP, Levy PD, Diercks D, Hiestand BC, Fermann GJ, deSouza I, Sinert R (2016) Diagnosing Acute Heart failure in the Emergency Department: a systematic review and Meta-analysis. *Acad Emerg Med* 23(3):223–242
  - Anderson KL, Jenq KY, Fields JM, Panebianco NL, Dean AJ (2013) Diagnosing heart failure among acutely dyspneic patients with cardiac, inferior vena cava, and lung ultrasonography. *Am J Emerg Med* 31(8):1208–1214
  - Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW et al (2012) International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 38(4):577–591
  - Gottlieb M, Patel D, Vias M, Tsintolas J, Peksa GD, Bailitz J (2023) Comparison of artificial intelligence versus real-time physician assessment of pulmonary edema with lung ultrasound. *Am J Emerg Med* 70:109–112
  - Tung-Chen Y, Villén-Villegas T, Herrero-Benito C, Vega-Vega L, Martín-Quiros A, Arenas-Berenguer I, Mayayo-Alvira R, Ruiz-Lopez D (2022) Reliability and consistency of point-of-care Ultrasonography for inferior vena cava measurement: visual versus automatic ultrasound systems. *Acta Colomb Cuid Intensivo*
  - Mongodi S, De Luca D, Colombo A, Stella A, Santangelo E, Corradi F et al (2021) Quantitative lung Ultrasound: technical aspects and clinical applications. *Anesthesiology* 134(6):949–965
  - Thiele C, Hirschfeld G, Cutpoint R (2021) Improved estimation and validation of optimal cutpoints in R. *J Stat Softw* 98(11):1–27
  - Llorens P, Javaloyes P, Martín-Sánchez FJ, Jacob J, Herrero-Puente P, Gil V, Garrido JM, Salvo E, Fuentes M, Alonso H, Richard F, Lucas FJ, Bueno H, Parisis J, Müller CE, Miró O, ICA-SEMES Research Group (2018) Time trends in characteristics, clinical course, and outcomes of 13,791 patients with acute heart failure. *Clin Res Cardiol* 107(10):897–913. <https://doi.org/10.1007/s00392-018-1261-z>
  - Blaivas M (2001) Incidence of pericardial effusion in patients presenting to the emergency department with unexplained dyspnea. *Acad Emerg Med* 8(12):1143–1146
  - Volpicelli G, Lamorte A, Villén T (2020) What's new in lung ultrasound during the COVID-19 pandemic. *Intensive Care Med* 46(7):1445–1448. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06048-9>
  - Villén Villegas T, Campo Linares R, Alonso Viladot JR, Martínez Mas R, Luque Hernández MJ et al (2022) Description of basic competencies in clinical ultrasound imaging for emergency departments. *Emergencias* 34(5):377–387
  - Bahl A, Johnson S, Altwall M, Brackney A, Xiao J, Price J, Shotkin P, Chen NW (2021) Left ventricular ejection Fraction Assessment by Emergency Physician-Performed Bedside Echocardiography: a prospective comparative evaluation of multiple modalities. *J Emerg Med* 61(6):711–719
  - Bezati S, Velliou M, Ventoulis I, Simitsis P, Parisis J, Polyzogopoulou E (2023) Infection as an under-recognized precipitant of acute heart failure: prognostic and therapeutic implications. *Heart Fail Rev* 28(4):893–904

### Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

