

Agüero, Noelia Belen

“Ecografía diafragmática para el destete de la ventilación mecánica”

2020

Instituto: Ciencias de la Salud

*Carrera: Licenciatura en Kinesiología y
Fisiatría*



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Documento descargado de RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Arturo Jauretche

Cita recomendada:

Agüero, N.B. (2020) *Ecografía diafragmática para el destete de la ventilación mecánica* [tesis de grado Universidad Nacional Arturo Jauretche]

Disponible en RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital UNAJ <https://biblioteca.unaj.edu.ar/rid-unaj-repositorio-institucional-digital-unaj>



TESINA

PRESENTADA PARA ACCEDER AL TÍTULO DE GRADO DE LA CARRERA
LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

TÍTULO:

**“ECOGRAFÍA DIAFRAGMÁTICA PARA EL
DESTETE DE LA VENTILACIÓN
MECÁNICA”**

AUTOR/A:

AGÜERO, NOELIA BELÉN. NRO. DE LEGAJO: 11774

DIRECTOR:

LIC. BENAY, CRISTIAN

FECHA DE PRESENTACIÓN:

16/07/2020

FIRMA DE AUTOR/A

Agradecimientos

En primera instancia a mis papás, Stella Maris y Enrique. Soy lo que soy gracias a ellos, estudié y me formé por el apoyo incondicional que sólo los padres saben dar.

En segundo lugar, agradezco a todos mis familiares, compañeros/colegas, amigos y amigueros, ya que absolutamente todos, desde su lugar, me ayudaron y alentaron durante todo este proceso.

Un profundo agradecimiento a mi director de tesis, Cristian Benay, que me tuvo mucha paciencia a lo largo de estos años.

Mención especial a mi amiga, María Laura que me ayudó muchísimo.

Por último, quiero agradecer a todos los profesionales que me crucé a lo largo de mi formación. Todos, en gran o menor escala, me han formado y me han inculcado la pasión por la profesión que desarrollaré. Sobre todo a quienes me abrieron las puertas de sus consultorios, hospitales, centros de atención, ya que las prácticas fueron esenciales para enamorarme de esta hermosa carrera.

Índice

I- INTRODUCCIÓN.....	1
II- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	1
II.a- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	1
II.b- JUSTIFICACION	2
II.c- OBJETIVOS.....	3
III- MARCO TEÓRICO	3
III.a- GENERALIDADES DEL INTENSIVISMO	3
III.a.1- CAUSAS DE VENTILACIÓN MECÁNICA	3
III.a.2- MODOS DE VENTILACIÓN.....	5
III.a.3- DESTETE O WEANING	8
III.a.4- CONSIDERACIONES DEL DESTETE	8
III.b- DIAFRAGMA	9
III.b.1- ANATOMÍA DEL DIAFRAGMA.....	9
III.b.2- DISFUNCIÓN DIAFRAGMÁTICA.....	12
III.c- ECOGRAFÍA.....	15
III.c.1- DEFINICIÓN.....	15
III.c.2- GENERALIDADES Y PRINCIPIOS FÍSICOS BÁSICOS	15
III.c.3- FORMACIÓN DE LA IMAGEN	19
III.c.4- ESCALA DE GRISES.....	21
III.c.5- TRANSDUCTOR	23
III.c.6- MODOS EN LA ECOGRAFÍA.....	24
III.c.7- ARTEFACTOS.....	25
III.c.8- APLICACIÓN DE LA ECOGRAFÍA AL PIE DE LA CAMA	26
III.d- ECOGRAFÍA DIAFRAGMÁTICA	27
III.d.1- EVALUACIÓN DE LA EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA	28
III.d.2- EVALUACIÓN DEL GROSOR DIAFRAGMÁTICO <i>tdi</i>	30
III.d.3- EVALUACIÓN DE LA FRACCIÓN DE ENGROSAMIENTO.....	32
III.d.4- PARÁMETROS.....	33
III.d.5- PRECISION Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA.....	34
III.d.6- RECOMENDACIONES TÉCNICAS	35
III.d.7- ECOGRAFÍA y WEANING.....	35

III.d.8- ROL DEL KINESIÓLOGO.....	35
IV- ESTRATEGIA METODOLÓGICA	37
V- CONTEXTO DE ANÁLISIS.....	37
VI- RESULTADOS	39
VII- BIBLIOGRAFÍA.....	46

I- INTRODUCCIÓN

La desconexión de la ventilación mecánica es un momento muy estresante en una UTI (*unidad de terapia intensiva*). Encontrar el momento preciso y el éxito de dicha acción es un proceso que, si bien es continuamente estudiado, todavía hoy en día genera muchas controversias.

Se sabe que la desconexión precoz o tardía de la VM (*ventilación mecánica*) trae consigo un aumento de la mortalidad y morbilidad del paciente y con ello el aumento de días de hospitalización y gasto de recursos sanitarios. La tasa de falla del destete oscila entre 15-25%.⁽¹⁻³⁾ Por las causas antes nombradas es fundamental encontrar un predictor de éxito del destete para incorporarlo en el proceso de weaning.

El diafragma realiza entre el 30-90% del trabajo respiratorio⁽⁴⁾, esto lo convierte en el músculo respiratorio por excelencia; la ecografía es una técnica en auge que permite evaluar al paciente al pie de la cama de una forma no invasiva.

Basada en estas dos observaciones se establece el objetivo de este estudio: describir la técnica de la ecografía diafragmática y determinar si el uso de la ecografía, puede incidir en el éxito del destete de la ventilación mecánica.

Para llevar a cabo esta tesina de grado se realizó una revisión de bibliografía especializada con artículos desde el año 2007 a la actualidad.

II- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

II.a- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

Es de vital importancia encontrar el momento preciso para la desconexión de un paciente a la asistencia de la ventilación mecánica (VM). Ese momento debe ser el adecuado, porque tiene un impacto en el futuro del paciente ya sea porque la desconexión fue precoz o tardía. Si la desconexión o *weaning* es tardía suele haber

una atrofia muscular de por medio. Esto aumenta significativamente el porcentaje de falla y consiguientemente, la morbilidad y mortalidad del paciente en casi 12%, con respecto a pacientes que no han tenido problemas en la desconexión.⁽⁵⁾ Cuando el proceso de destete es precoz, aumenta la posibilidad de falla e inevitablemente el retraso del weaning exitoso.

Muchos estudios científicos analizan los distintos métodos para poder predecir el éxito del destete, ya que este proceso tiene una tasa de fracaso de un 15-25%.⁽²⁾ Dichos pacientes que fallan en el destete entran en un weaning prolongado. Esta población representa un 10% de la UTI, los cuales consumen el 50% ⁽⁶⁾ de los recursos de la misma: días de hospitalización, insumos, personal requerido, etc. Aquí se refleja la importancia de considerar un predictor del éxito en el destete, no sólo para el paciente, sino para el sistema de salud.

Como describe Frutos (2013) en su investigación, el weaning es un proceso habitual que consume el 40% del tiempo de duración de la ventilación mecánica. Esta es la razón por la cual el destete de la VM es uno de los procedimientos más evaluados y una de las técnicas basadas en la evidencia científica.⁽⁷⁾

II.b- JUSTIFICACION

Ante semejante problemática, es necesaria la utilización de una técnica que ayude a predecir el éxito del destete. De ahí se desprende la necesidad de una nueva herramienta, una técnica cuantitativa y eficaz que no demande insumos, ni el traslado del paciente.

La ecografía diafragmática resulto ser muy eficaz ante esta necesidad, ya que la mayoría de las UTI cuentan con un sonógrafo en piso, los resultados se obtienen en el momento, es un procedimiento inocuo para el paciente, no invasivo y sin la necesidad de trasladarlo. En consecuencia, no es necesario personal adicional, más que el kinesiólogo respiratorio, médico o intensivista que lleve a cabo el procedimiento.

La ecografía diafragmática permite la visualización directa del músculo diafragmático y su actividad. Con la evaluación de la movilidad del diafragma, los

parámetros del espesor diafragmático y la evaluación de la fracción de acortamiento con la contribución de la carga respiratoria, se puede definir si el empleo de la ecografía diafragmática puede ser un predictor del éxito del destete.

II.c- OBJETIVOS

Dentro de este contexto se desprende la pregunta origen de esta investigación: ¿se puede utilizar la ecografía diafragmática en el proceso del destete de la ventilación mecánica en pacientes adultos?

A fin de responder dicha pregunta, se tendrán que desarrollar y analizar los objetivos generales y específicos de esta investigación.

El presente estudio tiene dos objetivos generales:

- Describir las diferentes técnicas de evaluación de la función diafragmática, con el uso de la ecografía en el proceso de la desvinculación de la ventilación mecánica.
- Determinar los puntos de corte de cada técnica para reconocer el éxito de la desvinculación de la ventilación mecánica.

Mientras que los objetivos específicos son:

- Realizar una actualización y recopilación de literatura existente sobre la técnica ecográfica diafragmática.
- Demostrar si el empleo de la ecografía diafragmática durante el proceso de weaning incide en el éxito del destete.

III- MARCO TEÓRICO

III.a- GENERALIDADES DEL INTENSIVISMO

III.a.1- CAUSAS DE VENTILACIÓN MECÁNICA

La indicación de la ventilación mecánica (VM) a un paciente no debe establecerse por criterios diagnósticos, sino que debe ser fundamentalmente por una

decisión clínica, basada más en signos y síntomas de dificultad respiratoria (ver tabla 1) que en los parámetros objetivos de intercambio gaseoso o de mecánica respiratoria, los cuales, además de poder brindar apoyo, tienen un valor orientativo (ver tabla 2). Es fundamental priorizar la observación del paciente y su evolución antes que una cifra concreta.⁽⁸⁾ Debe iniciarse la VM cuando la evolución del paciente es desfavorable, sin llegar a una situación extrema.⁽⁸⁾

Tabla 1: Signos de dificultad respiratoria. Vales (2012) ⁽⁸⁾	
• Depresión del nivel de conciencia: inquietud, agitación, confusión, coma	
• Trabajo respiratorio excesivo: disnea, taquipnea, uso de la musculatura respiratoria accesoria	
• Fatiga muscular: asincronía toracoabdominal, respiración paradójica	
• Signos de hipoxemia o hipercapnia: taquicardia, hipertensión arterial, cianosis, sudoración profusa	

Tabla 2: Parámetros fisiológicos para la orientación del inicio de la ventilación mecánica. Vales (2012). ⁽⁸⁾		
	Valor normal	Indicación de ventilación mecánica
Ventilación:		
• PaCO ₂ (mm Hg)	35 - 45	>55
• pH	7.35 - 7,45	<7,30
• V _D /V _T	0,2 - 0,4	>0,6
Oxigenación:		
• PaO ₂ (mm Hg)	75-100	<60
• SaO ₂ (%)	>95	<90
• F _i O ₂	0,21	>0,6
• PaO ₂ / F _i O ₂	350 - 450	<200
• P(A-a)O ₂ con F _i O ₂ = 1 (mmHg)	25 - 65	>450
• Qs/Qt (%)	≤5	>20
Mecánica ventilatoria:		
• Volumen corriente (ml/kg)	5 - 8	<5
• Frecuencia respiratoria (resp/min)	12 - 20	>35
• Volumen minuto (l/min)	5 - 6	>10
• Capacidad vital (ml/kg)	65 - 75	<10 - 15
• Fuerza inspiratoria máxima (cm H ₂ O)	-100 a -80 No	-20 a 0 Si
• Uso de la musculatura respiratoria accesoria		

Teniendo en cuenta los parámetros fisiológicos señalados anteriormente, las indicaciones más frecuentes de la ventilación mecánica son las siguientes:⁽⁸⁾

- Apnea o parada respiratoria inminente
- Exacerbación aguda de enfermedad pulmonar obstructiva crónica que curse con acidosis respiratoria aguda y presente alguna contradicción para la ventilación no invasiva
- Insuficiencia ventilatoria aguda secundaria a enfermedad neuromuscular, acompañada de acidosis respiratoria aguda, disminución progresiva de la capacidad vital o reducción creciente de la capacidad inspiratoria
- Insuficiencia respiratoria aguda con hipoxemia que no responde
- Shock cardiogénico

III.a.2- MODOS DE VENTILACIÓN

La meta de la ventilación mecánica es proveer al paciente de la ventilación requerida para satisfacer sus necesidades, mientras tanto evitar el daño pulmonar, el deterioro circulatorio y la asincronía con el ventilador. Un modo de ventilación es la forma en la cual interacciona el ventilador con el paciente para lograr estos objetivos. Los factores que determinan el modo ventilatorio son la combinación de los posibles tipos de ventilación (controlada o espontánea), variable primaria de control (volumen o presión), variables de fase (trigger, límite, ciclado y basal) y secuencia respiratoria (sustitución total o parcial de la ventilación).

La clasificación de las modalidades de soporte ventilatorio se pueden dividir en convencionales, alternativas y especiales. Han surgido nuevos métodos de ventilación mecánica con el desarrollo de los ventiladores controlados por microprocesador, que tiene la particularidad de adaptarse de una forma más favorable a los cambios del paciente en su mecánica ventilatoria. No obstante, los modos más utilizados siguen siendo los convencionales, y los demás se reservan para situaciones específicas.

A continuación se expondrán la clasificación de los modos ventilatorios en un cuadro.⁽⁸⁾

Tabla 3: Clasificación modos ventilatorios	
Modos convencionales	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación controlada (VC) o asistida-controlada (A/C): <ul style="list-style-type: none"> - Controlada por volumen (VCV) - Controlada por presión (PCV) • Ventilación mandatoria intermitente sincronizada (SIMV) • Ventilación espontánea (SV): <ul style="list-style-type: none"> - Presión positiva continua en la vía aérea (CPAP) - Ventilación con presión soporte (PSV)
Modos alternativos	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación con liberación de presión en la vía aérea (APRV) • Ventilación bifásica (BIPAP) • Volumen controlado regulado por presión (PRVC) • Autoflow • Ventilación con soporte adaptativo (ASV) • Soporte de volumen (VS) • Ventilación asistida proporcional (PAV) • Ventilación mandatoria minuto (MMV) • Ventilación con relación IE invertida (IRV) • Ventilación pulmonar diferencial (ILV)
Modos especiales	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación de alta frecuencia (HFV) • Oscilación de alta frecuencia (HFO) • Soporte vital extracorpóreo (ECMO, ECCO₂R) • Ventilación líquida (LV)

Ventilación asistida controlada

Es un modo de sustitución total de la ventilación en el cual todas las ventilaciones son de tipo mecánico, y puede funcionar como ventilación controlada o como ventilación asistida, por lo que se la denomina ventilación asistida-controlada (A/C).

La CMV o A/C es la modalidad más utilizada, sobre todo al inicio del soporte ventilatorio. Se puede utilizar con control del volumen (VCV, *volumen controlled ventilation*) o con control de presión (PCV, *pressure controlles ventilation*). En el controlado por volumen se programa una frecuencia respiratoria mínima, pero el paciente puede disparar el ventilador a demanda y recibir respiraciones adicionales, siempre que su esfuerzo inspiratorio alcance el nivel de sensibilidad prefijado. Si el

ventilador no percibe actividad por parte del paciente, proporciona todas las respiraciones a intervalos de tiempo regulares. Cualquiera sea el modo elegido, el respirador suministra en cada ventilación el volumen circulante o la presión inspiratoria preestablecida.⁽⁸⁾

Ventilación mandatoria intermitentemente sincronizada (modo en desuso desde 1994)

Es un modo de ventilación que sustituye de manera parcial la ventilación asistida-controlada combinando con la ventilación espontánea. El ventilador brinda ciclos ventilatorios asistidos (mandatorios), controlados por presión o volumen, a una frecuencia predeterminada, pero permite que se intercalen ciclos espontáneos entre los mandatorios (SIMV, *synchronized intermittent mandatory ventilation*). En la SIMV, se suministra la ventilación mandatoria en sincronía con el esfuerzo inspiratorio del paciente (asistida), si es detectado durante la *ventana de asistencia* (tiempo o periodo), determinada por la frecuencia respiratoria programada. En forma antagónica, el ventilador proporciona una ventilación controlada, en forma análoga a la CMV. Las respiraciones por parte del paciente pueden ser asistidas con presión soporte (SIMV-PSV) para disminuir el trabajo respiratorio.⁽⁸⁾

Ventilación con presión soporte

Es una modalidad en la cual cada esfuerzo de respiración espontánea por parte del paciente, es asistida por el ventilador hasta los límites preestablecidos de presión inspiratoria (PSV). Cada ciclo es gatillado por el paciente, con límites de presión y ciclado por flujo.

Dicho modo de ventilación se puede utilizar como soporte ventilatorio durante períodos de estabilidad, o como modalidad de retirada, tanto de modo invasivo como no invasivo. Dado que la PSV es una modalidad de ventilación espontánea, el paciente debe tener un centro respiratorio intacto y un confiable de ventilación.⁽⁸⁾

Presión positiva continua en la vía aérea (CPAP)

En esta modalidad el ventilador mantiene un flujo constante de presión positiva en todo el ciclo ventilatorio, es una modalidad de ventilación espontánea. No se lo considera un modo de ventilación mecánica, ya que el ventilador no suministra ningún ciclo mecánico. Con el uso del CPAP, el paciente es quien asume el mayor trabajo respiratorio, ya que genera su propio flujo inspiratorio, su frecuencia, y su volumen circulante, asemejándose en gran parte al patrón de ventilación espontánea.⁽⁸⁾

III.a.3- DESTETE O WEANING

El experto Boles (2007) describe en su estudio que el destete cubre todo el proceso para la liberación de un paciente del soporte mecánico y del tubo endotraqueal. Según la dificultad y duración del proceso de destete se propone una clasificación de pacientes en tres grupos:⁽⁹⁾

* Weaning simple: Los pacientes que proceden desde la PRE (*prueba de respiración espontánea*) hasta la extubación exitosa en el primer intento sin dificultad.

* Weaning dificultoso: Los pacientes que fallan a la PRE inicial y requieren hasta tres PRE o hasta 7 días desde la primer PRE para lograr el destete exitoso.

* Weaning prolongado: Los pacientes que fallan al menos tres intentos de PRE o requieren más de 7 días de destete después de la primera PRE.

Un estudio llamado *The WIND Study* (2016) publicado en *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, realizó una nueva clasificación de weaning que la comunidad científica no adoptó. Debido a esto, para este trabajo se utilizó la clasificación de Borles (2012).

III.a.4- CONSIDERACIONES DEL DESTETE

Se considera que un paciente está listo para afrontar una PRE (prueba de respiración espontánea) cuando cumple los siguientes criterios: *fracción inspirada de*

oxígeno (FiO₂) < 0,5, presión positiva al final de la espiración (PEEP) ≤ 5 cm de H₂O, PaO₂/FiO₂ > 200, frecuencia respiratoria (Fr) <30 respiraciones/ min (rpm), alerta, cooperativo y hemodinámicamente estable en ausencia de cualquier terapia vaso-activa.⁽¹⁰⁾

El destete de la VM debe considerarse lo antes posible; la prueba de PRE es la prueba de diagnóstico más utilizada para saber si el paciente puede ser destetado con éxito⁽⁹⁾. La PRE inicial debe durar 30 minutos y consistir en respiración con tubo en T o niveles bajos de PS (5–8 cmH₂O en adultos) con o sin 5 cm H₂O de PEEP. En una segunda instancia se somete al paciente a un PRE con niveles bajos de PS y cero de PEEP. La PRE se intenta durante dos horas. Si los pacientes logran la prueba con éxito, serán extubados, recibirán oxígeno a través de una máscara de Venturi del 28 al 40% y serán monitoreados durante las 48hs siguientes.⁽¹⁰⁾

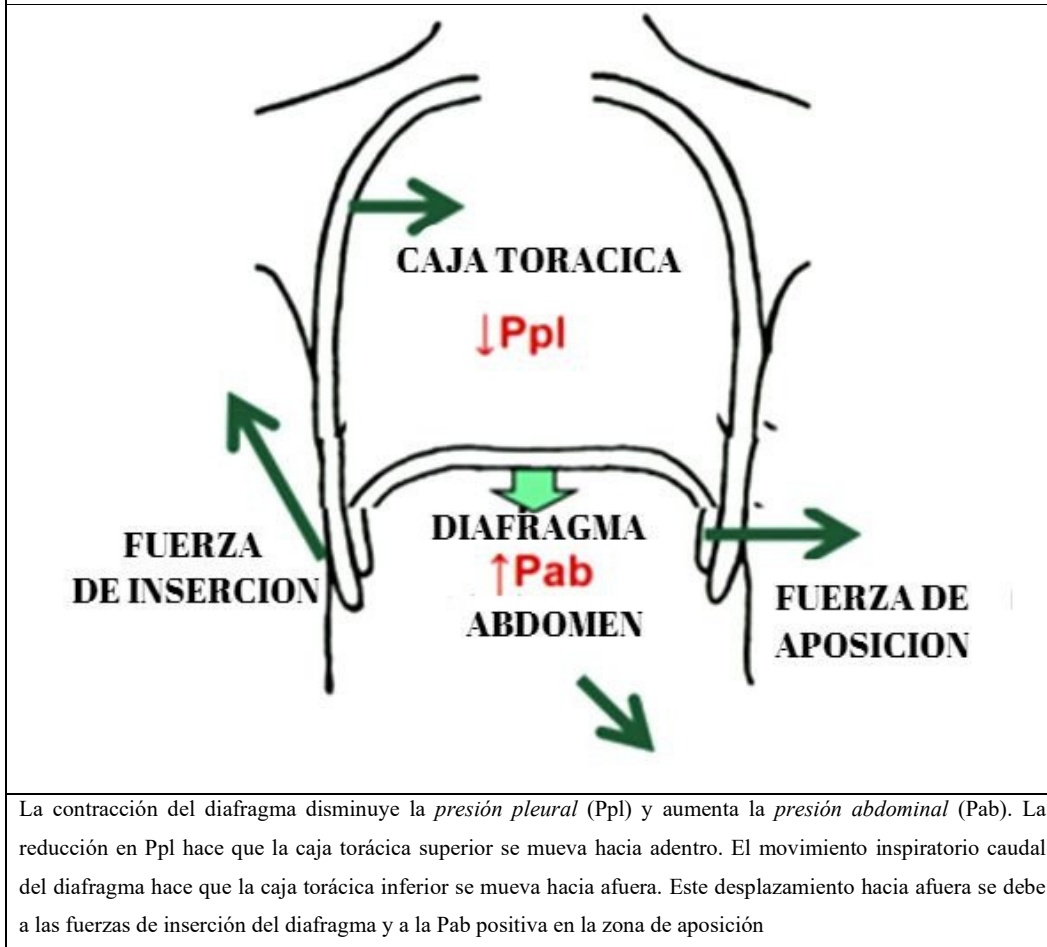
III.b- DIAFRAGMA

III.b.1- ANATOMÍA DEL DIAFRAGMA

Los músculos de la respiración son medios contráctiles que tienen la capacidad de generar el cambio de presión intratorácica para lograr el flujo de aire indispensable para el intercambio de gases. Estos músculos respiratorios tienen dos características: fuerza y resistencia.

La fuerza está relacionada fundamentalmente con los elementos contráctiles, se evalúa con presiones inspiratorias máximas, mientras que la resistencia es la capacidad del músculo de sostener una fuerza contráctil, y está relacionada con el flujo sanguíneo muscular, densidad mitocondrial y capacidad oxidativa. Su contracción hace ascender las costillas inferiores y desplaza con sentido caudal el contenido abdominal, produciendo así el flujo de aire necesario ya mencionado.⁽⁴⁾

IMAGEN 1: Acción diafragmática. McCool FD. (2018) ⁽¹¹⁾



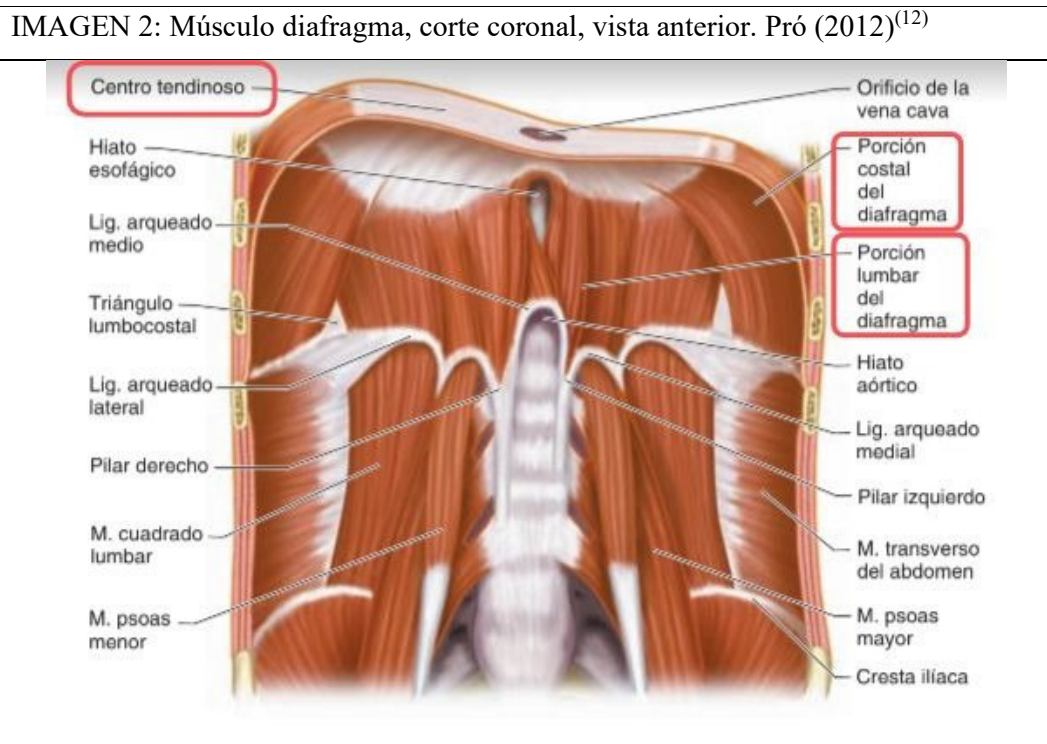
La contracción del diafragma disminuye la *presión pleural* (Ppl) y aumenta la *presión abdominal* (Pab). La reducción en Ppl hace que la caja torácica superior se mueva hacia adentro. El movimiento inspiratorio caudal del diafragma hace que la caja torácica inferior se mueva hacia afuera. Este desplazamiento hacia afuera se debe a las fuerzas de inserción del diafragma y a la Pab positiva en la zona de aposición

Tal como se describe en el manual de anatomía Pró 2012, el diafragma es una estructura muscular que, debido a un interjuego de presiones entre la cavidad abdominal y la caja torácica, se desplaza hacia arriba manteniendo una concavidad inferior, lo que permite que muchos órganos intraabdominales queden protegidos por la pared torácica. El hígado es el ejemplo más representativo de estos órganos.⁽¹²⁾

En su estructura el diafragma es un músculo impar, plano, ancho y delgado, que forma un tabique entre el tórax y el abdomen. Tiene la forma se asemeja a una cúpula cuya parte superior es convexa. Tiene una inserción en la abertura inferior del tórax y está escotado atrás por la saliente de la columna vertebral toracolumbar. Posee en si centro una formación tendinosa. En la periferia, la fracción muscular del diafragma se divide en 3 porciones: la porción lumbar, la porción costal y la porción

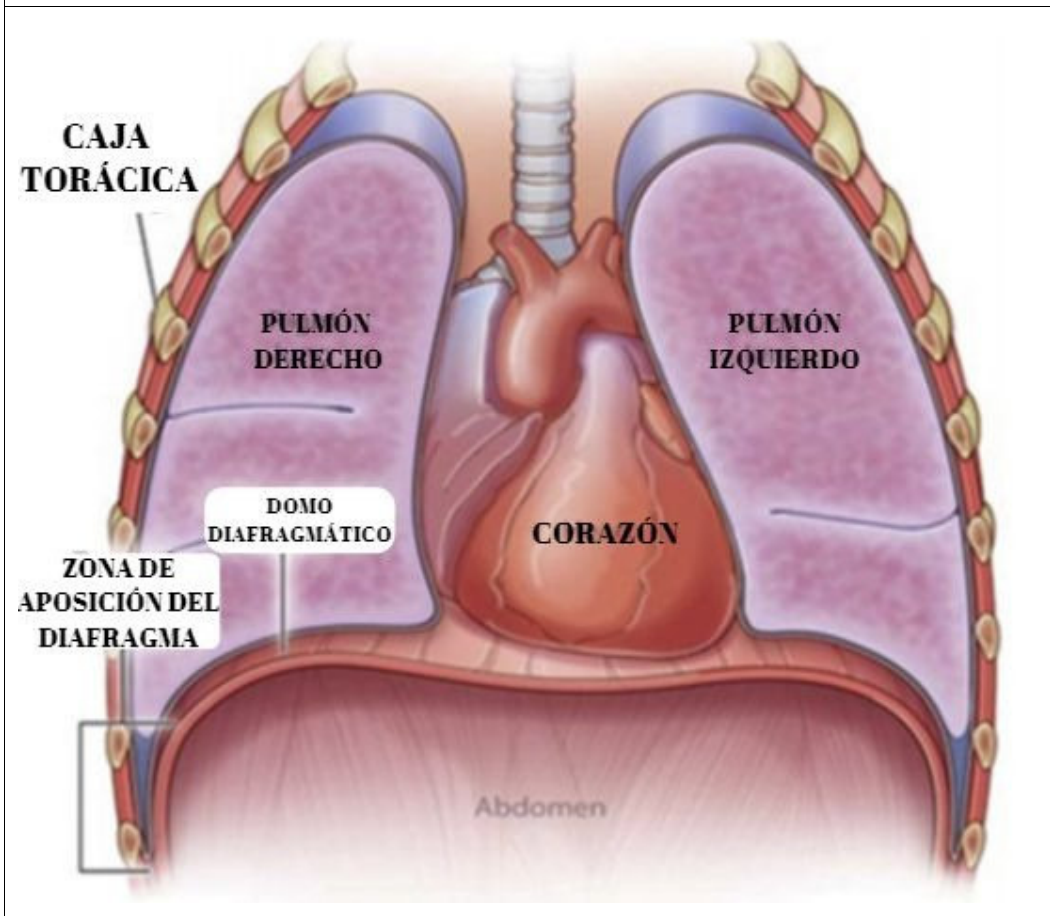
esternal. El músculo es atravesado por órganos que se extienden del tórax al abdomen y viceversa.

El diafragma es el principal músculo inspirador.⁽¹¹⁾ Su acción inspiratoria es múltiple: desciende su centro tendinoso y eleva las costillas inferiores, aumentando las dimensiones verticales, transversales y sagitales del tórax. Durante la espiración el diafragma se relaja y asciende en la cavidad torácica, mientras las costillas inferiores descienden.



Durante la ventilación respiratoria espontánea, el movimiento y la excursión del órgano es incesante: cuando se contrae, el diafragma se aplanar, disminuyendo la presión torácica y haciendo que el aire fluya hacia los pulmones, que son órganos viscerales pasivos. El diafragma logra esto gracias a su anatomía tridimensional convexa en la parte superior. El ápice de la cúpula que comprende el centro tendinoso es un área no contráctil y no modificable. Las fibras musculares parten de forma radial desde la parte posterior a la anterior; estas fibras confluyen en la cara posterior de las costillas desde T5 a T12.

IMAGEN 3: Diafragma con su zona de aposición. McCool (2018) ⁽¹¹⁾



El área de unión entre el diafragma y las costillas se conoce como *zona de aposición*. Durante la contracción de las fibras musculares, se provoca un engrosamiento de la pared, haciendo que el diafragma se mueva caudalmente durante la inspiración.

III.b.2- DISFUNCIÓN DIAFRAGMÁTICA

El diafragma es el músculo de la respiración por excelencia, encargado de ejercer el 70% del trabajo respiratorio.⁽¹¹⁾ Ante este importante rol protagónico en la función respiratoria es necesario tener en cuenta qué sucede con el diafragma una vez que el paciente comienza a ser sometido a la ventilación mecánica.

Factores tales como la ventilación mecánica, sepsis, fármacos, desnutrición, entre otros, favorecerían el stress oxidativo y la inflamación, lo cual a su vez produce la disminución de la síntesis o incremento de la degradación de las proteínas obteniendo como resultado atrofia muscular. Esta disfunción en las proteínas contráctiles se puede asociar a la afectación central que puede resultar de la utilización de distintos fármacos (sedantes, bloqueantes neuromusculares) favoreciendo así la debilidad diafragmática. Esta debilidad diafragmática inevitablemente tiene un impacto en la clínica y en la utilización de los recursos sanitarios.

La relevancia clínica radica en que el tiempo de apoyo bajo ventilación mecánica se asocia a disfunción diafragmática inducida por ventilación, neumonía y aumento de la morbilidad y mortalidad.

La debilidad muscular global del paciente crítico podría o no incluir la debilidad de la musculatura respiratoria, pero en los últimos años se comenzó a incorporar la debilidad diafragmática como una complicación asociada a la ventilación mecánica.⁽¹³⁾ El término de la *disfunción diafragmática inducida por la ventilación mecánica* DDIVM, se refiere a la afección de la musculatura causada por la VM. La ventilación mecánica en sí misma ha demostrado que afecta la fuerza del diafragma y deriva en la atrofia del órgano en los pacientes críticos.⁽¹⁴⁻¹⁷⁾

Varios estudios describieron que la inactividad del diafragma que sucede con la utilización de modos control en la ventilación mecánica produce una progresiva y rápida pérdida de la función diafragmática.⁽¹⁸⁾ Más allá de la disminución de la fuerza diafragmática, se han descrito una serie de cambios histológicos y bioquímicos en el diafragma de animales con DDIVM.⁽¹⁹⁾ Estos incluyen la atrofia de la fibra muscular, que parece ser el resultado de la disminución de la síntesis de proteínas, así como el aumento de la degradación de las mismas; remodelación de la fibra muscular, como lo indican los cambios en la expresión de proteínas estructurales y específicas de los músculos, como la cadena pesada de miosina, el factor de determinación miogénica 1 (MyoD) y la miogenina; y signos de lesión de fibras musculares, incluyendo miofibrillas alteradas, mayor número de estructuras vacuolares y anomalías mitocondriales.⁽²⁰⁾

En humanos, hay menos evidencia pero es contundente con el desarrollo de DDIVM. En un estudio post mortem de recién nacidos se encontró atrofia diafragmática difusa de la fibra muscular en pacientes que recibieron asistencia respiratoria durante 12 días o más inmediatamente antes de la muerte. Dicha atrofia no se encontró en el resto de la musculatura respiratoria, o en el diafragma de otros individuos que fueron ventilados por 7 días o menos.⁽²¹⁾ Otro estudio de diseño similar informó disfunción contráctil rápidamente progresiva y lesión diafragmática en seres humanos con ventilación mecánica.⁽²²⁾

La *ventilación mecánica controlada* (VMC) donde la contracción diafragmática no la realiza el paciente, produce una disfunción contráctil y atrofia diafragmática tanto en animales como en humanos en menos de 24 hs.^{(16) (23, 24)}

La VMC provoca una atrofia diafragmática de manera tan veloz que en las primeras 12-18 hs comenzada la VM ya se pueden evidenciar atrofas diafragmáticas sin evidencias atróficas periféricas.⁽²⁵⁾ Comparado con un voluntario sano se evidenció en torno a un 53-57% de reducción tanto en fibras tipo 1 como fibras tipo 2 en la sección transversal de biopsias diafragmáticas.^(23, 25)

Para Petrof (2010) y sus colaboradores, el mejor enfoque para la prevención de la DDIVM es evitar, en la medida que se pueda, el uso de la VM controlada y de agentes bloqueantes neuromusculares,⁽¹⁸⁾ ya que la pronta aparición de la DDIVM afecta a un 65% de los pacientes ventilados.⁽²³⁾

El músculo dañado denota una pérdida de fuerza y una menor excursión diafragmática debido a la disminución del área de sección transversal de las fibras musculares, que se refleja en una menor capacidad de realizar fuerza para producir la inspiración.^(18, 23)

Es necesario evaluar el funcionamiento del diafragma en sí mismo, dada la importancia de este órgano en su rol de músculo respiratorio por excelencia y su rápido debilitamiento con la VM, fármacos y días de estadía en la UTI, entre otros factores. Es importante tener un bagaje de conocimientos físicos básicos para llevar a cabo la evaluación ecográfica diafragmática.

III.c- ECOGRAFÍA

III.c.1- DEFINICIÓN

La ecografía es un método de diagnóstico que utiliza ondas ultrasónicas, las cuales son emitidas en el cuerpo humano por un transductor, rebotan en los tejidos y devuelven vibraciones. Dichas vibraciones son traducidas y decodificadas obteniendo imágenes que permiten realizar la evaluación del tejido en tiempo real.

III.c.2- GENERALIDADES Y PRINCIPIOS FÍSICOS BÁSICOS

Como describe Segura (2014) en su investigación, los *sonidos* son ondas mecánicas producidas por la vibración de un cuerpo elástico y propagadas a partir de un medio material a través de compresiones y dilataciones.⁽²³⁾

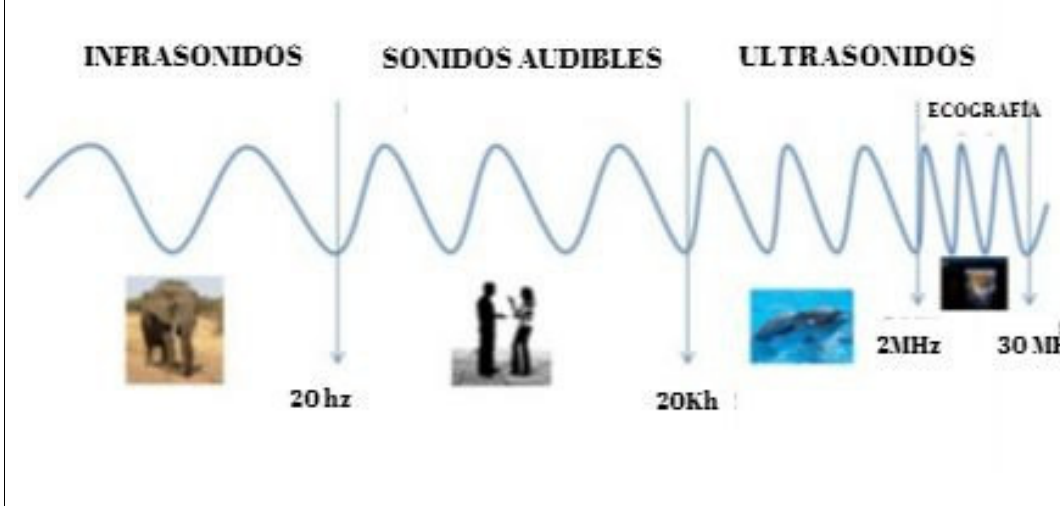
Asimismo Díaz Rodríguez (2007) describe al *sonido* como el resultado del recorrido de la energía a través de la materia en forma de una onda que produce alternativamente los fenómenos de compresión y refracción.⁽²⁴⁾

Se pueden clasificar los sonidos de la siguiente forma:⁽²⁴⁾

- Ondas infrasónicas o infrasonidos, cuya frecuencia es menor de 20 Hz.
- Ondas sónicas o sonidos, en los que la frecuencia oscila entre 20 y 20000Hz (20 KHz)
- Ondas ultrasónicas o ultrasonidos, cuya frecuencia siempre es mayor a 20 KHz. Son vibraciones de la misma naturaleza que los sonidos cuya frecuencia es superior al límite perceptible por el oído humano.

Las ondas ultrasónicas son las utilizadas por los ecógrafos para llevar a cabo esta técnica.

IMAGEN 4: Espectro de vibraciones acústicas. (imagen extraída de internet)



La *frecuencia* es lo que hace a un sonido audible. Es el número de ciclos o de cambios de presión por unidad de tiempo. La unidad de frecuencia se mide en ciclos / segundo = *Herzio* (Hz). Las frecuencias usadas con el fin de diagnóstico clínico varían entre 2 – 30 MHz. A mayor frecuencia, mayor cantidad de imagen (mejor resolución), pero menor será la penetración en el cuerpo. Por ende, las frecuencias más altas (30 MHz) se usan para estructuras superficiales.

A continuación se detallarán algunas características de las ondas a tener en cuenta:⁽²⁴⁾

El *ciclo* se define como fragmento de onda comprendido entre dos puntos iguales de su recorrido, lo que refleja es la trayectoria entre 2 puntos homólogos.

La *longitud* de onda determina la distancia existente en la realización de un ciclo completo.

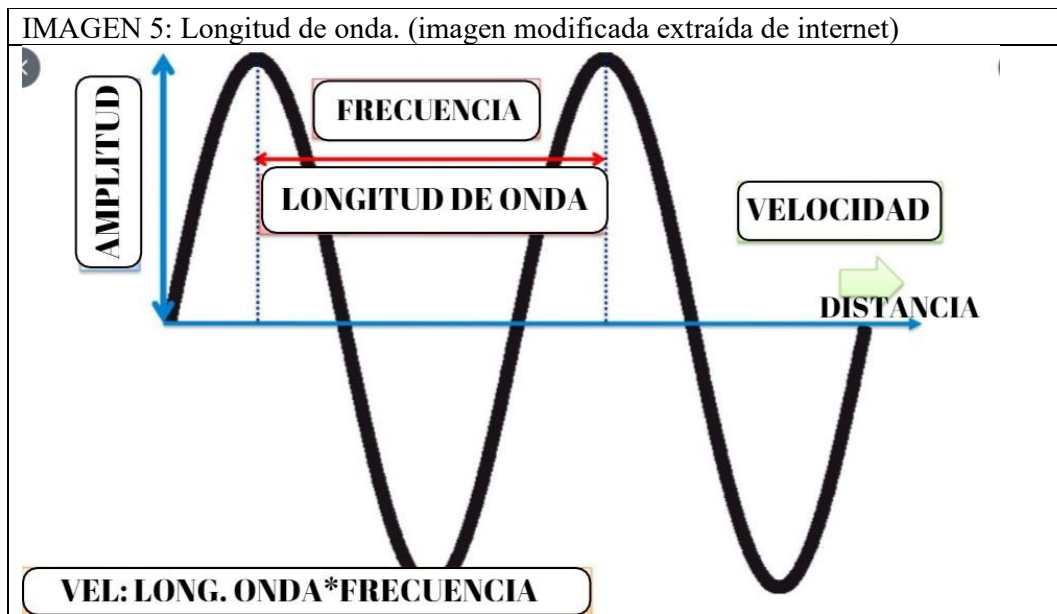
El *periodo* se denomina al tiempo necesario para que se lleve a cabo un ciclo completo.

La *amplitud* es la altura máxima que alcanza la onda. Está relacionada con la intensidad del sonido y se mide en *decibelios* (dB).

La *velocidad* es la distancia que recorre la onda por unidad de tiempo (m/s).

La *potencia* es la cantidad total de energía producida por unidad de tiempo.

La *intensidad* es la cantidad de energía perpendicularmente recibida en la unidad de superficie por unidad de tiempo. Al aumentar la intensidad de una onda sonora, aumentan los desplazamientos de las partículas del medio que atraviesa aumentando el número y tamaño de los ecos que devuelven.⁽²⁵⁾



Cabe recordar que las ondas ultrasónicas son las utilizadas en la ecografía. Cuando la onda de un ultrasonido atraviesa un tejido, sucede una serie de hechos: las ondas a velocidades distintas atraviesan distintos tejidos, estas ondas energéticas se reflejan o rebotan tras chocar con una superficie o barrera capaz de reflejarla. Esa onda de rebote se denomina *eco*. Son las diversas propiedades y texturas de los tejidos las que producen distintos ecos y por consiguiente, las diversas ecogeneidades.⁽²⁵⁾

El tipo de superficie sobre el que incide el haz de ultrasonidos condiciona el modo en que estos se reflejan. Las superficies lisas reflejan de muy buen modo los ultrasonidos. En este tipo de superficies tiene gran importancia el ángulo de incidencia: será mejor cuanto más perpendicular sea la incidencia del haz. Las superficies irregulares o rugosas dan lugar a gran cantidad de ecos de baja amplitud. En estas superficies se necesitan frecuencias altas para que la difusión sea mayor.

La *reflexión* del ultrasonido ocurre cuando el sonido pasa por un tejido, una parte del haz se refleja en forma de ecos y la otra parte continua hacia la siguiente interfase. El haz ultrasónico pasa de un medio con una determinada impedancia acústica a otro con una impedancia diferente.

La *impedancia acústica* (Z) es la resistencia que ofrece un medio al paso de los ultrasonidos. La Z es el producto de la densidad (D) del medio por la velocidad (V) a la que la onda ultrasónica lo atraviesa.⁽²⁶⁾

$$Z = D \times V$$

Si los dos medios tienen la misma Z , no hay reflexión, dicho con otras palabras, este límite no produce un eco. Por el contrario, si la diferencia es grande, la cantidad reflejada es mucha, siendo mínima la cantidad del sonido que progresa más allá de la misma. De mayor a menor, la impedancia acústica del cuerpo es: aire, agua, músculo, hueso.

Si la reflexión es total se habla de *sombra acústica*.

La *atenuación* es la pérdida de energía que experimenta un haz de ultrasonido al atravesar un medio como consecuencia de su absorción, reflexión, refracción y/o difusión. Cuanto mayor es el camino que deben recorrer los ultrasonidos resultará que los ecos originados en zonas más distales tendrán menos amplitud que los originados en zonas superficiales; esto guarda relación directa con la profundidad y la frecuencia. A menor frecuencia, menos atenuación, útil en estudios superficiales. A mayor frecuencia, mayor atenuación, útil en estudios profundos.

La *absorción* es la pérdida de energía producida cuando un haz de ultrasonidos atraviesa un medio, dichas partículas comienzan a vibrar, el roce producido entre ellas (choque) se transforma en calor. Cuanto mayor es la absorción, menor es la penetración de los ultrasonidos en el medio. A menor frecuencia, menor absorción y mayor penetración. La absorción involucra la transformación de la energía mecánica en calor. Mientras que la *dispersión* consiste en la desviación de la dirección de propagación de la energía.

III.c.3- FORMACIÓN DE LA IMAGEN

Las imágenes están generadas por la visualización de los ecos en escalas de grises, regresando al transductor como elementos fotográficos (píxeles). Su brillo será determinado por la intensidad del eco que será captado por el transductor en su viaje de retorno.

Los pulsos de *ultrasonidos* US se producen dentro del transductor (sonda) cuando una onda electromagnética atraviesa un cristal piezoeléctrico y provoca su vibración.

El transductor no emite el ultrasonido de forma continua sino que genera grupos o ciclos de ultrasonidos en forma de pulsos. Lo que hace el transductor es alternar dos fases: emisión de US – recepción de ecos; emisión de US – recepción de ecos.

La energía reflejada regresa al transductor y produce vibraciones en el cristal, las cuales son transformadas en corriente eléctrica por el mismo y después son amplificadas y procesadas para transformarse en imágenes.

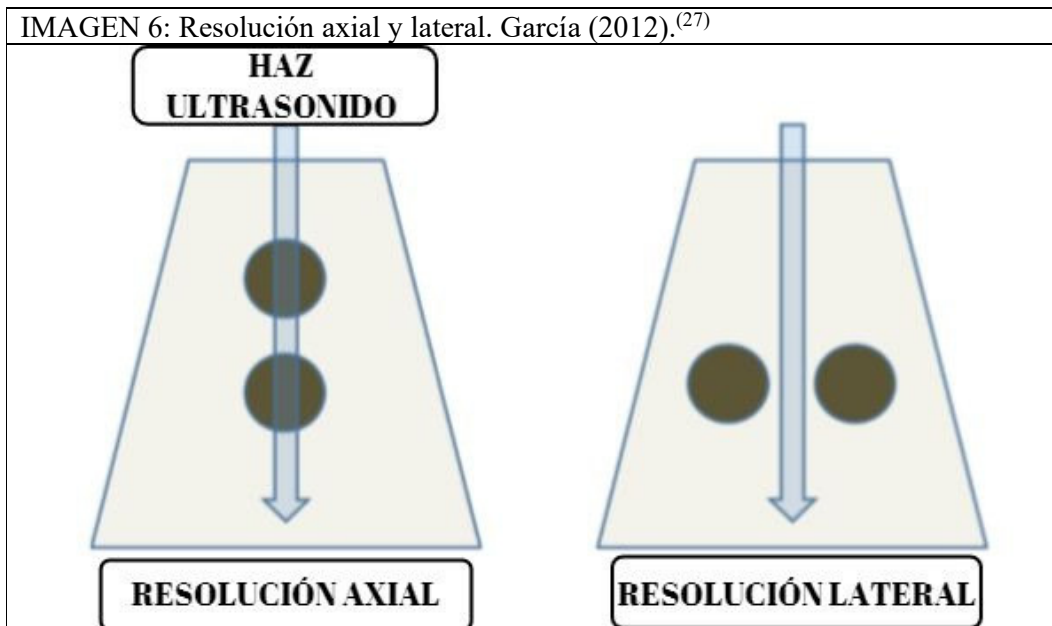
Conociendo el tiempo del recorrido se puede calcular la distancia del tejido reflectante. Los ecos de los tejidos más profundos necesitarán más tiempo para regresar a la sonda y su posición así lo refleja en la pantalla. El brillo de cada punto corresponderá a la amplitud del eco.

La *resolución* es la capacidad que tiene un equipo de ecografía para distinguir las diferentes partículas que reflejan el ultrasonido. En ecografía, la resolución

depende de dos particularidades inherentes a la agudeza visual: el detalle y el contraste.

A continuación se detallarán los tipos de resolución.⁽²⁴⁾

- Resolución axial: Cuando es capaz de diferenciar dos puntos o interfaces muy próximas en la dirección del haz de ultrasonidos. La resolución axial esta inversamente relacionada con la longitud de onda.
- Resolución lateral: Cuando es capaz de diferenciar dos puntos o interfaces muy próximas, situados en un eje perpendicular a la dirección del haz ultrasónico. A menor longitud de onda, mayor resolución axial.
- Resolución dinámica: Capacidad de un ecógrafo para la reproducción del movimiento de algunas estructuras y del movimiento de barrido del transductor.



III.c.4- ESCALA DE GRISES

La escala de grises está formada por las diferentes interfaces originadas por los distintos tejidos de las estructuras corporales.

El elemento orgánico que mejor transmite las ondas ultrasónicas es el agua ya que éste produce una imagen ultrasonográfica anecoica (negra). Las imágenes hipoeicoicas en general las poseen los tejidos muy celulares, dado su alto contenido de agua, mientras que los tejidos con más presencia de fibra son hiper-ecoicos, por su gran cantidad de interfaces.⁽²⁶⁾

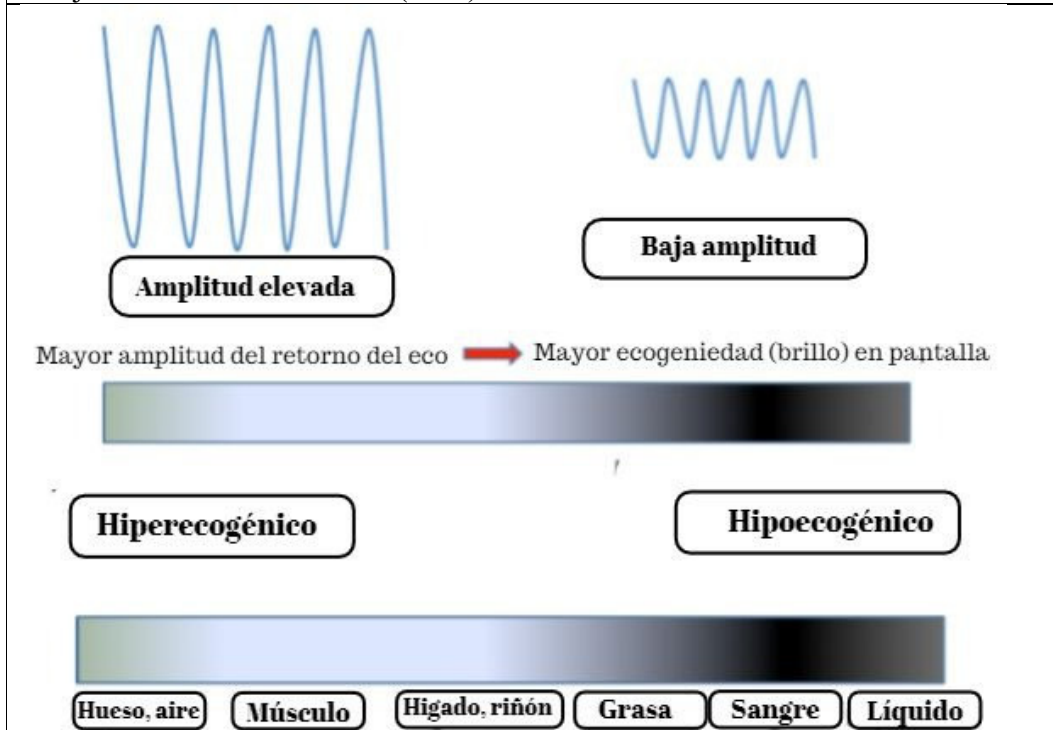
A continuación se detallarán unos términos ecográficos elementales que propusieron Díaz y Segura para comprender el lenguaje ecográfico.^(23, 24)

- Estructura ecogénica: Es aquella que genera ecos debido a la existencia de interfaces acústicas en su interior.
- Hiperecogénica o hiperecoica: Genera ecos en gran cantidad y/o intensidad cuando en el interior hay más interfaces ecogénicas que en el parénquima normal que la circunda. Ecográficamente es una imagen intensamente reflectante, de color blanco intenso, típica del hueso, calcificación, cicatriz.
- Hipoecogénica o hipoecoica: Generan pocos ecos y/o de baja intensidad cuando en el interior de la estructura normal existen interfaces de menor ecogeneidad que en el parénquima circundante. Ecográficamente, es una imagen poco reflectante de color gris oscuro típica de las tendinitis, desestructuración, inhomogeneidad. Típica del músculo normal hipoeicoico respecto al tendón.
- Isoecogénica o isoecoica: Cuando una estructura presenta la misma ecogeneidad que otra, corresponde a condiciones normales del parénquima de un órgano y se presenta como una estructura de similar ecogeneidad en todo el corte ecográfico. Ecográficamente se observa como imagen reflectante, gris-blanca a visión óptica,

típica de los tendones (finos ecos lineales, paralelos, ecogénicos reflectantes)

- Homogénea o heterogénea: que expresa la distribución de los ecos y la calidad de la estructura.
- Estructura anecogénica o anecoica: Es aquella que no genera ecos debido a que no hay interfaces en su interior. Típica de los líquidos. Estructura homogénea. Cuando la distribución de los ecos tiende a ser uniforme. Sus intensidades son similares. Se produce cuando el US atraviesa un medio sin interfaces reflectantes en su interior. Ecográficamente es una imagen no reflectante de color negro intenso, típica en los derrames, hematomas acumulación de líquido, roturas, cartílago, vaso sanguíneo. Con ellas suele producirse el artefacto refuerzo posterior.
- Estructura heterogénea: Genera ecos con intensidades diversas.

IMAGEN 7: Relación entre la amplitud del eco reflejado y el brillo en escala de grises reflejado en el monitor. García (2012).⁽²⁷⁾



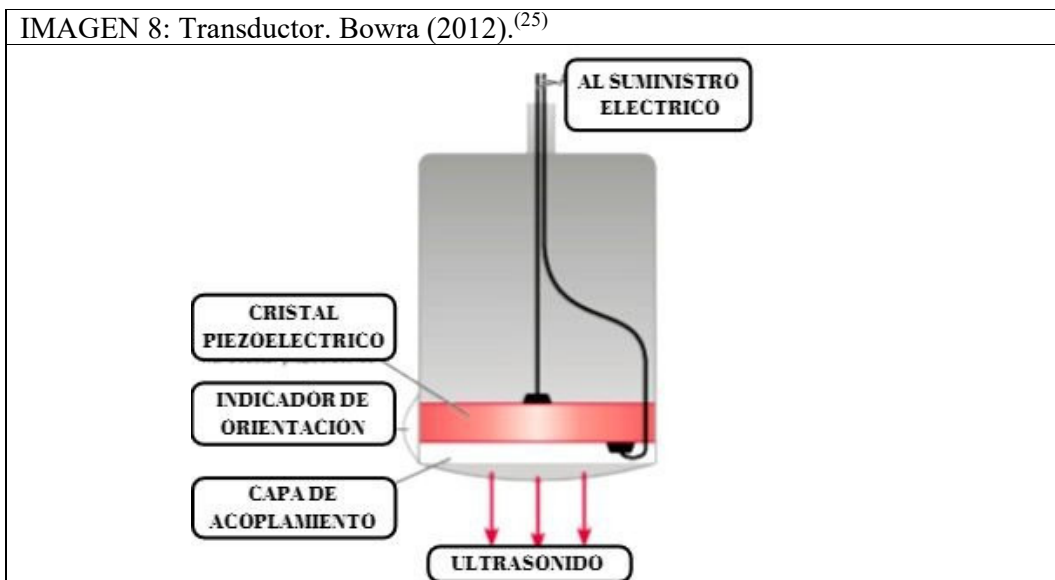
III.c.5- TRANSDUCTOR

El transductor es el encargado de transformar la energía eléctrica en energía acústica.

Mediante los pulsos eléctricos, sus cristales son estimulados, creando así ultrasonidos. Los US reflejados, ecos, nuevamente estimulan al cristal y estos se convierten en una señal eléctrica.

La propiedad que poseen algunos cristales, de transformar la corriente eléctrica recibida en vibraciones, es el *efecto piezoeléctrico*. Esto también se produce a la inversa, recibiendo mediante el cristal la presión de las ondas acústicas, convierten esta energía mecánica en energía eléctrica.⁽²³⁾

IMAGEN 8: Transductor. Bowra (2012).⁽²⁵⁾



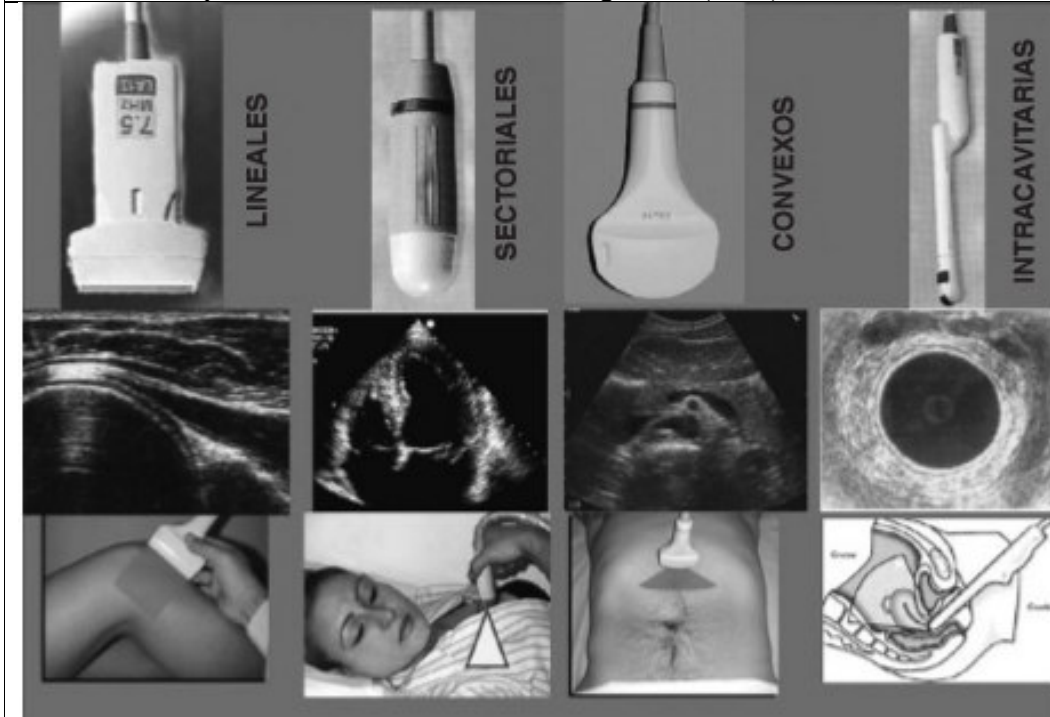
Existen diferentes tipos de transductores, en los cuales varía la manera en que están dispuestos sus componentes:

- *Sonda convex.* Línea curva. Esta se caracteriza por utilizarse con una menor frecuencia de onda, menor absorción y una mayor capacidad de penetración, luego se obtiene una menor resolución. Se utiliza para estudios más profundos, normalmente abdomen.
- *Sonda lineal.* Línea recta. Dicha sonda se caracteriza por el uso de una mayor frecuencia de onda, menor absorción y mayor

capacidad de penetración, luego mayor resolución. Se usa para estudiar zonas más superficiales: tejidos blandos, tiroides y músculo.

- *Sonda anular*. Formando anillos concéntricos (intracavitario: rectal, vaginal).
- *Sonda sectorial*: Utilizada en ecocardiografía.

IMAGEN 9: Tipos de transductores. Díaz-Rodríguez N. (2007).⁽²⁴⁾



III.c.6- MODOS EN LA ECOGRAFÍA

De acuerdo con el efecto piezoeléctrico, la reflexión de los ecos en las diferentes interfaces otorga una corriente eléctrica que es sintetizada por la unidad de procesamiento y expresada en el monitor.

En el *modo B* se obtiene una imagen bidimensional en tiempo real. Es la representación pictórica de la suma de los ecos en diferentes direcciones (axial, lateral) permitiendo que el equipo reconozca la posición espacial y la dirección del haz. Es el modo habitualmente más utilizado.⁽²⁶⁾

El *modo M* representa el movimiento de la interfase reflectante; se crea una representación gráfica de la señal, la amplitud se manifiesta en el eje vertical, y el tiempo y la profundidad en el eje horizontal.⁽²⁶⁾

El *modo Doppler* se basa en el cambio de la frecuencia del sonido producida al chocar una onda acústica con una interfase en movimiento; se utiliza para capturar dentro de los vasos sanguíneos, el flujo de sangre.⁽²⁶⁾

III.c.7- ARTEFACTOS

Cuando se habla de artefactos se trata de una imagen, o parte de una imagen, que no corresponde con la anatomía humana del paciente en esa posición. Los artefactos pueden oscurecer la interpretación o pueden ser útiles para la recolección de la información.⁽²⁵⁾

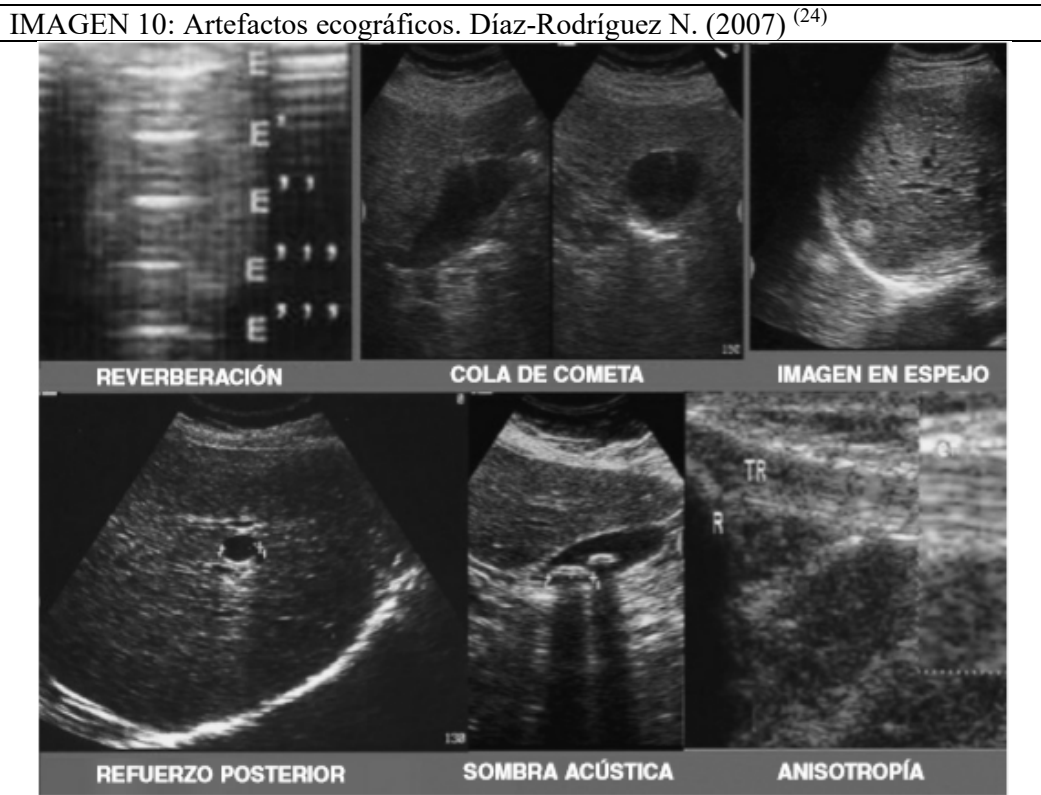
El *refuerzo acústico* se da cuando la energía del ultrasonido recorre una estructura llena de líquido. La cantidad de energía sonora que atraviesa los tejidos y regresa a la sonda es mayor (disminuye la atenuación), por lo que los tejidos situados detrás del líquido se visualizan brillantes. En consecuencia, el líquido actúa como *ventana acústica* para las estructuras más profundas.

La *sombra acústica* se produce cuando una estructura altamente reflectante es alcanzada por la energía sonora (por ejemplo, cortical ósea) impidiendo en gran medida que llegue energía ultrasónica a estructuras más profundas. Queda por lo tanto una zona sin explorar. Los tejidos posteriores se visualizarán más oscuros.

Las *sombras laterales* son emitidas por las paredes curvas de algunas estructuras redondeadas, debido al potente reflejo que posee una superficie convexa.

La *imagen en espejo* es provocada por el prolongado tiempo de regreso del eco, lo que causa que las imágenes vislumbradas en la pantalla estén situadas a mayor profundidad que en la realidad, por efecto del reflejo entre una estructura y una interfaz curva grande.

La *reverberación* aparece como líneas uniformemente separadas, originadas por los múltiples reflejos de la onda sonora entre la sonda y la estructura o dos estructuras. La onda sonora rebota y regresa a la sonda más de una vez, produciendo una imagen con cada reflejo. Esto puede ocurrir cuando se emplea una cantidad de gel insuficiente.



III.c.8- APLICACIÓN DE LA ECOGRAFÍA AL PIE DE LA CAMA

Anteriormente, el monitoreo de la función diafragmática sólo se podía obtener en centros de investigación especializados los cuales utilizaban métodos invasivos. La utilización de estas herramientas disponibles era limitada debido a los riesgos de radiación ionizante (fluoroscopia, tomografía computarizada) o debido a su complejidad y/o naturaleza altamente especializada, requiriendo un operador experto (medición de presión transdiafragmática, electromiografía diafragmática, estimulación del nervio frénico, resonancia magnética).

La ecografía se reconoce cada vez más como un método rápido, fácil y preciso de evaluación no invasiva de la función diafragmática en la cabecera de la cama.⁽²⁸⁾

La evolución tecnológica producida en los últimos años proporcionó que los aparatos ecográficos sean más pequeños y portátiles, manteniendo la calidad de imagen, lo cual permitió la aparición de la ecografía clínica al pie de la cama. Ésta puede ser realizada por médicos no radiólogos, en diversas áreas de un nosocomio, como por ejemplo urgencias, atención primaria, unidades críticas, consultas externas y hospitalización convencional.⁽²⁹⁻³³⁾

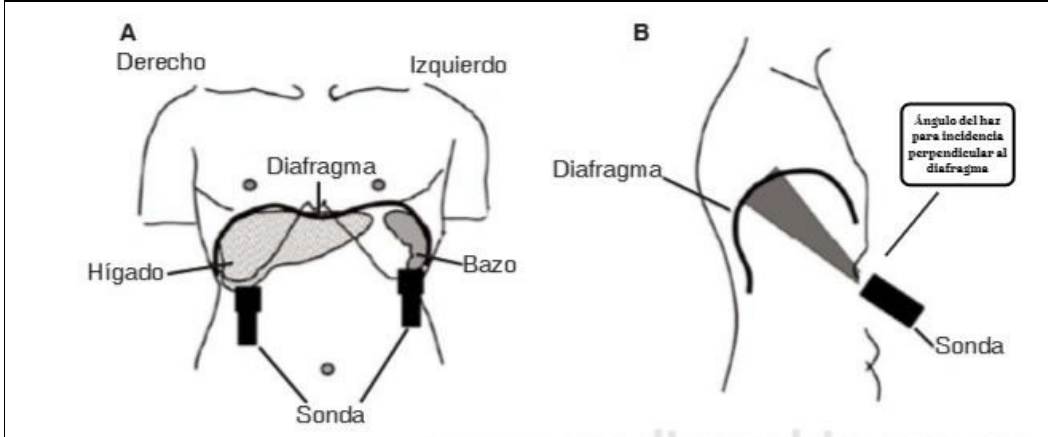
En los países en los que existe la especialidad en medicina de urgencias y emergencias, la formación en ecografía es una competencia técnica esencial en la carrera de grado e incluso en la especialidad.^(34, 35)

III.d- ECOGRAFÍA DIAFRAGMÁTICA

Se pueden detallar dos razones del exitoso auge de esta técnica: por un lado, la posibilidad de proporcionar datos tangibles y no ser una técnica invasiva, capaz de ser realizada al pie de la cama del paciente crítico. Por otro lado, el camino de aprendizaje del ultrasonido en este músculo es rápido y requiere de un curso corto.⁽³⁶⁾

Esta evaluación se realiza con transductores de 3,5-5 MHz. El transductor se coloca debajo del reborde costal derecho e izquierdo a la altura de la *línea media clavicolar* LMC o *línea axilar anterior* LAA, dirigiendo el haz ultrasonográfico en sentido craneal, medial y dorsal, hasta alcanzar el diafragma de forma perpendicular. Se realiza un escaneo en eje largo de los espacios intercostales, utilizando como *ventanas acústicas* el lóbulo derecho del hígado, y el bazo en el lado izquierdo.⁽⁴⁾

IMAGEN 11: Ventanas acústicas. Esper RC. (2014)⁽⁴⁾



El diafragma puede presentar: función normal; movilidad reducida o debilidad; pérdida de función o parálisis. Esta evaluación del diafragma mediante el ultrasonido puede distinguir la debilidad diafragmática de la parálisis. En pacientes con debilidad diafragmática, se puede observar y obtener la medición de un movimiento reducido. Asimismo, en pacientes con parálisis del diafragma se observará un movimiento paradójico. Con esta técnica, se permite proporcionar estrategias de prevención o tratamiento necesarios ante la aparición de una disfunción diafragmática.^(28, 37)

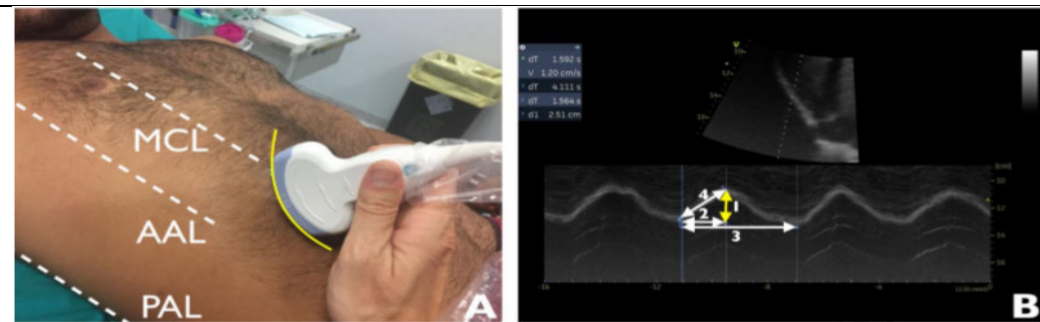
La ecografía diafragmática puede evaluar la amplitud de los movimientos de la cúpula diafragmática en el ciclo respiratorio “excursión diafragmática, DE *diaphragmatic excursion*” y el porcentaje del cambio del grosor de dicho músculo desde la inspiración hasta la espiración “*fracción de engrosamiento, %TF diaphragmatic thickening fraction*”. Estos indicadores son los utilizados para evaluar la fuerza de las contracciones diafragmáticas.⁽³⁸⁾

III.d.1- EVALUACIÓN DE LA EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA

La excursión diafragmática refleja el movimiento del diafragma resultante de la interacción de la fuerza diafragmática y las presiones intratorácica e intraabdominal. Para llevar a cabo esta evaluación, el paciente debe estar acostado en

posición supina y su tronco elevado a 10-15°. Mediante la utilización de un transductor de ultrasonido de baja frecuencia (3,5-5 MHz) (convexo o sonda de matriz en fase) se puede evaluar cada uno de los hemidiafragmas colocándose a lo largo de la línea medio claviclar o debajo del margen costal derecho con la sonda en el plano longitudinal. Utilizando el modo bidimensional y el hígado como una ventana acústica, debe aparecer un eco brillante que refleje la curva en la pantalla.

IMAGEN 12: Evaluación excursión diafragmática. Vetrugno (2019)⁽³⁹⁾



A: Transductor de baja frecuencia (3,5-5MHz) (sonda convexa) utilizado a lo largo de la línea medioclavicular LMC y debajo del margen costal derecho con la sonda en el plano longitudinal. Para identificar mejor el hemidiafragma derecho en ese punto, el haz de ultrasonido debe dirigirse cefálicamente y dorsalmente para alcanzarlo perpendicularmente.

B: Uso de un transductor de ultrasonido de baja frecuencia (3,5-5MHz) (sonda convexa) para identificar el hemidiafragma derecho. El modo M se utiliza para mostrar movimientos diafragmáticos y medir DE, Tiempo inspiratorio (Tinsp) y espiratorio (Tesp) (segundo) y la velocidad de contracción diafragmática (pendiente, cm/seg).

[1] Excursión diafragmática DE; [2] tiempo de inspiración (segundos); [3] inspiración + tiempo de caducidad segundo); [4] velocidad de contracción diafragmática cm/s).

ABREVIATURAS: MCL: línea medioclavicular; AAL: línea axilar anterior; PAL: línea axilar posterior.

La curva hiperecogénica representa el hemidiafragma derecho y se muestra como la transición entre el tejido con baja impedancia acústica, el hígado por debajo y las membranas parietales (pleural y peritoneal) fusionándose. Para lograr identificar el hemidiafragma derecho de manera correcta en este punto, el haz del ultrasonido debe dirigirse cefálica y dorsalmente para alcanzarlo de forma perpendicular. Luego, se selecciona el modo M para visualizar movimientos y medir DE o el movimiento del hemidiafragma derecho durante el ciclo respiratorio.

La visualización del hemidiafragma izquierdo es menos accesible por la presencia de contenido gástrico y la ventana menos favorable que ofrece el bazo en

términos de dimensión. No obstante, aunque sea más difícil, es posible evaluar el lado izquierdo del diafragma y detectar cualquier diferencia con el grosor del lado derecho.

Con el modo M, además de poder medir la excursión diafragmática (desplazamiento, cm), se puede evaluar la velocidad de contracción diafragmática (pendiente, cm/s), el tiempo inspiratorio (T_{insp} , s) y la duración del ciclo (T_{tot} , s). En pacientes con VM, la evaluación del movimiento diafragmático puede requerir desconectar el paciente del ventilador para poder visualizar mejor los esfuerzos respiratorios espontáneos. Debemos tener en cuenta que muchos pacientes con VM pueden presentar derrames pleurales, consolidación o atelectasia, lo que, a diferencia de lo que se puede llegar a esperar, permite una visualización más fácil de los hemidiafragmas.

Cabe destacar que con la información obtenida en el modo M se puede distinguir la debilidad diafragmática de la parálisis.⁽²⁸⁾ En pacientes que tengan debilidad diafragmática, se puede observar y medir un movimiento caudal diafragmático reducido; mientras que en pacientes con parálisis de diafragma, se detecta un movimiento paradójico. En parálisis diafragmática unilateral o bilateral, la presión negativa generada por los otros músculos respiratorios durante la inspiración, hace que el diafragma se mueva de forma pasiva cranealmente en lugar de su movimiento caudal normal.

La excursión diafragmática ha demostrado ser un parámetro útil para la evaluación del diafragma. Sin embargo, este procedimiento puede estar limitado por la falta de visualización adecuada y la influencia de estructuras vecinas. Frente a estas limitaciones, se puede recurrir a la observación del diafragma en la zona de aposición mediante su visualización directa.

III.d.2- EVALUACIÓN DEL GROSOR DIAFRAGMÁTICO *tdi*

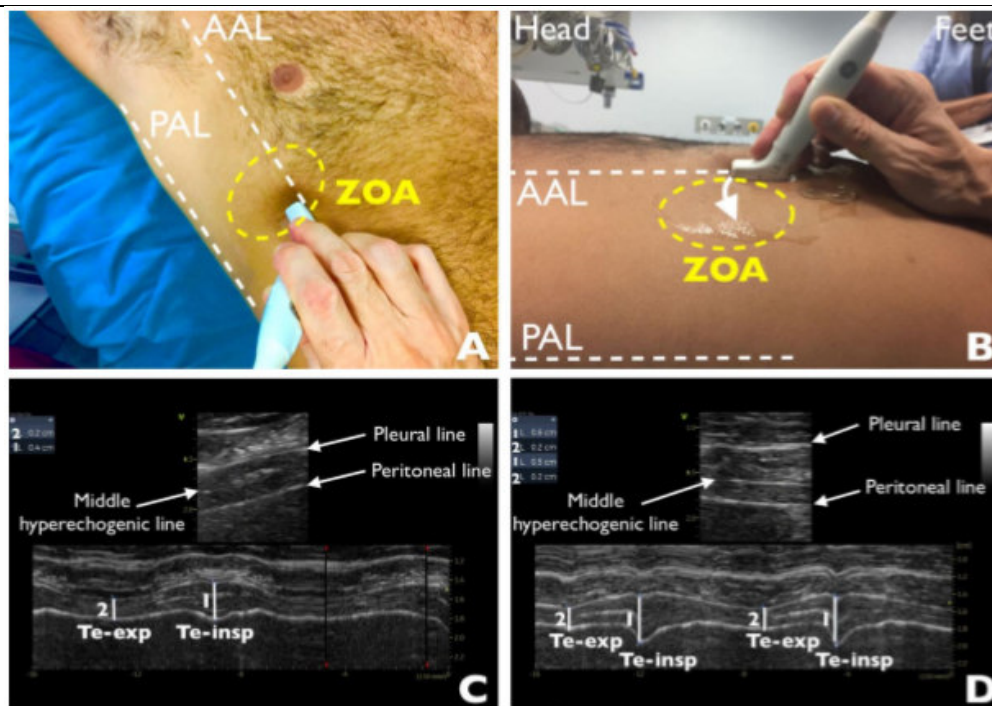
Se define al grosor del diafragma como el grosor muscular al final de la espiración.

Para evaluar el espesor diafragmático “*diaphragmatic thickness*” (tdi, mm), se usa ultrasonido en la zona de aposición del diafragma a la caja torácica.

La *zona de aposición ZOA* es el área de la pared torácica donde el contenido abdominal alcanza la caja torácica inferior. En este área, el diafragma se observa como una estructura formada por tres capas distintas: una capa central no ecogénica bordeada por dos capas ecogénicas, el peritoneo y la pleura diafragmática.⁽²⁸⁾

Para obtener imágenes adecuadas del grosor diafragmático en modo M y modo B, se necesita una sonda lineal de alta frecuencia (10MHz). El espesor del diafragma se puede medir transcurriendo la respiración normal espontánea y durante el esfuerzo máximo inspiratorio y espiratorio.⁽⁴⁰⁾

IMAGEN 13: Evaluación del espesor diafragmático. Vetrugno (2019).⁽³⁹⁾



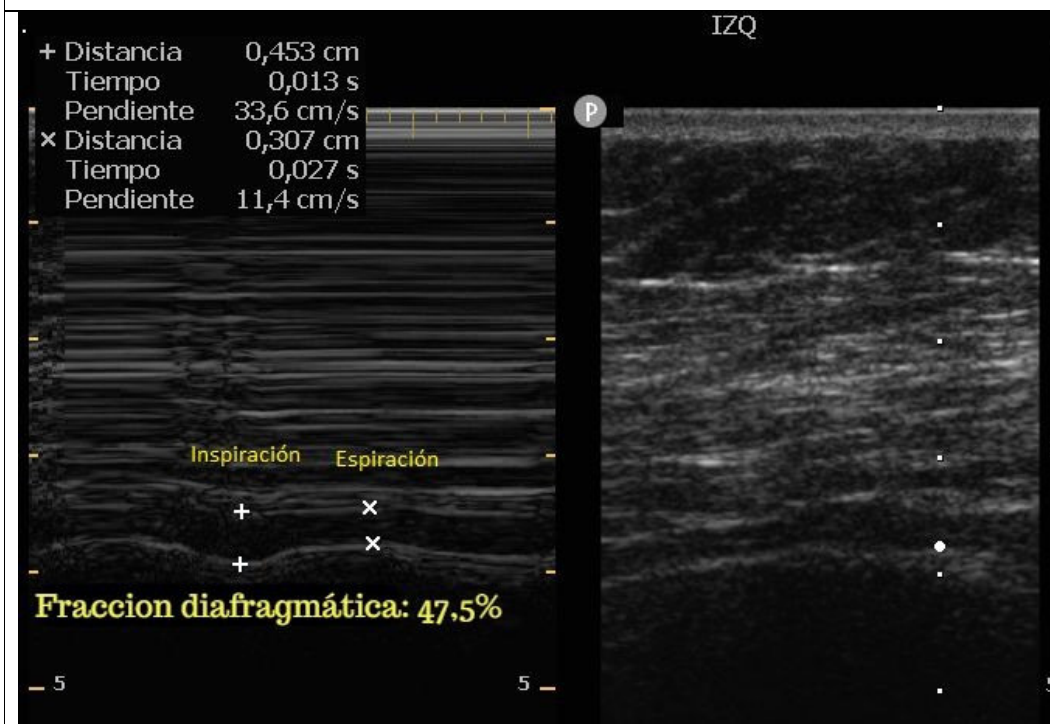
AB) Para identificar mejor el hemidiafragma correcto, sugerimos usar un transductor lineal de alta frecuencia (L8–18i MHz) Sonda especial de palo de hockey GE (GE Healthcare, Wauwatosa, WI, EE. UU.) A lo largo de la línea axilar anterior a nivel de los 9th o 10th espacio intercostal. DISCOS COMPACTOS). La *fracción de engrosamiento del diafragma* (% TF), calculada como la diferencia entre el grosor al final inspiración (Te-insp) y final de la espiración (Te-exp) dividido por el final de la espiración (Te-exp) y multiplicado por 100, es equivalente a la fracción de contractilidad del diafragma. [1], grosor de inspiración final (Te-insp) (cm); [2], espesor de espiración final (Te-exp) (cm). LEYENDA: AAL, línea axilar anterior; PAL, línea axilar posterior; ZAO, zona de aposición.

III.d.3- EVALUACIÓN DE LA FRACCIÓN DE ENGROSAMIENTO

La fracción de engrosamiento “*thickening fraction*” (%TF) refleja el esfuerzo ejercido por el músculo durante la VM, pero también se puede usar en pacientes que respiren espontáneamente. Se calcula como la diferencia del grosor entre el grosor al final de la inspiración y el grosor al inicio de la inspiración dividido por el espesor al final de la inspiración. Es un indicador útil de la contractilidad del diafragma.⁽⁴⁰⁻⁴²⁾

$$\%TF = \frac{[(\text{grosor al final inspiración}) - (\text{grosor al final espiración})]}{\text{Grosor final inspiración}} \times 100$$

IMAGEN 14: Medición de la fracción de engrosamiento en la zona de aposición. Imagen modificada extraída de internet.



Dado que el engrosamiento diafragmático es una expresión de contracción muscular, el % TF también podría ser útil para apreciar el diafragma y evaluar si el soporte del ventilador puede reducirse.^(43, 44) Si así no fuere, la excursión de ambos

hemidiafragmas y el %TF puede usarse para evaluar el curso de la atrofia y la recuperación del diafragma.

Hay que tener en cuenta que la disfunción diafragmática ya que puede estar presente al ingreso en la UTI o puede desarrollarse durante la estadía en la misma. ^(16, 45) En el primer caso se debe a un *fenómeno temprano*, mientras que en el segundo caso puede verse como un *fenómeno tardío*.

El fenómeno temprano se da cuando el paciente presenta disfunción diafragmática o dentro de las primeras 24hs del ingreso a la UTI (aproximadamente el 60% de los pacientes ingresantes). ^(16, 45) Teniendo en cuenta este dato, se cree pertinente realizar una evaluación del diafragma con ultrasonido, especialmente si el paciente respira por sí mismo, para diagnosticar parálisis uni o bilateral. Una vez que se excluye la parálisis, el engrosamiento diafragmático debe ser evaluado todos los días para monitorear cualquier cambio.

Por otro lado, se define fenómeno tardío, cuando el paciente presenta disfunción diafragmática inducida por ventilación mecánica. La DDIVM difícilmente se diagnostica y es poco reconocida en la clínica práctica. La inactividad y la ventilación mecánica control durante 48hs, puede conducir a una pérdida de fuerza y masa del diafragma.⁽⁴⁶⁾

Para poder hacer conocer las anormalidades, primero debemos tener en cuenta los valores normales de la excursión, grosor y fracción de engrosamiento diafragmático.

III.d.4- PARÁMETROS

Para los valores de la *excursión diafragmática* se tendrán en cuenta los resultados del estudio de Bousseges (2009), quien diferenció los valores de hombres y mujeres en respiración tranquila, respiración voluntaria y respiración profunda. Para hombres indicó los valores 18±4mm, 31±6mm, 75±9mm, respectivamente. Y para mujeres 16±4mm, 27±5mm, 64±1mm, respectivamente.⁽⁴⁷⁾

Cabe aclarar que en la práctica clínica diaria el valor de respiración voluntaria es poco utilizado, no así los valores de respiración tranquila y respiración profunda.

Los valores del *grosor diafragmático* varían según el investigador.

Vivier (2012) otorgó valores diferentes a hombres y mujeres. A los hombres les concedió el valor promedio de 2,6mm (siendo 2,1 - 3,0 el rango de valores hallados) y a las mujeres 2,1 (1,8 – 2,7) mm.⁽⁴⁰⁾

Goligher (2015) y Schepens (2015) no hicieron distinción entre hombres y mujeres otorgando un único valor a ambos sexos: 2,4±0.8mm (Goligher) y 1,9±0.4mm (Schepens).^(37, 48)

III.d.5- PRECISION Y REPRODUCIBILIDAD DE LA TÉCNICA

La precisión y la reproducibilidad de los ultrasonidos en la medición del desplazamiento y el grosor del diafragma es fundamental para poder utilizar los valores y llevar a cabo en consecuencia estrategias terapéuticas.

En un gran estudio, Boussuges (2009) informó que la reproducibilidad intraobservador fue de 96 y 94% y la reproducibilidad interobservador fue del 95 y 91% para la medición de la excursión diafragmática derecha e izquierda respectivamente, durante la respiración tranquila.⁽⁴⁷⁾ Otros estudios barajaron cifras similares para las mismas mediciones, la reproducibilidad intraobservador e interobservador, entre el 88 y 99% para la excursión diafragmática.^(49, 50)

En cuanto a la reproducibilidad de las mediciones del espesor diafragmático, del analizador, del intraanalizador y entre los analizadores, se evaluaron los valores indicados para la repetibilidad que fueron superiores a 0.97. Los coeficientes de repetibilidad oscilaron entre el 7-8% para la repetibilidad intra o interanalizador y alrededor del 15 – 18% para la repetibilidad intra o interobservador.⁽⁴⁰⁾

Con el fin de mejorar la reproducibilidad, se detallan algunos consejos técnicos para el ecógrafo diafragmático.

III.d.6- RECOMENDACIONES TÉCNICAS

- Se debe saber que hay poca diferencia en la medición de la excursión diafragmática entre la parte media y posterior del diafragma, por lo cual hay poca razón para preocuparse acerca de la ubicación exacta.
- La mejor delineación diafragmática debe observarse en el modo B antes de aplicar el modo M.
- El cursor para las mediciones de la excursión diafragmática en el modo M siempre debe ser lo más estrictamente perpendicular posible con respecto a la parte media o posterior del diafragma. Esto se puede obtener girando la sonda o corriendo el ángulo del modo M con una perilla en el aparato del eco.
- Finalmente, para medir el espesor diafragmático, es necesario el uso de la sonda lineal de mayor resolución (10MHz).

III.d.7- ECOGRAFÍA y WEANING

Para llevar a cabo los objetivos de este trabajo, teniendo en cuenta las definiciones ya descritas, se detallará la aplicación de la ecografía diafragmática en el proceso de weaning con el fin de saber si incide en la tasa de éxito.

III.d.8- ROL DEL KINESIÓLOGO

La kinesiología es una disciplina relativamente joven que desde su origen, el 13 de abril de 1937, se ha ido adaptando para brindar respuestas a los requerimientos socio-profesionales existentes en los diferentes contextos históricos en la Argentina.⁽⁵¹⁾ La labor profesional del kinesiólogo en la Argentina fue diferenciándose del resto del mundo desde sus inicios, con un gran desarrollo académico, gracias a su intensa actividad societaria.⁽⁵²⁾

Dos pandemias de poliomielitis en la década del '50, se cobraron millones de víctimas en el mundo, dejando a muchas de ellas con secuelas y afecciones respiratorias. De allí nace para la kinesiología un gran desafío, la necesidad de

confrontar los requerimientos sociales y asistenciales que se presentaron. Por ello, un grupo de profesionales comenzó un trabajo de vanguardia en el centro de rehabilitación respiratoria “María Ferrer” en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires; este suceso dio inicio al nacimiento de la *kinesiología respiratoria*.

El kinesiólogo intensivista se definió como un profesional que forma parte del equipo de trabajo de una UCI junto a médicos, enfermeros y otros profesionales, y está capacitado para intervenir en las tareas que le son pertinentes y en la toma de decisiones.⁽⁵²⁾

Como describe Fredes (2018) en su investigación “*Definición del rol y las competencias del kinesiólogo en unidad de cuidados Intensivos*”⁽⁵³⁾

*“[...] El kinesiólogo que trabaja en áreas de cuidados intensivos debe ser un profesional experto y referente en cuidados respiratorios y rehabilitación de los pacientes críticos. Debe ser **capaz de utilizar herramientas de evaluación y tratamiento**, e implementar procedimientos de fisioterapia respiratoria y de rehabilitación, y todos aquellos que se relacionen con los cuidados respiratorios [...].”*

*“[...] La complejidad de los pacientes internados en la UCI requiere que el kinesiólogo intensivista garantice el máximo nivel de cuidados (respiratorios y de rehabilitación), basándose en la mejor evidencia científica disponible, y adaptado a cada individuo y a las características particulares de cada unidad de trabajo. Esta evidencia puede ser resumida en **protocolos y guías de evaluación y tratamiento** de los pacientes, con el objetivo de **minimizar el error** y la variabilidad de los cuidados realizados. [...].”*

En estas citas se destaca la capacidad del kinesiólogo intensivista para utilizar herramientas que le permitan evaluar y guiar el tratamiento del paciente, siendo partícipe de forma activa y proactiva en la toma de decisiones del protocolo a elegir. De esta forma, el equipo médico puede llevar a cabo el objetivo general que es minimizar los errores y la variabilidad de los cuidados utilizados.

Como describe Fredes (2018) la ecografía es uno de los dispositivos que puede utilizar el kinesiólogo para la evaluación de la función respiratoria, ya sea en

la realización de la técnica, la calibración del equipo y la óptima interpretación de los resultados.⁽⁵³⁾

IV- ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Con el propósito de llevar a cabo esta investigación, se realizó una revisión bibliográfica acerca de los temas abordados. Para obtener dicha bibliografía, se buscó en las bases de datos PubMed, MEDLINE, y Google Académico; en inglés y castellano; dentro del período 2007 a la actualidad; las cuales incluían siguientes palabras claves:

Término	Decs	Mesh
Ecografía	Ultrasonografía	Ultrasonography
Diafragma	Diafragma	Diaphragm
Desconexión del ventilador	Ventilator weaning	Ventilator weaning

Se utilizó como motor de búsqueda en las bases ya nombradas la combinación de palabras claves y filtros:

- “diaphragm” and “ultrasonography” and “Ventilator weaning”

Además se realizó una búsqueda de texto libre con palabras claves.

Realizando la búsqueda anteriormente nombrada, se encontraron 42 artículos. Para llevar a cabo este trabajo se incluyeron los artículos e investigaciones tratados solo en pacientes adultos y sin combinación de otras técnicas.

V- CONTEXTO DE ANÁLISIS

A continuación se detallarán en orden cronológico los artículos analizados cuya información proporcionó los resultados, tomando como variables el espesor diafragmático, la fracción de engrosamiento y la excursión diafragmática.

En primera instancia, se utilizó un estudio prospectivo realizado en USA por DiNino (2014) denominado *“Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation”*.⁽⁵⁴⁾ Dicho estudio incluyó a 63 pacientes de los cuales 27 utilizaron PRE y 36 PS para el proceso de destete, simultáneamente fueron evaluados con ecografía.

En segundo lugar, se empleó un estudio prospectivo denominado *Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients*⁽¹⁰⁾. Este ensayo clínico realizado por el especialista Farghaly Shereen MD (2016), fue llevado a cabo en el Hospital Universitario Assiut, desde abril a noviembre de 2015, con 54 pacientes que habían superado la PRE y simultáneamente fueron evaluados por ultrasonografía.

Un tercer estudio analizado fue una revisión sistemática, un meta-análisis de la autora Ana M. Llamas (2017)⁽⁵⁵⁾, *“Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome”* llevado a cabo en España en el año 2017. Dicho trabajo incluyó 19 artículos de investigación, de los cuales se tomaron 13, ya que utiliza las variables a tener en cuenta en esta tesina, mientras que los 6 restantes se descartaron por no resultar pertinentes.

El cuarto aporte fue un estudio prospectivo realizado en India por Sujay en el año 2017 denominado *“Diaphragm tichening fraction to predict weaning- a prospective exploratory study”*.⁽⁵⁶⁾ El estudio se realizó desde enero de 2015 a junio de 2016. Los 64 pacientes evaluados estaban a punto de ser sometidos a la evaluación de tubo en T con PS; la evaluación diafragmática se llevó a cabo durante el primer ensayo.

A continuación se incluyó un quinto artículo del autor Turton P. (2019)⁽⁵⁷⁾ que realizó una revisión narrativa llamada *“A narrative review of diaphragm ultrasound to predict weaning from mechanical ventilation: where are we and where are we heading?”* con artículos desde enero del 2017 hasta agosto del 2018.

Por último se analizó el trabajo realizado por McCool FD en el año 2020, un estudio prospectivo aleatorizado y controlado en tres hospitales docentes de la Universidad de Brown en EEUU, denominado *“The utility of diaphragm ultrasound*

in reducing time to extubation".⁽⁵⁸⁾ Dicho estudio introdujo a 32 pacientes que de forma aleatoria fueron separados en dos grupos, 15 y 17 personas, respectivamente. El primero recibió la atención habitual (control) mientras que el segundo recibió atención habitual más la exploración de ultrasonido (intervención). En ambos grupos la responsabilidad de las decisiones clínicas siempre fue de la UCI que albergaba al paciente. La asistencia a la UCI de los pacientes de intervención comunicó de inmediato los resultados de la ecografía, luego el intensivista determinó la idoneidad para la extubación.

La finalidad de dicho estudio fue evaluar si la aplicación de datos de ultrasonido de diafragma incide en la planificación de weaning. Además, se evaluaron los valores de ecografía diafragmática con valor predictivo para el destete.⁽⁵⁸⁾

VI- RESULTADOS

En este apartado se detallarán los resultados obtenidos por cada autor en las investigaciones previamente nombradas.

- DiNino (2014) incluyó en su estudio a 63 pacientes, de los cuales 27 llevaron a cabo su proceso de weaning con PRE y 36 utilizaron el método de PS. Se evaluaron mediante ecografía durante los primeros 5 minutos de PRE o PS.

Se evaluó al paciente con la cabecera de la cama elevada entre 20-40°. Para medir el *grosor diafragmático*, se utilizó una sonda de 7-10 MHz, con el modo B. Se tomaron imágenes del hemidiafragma derecho en la zona de aposición de la caja torácica en la LMA entre el 8 y 10° espacio intercostal. Cabe aclarar que en este estudio sólo se obtuvieron imágenes del hemidiafragma derecho ya que la ventana acústica que brinda el hígado hace que la medición sea más fácil.

Obteniendo el tdi al final de la inspiración y tdi al final de la espiración obtuvieron el valor de %TF. Los valores utilizados en este estudio fueron los siguientes:

- Tdi al final de la inspiración ≥ 17 mm (con 90 y 21% de sensibilidad y especificidad respectivamente. Valor predictivo positivo *VPP* de 80% y valor predictivo negativo *VPN* 38%)
- %TF $\geq 30\%$ (con 88 y 71% de sensibilidad y especificidad respectivamente. *VPP* 91% y *VPN* 61%)

De los 63 pacientes que ingresaron al estudio, 49 lograron el destete exitoso, todos con %TF $\geq 30\%$. De los 14 pacientes que tuvieron un destete fallido, 10 obtuvieron un valor de %TF por debajo del 30%. Los 4 pacientes que obtuvieron %TF $\geq 30\%$ y no lograron el destete exitoso fue por fallas ajenas al funcionamiento del diafragma como el desarrollo de insuficiencia cardiaca, fiebre o cambios agudos en el estado mental.

Es importante aclarar que al comparar los sub-grupos de los destetados con PS o PRE, el valor de %TF predijo el éxito de la extubación de igual manera.

- Shereen Farghaly (2016) evaluó a los pacientes en decúbito supino, con la cabeza elevada unos 10 – 15°.

Para evaluar el *espesor diafragmático*, utilizó una sonda de 7 MHz en la zona de aposición, con el transductor en posición perpendicular a la pared costal, visualizando entre el 8° y 9° espacio intercostal entre LAA y LAM. Con el modo B, durante una respiración tranquila se obtuvo un mínimo de 3 imágenes al final de la inspiración, y 3 imágenes al final de la espiración. Se tomó el promedio de estas 3 medidas, entonces se consiguió la fracción de engrosamiento diafragmático (%TF).

Para la *excursión diafragmática*, utilizó una sonda de 3,5 MHz ubicada debajo del margen subcostal derecho en la LMC. Con el modo M, se obtuvo 3 veces la medida de la excursión diafragmática y se utilizó la media.

La evaluación se realizó a los 30 min de la prueba de PRE de 2hs. Además, se recolectaron los datos Fr, volumen tidal, ventilación minuto, RSBI y PaO₂/FiO₂.

De los 54 pacientes extubados, 14 (25,9%) fallaron dentro de las 4hs. 4 pacientes requirieron VNI positiva y 10 requirieron reintubación.

Los valores de corte son:

- Excursión diafragmática (DE) $\geq 10,5\text{mm}$ (con 87,5% y 71,5% de sensibilidad y especificidad respectivamente)
- Tdi al final de la inspiración $\geq 21\text{mm}$ (con 77,5% y 86,6% de sensibilidad y especificidad respectivamente)
- Tdi al final de la espiración $\geq 10,5\text{mm}$ (con 80% y 50% de sensibilidad y especificidad respectivamente)
- %TF $\geq 34,2\%$ (con 90% y 64,3% de sensibilidad y especificidad respectivamente).

Entre los parámetros tradicionales de destete (ventilación minuto, RSBI, $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$), la $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ fue más exitosa en el grupo de extubados, pero resultó menos sensible y específica que la mayoría de los parámetros diafragmáticos.

- En su estudio Ana M. Llamas (2017)⁽⁵⁵⁾ utilizó 19 artículos, los cuales tuvieron en cuenta diferentes variables al momento de la evaluación. De dichos artículos, solamente se utilizaron 13.

Basada en variables con un mínimo de 28% para la fracción de engrosamiento y de 10 mm para espesor diafragmático, Llamas concluye que la ecografía diafragmática es un predictor moderado para el destete y no lo encuentra útil para la población en general. Estos datos no brindan valores de corte para toda la población general, sin embargo queda por estudiar si dicha técnica sirve en poblaciones específicas.

- El estudio realizado por Sujay (2017) midió a 64 pacientes. Se incluyeron sujetos que estaban aptos para ser sometidos a prueba de tubo en T. Los individuos fueron evaluados en el borde sub-costal derecho en las LMA y LAA, entre el 8° y 10° espacio intercostal, mediante modo B y M utilizando sondas curvas y lineales de 10 y 3,5 MHz para el grosor diafragmático y la excursión diafragmática, respectivamente.

Se utilizó un promedio de tres lecturas medidas y los resultados de corte que se obtuvieron fueron los siguientes:⁽⁵⁶⁾

- %TF \geq 25,5% con una sensibilidad del 97% y una especificidad de 81%
- Tdi \geq 12,1mm con una sensibilidad de 87% y una especificidad de 75%
- Velocidad de contracción diafragmática \geq 1,24cm/s con una sensibilidad de 84% y una especificidad de 91%

Con estos hallazgos, la autora afirma que los valores pueden determinar si el paciente soportará con seguridad la prueba de tubo en T. Además, predicen una prueba exitosa. Mediante estos índices se puede identificar pacientes seguros y listos para un destete exitoso.⁽⁵⁶⁾

- Turton P. (2019) en su revisión bibliográfica detalló lo siguiente:⁽⁵⁷⁾
 - Para la *excursión del diafragma* indicó que se mide utilizando una matriz en fase, con una sonda colocada en el margen sub-costal en la LMC, para obtener la imagen del tercio posterior del diafragma. Si bien aclara que algunos estudios utilizan el modo B, sostiene que el uso del modo M produce imágenes que visualizan el movimiento del diafragma a lo largo del tiempo y permite una mayor precisión a la hora de medir dicho movimiento durante un ciclo respiratorio.
 - En cuanto al *grosor del diafragma*, explica que se mide en zonas de aposición, usando una sonda lineal de frecuencia más alta (>10MHz), de ese modo se puede visualizar una estructura de 3 capas, el diafragma en medio de dos estructuras ecogénicas (la pleura y el peritoneo). Además, el autor remarca que el grosor del diafragma se ha correlacionado previamente con la fuerza del mismo, pero no con la resistencia o la fatiga de dicho músculo.
 - La *fracción de engrosamiento* es un indicador de trabajo de la respiración.
 - Este autor suma otra medida: la *velocidad de contracción*. Es una extensión de la excursión del diafragma que se divide por el tiempo de duración del ciclo. Pero a su vez recalzó que ninguna de las revisiones sistémicas evaluadas estudiaron la velocidad de contracción en la predicción del destete.

Turton analizó cuatro estudios que se basaban en la ecografía diafragmática como predictor del destete. Todos concluyeron en que sus mediciones respectivas pueden predecir el éxito o fracaso del mismo. Utilizando los valores de corte de 11-14mm para la excursión del diafragma y 30-36% en la fracción de engrosamiento, siendo estos los más sensibles y específicos. No obstante a esa afirmación, el autor hizo hincapié en la heterogeneidad de los resultados utilizados debido a la variación de diseños y de la población de los estudios.

- McCool (2020) incluyó en su estudio a 32 pacientes, los cuales fueron separados en dos grupos. Se midió el grosor diafragmático en ambos.

Para la obtención del mismo utilizó una sonda lineal de 7-10 MHz con el modo B en el hemidiafragma derecho en la LAM entre el 8° y 10° espacio inter-costal.

Para obtener la fracción de engrosamiento tomó una media de 3 a 5 respiraciones. Las imágenes se obtuvieron dentro de 5 a 10 minutos iniciales de la PRE. Las mismas fueron tomadas del hemidiafragma derecho aprovechando la excelente ventana acústica que provee el hígado.

Se evaluaron las medidas diafragmáticas a todos los pacientes de ambos grupos. En el de intervención, se le daba aviso de los valores hallados y el intensivista determinaba el tratamiento del paciente.

Al combinar los grupos, halló el valor de *fracción diafragmática* $\geq 30\%$ teniendo una sensibilidad de 90,9%, especificidad de 86,7%, VPP 90,9% y VPN 86,7%.⁽⁵⁸⁾

El siguiente cuadro reúne los valores hallados en los estudios analizados:

	DiNino (2014)	Shereen (2016)	Sujay (2017)	Turton (2019)	McCool (2020)
DE		≥10,5mm	12,1mm	11-14mm	
Sensibilidad		87,50%	87%		
Especificidad		71,50%	75%		
VPP					
VPN					
tdi insp	17mm	21mm			
Sensibilidad	90%	77,50%			
Especificidad	21%	86,60%			
VPP	80%				
VPN	38%				
tdi esp		≥10,5mm			
Sensibilidad		80%			
Especificidad		50%			
VPP					
VPN					
%TF	≥30%	≥34,2%	≥25,5%	30 - 36%	≥30%
Sensibilidad	88%	90%	97%		90,90%
Especificidad	71%	64,30%	81%		86,70%
VPP	91%				90,90%
VPN	61%				86,70%
Vel de contracción				1,24cm/s	
Sensibilidad				84%	
Especificidad				91%	
VPP					
VPN					

En el anterior cuadro se excluyó el meta-análisis realizado por Llamas dado que la revisión no aportó datos específicos para las variables detalladas en este trabajo.

VII- CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se puede establecer que la ecografía diafragmática es una técnica segura, sin radiación, no invasiva e innovadora que permite evaluar al paciente al pie de la cama desde el ingreso a la UTI y durante toda su estadía. En el día a día, la técnica ecográfica brinda datos cuantificables que permiten delimitar los objetivos de la terapéutica.

El aprendizaje de la ecografía diafragmática es un camino rápido y requiere un curso corto. Entre otros beneficios, esta técnica posee una alta tasa de reproductibilidad.

De la información que se puede extraer de la ecografía diafragmática, los valores más utilizados son la excursión diafragmática y la fracción de engrosamiento, siendo el último el más sensible y específico para la predicción del momento óptimo del weaning.

Los hallazgos obtenidos en los estudios demuestran la heterogeneidad de los valores de corte empleados así como las diversas metodologías utilizadas por los investigadores. Es necesario destacar que, si bien en un futuro se debe estudiar la aplicación y funcionamiento en poblaciones específicas, todos los autores coincidieron en el uso de la fracción diafragmática como variable predilecta debido a su alta sensibilidad y especificidad en la predicción del weaning exitoso.

VII- BIBLIOGRAFÍA

1. Schmidt GA, Girard TD, Kress JP, Morris PE, Ouellette DR, Alhazzani W, et al. Official executive summary of an American Thoracic Society/American College of Chest Physicians clinical practice guideline: liberation from mechanical ventilation in critically ill adults. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2017;195(1):115-9.
2. Thille AW, Harrois A, Schortgen F, Brun-Buisson C, Brochard L. Outcomes of extubation failure in medical intensive care unit patients. *Critical care medicine*. 2011;39(12):2612-8.
3. Thille AW, Boissier F, Ghezala HB, Razazi K, Mekontso-Dessap A, Brun-Buisson C. Risk factors for and prediction by caregivers of extubation failure in ICU patients: a prospective study. *Critical care medicine*. 2015;43(3):613-20.
4. Esper RC, Talamantes YG. Evaluación ultrasonográfica del diafragma en el enfermo grave. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int*. 2014;28(3):187-94.
5. Peñuelas O, Frutos-Vivar F, Fernández C, Anzueto A, Epstein SK, Apezteguía C, et al. Characteristics and outcomes of ventilated patients according to time to liberation from mechanical ventilation. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2011;184(4):430-7.
6. Huang C-T, Yu C-J. Conventional weaning parameters do not predict extubation outcome in intubated subjects requiring prolonged mechanical ventilation. *Respiratory care*. 2013;58(8):1307-14.
7. Frutos-Vivar F, Esteban A. Weaning from mechanical ventilation: why are we still looking for alternative methods? *Medicina Intensiva (English Edition)*. 2013;37(9):605-17.
8. Vales SB, Gómez LR. *Fundamentos de la ventilación mecánica*: Marge Books; 2012.
9. Boles J-M, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, et al. Weaning from mechanical ventilation. *European Respiratory Journal*. 2007;29(5):1033-56.
10. Farghaly S, Hasan AA. Diaphragm ultrasound as a new method to predict extubation outcome in mechanically ventilated patients. *Australian Critical Care*. 2017;30(1):37-43.

11. McCool FD, Manzoor K, Minami T. Disorders of the diaphragm. *Clinics in chest medicine*. 2018;39(2):345-60.
12. Pró E. *Anatomía Clínica: Panamericana*; 2012.
13. Dot I, Pérez-Terán P, Samper M-A, Masclans J-R. Disfunción diafragmática: una realidad en el paciente ventilado mecánicamente. *Archivos de Bronconeumología*. 2017;53(3):150-6.
14. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *New England Journal of Medicine*. 2008;358(13):1327-35.
15. Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet J-P, Rabuel C, et al. Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2011;183(3):364-71.
16. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact—a prospective study. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2013;188(2):213-9.
17. Picard M, Jung B, Liang F, Azuelos I, Hussain S, Goldberg P, et al. Mitochondrial dysfunction and lipid accumulation in the human diaphragm during mechanical ventilation. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2012;186(11):1140-9.
18. Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Current opinion in critical care*. 2010;16(1):19-25.
19. McClung JM, Whidden MA, Kavazis AN, Falk DJ, DeRuisseau KC, Powers SK. Redox regulation of diaphragm proteolysis during mechanical ventilation. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2008;294(5):R1608-R17.
20. Maes K, Testelmans D, Powers S, Decramer M, Gayan-Ramirez G. Leupeptin inhibits ventilator-induced diaphragm dysfunction in rats. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2007;175(11):1134-8.
21. Jaber S, Chanques G, Jung B, Berthet J, Rabuel C, Bouhabrine H, et al., editors. Mechanical ventilation decreases diaphragm force, induces muscular injury

and stimulates proteolytic pathway: in vivo and in vitro human study. Proceedings of Annual Meeting of the American Society of Anesthesiologists; 2009.

22. Powers SK, Kavazis AN, Levine S. Prolonged mechanical ventilation alters diaphragmatic structure and function. *Critical care medicine*. 2009;37(10 Suppl):S347.

23. Segura-Grau A, Sáez-Fernández A, Rodríguez-Lorenzo A, Díaz-Rodríguez N. Curso de ecografía abdominal. Introducción a la técnica ecográfica. Principios físicos. *Lenguaje ecográfico. SEMERGEN-Medicina de Familia*. 2014;40(1):42-6.

24. Díaz-Rodríguez N, Garrido-Chamorro R, Castellano-Alarcón J. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. *SEMERGEN-Medicina de Familia*. 2007;33(7):362-9.

25. **Bowra J**. Ecografía fácil para medicina de urgencias. Elsevier Health Sciences. 2012:1-15.

26. Villaseñor CP, Palacios MM, González AB. Principios físicos básicos del ultrasonido. *Investigación en discapacidad*. 2012;1(1):25-34.

27. García de Casasola G, TORRES J. Manual de ecografía clínica. Madrid: Sociedad Española de Medicina Interna Madrid. 2012:5-19.

28. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, Boroli F, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. *Intensive care medicine*. 2013;39(5):801-10.

29. Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography. *New England Journal of Medicine*. 2011;364(8):749-57.

30. Wright J, Jarman R, Connolly J, Dissmann P. Echocardiography in the emergency department. *Emergency medicine journal*. 2009;26(2):82-6.

31. Evangelista L, Juncadella E, Copetti S, Pareja A, Torrabadella J, Evangelista A. Utilidad diagnóstica de la ecografía de bolsillo practicada por un médico de familia en una población hipertensa. *Medicina Clínica*. 2013;141(1):1-7.

32. Breikreutz R, Price S, Steiger HV, Seeger FH, Ilper H, Ackermann H, et al. Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: a prospective trial. *Resuscitation*. 2010;81(11):1527-33.

33. Macho JT, de Casasola GG, de Ecografía Clínica GdT, Interna SEdM. Ecocardiografía clínica en Medicina Interna. *Medicina Clínica*. 2012;138(13):567-9.

34. Physicians ACoE. American College of Emergency Physicians. ACEP emergency ultrasound guidelines-2001. *Annals of emergency medicine*. 2001;38(4):470.
35. Rao S, van Holsbeeck L, Musial JL, Parker A, Bouffard JA, Bridge P, et al. A pilot study of comprehensive ultrasound education at the Wayne State University School of Medicine: a pioneer year review. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2008;27(5):745-9.
36. Khurana J, Gartner SC, Naik L, Tsui BC. Ultrasound identification of diaphragm by novices using ABCDE technique. *Reg Anesth Pain Med*. 2018;43(2):161-5.
37. Goligher EC, Fan E, Herridge MS, Murray A, Vorona S, Brace D, et al. Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation. Impact of inspiratory effort. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2015;192(9):1080-8.
38. Xue Y, Zhang Z, Sheng C-Q, Li Y-M, Jia F-Y. The predictive value of diaphragm ultrasound for weaning outcomes in critically ill children. *BMC Pulmonary Medicine*. 2019;19(1):1-8.
39. Vetrugno L, Guadagnin GM, Barbariol F, Langiano N, Zangrillo A, Bove T. Ultrasound imaging for diaphragm dysfunction: a narrative literature review. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2019;33(9):2525-36.
40. Vivier E, Dessap AM, Dimassi S, Vargas F, Lyazidi A, Thille AW, et al. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation. *Intensive care medicine*. 2012;38(5):796-803.
41. Umbrello M, Formenti P. Ultrasonographic assessment of diaphragm function in critically ill subjects. *Respiratory care*. 2016;61(4):542-55.
42. Boon AJ, Harper CJ, Ghahfarokhi LS, Strommen JA, Watson JC, Sorenson EJ. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm: Quantitative values in normal subjects. *Muscle & nerve*. 2013;47(6):884-9.
43. Dres M, Goligher EC, Heunks LM, Brochard LJ. Critical illness-associated diaphragm weakness. *Intensive care medicine*. 2017;43(10):1441-52.
44. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive care medicine*. 2015;41(4):642-9.

45. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm dysfunction in critical illness. *Chest*. 2018;153(4):1040-51.
46. Powers SK, Wiggs MP, Sollanek KJ, Smuder AJ. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: cause and effect. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2013;305(5):R464-R77.
47. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009;135(2):391-400.
48. Schepens T, Verbrugghe W, Dams K, Corthouts B, Parizel PM, Jorens PG. The course of diaphragm atrophy in ventilated patients assessed with ultrasound: a longitudinal cohort study. *Critical care*. 2015;19(1):422.
49. Lerolle N, Guérot E, Dimassi S, Zegdi R, Faisy C, Fagon J-Y, et al. Ultrasonographic diagnostic criterion for severe diaphragmatic dysfunction after cardiac surgery. *Chest*. 2009;135(2):401-7.
50. Kim WY, Suh HJ, Hong S-B, Koh Y, Lim C-M. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Critical care medicine*. 2011;39(12):2627-30.
51. Feldmann A. Organización Hospitalaria. *Kinesiología y Fisiatría* 3º Edic Bs As. 2008.
52. www.sati.org.ar. Sociedad Argentina de Terapia Intensiva 2013. Available from: http://ckpc-cnc.sati.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=50.
53. Fredes S, TIRIBELLI TN, SETTEN LM, ROGER L, RODRIGUES LA MOGLIE L, BUSICO LM, et al. Definición del rol y las competencias del kinesiólogo en la Unidad de Cuidados Intensivos. *Revista argentina de terapia intensiva*. 2018;35(4).
54. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69(5):431-5.
55. Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Chest*. 2017;152(6):1140-50.

56. Samanta S, Singh RK, Baronia AK, Poddar B, Azim A, Gurjar M. Diaphragm thickening fraction to predict weaning—a prospective exploratory study. *Journal of Intensive Care*. 2017;5(1):62.
57. Turton P, ALAidarous S, Welters I. A narrative review of diaphragm ultrasound to predict weaning from mechanical ventilation: where are we and where are we heading? *The ultrasound journal*. 2019;11(1):1-7.
58. McCool FD, Oyieng'o DO, Koo P. The Utility of Diaphragm Ultrasound in Reducing Time to Extubation. *Lung*. 2020;198(3):499-505.