

Ecocardiografía Transtorácica al Borde de la Cama para Monitoreo Hemodinámico de Pacientes
en Unidades de Cuidados Intensivos.

Bedside Transthoracic Echocardiography for Hemodynamic Monitoring of Patients in Intensive
Care Units.

Oliverio Artunduaga Lozano

Tesis dirigida por: Dr. Flavio Salvaggio

Universidad Abierta Interamericana

Notas de Autor

Oliverio Artunduaga Lozano. Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Medicina
Especialización en Cardiología

La correspondencia relacionada con esta investigación debe ser dirigida al autor

Universidad Abierta Interamericana. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Av. San Juan 951

Contacto: oliverio101@gmail.com

Dedicatoria

A mi familia especialmente a mi madre, que con su esfuerzo paciencia y sabiduría han sabido guiar mis pasos y ser mi fuerza en los momentos más difíciles...gracias de corazón.

A mi eterno amor Liliana que con su sonrisa llena de alegría mis días, con su cariño y amor me fortalecen y me dan las energías para superar los obstáculos y alcanzar las metas propuestas ...te adoro.

Agradecimientos

A mis maestros Dres. Rafael Porcile, Flavio Salvaggio, Ricardo Levin, Gabriel Baztarrica, Rubén Mayer, por saber llegar a nosotros y darnos una mano en este continuo camino de aprendizaje y nunca darnos un no como respuesta.

¡Gracias!

Tabla de Contenido

Palabras Claves	6
Introducción	8
1.Revisión Sobre Shock	9
2. Determinantes Del Gasto Cardíaco	11
3. Métodos Para Determinar El Gasto Cardíaco	15
4. Dispositivos De Monitorización Hemodinámica Disponibles.....	19
4.1.1historia Del Catéter De Swan-Ganz	21
4.1.2 Monitoreo De Las Presiones De La Arteria Pulmonar Cateter De Swan-Ganz.	24
4.2 Sistemas Semi-Invasivos	35
4.3 Sistemas No Invasivos	37
5. Monitorización Hemodinámica	39
5.1 Monitorización Básica Inicial	40
5.2 Monitorización Hemodinámica Continua ¿Cuándo Y Con Qué?.....	41
5.3 ¿Cuál Es El Papel De La Ecocardiografía En La Reanimación Hemodinámica?	44
5.4 Fundamentos Físicos De La Ecocardiografía	46
6. Parámetros Para La Evaluación Hemodinámica Del Paciente Crítico Obtenidos Con Ecocardiografía Avanzada	53
Objetivos	63
Justificación	64
Metodología	65
Resultados	69
Tabla 1.	69

Tabla 2.	71
Evaluacion De La Calidad De Los Estudios Incluidos	83
Analisis De Los Datos	88
Discusión.....	90
Conclusiones	91
Anexos	93
Referencias Bibliográficas	97

Palabras Claves

ETE: Eco transesofágico.

ETT: Eco transtorácica.

CRM: Cardio resonancia magnética.

TC: Tomografía computarizada.

GC: Gasto cardiaco

SvcO2: saturación venosa central de oxígeno

CAP: Catéter en la arteria pulmonar.

VS: Volumen sistólico

FC: Frecuencia cardiaca

RVS: Resistencia vascular sistémica

PAM: Presión arterial media

PVC: Presión venosa central

VI: ventrículo izquierdo

AI: aurícula izquierda

PFDVI: presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo

PA: Presión arterial

POAP: Presión oclusión arteria pulmonar

TSVI: Tracto de salida del ventrículo izquierdo

VS: Volumen sistólico

VTI: Integral velocidad tiempo

DTSVI: Diámetro del tracto de salida del ventrículo izquierdo

ECG: Electrocardiograma

Introducción

En el cuidado del paciente crítico de la unidad coronaria, se encuentran con frecuencia unas series de interrogantes a resolver en cuanto a la condición hemodinámica, ya sea con el objeto de realizar o confirmar una sospecha diagnóstica, evaluación hemodinámica o para el seguimiento de una estrategia terapéutica o de ventilación mecánica.

Varios estudios han demostrado la limitación de apoyarse solamente en la evaluación física para poder responder a esta interrogante. El profesional se ha apoyado por mucho tiempo en métodos invasivos, como el catéter de flotación en la arteria pulmonar (catéter de Swan-Ganz).

Las imágenes diagnósticas han significado una de las mayores revoluciones de la medicina en los últimos tiempos y se consideran como uno de los avances médicos más importantes; Un cambio que comienza con la llegada de las técnicas de ecocardiografía, que revolucionan el diagnóstico en cardiología, a las que se suman después las diferentes técnicas de medicina nuclear, la cardiorresonancia magnética (CRM) y la tomografía computarizada (TC).

El diagnóstico rápido y certero es muchas veces crucial en los pacientes críticos. Un método fácil y no invasivo en la evaluación cardíaca es la ecocardiografía transtorácica (ETT). Esta modalidad de imagen es de gran valor en el paciente crítico, ya que es portátil, está ampliamente disponible y cuenta con una rápida capacidad diagnóstica.

La ecocardiografía Doppler pulsado, continuo y tisular, pueden proporcionar una importante y relevante información del estado hemodinámico con mayor exactitud que la evaluación clínica, clarificando diagnósticos, definiendo procesos patológicos y terapéuticos de una forma rápida, realizándola en la cabecera del paciente.

1. Revisión sobre Shock

En el paciente crítico, hablaremos de shock, o insuficiencia cardiovascular, cuando tengamos evidencia de hipoperfusión tisular. La incapacidad para mantener la adecuada perfusión de los tejidos va a provocar un incremento en la extracción de oxígeno a nivel micro circulatorio y el inicio de las vías anaerobias a fin de mantener la respiración celular. Así, en nuestra práctica clínica, hablaremos de situación de shock cuando detectemos una disminución de las saturaciones venosas de oxígeno y una elevación del lactato plasmático, independientemente de la presencia o no de hipotensión arterial.

Los cuatro tipos de shock según la clasificación clásica son: **el shock hipovolémico** (secundario a una disminución del retorno venoso debido a una pérdida de volumen circulante), **el shock cardiogénico** (producido por un fallo de bomba del corazón secundario a un déficit de contractilidad o a una arritmia grave), **el shock obstructivo** (secundario a un mecanismo obstructivo debido a un tromboembolismo pulmonar, un neumotórax a tensión o un taponamiento cardíaco) y **el shock distributivo** (ocasionado por una pérdida de tono vascular que conduce a una mala distribución del flujo como ocurre en la sepsis, la anafilaxia y el daño medular) (3, 9).

Los diferentes tipos de shock difieren en la causa primaria que los origina y en los tratamientos específicos de la enfermedad de base. Existen, además, diferencias en las estrategias de reanimación y en el tipo de monitorización requerido según el origen del shock. Sin embargo, actualmente se conoce que todos los tipos de shock comparten mecanismos fisiopatológicos (mecanismos inflamatorios, alteraciones de la microcirculación, etc.), y algunos tratamientos (vasopresores, líquidos), para el objetivo final de la reanimación hemodinámica del shock.

El objetivo final del proceso de reanimación hemodinámica en el shock es la restauración del aporte de oxígeno a los tejidos de acuerdo a sus necesidades metabólicas (3, 9, 15). Además de la normalización de las variables metabólicas: lactato plasmático y las saturaciones venosas, tanto central (SvcO₂) como mixta (SvO₂). Por lo tanto, podemos concretar el proceso de reanimación en dos pasos primordiales:

- Conseguir una presión de perfusión idónea.
- Restauración del equilibrio entre el aporte y consumo de oxígeno.

Para conseguir estos objetivos, disponemos de diversos parámetros (gasto cardíaco (GC), índices de precarga, estimadores de la dependencia de precarga, índices de contractilidad, etc.) obtenidos mediante diferentes sistemas de monitorización hemodinámica, que nos sirven como herramienta para la guía del proceso de reanimación.

La corrección del estado de hipoperfusión tisular debería conseguirse cuanto antes, puesto que la duración del insulto va a condicionar el mayor desarrollo de fracaso orgánico, con consecuencias directas sobre el pronóstico del individuo.

El estudio de la función cardiovascular constituye un aspecto fundamental del cuidado del paciente crítico. La monitorización hemodinámica nos permite obtener información acerca de la fisiopatología cardiocirculatoria que nos ayudará a realizar el diagnóstico y a guiar la terapéutica en el shock.

La monitorización hemodinámica constituye una herramienta diagnóstica que podría ayudar a mejorar el pronóstico de nuestros pacientes. Sin embargo, ningún sistema de monitorización puede influir en el pronóstico por sí mismo, siendo necesario que se cumplan tres condiciones si queremos obtener un beneficio clínico en la reanimación del paciente crítico:

- Los datos del sistema de monitorización deben ser lo suficientemente exactos para ser capaces de influir en la toma de decisiones terapéuticas.
- Los datos obtenidos deben ser relevantes para el paciente.
- El tratamiento instaurado, según los resultados de estos datos, mejoraran el pronóstico.

El catéter de arteria pulmonar (CAP) ha sido la técnica más utilizada desde su introducción hace más de cuarenta años. Aunque su papel en el conocimiento más profundo de la función cardiovascular es indiscutible, su uso ha descendido debido a la controversia acerca de sus indicaciones y sus limitaciones. Por este motivo, se ha intensificado la búsqueda de nuevos métodos de monitorización hemodinámica.

Actualmente, el desarrollo tecnológico nos proporciona numerosos sistemas que exploran los aspectos más importantes de la hemodinámica (precarga, función ventricular, objetivos de la reanimación hemodinámica, etc.). Estos sistemas, al igual que el CAP, poseen ventajas y limitaciones que es necesario conocer antes de su aplicación en la práctica clínica.

La ecocardiografía, aunque no es propiamente un sistema de monitorización continua, ofrece información anatómica y funcional que puede ser enormemente útil en la valoración hemodinámica del paciente crítico.

2. DETERMINANTES DEL GASTO CARDIACO

Se denomina gasto cardíaco (GC) a la cantidad de sangre que expulsa el corazón en un minuto.

Podemos expresarlo como:

$$GC = \text{volumen sistólico (VS)} \times \text{frecuencia cardíaca (FC)}$$

Académicamente hablando, podemos situar los valores de normalidad del gasto cardíaco en el adulto sano en torno a 4 - 6,5 l/min (2,5 l/min por m² de superficie corporal sería el índice cardíaco), en reposo. Sin embargo, el gasto cardíaco, como principal determinante del transporte de oxígeno al organismo, ha de adaptarse en cada momento a las necesidades del organismo, por lo que un valor dentro del intervalo de la normalidad no sirve como único dato, para indicarnos que la función cardíaca es óptima (12).

El enfermo crítico presenta generalmente unas demandas de oxígeno anormales debido al propio proceso desencadenante de la enfermedad, por lo que el valor de gasto cardíaco por sí solo no es suficiente para valorar el estado de la función cardíaca y situación hemodinámica del paciente. Si lo asociamos a otros valores que nos aporten información sobre los determinantes del gasto cardíaco y el equilibrio entre el aporte y el consumo de oxígeno, podremos tener una idea más exacta de lo adecuado o no de la función cardíaca global.

Los determinantes del gasto cardíaco son el volumen sistólico y la frecuencia cardíaca. A su vez, el volumen sistólico va a depender de la precarga.

Precarga

Está determinada por la longitud de la fibra cardíaca antes de su contracción. Según la ley de Frank-Starling existe una relación directa entre el grado de elongación de la fibra en diástole y el posterior acortamiento de la fibra miocárdica en sístole. Se debe a que el estiramiento de la fibra conlleva una ligera elongación del sarcómero con lo que aumenta el número de lugares de

interacción entre actina y miosina. En la clínica, podríamos definirla como la dimensión ventricular en telediástole (12).

Se podría utilizar la presión ventricular izquierda como medida de precarga, siempre y cuando la relación entre presión y volumen ventricular fuese constante.

Según la ley de Frank-Starling, a una frecuencia cardíaca constante, el gasto cardíaco es directamente proporcional a la precarga hasta un punto a partir del cual, aunque aumenten las presiones de llenado ventricular, el GC no aumentará y, en determinadas circunstancias podría descender.

Dentro de la curva de Frank-Starling, podemos definir dos fases: una primera en la que el aumento de precarga se correlaciona de forma lineal con un aumento en el volumen sistólico (o zona precarga-dependiente) y una segunda en la que el aumento de precarga apenas se correlaciona ya con un incremento en el gasto cardíaco (o zona precarga independiente).

Efectivamente, las fibras miocárdicas, al estirarse, aumentan su afinidad por el Ca^{++} y, consiguientemente, la contractilidad miocárdica, pero llega un punto en que el corazón no puede distenderse más, debido a limitaciones anatómicas y estructurales. Una sobredistensión miocárdica, como ocurre en las miocardiopatías dilatadas, conlleva una alteración estructural de los miocitos, lo que ocasiona una pérdida de contractilidad y, por lo tanto, un descenso en el gasto cardíaco.

Por otra parte, también existirá un desplazamiento a la derecha de la curva de Frank-Starling cuando la distensibilidad ventricular se ve afectada por procesos que alteren la relajación ventricular, como la hipertrofia o la fibrosis, o por factores extrínsecos como enfermedades del pericardio.

La precarga, por lo tanto, tiene una relación directa con el llenado ventricular cuyo principal determinante es el retorno venoso al corazón. La relación entre retorno venoso y función cardíaca va a determinar los valores de la presión venosa y el gasto cardíaco del momento. Un aumento en el retorno venoso producirá un aumento del gasto cardíaco en un corazón sano y la presión venosa se mantendrá en límites normales. Por contra, en una situación de fallo cardíaco, el corazón no podrá asumir todo el contenido sanguíneo que le llega, lo que producirá un aumento de la presión de aurícula derecha (presión venosa central) y una disminución del retorno venoso debido al descenso en el gradiente de presión entre el sistema venoso y la aurícula derecha, así como un descenso en el gasto cardíaco.

Poscarga

Supone la resistencia al vaciado del corazón. En un corazón sano, la poscarga equivale a la tensión de la pared ventricular en sístole, siendo esta tensión la presión que debe superar el ventrículo para contraerse. El gasto cardíaco tiene una relación inversa con la poscarga.

Los principales determinantes de la presión ventricular durante la sístole son la fuerza de contracción ventricular, la distensibilidad de las paredes de la aorta y la resistencia vascular sistémica (12). Dado que la distensibilidad vascular suele ser constante, en la práctica clínica suele equipararse poscarga con resistencia vascular sistémica (RVS), que puede ser calculada a partir de la fórmula:

$$RVS = (PAM - PVC) / GC$$

A la hora de conocer las resistencias vasculares sistémicas, en ausencia de alteraciones de la función cardíaca, la presión arterial media es su mayor condicionante y por lo tanto en la práctica clínica su valor nos ofrece una aproximación válida a la poscarga cardíaca.

3. MÉTODOS PARA DETERMINAR EL GASTO CARDÍACO

En 1887, Fick describió el primer método para calcular el gasto cardíaco, basándose en el contenido arterial de oxígeno (CaO_2), el contenido de oxígeno en la sangre venosa mixta (CvO_2) y el consumo de oxígeno (VO_2) según la siguiente fórmula:

$$GC = VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)$$

Fick proponía que la captación y liberación de una sustancia por un órgano es igual al producto del flujo sanguíneo a través de dicho órgano por la diferencia entre los valores arterial y venoso de la misma sustancia. La cantidad de eritrocitos que entra al pulmón es la misma al salir. Si se sabe cuantas moléculas de oxígeno adheridas a los eritrocitos entraron al pulmón y cuantas salieron y cuanto oxígeno se consumió en el trayecto, se podría determinar la tasa de flujo de estos eritrocitos a medida que pasaron a través de la circulación pulmonar.

En el método de Fick, la sustancia a utilizar es el oxígeno y el órgano en cuestión los pulmones. Es así necesario medir el contenido arterial y venoso de oxígeno para obtener la diferencia arteriovenosa de oxígeno ($A-v O_2$). El consumo de oxígeno se puede calcular a partir del contenido de oxígeno inspirado menos el espirado y de la velocidad de ventilación. *Figura I.* (24, 25)

Para realizar la medición del GC mediante esta técnica, se toma una muestra de sangre arterial del paciente y una muestra de sangre del extremo distal del catéter de Swan-Ganz (sangre venosa mixta), en jeringas heparinizadas que deben ser enviadas inmediatamente al laboratorio.

Este método está basado en la suposición que la tasa a la cual se consume el oxígeno es una función de la tasa del flujo sanguíneo por la tasa de captación de oxígeno de los eritrocitos, en consecuencia, el GC es igual a:

Consumo de oxígeno en ml/minDiferencia A-v O₂

Estas mediciones no presentan cambios muy significativos si hay modificaciones en las presiones pulmonares secundarias a cambios en la cabecera de la cama (entre 0° a 30°); pero, si ésta debe estar aún más elevada, la medición del GC y de las presiones pulmonares será numéricamente menor, ya que la gravedad influye en las presiones pulmonares.

Uno de los inconvenientes que presenta esta técnica radica en que el paciente debe encontrarse en un estado fisiológico estable en el momento de su realización, algo bastante infrecuente en los pacientes que necesitan la colocación de un catéter de Swan-Ganz (SG). Otro de los inconvenientes radica en que, para la medición exacta por este método, deberán tomarse mediciones en forma simultánea de aire espirado y de sangre, el contenido controlado de oxígeno inspirado y la toma de muestras de sangre arterial, ya que asumir valores normales puede llevar a una conclusión errónea.

El método de Fick es uno de los más exactos en los pacientes con GC, especialmente, bajo. Pero, debido a sus requisitos técnicos, es uno de los menos prácticos a nivel clínico; Las herramientas utilizadas más frecuentemente para calcular el GC incluyen método termodilución transcardiaca. Es la técnica utilizada para obtener el GC mediante el catéter de la arteria pulmonar. Ha sido la técnica más utilizada en medicina intensiva, a la cabecera del enfermo y aún al día de hoy es considerada la técnica de referencia. El GC se calcula por el análisis de la curva de termodilución usando la ecuación de Stewart-Hamilton (24).

La siguiente ecuación es de aplicación al método de termodilución :

$$GC = \frac{1,08 C_T 60 V_i (T_s - T_i)}{\int_0^{\infty} \Delta T_s(t) dt}$$

GC = gasto cardíaco (litros/min.)
 C_T = corrección del ascenso de la temp. de inyección
 V_i = volumen de inyección (ml)
 T_s = temp. sanguínea inicial (°C)
 T_i = temp. de inyección inicial (°C)
 60 = segundos en 1 minuto
 1,08 = pC_i (5% dextrosa)/ pC_i (sangre)



Esta ecuación (o fórmula de **"Stewart-Hamilton"**) simplemente describe el hecho de que mezclando dos sustancias a distinta temperatura, la temperatura resultante es una función de las temperaturas previas.

Figura 1. Formula de Stewart-Hamilton, método de termodilución.

Fuente: <http://jp.physoc.org/content/22/3/159.long>

Se inyecta un bolo de suero glucosado al 5% o salino a temperatura inferior a la de la sangre a través de la vía situada en aurícula derecha; el líquido se mezcla con la sangre produciendo un cambio de temperatura de la sangre que es detectado mediante un termistor situado en el extremo distal del catéter de flotación pulmonar en la arteria pulmonar. El termistor determina el cambio de temperatura y calcula electrónicamente el gasto cardíaco. En casos de insuficiencia tricuspídea grave, debido al retorno de trazador a la aurícula que atenúa el cambio de temperatura, el valor de GC puede verse subestimado. Por el contrario, cuando existen shunts intracardíacos el valor de GC puede sobrestimarse.

Desde su introducción, en los años setenta, se han efectuado modificaciones que han permitido ampliar la información que se obtiene (fracción de eyección de ventrículo derecho [VD], volúmenes de VD, GC continuo). La principal limitación para su uso es la posibilidad de infección asociada al catéter (en torno al 5%) y el riesgo de arritmias (en torno al 2%). Otras complicaciones que pueden aparecer son la plaquetopenia y la trombosis asociada, ambas en casos de colocación prolongada en el tiempo.

Presión de enclavamiento (wedge) o presión capilar pulmonar (PCPW)

Mientras el balón del catéter de Swan Ganz continúa inflado, se continúa empujando hasta la posición de enclavado. Esta se alcanza cuando la curva se aplana, disminuyendo su tamaño, deja de ser pulsátil y aparecen nuevamente las ondas auriculares: “a”, “c” y “v”, pero ahora correspondientes a la curva de presiones de la aurícula izquierda.

Cuando la punta inflada del balón ha llegado a una arteria pulmonar de menor calibre o a una arteriola pulmonar que por su diámetro es ligeramente inferior, esto permite que el catéter se aloje en ella, ocluyéndola, con lo que el flujo sanguíneo queda interrumpido (enclavamiento). Este enclavamiento crea una columna de sangre que recibe la presión en la punta del catéter (orificio distal del SG) en forma retrógrada, ya que, la circulación anterógrada en el vaso arterial está bloqueada al 100% (ocluida) por el balón inflado (45).

Así, la medición en estas condiciones reflejaría la presión existente en la AI, que se transmite en forma retrógrada a través del lecho pulmonar, en ausencia de patología de estenosis de las venas pulmonares o fístulas AV pulmonares múltiples. Cuando el balón del catéter se desinfla, nuevamente se restablece el flujo sanguíneo en esa pequeña arteria.

La correlación entre la presión de la aurícula izquierda (AI) y la presión de fin de diástole ventricular izquierda (PFDVI), en ausencia de valvulopatía mitral, la presión diastólica del ventrículo izquierdo se transmite a la aurícula izquierda, ya que ambas conforman una sola cavidad (en diástole). Imaginariamente, la punta del catéter de Swan Ganz enclavado estaría en comunicación con una columna de sangre que llevaría la información en forma retrógrada desde el ventrículo izquierdo, atravesando la valvula mitral, la aurícula izquierda y las venas pulmonares hasta el capilar pulmonar, por lo que la curva estaría indicando la PFDVI ante la presencia de un circuito indemne.

Por ello, en ausencia de enfermedad de la valvula mitral, constituye un indicador útil y confiable de la dinámica y compliance del ventrículo izquierdo (VI).

4. DISPOSITIVOS DE MONITORIZACIÓN HEMODINÁMICA DISPONIBLES

Los dispositivos de monitorización hemodinámica pueden ser clasificados en función del grado de invasividad. Según esta clasificación, disponemos de sistemas invasivos (CAP), semi-invasivos (termodilución transpulmonar, litio dilución, análisis del contorno de la onda de pulso, Doppler esofágico, etc.) y no invasivos (ecografía, biorreactancia, tecnología Doppler, etc.) (3-5, 9, 16).

4.1 SISTEMAS INVASIVOS

CAP: La introducción del catéter de arteria pulmonar por Swan y Ganz en 1970 revolucionó la monitorización de la Medicina Intensiva (17, 18). El catéter de Swan-Ganz ha permitido

profundizar en el conocimiento de la función cardiovascular del paciente crítico, al proporcionar el cálculo del GC por termodilución, así como parámetros hemodinámicos relevantes como son la presión de arteria pulmonar (PAP), la presión de oclusión de arteria pulmonar (POAP) y parámetros de transporte y consumo de oxígeno (DO_2 y VO_2).

El GC obtenido por termodilución con el CAP es considerado el método "Gold standard" para la estimación del GC. La mayoría de los métodos de estimación del GC han sido evaluados mediante la comparación con los datos obtenidos por termodilución con el CAP a pesar de que esta técnica tiene sus limitaciones y podría no ser el comparador de elección. En casos de insuficiencia tricuspídea grave, debido al retorno de trazador a la aurícula que atenúa el cambio de temperatura, el valor de GC puede verse subestimado.

Este hallazgo podría ser importante ya que la incidencia de insuficiencia tricuspídea es del 15% en la población general y mayor del 70% en pacientes ancianos. Por otro lado, desde su introducción se han efectuado modificaciones que aún han ampliado más la información ofrecida por el mismo pudiendo obtenerse la fracción de eyección (FE) y los volúmenes del ventrículo derecho y el GC continuos, además de ofrecer la posibilidad de incorporar electro catéteres en aurícula y ventrículo derechos.

Las limitaciones, las indicaciones y la utilidad del CAP son todavía motivo de controversia a pesar de su extensa utilización (4, 5, 18). Esto es debido, en gran parte, al escaso conocimiento de las bases de la cateterización de la arteria pulmonar, a los errores en la interpretación de los datos y a la aplicación de terapéuticas inapropiadas en respuesta a los datos obtenidos. En la actualidad, la utilización del CAP ha descendido notablemente debido a su invasividad y al debate sobre sus posibles complicaciones e indicaciones. La nueva tecnología disponible en la práctica clínica ha

permitido disponer de nuevos sistemas de monitorización menos invasivos que proporcionan información útil y fiable para la reanimación del paciente crítico (16, 21).

4.1.1 Historia del catéter de Swan-Ganz

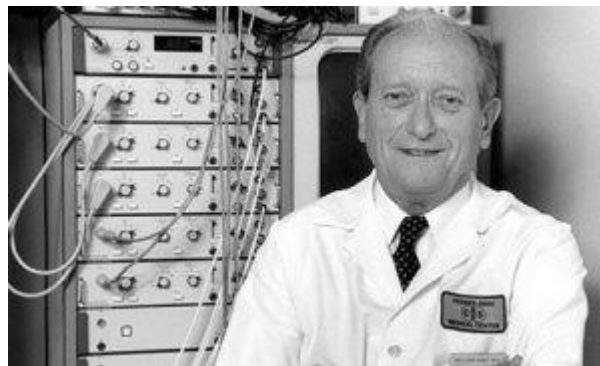


Figura II. Foto de Vilem Ganz. Fuente: <https://curaraveces.wordpress.com/2014/02/23/del-campo-de-concentracion-a-los-anales-de-la-medicina-w-ganz-y-j-swan/>

Vilem Ganz nació el 7 de enero de 1919 en Kosice (Checoslovaquia). Empezó Medicina en Praga en 1938. Dos años más tarde, Kosice es anexionado a Hungría y Ganz, convertido ahora en un extranjero en Praga, es obligado a volver a su pueblo. Debido a su origen judío, fue enviado a un campo de trabajos forzados en Hungría, en el que pasaría casi seis años. En 1944, los alemanes empiezan a trasladar a los judíos húngaros a Auschwitz, y Ganz, que sabe que está en las listas de trasladados, consigue milagrosamente escapar. Como muchos otros judíos, permanece escondido bajo identidad falsa en Budapest hasta el final de la guerra (21).

En 1945, cuando el ejército ruso libera Budapest, Ganz puede retomar su interrumpida carrera. Finalmente se gradúa en 1947, con el mejor expediente de su promoción.

Durante casi 20 años trabajó en Checoslovaquia. Pero el gobierno comunista no deja de poner trabas al trabajo científico de Ganz, de nuevo por el hecho de ser judío. Desengañado con el régimen, en 1966 Ganz recibe un permiso para viajar con su mujer e hijos a Italia. Aprovechando el viaje huye a Viena y, de ahí, a Estados Unidos.

Una vez en América, se establece en Los Ángeles y consigue trabajo en el Cedars Sinai Medical Center, donde pasará el resto de su carrera. Su jefe en el departamento de cardiología será Jeremy Swan, con quien diseñará en 1970 el catéter de arteria pulmonar que lleva su nombre. Ganz (que cambió su nombre por el de William) definía la colaboración entre los dos científicos como “amor a primera vista”.



Figura III. Foto de Jeremy Swan. Fuente: <https://curaraveces.wordpress.com/2014/02/23/del-campo-de-concentracion-a-los-anales-de-la-medicina-w-ganz-y-j-swan/>

Jeremy Swan había nacido el 1 de enero de 1922 en Irlanda, y se graduó en el Saint Thomas Hospital, en Londres. Hijo de médicos, estuvo a punto de morir de meningitis con 17 años: su madre fue quien le salvó administrándole sulfamidas, los únicos antibióticos disponibles entonces.

Swan también conoció los horrores de la guerra, pues trabajó durante dos años como director médico en Irak, en el Servicio Médico de la Royal Air Force (21).

En 1951 emigró a Estados Unidos, y durante unos años trabajó en la clínica Mayo, dedicado especialmente a las cardiopatías congénitas y al estudio de los shunts cardiacos. La buena reputación conseguida por Swan le abrió las puertas del excepcional departamento de cardiología que se estaba formando entonces en el Cedars-Sinai. Allí conocerá y promocionará al investigador cuyo nombre ha quedado unido al suyo para siempre.

En los años 60 las leyes médicas de California son estrictas, y Ganz no puede ejercer durante esos primeros años, así que queda confinado al laboratorio. Realiza investigaciones sobre técnicas de monitorización, medición de gasto cardiaco y saturación de arteria pulmonar, y sobre complicaciones cardiopulmonares de diversas patologías.

En 1967, Swan y Ganz desarrollan un catéter flexible, con un balón inflable en el extremo, que “navega” en el torrente circulatorio hasta alcanzar la arteria pulmonar. El balón permite, además, enclavar el catéter en vasos de pequeño calibre para obtener la presión de aurícula izquierda. Hasta ese momento, la cardiología invasiva solo contaba con catéteres relativamente rígidos, difíciles de dirigir y con alta tasa de complicaciones. Con el nuevo catéter, el procedimiento es más rápido (35 segundos de media y es seguro, según la publicación original del propio Swan).

Fue Swan el que ideó este método, observando los barquitos de vela en la playa de santa Mónica, un día después de haber realizado un cateterismo especialmente difícil: se imaginó lo sencillo que sería dirigir el catéter si pudiera navegar como un barco en el torrente circulatorio. Ganz le ayudaría a sustituir su idea del barco por un pequeño balón inflable; Además, Ganz creó un método para medir el flujo sanguíneo que fue incorporado al catéter un año más tarde, la termodilución.

Swan murió el 7 de febrero de 2005, precisamente de insuficiencia cardiaca, en su hospital, el Cedars-Sinai. Ganz murió el 11 de noviembre de 2009, a los 90 años de edad. En palabras de su hijo Thomas, también médico, “la Medicina fue su profesión, su pasión y su hobby”. No era para menos, ya que para poder ejercerla había tenido que huir en dos ocasiones de los totalitarismos que asolaron a Europa en el siglo XX.

4.1.2 MONITOREO DE LAS PRESIONES DE LA ARTERIA PULMONAR CATETER DE SWAN-GANZ.

Antes de la disponibilidad de los dispositivos para el monitoreo hemodinámico invasivo usados en la cabecera del paciente, el médico solo contaba con los signos físicos y síntomas para determinar la función cardiopulmonar y seleccionar el tratamiento.

De cualquier manera, los hallazgos físicos, son expresiones de cambios fisiopatológicos que ocurren secundariamente a un problema primario. Por ejemplo, la disnea, taquipnea, tos y sonidos pulmonares adventicios, pueden sugerir una patología pulmonar. El edema pulmonar es, sin embargo, una expresión secundaria, y en ocasiones tardía, de una falla ventricular izquierda severa.

Como otro ejemplo, una caída significativa en el gasto cardíaco puede no ir acompañada de disminución en la presión arterial, porque se produce la vasoconstricción compensadora.

Puede haber una diferencia de varias horas entre la corrección del problema original y la resolución de los hallazgos clínicos. Por ejemplo, la evidencia auscultatoria y radiográfica de un edema pulmonar cardiogénico puede persistir por varias horas después de la reducción de la presión de aurícula izquierda a sus valores normales.

La diferencia entre el momento de aparición o resolución del evento patológico, y la aparición de signos clínicos y síntomas es particularmente notable en los pacientes críticos, que por lo general tienen cambios muy rápidos en su función cardiopulmonar.

En 1970, la introducción del monitoreo de la presión venosa central, fue el primer paso en el control hemodinámico a la cabecera del paciente (21). En ausencia de patología de la válvula tricúspide, la presión venosa central, se correlaciona con la presión de fin de diástole del ventrículo derecho. Por lo tanto, el estado del volumen intravascular y la función del ventrículo derecho pueden ser evaluados certeramente a través de la medición continua o intermitente de la presión venosa central.

Se asumió entonces, inicialmente que la presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo podría ser comparada con las medidas de la presión venosa central, porque se suponía que había una relación muy cercana entre las presiones de llenado de ambos ventrículos. Sin embargo, se demostró posteriormente que la presión venosa central se correlacionaba escasamente con la presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo.

Como el ventrículo izquierdo es el principal impulsor de la sangre, el monitoreo correcto de sus presiones de llenado y función, son esenciales en el manejo de los pacientes de Cuidados Intensivos.

El desarrollo y la aplicación clínica de un catéter de arteria pulmonar, dirigido por flujo y con un balón en la punta por Swan y Ganz en 1970, proporcionó un medio relativamente simple, seguro, rápido y preciso para medir la presión de fin de diástole del ventrículo izquierdo (estimado por la presión de enclavamiento de la arteria pulmonar: wedge = W), así como las presiones sistólica y diastólica de la arteria pulmonar (21).

Las anomalías que afectan el corazón derecho y la circulación pulmonar, no impiden la evaluación de las presiones de llenado del ventrículo izquierdo y su función. Por cierto, el catéter de arteria pulmonar, hace posible distinguir el edema pulmonar cardiogénico del no cardiogénico y establecer un diagnóstico hemodinámico para el tromboembolismo pulmonar masivo.

Se han producido muchas modificaciones al catéter original, actualmente se puede monitorear continua o intermitentemente el gasto cardíaco, determinar la fracción de eyección del ventrículo derecho, medir en forma continua la presión de aurícula derecha y la saturación de oxígeno de la sangre venosa mixta, así como marcapasear la aurícula o el ventrículo.

Las resistencias vasculares sistémicas y pulmonares, el consumo y transporte de oxígeno, la diferencia arteriovenosa de oxígeno y la fracción de shunt intrapulmonar se pueden obtener a través de mediciones hemodinámicas y de gasometría arterial.

Sin embargo, el beneficio clínico potencial de estos dispositivos de monitorización depende de la habilidad del médico para insertar el catéter y mantenerlo en el lugar adecuado, de su capacidad para obtener e interpretar las mediciones hemodinámicas, de correlacionar la información con los datos clínicos y de laboratorio e integrar toda la información para llevar a cabo una terapéutica adecuada.

4.1.3 INDICACIONES ACTUALES PARA EL USO DEL CATÉTER DE SWAN-GANZ

1. No se indica como cateterismo de la arteria pulmonar de rutina en pacientes cardiacos y no cardiacos de alto riesgo
2. Indicado en pacientes con shock cardiogénico durante el tratamiento de soporte
3. Indicado en pacientes con insuficiencia ventricular izquierda o derecha discordantes
4. Indicado en pacientes con insuficiencia cardiaca crónica severa que requieren tratamiento con inotrópicos, vasopresores, y vasodilatadores
5. Indicado en pacientes con sospecha de pseudosepsis (alto gasto cardíaco, baja resistencia vascular sistémica, aumento de la presión en la aurícula derecha y capilar pulmonar)
6. Indicado en algunos pacientes con insuficiencia cardíaca sistólica potencialmente reversible como la miocarditis fulminante y miocardiopatía periparto
7. Indicado para el diagnóstico diferencial hemodinámico de la hipertensión pulmonar
8. Indicado para evaluar la respuesta al tratamiento en pacientes hipertensión precapilar y pulmonar tipo mixto
9. Indicado para evaluación de trasplante

4.1.4 CONTRAINDICACIONES Y CONSIDERACIONES ESPECIALES

No existen las contraindicaciones absolutas. Sin embargo, el monitoreo hemodinámico invasivo no se justifica en el caso que la patología del paciente no puede ser modificada o corregida con medicación (17).

Las contraindicaciones relativas incluyen:

- 1.- Pacientes con coagulopatías severas o terapia trombolítica, por el riesgo de hemorragia durante y después del acceso venoso.
- 2.- Pacientes con válvulas tricúspides protésicas, porque el catéter puede dañarlas o causar su mal funcionamiento. De cualquier manera, la mayoría de los reemplazos valvulares tricuspídeos se realizan con válvulas biológicas.
- 3.- Pacientes con marcapasos endocárdicos, porque el catéter de Swan Ganz puede alterar la ubicación del mismo o anudarse alrededor de él.
- 4.- Pacientes con una enfermedad vascular severa, por la presencia de vasos sanguíneos tortuosos. La anormalidad de las paredes vasculares sistémicas y pulmonares también implican un alto riesgo de daño o ruptura de las mismas.
- 5.- Pacientes con hipertensión pulmonar por la incidencia de ruptura de la arteria pulmonar, que es mayor en aquellos vasos distendidos y friables, o en aquellos que presentan altas presiones pulmonares.
- 6.- Pacientes con una deficiencia importante en el sistema inmunológico como en el caso de: embarazo, falla renal, síndrome de inmunodeficiencia adquirida o congénita por el aumento del riesgo de sepsis asociada a catéter.
- 7.- Pacientes que están en lugares que no cuentan con profesionales entrenados en la colocación del catéter, en la interpretación y manejo de las presiones intravasculares y datos hemodinámicos.

Una consideración especial en la colocación de este tipo de catéteres son los pacientes con una hipotensión sistémica severa o un bajo gasto cardíaco. La disminución del flujo sanguíneo a través del corazón derecho, hace difícil el desplazamiento y la adecuada ubicación del catéter. En estos

pacientes, es necesario mejorar el estado circulatorio con aportes de volumen o con medicación inotrópica. En otros casos es necesario la colocación de este catéter bajo control radioscópico.

4.1.5 EFECTOS DE LA CATETERIZACION PULMONAR EN EL PACIENTE

Si bien el catéter pulmonar ha sido un avance muy importante en la disponibilidad de datos fisiológicos para el diagnóstico y manejo de los pacientes gravemente enfermos.

No hay ningún estudio que documente los beneficios de la colocación de los catéteres de arteria pulmonar. El problema no está en la colocación del catéter sino en como se usa. El profesional que utilice este dispositivo debe:

- 1.- Tener una técnica impecable en la preparación del catéter para su inserción y manejo.
- 2.- Ser capaz de interpretar las ondas hemodinámicas, los datos fisiológicos y sus relaciones con el problema clínico subyacente.
- 3.- Tener conciencia de los errores y fallas que se pueden producir en el sistema.
- 4.- Entender que la vigilancia debe ser continua para ajustar la terapéutica a las necesidades del paciente.

Debemos entender que el uso de este tipo de catéteres no tiene un efecto positivo en el tratamiento del paciente si no se utiliza apropiadamente, si los datos obtenidos no son certeros o son malinterpretados y si las acciones terapéuticas no se toman en el momento apropiado.

4.1.6 TIPOS DE CATETERES DE ARTERIA PULMONAR

Los catéteres de arteria pulmonar están disponibles en varios tamaños, ya se utilicen para pacientes pediátricos o adultos. Su longitud varía entre 60 y 110 cm de longitud y con calibres de 4.0 a 8.0 French. Los volúmenes de inflado del balón van de 0,5 a 1,5 ml. y el diámetro de los mismos de 8 a 13 mm. *Figura IV. (17).*

El material con el que están hechos es cloruro de polivinilo, flexibles a temperatura ambiente y más aun a temperatura corporal.

El catéter presenta marcas cada 10 cm, éstas consisten en bandas estrechas de color negro de 1 a 4, o sea de 10 a 40 cm, la marca de los 50 cm es una banda más gruesa que las anteriores y después de ésta se van agregando bandas finas nuevamente para los 60, 70, 80 y 90 cm, esto ayuda a determinar la ubicación de la punta del catéter con aproximación una vez que se inserta.

Actualmente la disponibilidad de catéteres es sumamente amplia: hay catéteres de dos lúmenes, el de cuatro, que es el que se usa más frecuentemente, hay catéteres de 5 lúmenes (tienen una vía proximal adicional para administración de fluidos) y el catéter de fibra óptica que mide continuamente la saturación de sangre venosa mixta.

También está el que tiene incorporados 5 electrodos que se pueden utilizar para marcapasear al paciente o el que tiene un lumen adicional para la introducción de un catéter marcapasos temporario y aquel que puede calcular la fracción de eyección del ventrículo derecho por medición de los volúmenes de fin de sístole y fin de diástole.

En la actualidad se cuenta con un catéter que informa continuamente sobre el gasto cardíaco por termodilución.

El catéter de Swan-Ganz de cuatro lúmenes, que es el más utilizado para el paciente adulto, se presenta en tamaños de 5 y 7 French. La vía distal recorre la longitud del catéter y se abre en la punta del mismo, esta vía distal mide las presiones de arteria pulmonar y la de capilar pulmonar enclavado. Se pueden obtener muestras de sangre venosa mixta por esta vía cuando la punta del catéter está posicionada en la arteria pulmonar.

No se debe administrar ningún tipo de soluciones hiperosmolares o drogas por esta vía, ya que la infusión de este tipo de soluciones en la arteria pulmonar puede causar daños o reacciones tisulares severas.

La vía que permite el inflado del balón termina dentro de éste. La vía proximal termina en un orificio que se abre aproximadamente a 30 cm de la punta del catéter. Esta vía se ubica en la aurícula derecha cuando la punta del catéter se encuentra en la arteria pulmonar.

La vía proximal se puede utilizar para medir las presiones en la aurícula derecha, administrar líquidos intravenosos y electrolitos, algún tipo de medicamentos, tomar muestras de sangre de la aurícula derecha e inyectar las soluciones para determinar el gasto cardíaco por termodilución.

La vía proximal no debería usarse para infundir drogas vasoactivas y inotrópicas, mientras se realizan las mediciones por termodilución, ya que el paciente recibiría de este modo mini bolos de medicamentos cardiovasculares altamente activos en cada determinación de gasto cardíaco. La vía del termistor, tiene una cuerda termosensible, que termina aproximadamente a 4 ò 5 cm. de la punta del catéter. La porción terminal de ésta cuerda, se ubica en una arteria pulmonar principal, cuando el catéter está correctamente ubicado.

La conexión de ésta vía del catéter con una computadora de volumen minuto, permite determinar el gasto cardíaco después de la inyección de una solución fría por la variación de la temperatura de la sangre.

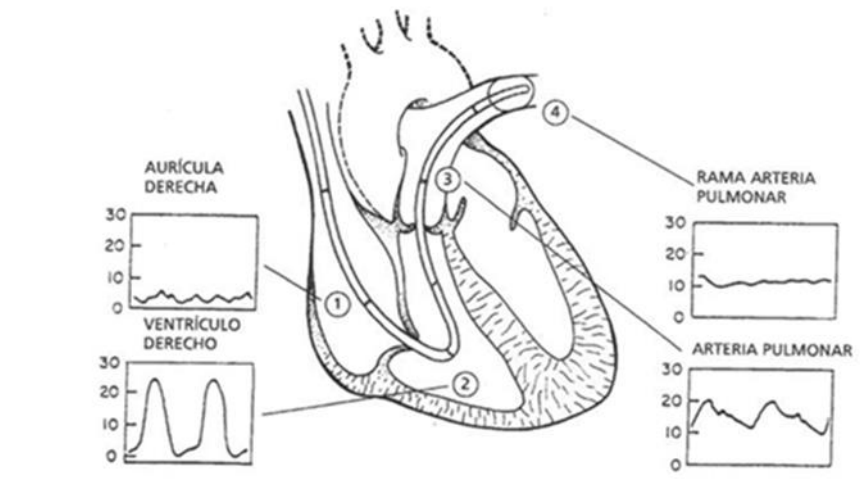


Figura IV. Curvas de presión obtenidas por el catéter de Swan-Ganz. Fuente:

http://recursos.meducatium.com.ar/contenido/articulos/12301370144_847/figuras

Tabla 1. Mediciones directas e indirectas a partir de la utilización del catéter de Swan-Ganz.

Mediciones directas

Presiones de llenado: morfología de las ondas de presión venosa (PVC y PCP) y la relación entre los valores de las mismas:

- La PVC suele ser el 80% de la PCP.
- La PCP es asimilable a la presión en la aurícula izquierda sólo cuando la punta del catéter se encuentra en la "zona 3 de West" del pulmón y en espiración.
- La presión en la aurícula izquierda puede asimilarse a la PFD del VI excepto en estenosis mitral, insuficiencia aórtica con cierre precoz de la válvula mitral, enfermedad venooclusiva e insuficiencia respiratoria (por la vasoconstricción hipóxica).

Poscarga del VD: Presión en la AP.

Gasto cardíaco (GC) (valor normal 4-8 l/min):

- Se mide aplicando el principio de termodilución con la infusión de 10 ml de solución fría a través del lumen proximal (AD) y registrando la temperatura de la solución previa al pasaje por el catéter y luego de diluirse con la sangre a temperatura corporal. De esta forma se evalúa el cambio de temperatura en función del tiempo. Esto se expresa en forma de curva, el área bajo la curva es inversamente proporcional al GC.

Resultados falsamente bajos: insuficiencia tricuspídea.

Resultados falsamente altos: *shunts* intracardíacos de derecha a izquierda.

Índice cardíaco (IC): GC/SC (valor normal 2,5-3,5 l/min/m²).

Mediciones indirectas

Volumen sistólico (VS): VMC/FC (valor normal 40-70 ml/latido).

Índice de volumen sistólico (IVS): VS/SC (Valor normal 36-49 ml/latido/m²).

Índice de trabajo sistólico del VI (ITSVI): (Tensión arterial media – PCP) x IVS x 0,0134 (valor normal 40-56 g·m/m²/latido).

Índice de trabajo sistólico del VD (ITSVD): (PAPm – PVC) x índice de VS x 0,0134 (valor normal 7-10 g·m/m²/latido).

Resistencias vasculares sistémicas (RVS): (Tensión arterial media – PVC) x 80 / GC (valor normal 700-1600 dinas·s·cm⁻⁵).

Resistencias vasculares pulmonares (RVP): (PAPm – PCP) x 80 / GC (valor normal 150-200 dinas·s·cm⁻⁵).

Gradiente transpulmonar: PAPm – PCP (valores < 12 mmHg definen hipertensión pulmonar pasiva, los valores ≥ 12 mmHg identifican hipertensión pulmonar reactiva).

Gradiente diastólico pulmonar: PADP – PCP (valor normal ≤ 7 mmHg; si > 7 mmHg orienta a hipertensión pulmonar vascular real).

Presión desarrollada del VD : PSP – PVC. Es normal si es > de 20 mmHg.

PVC: presión venosa central. PCP: presión capilar pulmonar. PFD: presión de fin de diástole. VI: ventrículo izquierdo. VD: ventrículo derecho. AP: arteria pulmonar. AD: aurícula derecha. SC: superficie corporal. VMC: volumen minuto cardíaco. FC: frecuencia cardíaca. PAPm: presión arterial pulmonar media. PADP: presión arterial diastólica pulmonar. PSP: presión sistólica pulmonar.

Figura V. Mediciones directas e indirectas a partir de la utilización del catéter de Swan-Ganz. Fuente: http://recursos.meducatium.com.ar/contenido/articulos/12301370144_847/figuras

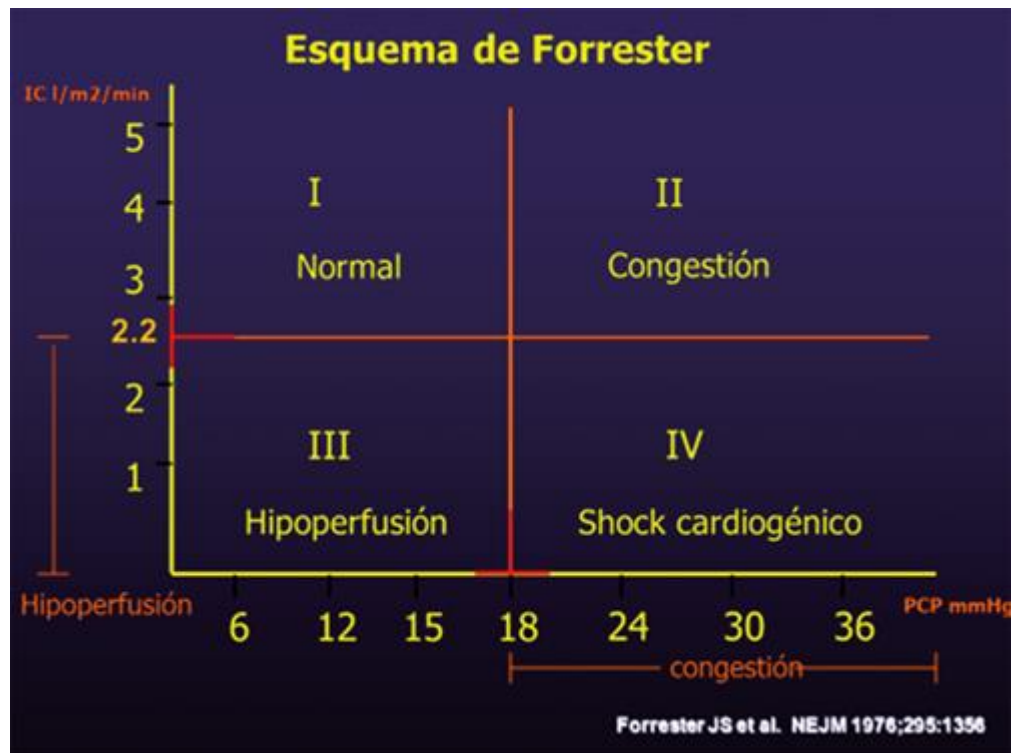


Figura VI. Esquema de Forrester. Correlación entre índice cardíaco y wedge. Fuente: http://recursos.meducatium.com.ar/contenido/articulos/12301370144_847/figuras

Tabla 2. Interpretación de los parámetros hemodinámicos.

Alteración hemodinámica	PVC	PCP	IC	RVS
Shock hipovolémico	↓	↓	↓	↑
Shock distributivo	↓	↓	↔/↑	↓↓
Shock cardiogénico (falla VI)	↑	↑/↔	↓	↑
Falla VD	↑↑	↓	↓	↑
Shock obstructivo	↑	↑	↓	↑
Shock mixto	↑	↑	↓	↓

PVC: presión venosa central, PCP: presión capilar pulmonar, IC: índice cardíaco, RVS: resistencias vasculares sistémicas, VI: ventrículo izquierdo, VD: ventrículo derecho.

Figura VII. Interpretación de los parámetros hemodinámicos. Fuente:

http://recursos.meducatium.com.ar/contenido/articulos/12301370144_847/figuras

4.2 SISTEMAS SEMI-INVASIVOS

TERMODILUCIÓN TRANSPULMONAR

La termodilución transpulmonar es una variante del método de termodilución en la cual la inyección del bolo de suero se realiza a través de un catéter venoso central y el cambio de temperatura es detectado por un sensor situado en una vía arterial (femoral o axilar), en lugar de la arteria pulmonar, obteniéndose el GC mediante una ecuación modificada de la de Stewart-Hamilton.

La termodilución transpulmonar ha sido validada en diferentes poblaciones de pacientes críticos, incluyendo pacientes sépticos (4, 5, 22, 23). En múltiples estudios experimentales y clínicos se ha observado una excelente correlación con la termodilución con CAP (24). Puesto que el GC es medido sobre una duración más larga que la termodilución con CAP, está menos afectado por las variaciones respiratorias. La mayor distancia entre el sitio de inyección y el termistor puede teóricamente incrementar la pérdida de indicador y los efectos de la recirculación. Sin embargo, el 96- 97% del indicador es recuperado en la aorta. La pérdida de indicador durante la termodilución transpulmonar puede incrementarse cuando el agua extravascular pulmonar está elevada, por lo que se precisaría aumentar la cantidad de inyección.

El uso de la termodilución transpulmonar podría estar discutido en casos de importantes variaciones térmicas a nivel corporal, uso de sistemas de depuración extracorpórea (aunque existen datos recientes que apoyan su utilización en estas situaciones), aneurismas de aorta y en presencia de shunts intracardíacos.

Además de la estimación del GC, la termodilución transpulmonar permite obtener estimadores de precarga como el volumen telediastólico global (VTDG) y el volumen sanguíneo intratorácico (VSIT). Además, permite calcular agua pulmonar extravascular (EVLW) y el índice de permeabilidad pulmonar (IPP), marcador de la permeabilidad alveolo-capilar. El EVLW y el IPP son marcadores de gravedad en el síndrome de distress respiratorio agudo (SDRA) (26,27).

ANÁLISIS DEL CONTORNO DE LA ONDA DE PULSO

Muchos dispositivos ofrecen la posibilidad de obtener el GC de forma continua basado en el análisis del contorno de la onda de pulso arterial. Los principales dispositivos disponibles en el mercado son: PiCCO® y ProAQT® (Pulsion), PulseCO® (LiDCO), Modelflow® (TNO/BMI), Most Care® (Vygon) y FloTrac®/Vigileo (Edwards Lifesciences).

Difieren en la forma de transformar la información proporcionada por la morfología de la presión arterial en el volumen sistólico (VS) latido a latido, en los algoritmos utilizados por cada uno de ellos, en el modo de calibración (ya que algunos necesitan calibración externa y otros no), en el lugar de canalización arterial, en los parámetros analizados y en la exactitud con la que determinan el GC (3, 16, 31-33). La mayor parte de ellos proporcionan al mismo tiempo información continua de múltiples variables de precarga, poscarga y contractilidad y permiten también el cálculo de la variación de la presión de pulso (VPP) o la variación del volumen sistólico (VVS), utilizados para dirigir la terapia con líquidos y analizar la respuesta a la misma. La mayor relevancia de estos dispositivos es que permiten obtener el GC de manera poco invasiva y continua. Además, existen protocolos de reanimación basados en parámetros hemodinámicos obtenidos con estos sistemas que han demostrado disminuir la morbilidad del paciente postquirúrgico y crítico.

Su principal desventaja reside en que pierden precisión y fiabilidad en situaciones con cambios importantes de volemia y cambio de tono vascular, de especial importancia en los sistemas sin calibración externa (36, 37).

DOPPLER ESOFÁGICO

El Doppler esofágico calcula el flujo sanguíneo en aorta descendente, el diámetro aórtico y permite calcular el VS y el GC, asumiendo que el flujo sanguíneo en aorta descendente es el 70% del flujo sanguíneo sistémico. El diámetro aórtico puede ser medido (eco modo M) o estimado de datos morfológicos. El Doppler esofágico puede evaluar los cambios en la precarga cardíaca con el tiempo de flujo corregido por la frecuencia cardíaca (FC) y los cambios en la contractilidad mediante el tiempo medio de aceleración y el pico de velocidad sistólica del flujo sanguíneo aórtico. Las limitaciones de esta técnica incluyen la dependencia del operador y la poca tolerancia de la sonda en pacientes no ventilados. Hay que destacar que este sistema ha demostrado ser útil para la optimización de líquidos en pacientes quirúrgicos de alto riesgo (menor estancia hospitalaria y número de complicaciones postoperatorias) (40).

4.3 SISTEMAS NO INVASIVOS

Entre los sistemas no invasivos destacan la biorreactancia, el Doppler transtorácica y la ecocardiografía.

BIORREACTANCIA

La biorreactancia, utilizada por el sistema NICOM® (Cheetah Medical) está basada en el análisis del cambio de fase que se produce en la onda eléctrica de alta frecuencia que es emitida al tórax por los cambios en el volumen sanguíneo. Las principales limitaciones de esta técnica son la disminución de su fiabilidad con el sobrepeso de los pacientes, la presencia de un incremento del volumen intratorácico (edema pulmonar, derrame pleural) y las arritmias cardíacas. Esta técnica permite estimar el GC en tiempo real. Existen resultados prometedores en pacientes de cirugía cardíaca, pero dos estudios recientes en pacientes críticos han encontrado una pobre correlación entre el GC obtenido por termodilución y por biorreactancia (42, 43).

DOPPLER TRANSTORÁCICO

El Doppler transtorácica consiste en la aplicación de una sonda Doppler ciega sobre diferentes áreas torácicas que nos permitan medir el flujo a diferentes niveles del sistema cardiovascular. Esta técnica posee una rápida curva de aprendizaje, sin necesidad de calibración, pero presenta la limitación de ser operador dependiente. El sistema más utilizado y con mayor número de publicaciones que lo respalden es el monitor USCOM® (Pty Ltd). A pesar de sus supuestas ventajas, la literatura respecto a su uso comparativo con el CAP en cuidados intensivos es escasa. (44, 45)

La ecocardiografía permite obtener el GC de forma no invasiva (ecocardiografía transtorácica, ETT) o mínimamente invasiva (ETE) y ofrece además una amplia información hemodinámica. A pesar de sus múltiples aplicaciones y la rápida extensión de su utilización, es preciso adquirir un entrenamiento adecuado para poder garantizar la calidad y fiabilidad de las medidas (6, 7, 45).

5. MONITORIZACIÓN HEMODINÁMICA

La monitorización hemodinámica pretende ser el soporte y la guía de todo el proceso de optimización del aporte de O₂ a los tejidos, basándose en la premisa de que la detección, el conocimiento y la comprensión de las alteraciones fisiopatológicas de los procesos de la enfermedad crítica deberían traducirse en un mejor tratamiento y una mayor recuperación del paciente.

En el proceso de monitorización hemodinámica, podemos obtener variables de dos categorías fundamentales:

- las que podrán definirse como objetivos del proceso de reanimación
- las que consideraremos herramientas de evaluación hemodinámica, potencialmente útiles en la toma de decisiones.

Las primeras serían la PAM, el lactato y la saturación venosa de oxígeno. Las segundas serían todas las variables que exploran la dependencia de precarga, como la variación de presión de pulso (VPP) y la VVS. La combinación de estos dos tipos de variables nos permite crear algoritmos o sistematizar la actuación en el proceso de reanimación hemodinámica, con la intención final de obtener una mayor y más rápida recuperación, como demostraron Rivers et al. en su protocolo de early goal-directed therapy (3, 9, 15, 47).

5.1 MONITORIZACIÓN BÁSICA INICIAL

La atención inicial al paciente en situación de shock comprende una anamnesis y una exploración física adecuadas, junto con la monitorización electrocardiográfica (ECG y FC), pulsioximétrica (SpO₂), no sólo para orientar la posibilidad de existencia de la situación de insuficiencia cardiovascular, sino como complementos necesarios en el diagnóstico del cuadro clínico.

En cuanto a la monitorización hemodinámica básica inicial de un paciente con patología aguda potencialmente crítica, ésta vendrá determinada por la propia definición de shock (15). Así pues, será fundamental la medición de la presión arterial (PA) y de, al menos, una variable que nos informe del estado de oxigenación global de los tejidos, como el láctico sérico o la saturación venosa central de oxígeno (SvcO₂).

Diversos trabajos han demostrado que el tiempo de hipotensión en las primeras horas de shock tiene un efecto acumulativo en el desarrollo de fracasos orgánicos (48), lo que argumentaría la necesidad de una medición frecuente y precisa de la PA. Paralelamente, la medición de la PA mediante sistemas no invasivos pierde precisión en las situaciones de shock. Por lo tanto, parecería razonable abogar por la medición invasiva y continua de la PA en el paciente crítico. De todas formas, la monitorización de la PA podría ser no invasiva en fases iniciales durante su estancia en planta de hospitalización o en urgencias.

La detección clínica de la situación de hipoperfusión tisular (con o sin hipotensión arterial) va a conllevar la necesidad de realizar intervenciones dirigidas a mejorar el DO₂. En este proceso de reversión de la disoxia, o reanimación hemodinámica, el primer paso siempre comprende la necesidad de optimizar la volemia. Por todo ello, además de las mencionadas variables objetivo, será recomendable monitorizar de inicio algún parámetro de estimación de la dependencia de

precarga que nos ayude a tomar decisiones en la resucitación inicial. Sin embargo, las posibilidades de las que disponemos en el momento inicial de la monitorización son limitadas.

Además de una anamnesis y una exploración clínica que sugieran hipovolemia, la medición de la presión venosa central (PVC) mediante la inserción de un catéter venoso con extremo distal en la aurícula derecha (AD) o vena cava superior va a ser el principal parámetro que nos pueda aportar información sobre el estado de volemia a pesar de su limitado poder predictivo de la respuesta al aporte de volumen. Más que un parámetro específico sobre el estado de la volemia, o de dependencia de precarga, podríamos entender la PVC como un marcador de mínima volemia circulante. Además, si disponemos de un catéter arterial invasivo, podríamos utilizar la VPP como estimador de respuesta al aporte de volumen en pacientes ventilados mecánicamente y en ritmo sinusal.

5.2 MONITORIZACIÓN HEMODINÁMICA CONTINUA ¿CUÁNDO Y CON QUÉ?

Generalmente, un manejo inicial adecuado basado en los datos obtenidos de la historia clínica, la exploración física y de una monitorización básica podría ser suficiente para la obtención de un desenlace favorable. Sin embargo, en algunos pacientes, a pesar de una reanimación inicial adecuada, podría producirse una situación de shock persistente o pueden aparecer nuevas complicaciones relacionadas con el proceso inicial o con las intervenciones terapéuticas adoptadas. En aquellos pacientes con insuficiente respuesta a las medidas aplicadas durante las primeras 3-6 h o en pacientes con fracasos orgánicos y comorbilidades susceptibles de interferir o empeorar durante la reanimación en los cuales podríamos precisar un mayor conocimiento de la

fisiopatología del proceso, nos plantearemos un mayor grado de monitorización hemodinámica continua que nos permita optimizar nuestras intervenciones, cuantificar sus efectos y evitar complicaciones derivadas de los tratamientos aplicados (1, 4, 5, 16, 21, 50).

La monitorización hemodinámica continua debería proporcionarnos información acerca del GC y sus determinantes: precarga, dependencia de precarga, contractilidad y poscarga. Así pues, junto a la monitorización de las variables objetivo, ya sean la PAM y saturaciones venosas de O₂ y el aclaramiento de lactato, un proceso de reanimación intensivo requerirá de las tecnologías que permitan evaluar de forma continua estos parámetros para conseguir su correcta adecuación.

La monitorización de las variables objetivo seguirá siendo fundamental, puesto que son las que marcarán el final del proceso de reanimación. Será necesaria la medición de estas variables de forma repetida, después de las intervenciones terapéuticas, hasta su normalización mantenida en el tiempo.

Además de factores propios del paciente, en el momento de escoger qué sistema de monitorización vamos a utilizar, deberemos tener en cuenta otros factores, como son las tecnologías disponibles en nuestro centro, la experiencia del equipo con cada sistema, el lugar donde se va a llevar a cabo la monitorización y el proceso de reanimación (urgencias, UCI, quirófano, etc.) así como el coste-efectividad del tipo de monitorización.

El sistema de monitorización hemodinámica ideal debería ser simple, seguro, relativamente versátil, fácil de usar, operador-independiente, coste-efectivo, fiable, preciso y debería proporcionar variables relevantes que nos aporten información capaz de dirigir la terapia (3, 21, 50). En la actualidad, ningún sistema disponible cumple todas estas condiciones. Unos principios

que pueden ayudarnos a elegir el sistema de monitorización hemodinámica continua son los siguientes:

- La monitorización ha demostrado ser particularmente útil en las fases precoces de la reanimación hemodinámica y es menos útil cuando el fallo orgánico está establecido.
- Aunque es preferible un sistema menos invasivo, no siempre es posible debido a que en situaciones complejas necesitamos una información completa, precisa y fiable que no siempre proporcionan los sistemas menos invasivos (50).
- Es importante la monitorización de los cambios hemodinámicos en períodos cortos de tiempo (p.ej.: administración de volumen o fármacos inotrópicos) (1).
- El CAP puede ser útil para el manejo de condiciones circulatorias complejas en las que se considera de especial importancia el conocimiento de la PAP, POAP y parámetros de oxigenación tisular (p.ej. fallo derecho e izquierdo agudo, hipertensión pulmonar, weaning difícil, pacientes sometidos a cirugía cardíaca o pendientes de trasplante cardíaco) (1, 50, 51).
- Las técnicas de dilución transpulmonar que determinan los volúmenes intratorácicos y el EVLW se pueden considerar de elección para guiar el manejo hemodinámico y la aplicación de ventilación mecánica en pacientes con SDRA. En estos casos, el CAP podría también ser utilizado (4).
- Los sistemas que obtienen el GC mediante el análisis de la onda de pulso estarían indicados en el área quirúrgica, en situaciones de shock séptico o en otros escenarios clínicos sin complicaciones graves respiratorias. Los dispositivos sin calibración externa pierden fiabilidad si se producen alteraciones importantes del tono vascular, como ocurre en la sepsis (4, 50).

5.3 ¿CUÁL ES EL PAPEL DE LA ECOCARDIOGRAFÍA EN LA REANIMACIÓN HEMODINÁMICA?

La propiedad de la piezoelectricidad fue observada por primera vez por los hermanos Pierre Curie y Jacques Curie en 1880 estudiando la compresión del cuarzo.

La primera aplicación práctica de la piezoelectricidad surge al final de la Primera Guerra Mundial cuando un físico francés, Paul Langevin, desarrolla el SONAR (Sound Navigation and Ranging). El SONAR consistía básicamente en un transductor que producía un sonido muy agudo. Este sonido, después de chocar con los cuerpos sumergidos, ya fueran barcos hundidos, peces, ballenas o submarinos eran recogidos nuevamente por el transductor y convertidos en impulsos eléctricos. Cuanto más sólido era el objeto encontrado más fuerte era el eco recibido, y cuanto más tiempo tardaba la señal en regresar, más lejos se encontraba el objeto del transductor. De esta manera, podían detectar los barcos alemanes que con frecuencia se introducían por el canal.

A partir de ahí la técnica cayó en desuso, hasta que, de nuevo en el contexto de la Segunda Guerra Mundial, se retomó la investigación sobre los ultrasonidos y fueron utilizados para detectar las grietas que pudieran tener los barcos después del combate.

La aplicación de los ultrasonidos en el diagnóstico médico se desarrolló sobre la base de las investigaciones militares que llevaron al nacimiento del SONAR. La literatura atribuye a el Dr. John J. Wild, un cirujano de Minnesota, como el primer científico en aplicarlos. Wild estudiaba la extensión y gravedad de los daños intestinales que mostraban los pacientes alcanzados por las bombas de los alemanes. Poco más tarde empezaron en Europa estudios aplicados sobre el cerebro

(ecoencefalograma), y al mismo tiempo los cardiólogos empezaban a usar los ultrasonidos para estudiar oscilaciones de la válvula mitral.

Los pioneros de la ecocardiografía fueron el físico Helmuth Hertz y el cardiólogo Inge Edler de la Universidad de Lund, Suecia, quienes en 1953 utilizaron la ecografía para el estudio de una estenosis mitral. A pesar de la precariedad instrumental se continuaron logrando registros muy interesantes en modo M que fueron aplicados a otras patologías y presentados en numerosas reuniones científicas.

Gradualmente fue desarrollándose la técnica y fue Harvey Feigenbaum de Indiana, quien ayudó a mejorar las técnicas de registro y almacenamiento de ecocardiogramas e inició la colaboración de ecografistas técnicos con formación específica para llevar a cabo estas pruebas.

En la década de los 50, comienza a utilizarse la emisión de continua de ondas de ultrasonido para medir el flujo de los vasos, basándose en los trabajos descritos por un físico austriaco, Christian Doppler, en 1842. En 1956 S. Satumora, Yoshida y Nimura en Japón fueron los primeros en utilizar el principio de Doppler para detectar el movimiento cardíaco.

En la década siguiente surge el Doppler pulsado, que permite la cuantificación de gradientes valvulares y es incluido en los nuevos equipos junto con la ecocardiografía bidimensional.

Los continuos avances en la digitalización de las imágenes y la creatividad e imaginación de los investigadores han favorecido el progreso en las diferentes modalidades de imagen cardíaca: tomografía computarizada (TC) multicorte, cardiorresonancia magnética (RM), tomografía por emisión de positrones (PET) y ecocardiografía (Eco). En el campo de los ultrasonidos, su alta disponibilidad, su bajo coste y las importantes innovaciones de los últimos años han hecho que en la actualidad más del 25% de los estudios de imagen cardiaca se obtengan mediante la ecografía,

y en la práctica diaria es el primer estudio solicitado si hay una sospecha de enfermedad cardiológica.

5.4 FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA ECOCARDIOGRAFIA

LEY DE DOPPLER.

La aplicación de ultrasonidos en el rango de 2-10 MHz con capacidad de interactuar con los tejidos humanos (en nuestro caso, su capacidad de reflexión sobre los eritrocitos en movimiento) constituye la base de todos los monitores que utilizan el efecto Doppler para medir el GC. La ley de Doppler expresa la relación matemática existente entre el cambio aparente que se produce en la frecuencia de una onda acústica cuando el emisor y el receptor se encuentran en movimiento relativo (70).

La aplicación del efecto Doppler en la medición del GC, mediante un transductor que es capaz de generar y detectar ultrasonidos, enviar un haz de ultrasonidos de f_t conocida a nivel cardíaco-vascular (tracto de salida del ventrículo izquierdo o derecho, aorta descendente) que en parte chocarán contra los eritrocitos en movimiento y volverán a ser detectados a una frecuencia distinta con la que fueron enviados, con lo que se podrá calcular Δf . Si tenemos en cuenta que, además, conocemos el valor de c y el valor de $(\cos)$ es un valor fijo en algunos dispositivos y en otros se puede calcular, dadas las características matemáticas de la función coseno se consideran clínicamente aceptables ángulos hasta 30-40°, la única variable que nos falta por conocer es v .

Dicha v es la velocidad de los eritrocitos en movimiento y, en consecuencia, la velocidad del flujo sanguíneo, cuyo análisis mediante integración (cálculo del área bajo la curva) a lo largo de todo

un ciclo cardíaco, lo que se conoce como integral velocidad-tiempo (ITV), nos permitirá calcular el volumen sistólico (VS).

Existen dos modos distintos de aplicar el efecto Doppler al estudio de la velocidad del flujo sanguíneo que nos proporcionarán informaciones distintas. Tanto si se usa el Doppler continuo como el pulsado, el análisis matemático mediante la integración a lo largo del tiempo del espectro de velocidad máxima nos da como resultado una distancia (cm) que se conoce como distancia de latido (DL), que se puede interpretar como la longitud de una columna de sangre que pasa por un punto determinado durante un ciclo cardíaco.

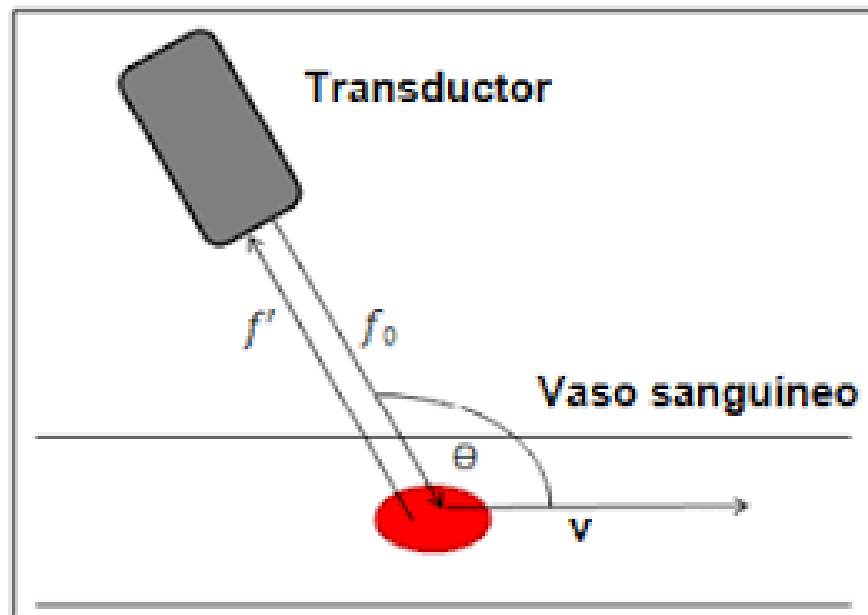


Figura VIII. Efecto Doppler en el flujo sanguíneo. Fuente: Med Intensiva. 2011;35(9):552-561

Posteriormente, asumiendo que el punto donde calculamos el espectro de velocidad posee unas características geométricas determinadas, que habitualmente se asume como circular en el sistema

cardiovascular (aorta, tractos de salida ventriculares), podremos calcular el área de su sección (AS), bien mediante su medición directa (asumiendo geometría circular $AS = \pi \times r^2$) o mediante su estimación según bases de datos poblacionales; Con todas estas variables se podrá calcular a continuación el VS y el GC con las siguientes fórmulas (49):

Fórmula de cálculo del volumen sistólico: $VS \text{ (cm}^3\text{)} = AS \text{ (cm}^2\text{)} \times DL \text{ (cm)}$.

Fórmula de cálculo del gasto cardíaco: $GC = VS \text{ (cm}^3\text{)} \times FC \text{ (min)}$.

La ecocardiografía constituye una herramienta útil en la evaluación de la función cardiovascular del paciente crítico debido a que nos proporciona imágenes en tiempo real, a pie de cama y de una manera no invasiva (ETT) o mínimamente invasiva (ETE). La información obtenida por el examen ecocardiográfico es interpretada e inmediatamente integrada en la valoración global del paciente. La principal indicación de la ecocardiografía en UCI es el estudio de la función cardiocirculatoria en el shock puesto que nos permite obtener información acerca de su etiología y puede ser de gran utilidad como guía y monitorización del tratamiento instaurado (6, 49).

Otras indicaciones frecuentes de la ecocardiografía en la UCI son la valoración de la interacción corazón pulmón, la evaluación de la endocarditis, la disección aórtica o el estudio de hipoxemia inexplicada. Las guías cardiológicas americanas sobre el uso de la ecocardiografía consideran que esta técnica tiene una indicación A (uso apropiado: el test es generalmente aceptable y es un procedimiento razonable para esa indicación) en situaciones de hipotensión o inestabilidad hemodinámica (52).

Las guías europeas publicadas en 2016 sobre la insuficiencia cardíaca aguda y crónica recomiendan la realización inmediata de una ecocardiografía en pacientes inestables con fallo cardíaco agudo (recomendación IC) (53).

A pesar de que no existen estudios aleatorizados que analicen el impacto en el tratamiento y en el pronóstico de la ecocardiografía en el paciente crítico, varios estudios realizados en la UCI han encontrado que la información obtenida por ETE o ETT conduce a cambios en el manejo terapéutico y diagnóstico en el 30-60% de los pacientes (54- 57). Esta técnica proporciona además información anatómica del corazón y grandes vasos y, de esta manera, permite descartar anomalías estructurales como valvulopatías y la obstrucción al tracto de salida del ventrículo izquierdo que no pueden ser detectadas mediante otro tipo de monitorización hemodinámica.

La mayoría de los pacientes críticos pueden ser estudiados satisfactoriamente con ETT como consecuencia de los avances tecnológicos aplicados para mejorar la calidad de los ultrasonidos (segundo armónico, adquisición digital, etc.). El porcentaje de fracaso en la obtención de una buena imagen ecocardiográfica con ETT ha descendido hasta un 10-15%. La ETE es preferible en situaciones en las que puede existir dificultad para la adquisición de imágenes óptimas como pueden ser la aplicación de ventilación mecánica con presión positiva, la presencia de edemas y la obesidad entre otras. Además, la ETE debería considerarse de elección en las siguientes situaciones: disección aórtica, endocarditis, trombos intracavitarios, estudio de aorta torácica y de prótesis valvulares (7, 54).

La ecografía es una técnica operador-dependiente que requiere personal experimentado en la realización de los exámenes ecocardiográficos. Este hecho podría conllevar una limitación importante en su utilización práctica ya que una interpretación errónea generaría graves confusiones diagnósticas y terapéuticas. Sin embargo, varios estudios han mostrado que intensivistas con un aprendizaje adecuado pueden realizar con seguridad y fiabilidad exámenes ecocardiográficos (45, 54, 58).

La incorporación creciente de la ecografía en la UCI ha provocado que numerosas Sociedades Nacionales de cuidados intensivos en todo el mundo estén impulsando el aprendizaje de esta técnica, proponiéndose una formación básica en ecocardiografía para todos los intensivistas dirigida a objetivos (“goal-directed”), es decir, enfocada a resolver cuestiones específicas de la Medicina Crítica y, por otro lado, una formación avanzada que deberían lograr solo intensivistas con un interés específico en profundizar en el conocimiento de la ecocardiografía. Se han publicado las declaraciones conjuntas de las sociedades americana y francesa acerca de las competencias en ultrasonografía en UCI (7). En estas recomendaciones se recogen las habilidades y competencias requeridas para los diferentes niveles de conocimiento en ecocardiografía y en otras técnicas de ultrasonidos en UCI como son la ecografía torácica, abdominal y vascular.

En 2016, se publicaron las guías referentes al uso apropiado de la ultrasonografía general y cardíaca en el paciente crítico (59). Asimismo, la European Society of Intensive Care Medicine junto a representantes de otras Sociedades han propuesto unos requerimientos de formación estándar en ecografía (45). Para adquirir los conocimientos del nivel básico de ecocardiografía del paciente crítico, los expertos internacionales han recomendado una formación teórica dentro de un curso de 10 horas y al menos 30 estudios con ETT en situaciones críticas supervisados a pie de cama (45, 60).

Los expertos también recomiendan que esta formación en ecocardiografía básica del paciente crítico sea incluida en el curriculum de todos los intensivistas. En referencia al nivel básico, se enfatiza la necesidad de que el examen ecocardiográfico sea cualitativo, dinámico y dirigido a objetivos. El interés recae fundamentalmente en la evaluación con imagen en 2D y se prioriza la especificidad frente a la sensibilidad, puesto que los hallazgos definitivos conllevan un cambio terapéutico inmediato y los hallazgos no concluyentes requieren una consulta a un experto (7).

El examen ecocardiográfico debería incluir la evaluación básica de la función ventricular izquierda y del ventrículo derecho, así como la valoración del taponamiento cardíaco, la estimación de la respuesta a volumen y la regurgitación valvular masiva. La evaluación estaría dirigida a contestar un número limitado de cuestiones específicas de las situaciones de inestabilidad hemodinámica (¿la función del ventrículo izquierdo es normal?, ¿el ventrículo derecho está dilatado?, ¿cómo es la función del ventrículo derecho?, ¿existen signos ecocardiográficos de taponamiento cardíaco?, ¿hay signos de hipovolemia grave?, ¿existe una valvulopatía severa?) (7, 49).

La información más completa y detallada formaría parte de un nivel avanzado de ecocardiografía. Las competencias de este nivel avanzado en la UCI hacen énfasis en el conocimiento específico de aspectos relacionados con la valoración hemodinámica del paciente crítico como son los índices predictores de la respuesta a volumen, las presiones de llenado, el GC y el impacto de la ventilación mecánica en la función del ventrículo derecho.

La ecocardiografía básica debería realizarse en la fase de valoración inicial del shock puesto que permite detectar de manera rápida los cuadros característicos causantes de shock: fallo ventricular izquierdo grave, fallo ventricular derecho generalmente secundario a tromboembolismo pulmonar, taponamiento cardíaco, insuficiencia valvular masiva e hipovolemia. En este momento de la evaluación, antes de instaurar cualquier terapéutica (médica o quirúrgica), la rentabilidad diagnóstica es máxima.

Posteriormente, debería realizarse un examen ecocardiográfico más completo ante la presencia de una insuficiente respuesta terapéutica o si se necesita profundizar en la fisiopatología del proceso (3). La realización de exámenes ecocardiográficos, de manera discontinua pero repetida, contribuye a profundizar en la valoración hemodinámica, así como a evaluar y guiar el tratamiento. Esta exploración más exhaustiva requiere un conocimiento de ecocardiografía avanzada que pueda

garantizar una información fiable, detallada y más profunda sobre aspectos de función cardiovascular relevantes en el manejo hemodinámico del paciente crítico.

En 2014, se publicaron los estándares de formación en ecocardiografía avanzada del paciente crítico (expert round table on echocardiography in ICU) (61). El último consenso internacional sobre el shock y la monitorización hemodinámica (Task force of the European Society of Intensive Care Medicine) recomienda la ecocardiografía como la modalidad preferida en la evaluación inicial del tipo de shock frente a tecnologías más invasivas. Asimismo, el GTCIC y RCP de la SEMICYUC publicó las siguientes recomendaciones sobre el papel de la ecocardiografía en el proceso de reanimación hemodinámica (3):

1. En la fase inicial de evaluación del shock, la ecocardiografía básica es una herramienta extremadamente útil para obtener información sobre su etiología y puede ser de gran ayuda como guía y monitorización del tratamiento instaurado.
2. En las situaciones de shock en las que haya una insuficiente respuesta terapéutica o se necesite profundizar en la fisiopatología del proceso, debería realizarse una ecocardiografía de nivel avanzado.

Por otro lado, la ultrasonografía general es también una herramienta muy útil en la valoración global del paciente en shock y puede ayudar a identificar un origen no cardiogénico del estado de inestabilidad hemodinámica. Evidentemente, la información obtenida por ecografía siempre debe ir ligada a otros elementos de la valoración clínica del paciente crítico como son la historia y el examen clínico, las pruebas de imagen y de laboratorio, así como la información obtenida con otros sistemas de monitorización hemodinámica (6-8, 49).

6. PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN HEMODINÁMICA DEL PACIENTE CRÍTICO OBTENIDOS CON ECOCARDIOGRAFÍA AVANZADA

La ecocardiografía es una técnica que se basa en la utilización de ondas mecánicas denominadas ultrasonidos, las cuales pueden ser transmitidas en un medio y no pueden atravesar el vacío. Para crear imágenes se utilizan ondas de alta frecuencia y baja energía, que van de 1 a 10 MHz.

Modo M

Consiste en la emisión de un haz de ultrasonidos único que atraviesa las distintas estructuras cardíacas, las cuales generan ecos reflejados, cuyo movimiento en el espacio se registra en papel o en pantalla de manera continua, obteniendo las características de movilidad de las diferentes zonas del corazón atravesadas por el haz de ultrasonidos.

Efecto Doppler

Es el cambio en la frecuencia de onda atribuible al movimiento relativo entre la fuente y el observador y en el cual la frecuencia resultante será proporcional a la velocidad relativa del movimiento entre estos dos. Nuestro objeto serán los glóbulos rojos; si permanecieran inmóviles, las frecuencias emitidas y reflejadas serían iguales. Si se acercan a la fuente, viajan hacia el encuentro de las ondas imprimiendo un aumento de la frecuencia a las ondas reflejadas. Si se alejan los glóbulos rojos de la fuente pasará exactamente lo contrario.

Doppler Continuo

Emite la señal ultrasónica de manera continua y capta los ecos reflejados también de manera constante y simultánea. Registra a la vez todas las velocidades que se presentan a lo largo de la trayectoria del haz de ultrasonido, por lo que es importante determinar la zona exacta de origen de la señal; no permite estudiar sitios puntuales. Permite medir cualquier velocidad de flujo, por más alta que sea.

Doppler Pulsado

Emite ultrasonido en ráfagas cortas o pulsos de manera intermitente y espera el retorno de la señal desde una distancia conocida y ser analizada específicamente. Este proceso se denomina resolución de rango. Fue desarrollado para medir flujos en zonas determinadas y superar la ambigüedad de rango. Siempre requiere imagen ecocardiográfica para ubicar su posición y no mide altas velocidades.

Aliasing

Es la imposibilidad del modo pulsado de medir velocidades superiores a su capacidad de muestreo. Se define como la incapacidad para medir una frecuencia Doppler determinada que supere la mitad de la frecuencia de repetición de pulsos (límite de Nyquist).

Doppler Color

Codifica la dirección del flujo en 2 colores: rojo para aquellos que se acercan al transductor y azul para aquellos que se alejan. Informa sobre velocidades altas con tonos más brillantes.

La ecocardiografía y el catéter en la arteria pulmonar

Son bien conocidas todas las complicaciones atribuibles al catéter en arteria pulmonar, como son neumotórax, sepsis, lesión de la válvula tricúspide, infartos pulmonares, ruptura de la arteria pulmonar, y hasta la propia muerte; mientras que la Ecocardiografía transtorácica no tiene efectos adversos sobre el organismo.

La Ecocardiografía puede darnos la Fracción de Eyección (FE) y el gasto cardiaco (GC) de ambos ventrículos, la función sistólica y diastólica, los volúmenes cardiacos, el estado de precarga, las velocidades y presiones en aurículas, ventrículos, grandes vasos y venas pulmonares, los gradientes transvalvulares, la presencia y magnitud de shunt intracardiacos, la anatomía de cavidades, tabiques, aparatos valvulares y pericardio, informarnos del estado de dispositivos, catéteres y electrodos intracardiacos. Por otra parte, las presiones elevadas de pericardio y pleura pueden producir infralleno fisiológico de los ventrículos y esto no puede ser diagnosticado con CAP, pero es fácilmente identificado con el ETT.

Diversas condiciones críticas y sus hallazgos ecográficos asociados.

Condición	Hallazgos ecocardiográficos
Hipovolemia severa / shock hipovolémico	Área ventricular izquierda pequeña diastólica final y sistólica final Pequeña obliteración de cavidad IVC LV colapsable (músculos papilares "besos")
Taponamiento	Derrame pericárdico Y colapso de la cámara Colapso RA / LA en sistole Colapso RV / LV en diástole O Variabilidad en las velocidades de entrada mitral (> 25%) o tricúspide (> 40%)
Embolia pulmonar	Signos directos: coágulo en tránsito Coágulo en la arteria pulmonar principal (visto principalmente en ETE) Signos indirectos: ventrículo derecho dilatado Función de pared libre de VD deteriorada, con o sin función apical intacta Aplanamiento septal sistólico (signo de "forma D")
Shock cardiogénico	Insuficiencia ventricular izquierda: Global : contracción severamente disminuida de todas las paredes ventriculares izquierdas Focal : hipocinesis (disminución de la contracción) o acinesia (sin contracción) de ciertos segmentos del VI Fallo ventricular derecho: disminución de la contracción del VD en el aspecto longitudinal; disminución del movimiento de la válvula tricúspide hacia el ápice

Figura IX. Diversas condiciones críticas y sus hallazgos ecográficos asociados. Fuente: Crit Care Med. 2013 nov; 41 (11): 2618-2626

Función Ventricular Izquierda

La evaluación de la función ventricular izquierda es una de las indicaciones más importantes de realización de un estudio ecocardiográfico en la UCI debido a que la disfunción ventricular izquierda es común en los pacientes críticos. Las causas más frecuentes de alteración de la función ventricular izquierda en UCI son la cardiopatía isquémica y la disfunción miocárdica secundaria a la sepsis. El parámetro ecocardiográfico de referencia para la evaluación de la función ventricular es la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI), a pesar de su dependencia de las condiciones de carga. De los diferentes métodos posibles para la medición de la FEVI por ecocardiografía bidimensional, se considera de elección el método de Simpson. Este se basa en asumir el volumen del ventrículo izquierdo como una serie de elipses apiladas sobre la longitud del mismo, usando mediciones en planos ortogonales para determinar los volúmenes sistólicos y diastólicos. Los planos estándares son el apical de cuatro cámaras (4 C) y dos cámaras (2 C), teniendo especial cuidado en no incluir los músculos papilares en el trazado por planimetría de las cavidades, usando una compleja fórmula, incluida en el software de medición de los equipos.

De esta manera se calcula el volumen telesistólico (VTS) y telediastólico (VTD), siendo la FE la derivada de aplicar la fórmula: $FEVI = (VTD - VTS) / VTD$. Sus principales limitaciones son la dificultad de delimitar en muchas ocasiones el borde endocárdico y el establecer un plano sagital apical a nivel del ápex verdadero (de menor grosor que el circundante), donde es muy frecuente obtener un apical de dos cámaras tangencial y no ortogonal a la apical de cuatro cámaras.

Estos métodos analizan la FEVI de modo global, pero también puede analizarse la función sistólica segmentaria, de forma que en presencia de isquemia miocárdica se produce una disminución de la contractilidad de los segmentos ventriculares implicados, que se puede apreciar mediante ecocardiografía como una reducción de la movilidad y del engrosamiento sistólico de los mismos

(hipoquinesia) o si se prolonga la isquemia quedan abolidos el engrosamiento y la movilidad (aquinesia) (6).

Además, la ecocardiografía permite disponer de otros parámetros que son menos dependientes de las condiciones de carga como son el dP/dt max y el índice de Tei. El dP/dt max es uno de los índices estimadores de contractilidad utilizados clásicamente en laboratorios de experimentación animal por su independencia de la poscarga.

El Doppler tisular permite obtener la velocidad del tejido miocárdico. La colocación de la muestra de Doppler pulsado, generalmente en la porción lateral o medial del anillo mitral o en la porción basal del ventrículo, en plano apical de cuatro cámaras, permite cuantificar las velocidades máximas de esta zona del miocardio en las fases del ciclo cardiaco. La onda sistólica (Sa) es un parámetro menos dependiente de las condiciones de carga que se está incorporando progresivamente en la práctica clínica para la evaluación de la contractilidad en el paciente cardiológico y crítico (6).

La función diastólica también puede ser evaluada con ecocardiografía mediante el análisis de las velocidades del flujo de llenado mitral (onda E y onda A) obtenidas con Doppler pulsado y las velocidades diastólicas (onda e' y onda a') determinadas mediante el Doppler tisular.

Función Ventricular Derecha

La disfunción ventricular derecha es común en los pacientes críticos, aunque su importancia ha sido subestimada. El cor pulmonale agudo es observado como complicación del tromboembolismo pulmonar y del SDRA. En esta última situación, el cor pulmonale agudo puede también ser desencadenado por aplicación de ventilación mecánica y presión positiva al final de la espiración

(PEEP) (63-66). Los hallazgos ecocardiográficos característicos del cor pulmonale agudo son la discinesia septal (sobrecarga sistólica de presión), la dilatación ventricular (sobrecarga diastólica), la hipertensión arterial pulmonar y las alteraciones de la función diastólica del ventrículo izquierdo (63, 64, 67, 68).

1. Discinesia Septal: la sobrecarga sistólica provoca que la contracción ventricular derecha se prolongue durante la relajación del ventrículo izquierdo, lo que invierte el gradiente transeptal de presión. En consecuencia, se observa una discinesia septal característica: aplanamiento o movimiento septal paradójico al final de la sístole del ventrículo izquierdo. Esta discinesia septal puede persistir durante la diástole si existe sobrecarga diastólica del ventrículo derecho.

2. Dilatación Ventrículo Derecho: La sobrecarga diastólica ocasiona dilatación ventricular siendo importante calcular la ratio entre las áreas telediastólicas del ventrículo derecho e izquierdo para determinar la gravedad del cuadro clínico (apical cuatro cámaras).

Se considera normal una ratio inferior a 0,6. Una ratio comprendida entre 0,6 y 1 comporta una dilatación moderada del ventrículo derecho que no debe considerarse como patológica si no se acompaña de discinesia septal. Finalmente, una ratio superior a 1 se considera una dilatación grave.

3. Hipertensión Arterial Pulmonar: se observa habitualmente una moderada elevación de la presión de arteria pulmonar. La medida del pico de velocidad del flujo de regurgitación tricuspídea, si está presente, permite el cálculo del gradiente de presión ($\Delta P = 4 v^2$, ecuación de Bernoulli) y, en consecuencia, se puede estimar la presión arterial pulmonar sistólica (PAPs = Presión de aurícula derecha + ΔP). Por otro lado, el análisis del perfil Doppler de velocidad de la arteria pulmonar permite reconocer la existencia de una hipertensión arterial pulmonar que modifica ese perfil: la

presencia de un tiempo de aceleración acortado (< 100 ms) y un pico precoz de velocidad reflejan hipertensión pulmonar.

4. Alteraciones De La Función Diastólica Del Ventrículo Izquierdo: toda modificación rápida de las dimensiones de un ventrículo se acompaña de una modificación inversa del tamaño del otro ventrículo a causa del fenómeno de interdependencia de los dos ventrículos, separados por el septo interventricular. En el curso de un cor pulmonale agudo, la dilatación del ventrículo derecho produce desplazamiento del septo y reduce el tamaño del ventrículo izquierdo. Este fenómeno produce una alteración del llenado del ventrículo izquierdo evidenciándose un perfil anómalo del flujo mitral (onda A más prominente que la onda E, ratio $E/A < 1$).

Otro parámetro útil para la valoración de la función sistólica del ventrículo derecho es el tricuspíd annular plane systolic excursión (TAPSE). Este parámetro se mide fácilmente con el modo M y representa la distancia que se desplaza el anillo tricúspideo desde el final de la diástole hasta el final de la sístole. En el plano apical cuatro cámaras se sitúa el cursor del modo M en el borde libre del anillo tricúspide, midiéndose su desplazamiento sistólico.

No está influido por la FC, pero sí por la precarga y la poscarga. Es un método fácil de obtener para valorar la contractilidad ventricular derecha. Valores inferiores a 15 mm se consideran patológicos y con valor pronóstico (6).

Parámetros Hemodinámicos

GC: se considera un estimador de la función cardíaca global, resultado del producto de la FC por el VS. Según la hidrodinámica clásica, el volumen que atraviesa una determinada sección se puede calcular mediante el producto del área de dicha zona (A, cm²) por la integral de la velocidad respecto al tiempo del flujo que la atraviesa (ITV, cm), que representa la distancia sistólica que recorre la sangre durante el período de tiempo medido: $VS = \text{Área} \times \text{ITV}$.

El área que se utiliza más frecuentemente en la práctica clínica para este propósito es la del tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI). El diámetro del TSVI (DTSVI) se mide a nivel de la inserción de los velos valvulares, que en la mayoría de los casos se visualiza correctamente en el plano paraesternal longitudinal de ventrículo izquierdo en ETT y plano esofágico medio de dos cámaras en ETE asumiendo una geometría circular.

En el plano apical de cinco cámaras, mediante Doppler pulsado se obtiene el espectro de la velocidad de flujo a nivel aórtico (TSVI). La ITV del TSVI (ITVAo) se realiza colocando el volumen de muestra proximal al área valvular. Los valores normales oscilan entre 18-23 cm. La principal limitación viene dada por los errores en la medición del DTSVI, considerando además que el error se magnifica al elevar dicha medición al cuadrado. Sin embargo, puesto que el área subaórtica no cambia en el tiempo, es suficiente con la observación de los cambios de la ITVAo para evaluar los cambios en el VS originados por el tratamiento (6, 9).

Presiones De Llenado Ventricular

la POAP puede ser estimada mediante el análisis de las velocidades del flujo transmitral con Doppler pulsado y las velocidades obtenidas por Doppler tisular en el anillo mitral medial o lateral. La ratio E/A se ha propuesto como estimador de la POAP, pero está afectado por la función

diastólica. La ratio E/e' es considerada como uno de los mejores estimadores de las presiones de llenado. Estos parámetros solo proporcionan una estimación semicuantitativa de la POAP. Aunque una $E/e' < 8$ es un buen predictor de POAP baja y una $E/e' > 15$ de POAP alta, un valor entre 8 y 15 no permite estimar con exactitud la POAP (6, 69, 70).

Objetivos

Realizar una revisión sistemática de los datos hemodinámicos obtenidos mediante el catéter de flotación de la arteria pulmonar, comparada con la obtenida en la ecocardiografía transtorácica, en pacientes críticos.

Mostrar las diferencias estadísticamente significativas en los resultados hallados, entre las mediciones hemodinámicas del catéter de flotación de la arteria pulmonar, y la obtenida en la ecocardiografía transtorácica.

Incentivar el uso de la ecocardiografía transtorácica a la cabecera del enfermo en la unidad coronaria del hospital universitario de la UAI, como método no invasivo y dinámico para realizar mediciones hemodinámicas, especialmente para el seguimiento y evaluación de las estrategias terapéuticas.

Justificación

En el paciente crítico de la unidad cuidados intensivos coronarios, es importante la medición de las variables hemodinámicas que tradicionalmente se obtienen por el catéter de flotación de la arteria pulmonar (CAP), con todas sus ventajas y desventajas. Sin embargo, actualmente contamos con otra herramienta que indirectamente nos da información de las variables hemodinámicas, como lo es la ecocardiografía transtorácica (ETT).

Esta modalidad de imagen es de gran valor en el paciente crítico, ya que es portátil, está ampliamente disponible y cuenta con una rápida capacidad diagnóstica. En este contexto, la ecocardiografía puede proporcionar una importante y relevante información del estado hemodinámico con mayor exactitud que la evaluación clínica, además de la rápida valoración cardíaca que se realiza a la cabecera del paciente.

Hay artículos que describen la ecocardiografía transtorácica como el “eco Swan”, ya que aporta de forma no invasiva información para estimar valores hemodinámicos como: el gasto cardíaco, la resistencia vascular sistémica y la presión de llenado del ventrículo izquierdo, entre otros.

Metodología

Tipo de estudio: Bibliográfico. Se realizó una revisión sistemática de documentos, en las sociedades científicas dedicadas a la salud, sobre la correlación hemodinámica Swan Ganz vs ecocardiografía.

Estrategia de Búsqueda: Se llevó a cabo una búsqueda de documentos y guías de práctica clínica publicados por diferentes sociedades y asociaciones profesionales en Argentina, como en el contexto internacional sobre la correlación hemodinámica Swan Ganz vs ecocardiografía. Esta búsqueda se hizo tanto en español como en inglés.

Posteriormente se realizó una búsqueda de revisiones sistemáticas de la literatura científica en la Biblioteca Cochrane, Medline, Pub Med, Cochrane, Genesis, Scielo. No se limitó por año de publicación, se analizaron además las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados con el fin de rescatar otros estudios potencialmente incluíbles para la revisión.

Consideraciones de la revisión

La búsqueda se enfocó en la utilización de la ecografía crítica para la medición de variables hemodinámicas y el estudio del paciente en las unidades de cuidados intensivos. Se excluyeron del análisis los pacientes pediátricos, aunque también en pediatría se están investigando y utilizando la ecografía en las unidades de cuidado intensivo pediátrico.

Criterios de inclusión y exclusión

En la búsqueda de literatura se incluyó, personas mayores de 18 años, documentos aportados sobre estudios con diseños transversal, longitudinal, caso-control, por las diferentes sociedades y asociaciones profesionales que hacían recomendaciones sobre las mediciones hemodinámicas por ecocardiografía en pacientes críticos. Respecto a las revisiones sistemáticas y los estudios científicos se aplicó como criterio de inclusión que los estudios realizados fueran en adultos e incorporaran conclusiones sobre las recomendaciones para la realización de mediciones hemodinámicas por ecocardiografía en pacientes críticos.

El principal criterio de exclusión fue que los artículos no incluyeran información sobre pacientes pediátricos, pacientes asintomáticos, pacientes no internados en un centro hospitalario.

Extracción de datos.

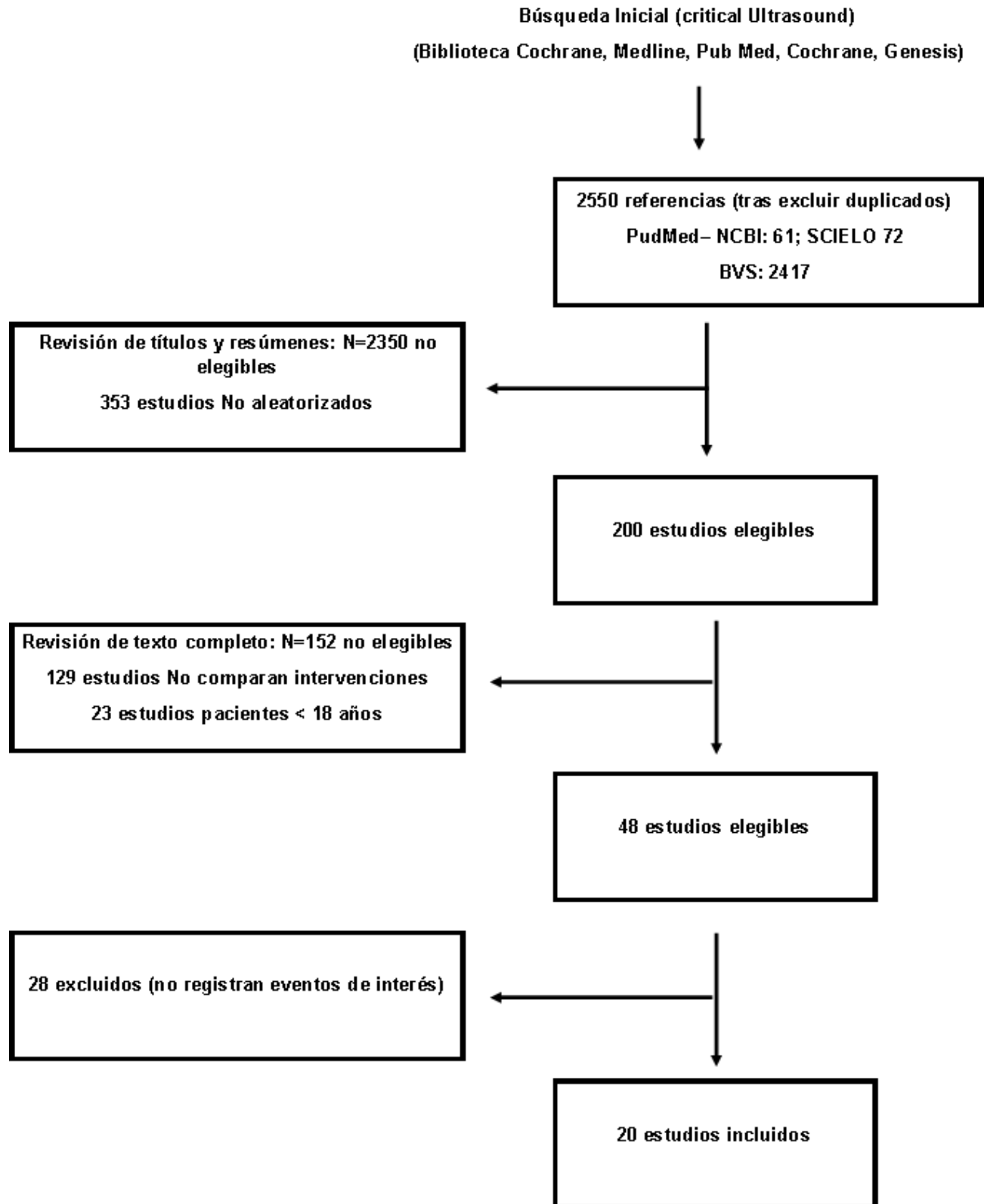
Se realizaron búsquedas entre los años 1994 a octubre del año 2019, en las siguientes bases de datos: Biblioteca Cochrane, Medline, Pub Med, Cochrane, Genesis, Scielo, y otras citas no indexadas; Se realizaron búsquedas manuales en las referencias de los artículos revisados y se realizaron búsquedas electrónicas de resúmenes de conferencias de las principales conferencias de medicina de emergencia, cardiología y cuidados críticos. Las palabras claves utilizadas para la búsqueda electrónica fueron: critical ultrasound, ultrasound in the critical patient, ultrasound in the intensive care unit, head ultrasound at the ICU.

Tras la búsqueda inicial se localizaron estudios a nivel nacional e internacional, aunque se excluyeron algunos que no fueron relevantes para el objetivo de esta revisión. Para proceder a la

selección, se revisaron los abstracts y en caso necesario los artículos completos con el fin de decidir si la información que contenían estaba o no relacionada con nuestro objetivo.

Análisis de los datos.

De las revisiones sistemáticas se extrajo información sobre autoría, año de estudio, tipo de diseño utilizado, el metodo estadistico utilizado en el analisis, las variables estudiadas, finalidad, fuentes de información, y conclusiones. De los artículos originales se extrajo información sobre autoría, revista en la que estaba publicado y año de publicación, país donde se realizó el estudio, tipo de estudio, sujetos y origen, medida de resultado, y conclusiones.



Resultados

Tabla 1.

Principales recomendaciones sobre la monitorización hemodinámica con ecocardiografía

Organización y País	Recomendaciones
La Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias. (SEMICYUC). 2014. ESPAÑA	<p>1. En la fase inicial de evaluación del shock, la ecocardiografía básica es una herramienta extremadamente útil para obtener información sobre su etiología y puede ser de gran ayuda como guía y monitorización del tratamiento instaurado. (L1; B)</p> <p>2. En las situaciones de shock en las que haya una insuficiente respuesta terapéutica o se necesite profundizar en la fisiopatología del proceso, debería realizarse una ecocardiografía de nivel avanzado. (L1; B)</p>
Guidelines for the Use of Echocardiography as a Monitor for Therapeutic Intervention in Adults. American Society of Echocardiography. 2015. EEUU	<p>Existe una cantidad suficiente de literatura, originada a partir de cuidados críticos, anestesiología y medicina de emergencia, demostrando. El papel potencial de la monitorización ecocardiográfica. Estudios clínicos han demostrado el papel de la monitorización ecocardiográfica en manejo de la embolia pulmonar, derrames pericárdicos, válvulas protésicas trombosadas y manejo de la insuficiencia cardíaca aguda.</p> <p>Sin embargo, los ensayos clínicos a gran escala que documentan la efectividad de La ecocardiografía como herramienta de monitoreo no existe en todas estas áreas.</p>
Sociedad Europea de cardiología. 2012. EUROPA	<p>La evaluación ecocardiográfica transtorácica focalizada (FATE) demostró que contribuye positivamente a la toma de decisiones cuando se utiliza para el monitoreo cardiopulmonar en UCI en casi todos los pacientes examinados.</p>
Revisión definitiva concisa: ecocardiografía focalizada de cuidados críticos en la UCI. Harvard Medical School. 2014. EEUU.	<p>El nuevo paradigma en la evaluación de la fisiología cardiopulmonar aguda, enfatiza la importancia de la información diagnóstica integrada, para la terapia específica del paciente.</p> <p>La ecocardiografía logra estos objetivos, permitiendo evaluaciones de diagnóstico y terapia del paciente a la medida.</p> <p>La atención crítica está entrando en una fase importante en la identificación y el manejo de la fisiopatología cardiorrespiratoria a través del uso del ultrasonido a la cabecera del paciente. La capacitación cuidadosa, la certificación y el aseguramiento de la calidad son obligatorios para evitar complicaciones.</p>

Sociedad Interamericana de Cardiología. 2015.	La ecocardiografía del siglo XXI producto del desarrollo de la tecnología dispone de equipos cada vez de menor tamaño y con alta portabilidad manteniendo sus capacidades diagnosticas fundamentales. Este hecho determina indefectiblemente su aplicación creciente en nuevos escenarios siendo los cuidados intensivos uno de los principales por la rapidez y necesidad de precisión de las decisiones diagnosticas con implicaciones terapéuticas directas.
Rol del ecocardiograma en la valoración del paciente. SATI. 2012. ARGENTINA.	La interpretación de los escenarios clínicos mixtos es una limitación de la hemodinamia aislada. El ecocardiograma es un método diagnóstico que ayuda a interpretar el cuadro hemodinámico del paciente y sus alteraciones fisiopatológicas, acelera la toma de decisiones terapéuticas farmacológicas y/o quirúrgicas y permite evaluar la respuesta a las intervenciones terapéuticas.

El nivel de recomendación y la calidad de la evidencia han sido asignados según los criterios definidos por el sistema GRADE. El sistema clasifica la evidencia como alta (grado A), moderada (grado B), baja (grado C) y muy baja (grado D) de acuerdo a factores que incluyen, entre otros, la metodología de los estudios, la consistencia y la precisión de los resultados. El sistema GRADE clasifica las recomendaciones como fuertes (L1) o débiles (L2) en función de factores como el balance entre beneficios y riesgos, la calidad de la evidencia, los costos y el uso de recursos.

Tabla 2.

Estudios

Autores	Año	País	Título	Método	Resultados	Conclusiones
Mercado P, Maizel J.	2017	España	Ecocardiografía transtorácica en la estimación del gasto cardiaco en cuidados intensivos	Estudio observacional prospectivo en una uci de 16 camas, pacientes en ARM, monitorizados con CAP, debido a fallo respiratorio o hemodinámico.	Total, de 38 pacientes, 68% varones, mediana de edad 65 años. Hubo una correlación entre CAP (catéter arteria pulmonar) y ETT (ecocardiografía transtorácica), para la medición hemodinámica del GC ($r=0.92$; $p<0.0001$). la mediana de diferencia fue -0.1 L/min, con unos límites de concordancia -1.3 y $+1.2$ L/min	Los autores concluyeron que el ETT es una técnica no invasiva exacta y precisa para evaluar y monitorizar el seguimiento de los cambios en GC.
Jose de Jesus Rincon Salas, Mijail Raullovich Abrahamo	2012	México	Correlación entre ecocardiografía transtorácica vs catéter de flotación de la arteria pulmonar en la evaluación hemodinámica en una unidad de terapia intensiva postquirúrgica cardiovascular	Estudio observacional prospectivo en una uci, pacientes en ARM, monitorizados con CAP, debido a fallo respiratorio o hemodinámico.	Se estudiaron 34 pacientes POP de cirugía cardiaca, en los cuales se determinaron las variables hemodinámicas: PAD (presión aurícula derecha), POAP (presión oclusión arteria pulmonar), GC (gasto cardiaco); Mediante CAP y ETT. Las muestras fueron tomadas a las 8 y 24 hrs después. Resultados con una correlación máxima de $r=0.72$ para PAD, POAP. El GC $r=0.76$.	Los autores concluyeron que no existe diferencias significativas de los promedios de cada variable hemodinámica, medida entre el CAP y ETT.
Jose luis Laso Bayas, Gabriel Garcia Montalvo	2014	Ecuador	Índice cardiaco medido por catéter de Swan-Ganz comparado con ecocardiograma transtoracico	Estudio observacional prospectivo en una uci, pacientes en ARM, monitorizados con CAP, debido a fallo respiratorio o hemodinámico.	Se estudiaron 13 pacientes, con promedio de edad de 57 años, siendo el diagnostico principal sepsis. La comparación de los promedios de los valores aplicando la prueba de t student con un valor de 0.220 , $p=0.829$. El índice de correlación de Pearson entre las dos técnicas fue de 0.94 , $p<0.001$.	El índice cardiaco estimado por ecocardiografía se correlaciono fuertemente con la medición mediante el CAP; las diferencias entre los promedios de las dos mediciones no se mostraron diferentes estadísticamente.

Eusebio Garcia, Carlos Arellano	2017	España	Estimacion de presiones de llenado del ventriculo izquierdo mediante ecocardiografia.	Estudio observacional prospectivo, pacientes programados para cateterismo derecho, entre enero y abril 2017. El mismo dia realizan ecocardiograma transtoracico.	Se incluyeron total de 35 pacientes con disfuncion ventricular, cardiomiopatía (51%) o hipertension pulmonar (48%). El 54% presentaban presiones de llenado elevadas (PCp >12); se obtuvo una sensibilidad de 84%, especificidad 81%, valor predictivo positivo 84% y valor predictivo negativo 81% para el diagnostico de presiones de llenado elevadas del VI.	La valoracion ecocardiografica de la funcion diastolica, es util y presenta una buena validez diagnostica.
Lucia Florio, Gustavo Vignolo.	2012	Uruguay	Calculo de la resistencia vascular sistémica por ecocardiografia en la IC cronica (una herramienta para optimizar la dosis de IECA y ARA II).	Se incluyeron pacientes con IC por disfuncion sistolica sin contraindicacion para enalapril/losartan, una RVS ≥ 1200 dinas.seg.cm fue indicacion de aumentar dosis enalapril/losartan. Se evaluo el cambio porcentual de pacientes recibiendo dosis objetivo entre ingreso y ultimo control. Grupo A (control clinico y hemodinamico), Grupo B (control clinico)	Se incluyeron 70 pacientes, 50 de ellos fueron hombres, edad 60 ± 12 años, 43% se encontraban en CF I, la RVS fue de 2033 ± 802 dinas.seg.cm. no se encontraron diferencias significativas basales en edad, sexo, CF, FEVI, RVS entre ambos grupos. en el grupo A se encontro un aumento significativo de pacientes tratados con dosis objetivo, 50% ingreso vs 64% ultimo control ($p < 0.001$). el grupo B se observo una disminucion del porcentaje de pacientes tratados con dosis objetivo 59% vs 47%, ($p < 0.05$).	En los pacientes con IC con disfuncion sistolica, la valoracion de la RVS por ecocardiografia estimula al medico tratante a lograr la dosis objetivo de IECA/ARA II, por lo que podria recomendarse como herramienta adicional en el seguimiento de pacientes con ICC.
Bouchra Lamia, Ana Ochagavia, Xavier Monnet.	2007	Francia	Prediccion de la respuesta cardiovascular a volumen en pacientes criticos con actividad respiratoria espontanea mediante ecocardiografia	Estudio prospectivo realizado en UCI, polivalente de 24 camas del hospital Bicetre. Criterios de inclusion (respiracion espontanea, administracion de volumen con al menos un signo de perfusion tisular inadecuada (PAM <60 mm Hg, diuresis <0.5 ml/kg por hora). Exclusion valvulopatía aortica, insuficiencia mitral > grado 2,	Se incluyeron 24 pacientes, 14 ARM con actividad respiratoria espontanea. 13 pacientes fueron respondedores (incremento VTI >15%), 11 pacientes no respondedores. En todos los pacientes el valor mas alto del VTI fue durante elevacion pasiva de las piernas (MEP), las cuales se corelacionan con los cambios VTI por la administracion de volumen.	El estudio demuestra que la respuesta del VTI a la MEP, determinada con ecocardiografia es un buen predictor a la respuesta a volumen en pacientes con actividad respiratoria espontanea.

				estenosis mitral y ecogenicidad no satisfactoria.	No se encontraron diferencias entre los intubados y no intubados.	
Bouchra Lamia, Ana Ochagavia, Xavier Monnet.	2007	Francia	Evaluacion hemodinamica y ecocardiografica de la respuesta cardiovascular a dobutamina en la disfuncion miocardica asociada al shock septico	Estudio prospectivo realizado en UCI, polivalente de 30 camas hospital Parc Tauli. Criteios de inclusion pacientes con disfuncion miocardica secundaria a shock septico ($ETT\ FEVI \leq 45\%$, al cual su medico indico administrar dobutamina. (decisión tto doputamina la presencia de un signo de hipoperfusión tisular inadecuada). Criterios de exclusion pacientes menores de 18 años, ICC, IAM en los últimos 3 meses, arritmias graves, valvulopatía aortica, insuficiencia mitral > grado 2, estenosis mitral, baja ecogenicidad. Medidas hemodinamicas con CAP y PICCOplus	Se incluyeron en el estudio 22 pacientes con disfuncion miocardica asociada a shock septico. 11 pacientes estuvieron monitorizados con dispositivo PICCOplus, y diez pacientes con CAP. El incremento con CAP VS $34.7 \pm 13.8\text{ ml/m}^2$, ECO VS $30 \pm 7.4\text{ ml/m}^2$. No se observaron diferencias significativas.	La dobutamina mejora la funcion inotropica evaluada mediante parametros hemodinamicos (CAP) y ecocardiograficos, en pacientes con shock septico y disfuncion miocardica asociada. Los resultados no sugieren una diferencia significativa entre los dos metodos, la ecocardiografia ademas demostro un incremento FEVI por incremento de la contractilidad, parametro incorporado en la evaluacion de la funcion ventricular. La FC no puede ser utilizado como un predictor del efecto intropico de la dobutamina.
Yin W, Li Y, Zeng X, Qin Y, Wang D	2017	China	La utilización de ultrasonido de cuidados críticos para evaluar la hemodinámica y la patología pulmonar en el ingreso a la UCI y el potencial para predecir el resultado	Se analizaron las características epidemiológicas y la hemodinámica, evaluadas por CCUS (ultrasonido de cuidados criticos) al ingreso en la UCI, que, según nuestra base de datos de 451 casos, entre noviembre de 2014 y octubre de 2015. Se analizaron las características, el pronóstico y el patrón ultrasónico de la hemodinámica y la patología pulmonar. Se estableció un	La edad media de los 451 pacientes fue de $56,7 \pm 18,7$ años; el puntaje APACHE II promedio fue de 19.0 ± 7.9 , la mortalidad en la UCI fue de 30.6%. Los pacientes recibieron examen CCUS de movimiento de la pared pericárdica, del ventrículo derecho (VD), movimiento de la pared del ventrículo izquierdo (VI), función sistólica del VI, función diastólica del VI, pulmón y volumen de la vena cava inferior (VCI) fueron	El examen CCUS en la admisión a la UCI, realizado por un médico experimentado, proporciona información valiosa para ayudar a los cuidadores a comprender la perspectiva integral de las características de la hemodinámica y la patología pulmonar. Esas variables clave obtenidas por CCUS predicen el

				modelo de regresión logística bivariado para identificar la correlación entre las variables ultrasónicas al ingreso y la mortalidad en la UCI.	423 (93.8%), 418 (92.7%), 392 (86.9%), 389 (86.3%), 383 (84.9%), 440 (97.6%), 336 (74.5%), respectivamente; El análisis multivariado demostró que APACHE II, edad, TAPSE, MAPSE, E / e 'son los factores de riesgo independientes para la mortalidad en la UCI en nuestro estudio.	posible pronóstico de los pacientes, por lo tanto, merecen más atención en la toma de decisiones clínicas.
Oks M, Cleven KI, Cardenas Garcia	2014	EUA	El efecto de la ecografía en el punto de atención en los estudios de imágenes de la UCI: un estudio comparativo.	Este estudio fue una revisión retrospectiva de 3 meses que comparó el uso de radiografías de tórax, tomografías computarizadas (tórax y abdomen / pelvis), ecocardiografía transtorácica realizada por el servicio de cardiología y estudios de ecografía DVT realizados por el servicio de radiología entre dos UCI de tamaño similar y niveles de personal.	El número total de ingresos, la demografía del paciente y la agudeza de la enfermedad fueron similares entre las UCI. Comparando la UCI sin ultrasonido, con la UCI con ultrasonido, hubo 3.75 ± 4.6 frente a 0.82 ± 1.85 ($P < .0001$) radiografías de tórax por paciente, 0.10 ± 0.31 frente a 0.04 ± 0.20 ($P = .0007$) tomografías computarizadas de tórax por paciente, 0.17 ± 0.44 vs 0.05 ± 0.24 ($P < .0001$) tomografías computarizadas de abdomen / pelvis por paciente, 0.20 ± 0.47 vs 0.02 ± 0.14 ($P < .0001$) estudios de TVP realizados por el servicio de radiología por paciente, y 0.18 ± 0.40 vs 0.07 ± 0.26 ($P < .0001$) estudios de ecocardiografía transtorácica realizados por el servicio de cardiología por paciente, respectivamente.	El uso de la ecografía en el la UCI, se asocia con una reducción significativa en el número de estudios de imágenes realizados por los servicios de radiología y cardiología.
Mathis G, W en Blanco, reissig A.	2005	Austria	Ultrasonido torácico para el diagnóstico de embolia pulmonar: un estudio prospectivo	Desde enero de 2002 hasta septiembre de 2003, 352 pacientes con sospecha de TEP fueron examinados en siete clínicas. Los pacientes fueron investigados prospectivamente	TEP fue diagnosticada en 194 pacientes. 144 pacientes tenían un total de 333 lesiones subpleurales (media, 2,3 lesiones por paciente) con un tamaño promedio de $15,5 \times 12,4$ mm. Además, se encontró un	Eco pulmonar es un método no invasivo para diagnosticar TEP. En ausencia de angiografía pulmonar por TC, la eco pulmonar es una

			multicéntrico de 352 pacientes	por Ecografía pulmonar de acuerdo con los siguientes criterios: (1) confirmado: dos o más lesiones típicas triangulares o pleurales de base pleural; (2) probable: una lesión típica con derrame pleural; (3) posible: lesiones subpleurales pequeñas (<5 mm) o un solo derrame pleural solo; o (4) hallazgos normales. En todos los casos, se utilizó la angiografía pulmonar por TC como método de referencia. En el caso de hallazgos discrepantes, se realizó una combinación de ecografía dúplex de las venas de las piernas, ecocardiografía, gammagrafía de ventilación / perfusión y un ensayo cuantitativo de inmunoabsorción ligado a enzimas o dímero d de látex, o una biopsia / autopsia.	derrame pleural estrecho en el 49% de los pacientes. Ecografía pulmonar arrojó los siguientes resultados bajo la aplicación de los estrictos criterios 1 y 2: verdadero positivo, n = 144; falso positivo, n = 8; verdadero negativo, n = 150; y falso negativo, n = 50. La sensibilidad fue del 74%, la especificidad fue del 95%, el valor predictivo positivo fue del 95%, el valor predictivo negativo fue del 75% y la precisión fue del 84%, con una prevalencia del 55%. La sensibilidad en pacientes con criterio 1 fue del 43% y una especificidad del 99%.	herramienta adecuada para demostrar un TEP al lado de la cama y en el entorno de emergencia.
Lichtenstein DA, Meziere GA, Lagoueyte JF	2009	Francia	Líneas A y B: ultrasonido pulmonar como herramienta de cabecera para predecir la presión de oclusión de la arteria pulmonar en pacientes críticos.	Realizamos un estudio prospectivo en UCI medicoquirúrgicas de hospitales docentes afiliados a universidades. Se inscribieron 102 pacientes consecutivos con ventilación mecánica que se sometieron a cateterismo de la arteria pulmonar. Definimos el predominio A como la mayoría de las líneas A anteriores y el predominio B como la mayoría de las líneas B anteriores. Estos patrones se correlacionaron con PAOP.	Para diagnosticar PAOP ≤ 13 mm Hg, el predominio A tenía una especificidad del 90%, una sensibilidad del 67%, un valor predictivo positivo del 91% y un valor predictivo negativo del 65%. Para diagnosticar PAOP ≤ 18 mm Hg, el predominio A tenía 93% de especificidad, 50% de sensibilidad, 97% de valor predictivo positivo y 24% de valor predictivo negativo, respectivamente.	El predominio A indica tabiques interlobulares secos. Específico para predecir un valor bajo de PAOP, el predominio A sugiere que se puede administrar líquido sin preocupación inicial por el desarrollo de edema pulmonar hidrostático. El predominio B indica síndrome intersticial, que generalmente está relacionado con el edema intersticial. El

						predominio B se observa en una amplia gama de valores de PAOP, lo que excluye las conclusiones sobre la necesidad de la fluidoterapia.
Dan Schlager, Gerry Lazzareschi, David Whitten	1994	Canada	Un estudio prospectivo de la ecografía en el servicio de urgencias por los médicos de emergencia	El objetivo de este estudio fue examinar el uso de estudios de ultrasonido bidimensionales, limitados, dirigidos a objetivos, realizados por médicos de urgencias y evaluar la frecuencia, variedad y precisión de sus lecturas. Se realizó un estudio prospectivo de 1 año utilizando una máquina de ultrasonido del departamento de emergencias. En una serie de sesiones de supervisión, los radiólogos capacitaron a los médicos de emergencia para realizar una ecografía limitada dirigida a objetivos.	El entorno era un hospital comunitario de 104 camas con un volumen de 25,000 pacientes anualmente. La ecografía se realizó en 167 pacientes por 14 médicos durante un período de 1 año. Para 132 pacientes que completaron el seguimiento formal, la precisión diagnóstica general de las interpretaciones de los ultrasonogramas produjo una sensibilidad del 95%, especificidad de 98%, VPP de 99% y VPN de 89%.	Con la capacitación adecuada, los médicos de emergencias pueden realizar estudios de diagnóstico por ultrasonido con un alto grado de precisión.
Kory PD, Pellecchia CM, Shiloh AL	2010	EUA	Precisión de la ecografía realizada por médicos de cuidados críticos para el diagnóstico de TVP	Realizan una revisión retrospectiva y multicéntrica de los exámenes realizados en una UCI por parte de médicos de cuidados críticos y pulmonares. Los pacientes sospechosos de tener TVP se sometieron utilizando un protocolo estándar de ultrasonido de compresión bidimensional para el diagnóstico de TVP. Los datos se recopilaban prospectivamente como parte de una iniciativa de mejora de la calidad. La interpretación se registró y cronometró al final	Se comparó un total de 128 pacientes. El ochenta y uno por ciento de los estudios fueron realizados por becarios con <2 años de experiencia en ecografía clínica. La prevalencia de TVP fue del 20%. Los estudios arrojaron una sensibilidad del 86% y una especificidad del 96% con una precisión diagnóstica del 95%.	El diagnóstico rápido y preciso de la TVP de la extremidad inferior proximal se puede lograr mediante intensivistas que realizan una ecografía de compresión al lado de la cama

				del examen en un formulario de informe estandarizado. Luego se ordenó y el resultado del estudio se usó como criterio estándar para calcular la sensibilidad y la especificidad.		
Constantino TG, Bruno EC, Handly N	2005	EUA	Precisión de la ecografía de medicina de emergencia en la evaluación del aneurisma aórtico abdominal.	Este estudio evalúa la precisión de los residentes de Medicina de Emergencia (EM) en la detección del tamaño y la presencia de aneurismas aórticos abdominales (AAA) usando ultrasonido EM (EUS) en comparación con la medición de radiología (RAD) por tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (MRI), angiografía o hallazgos quirúrgicos.	Se presentaron 238 eco aórticos realizados entre 1999 y 2000; 36 fueron positivos para AAA (aneurisma de aorta abdominal). El hallazgo de "AAA" tuvo una sensibilidad de 0.94 (0.86-1.0 95% intervalo de confianza [IC]) y especificidad de 1 (0.98-1.0 95% IC). El diámetro aórtico medio entre los pacientes con AAA identificados por eco fue de 5.43 +/- 1.95 cm y por RAD fue de 5.35 +/- 1.83 cm. La diferencia absoluta media entre los diámetros EUS y RAD fue de 4,4 mm (IC del 95%: 3,7-5,5 mm). La regresión de EUS en los diámetros RAD está fuertemente correlacionada, con $R^2 = 0.92$.	Los residentes de medicina de emergencia con capacitación adecuada pueden determinar con precisión la presencia de AAA. Similar a estudios previos de ultrasonido en manos de técnicos de sonografía y radiólogos, EUS midió con precisión el diámetro aórtico en pacientes con AAA
Dent B, Kendall RJ, Boyle AA, Atkinson PR	2007	Reino Unido	Ultrasonido de emergencia de la aorta abdominal por médicos de emergencias del Reino Unido: un estudio de cohorte prospectivo.	Se realizó un estudio de cohorte prospectivo en el departamento de emergencias de un hospital universitario de tercer nivel del Reino Unido. Se incluyeron todos los pacientes que se sometieron a una ecografía aórtica abdominal por un médico de urgencias durante un período de 12 meses, de enero a diciembre de 2005. Los resultados principales fueron la presencia de AAA (aneurisma de aorta abdominal) (diámetro	120 exámenes de ultrasonido focalizados en busca de AAA fueron realizados por 19 médicos de emergencias diferentes del Reino Unido de diversos grados. De los 120 exámenes, 26 (22%) fueron positivos para un AAA, de los cuales 17 casos representaron un nuevo diagnóstico. Los aneurismas rotos representaron el 46% (12/26) de todos los escáneres positivos, de los cuales cuatro pacientes fueron sometidos a reparación de emergencia. En los 14 pacientes restantes, el AAA fue	La ecografía de emergencia realizada por médicos de emergencias del Reino Unido tiene una alta sensibilidad y especificidad para identificar AAA, de acuerdo con la experiencia internacional.

				de la pared externa > 3 cm) o la muerte por AAA roto. Los datos de resultado se obtuvieron de los registros de pacientes en papel y electrónicos y el seguimiento telefónico de atención primaria.	un hallazgo incidental que no fue el motivo de su presentación en el departamento de emergencias. La ecografía de emergencia tuvo una sensibilidad del 96,3% (intervalo de confianza (IC) del 95%: 81,0% a 99,9%); una especificidad del 100% (IC del 95%: 91.8% a 100%); un valor predictivo negativo del 98,6% (IC del 95%: 88,0% a 99,9%); y un valor predictivo positivo del 100% (IC del 95%: 86,8% a 100%) para la detección de AAA.	
Jeffrey A. Marbach, Aws Almufleh	2019	EUA	Exactitud comparativa de la ecografía cardíaca focalizada y el examen clínico para la disfunción ventricular izquierda y la enfermedad cardíaca valvular : una revisión sistemática y un metanálisis	<p>Fuentes de datos: Búsquedas en inglés de MEDLINE, Embase y Web of Science del 1 de enero de 1990 al 23 de mayo de 2019 y revisión de citas de referencia.</p> <p>Selección de estudio: Se realizaron estudios elegibles en pacientes sometidos a evaluación cardiovascular; comparó la evaluación clínica asistida por FoCUS versus la evaluación clínica sola para el diagnóstico de disfunción sistólica del ventrículo izquierdo, enfermedad valvular aórtica o mitral o derrame pericárdico; y usó la ecocardiografía transtorácica como estándar de referencia.</p> <p>Extracción de datos: Tres investigadores del estudio extrajeron los datos de forma</p>	Se incluyeron nueve estudios en el metanálisis. La sensibilidad de la evaluación clínica para diagnosticar la disfunción ventricular izquierda (fracción de eyección ventricular izquierda <50%) fue del 43% (IC del 95%, 33% a 54%), mientras que la del examen asistido por FoCUS fue del 84% (IC, 74% a 91%). La especificidad de la evaluación clínica fue del 81% (IC, del 65% al 90%), y la del examen asistido por FoCUS fue del 89% (IC, del 85% al 91%). Las sensibilidades de la evaluación clínica y el examen asistido por FoCUS para diagnosticar la enfermedad valvular aórtica o mitral (de gravedad al menos moderada) fueron 46% (IC, 35% a 58%) y 71% (IC, 63% a 79%), respectivamente. Tanto la evaluación clínica como el examen asistido por FoCUS	El examen clínico asistido por FoCUS tiene mayor sensibilidad, pero no mayor especificidad, que la evaluación clínica sola para identificar la disfunción ventricular izquierda y la enfermedad de la válvula aórtica o mitral; El examen asistido por FoCUS puede ayudar a descartar patología cardiovascular en algunos pacientes, pero puede no ser suficiente para la confirmación definitiva de la enfermedad cardiovascular sospechada en el examen físico.

				independiente y evaluaron la calidad del estudio.	tuvieron una especificidad del 94% (IC, 91% a 96%).	
Shokoohi H, Boniface KS, Pourmand A	2015	EUA	La ecografía de cabecera reduce la incertidumbre diagnóstica y guía la reanimación en pacientes con hipotensión indiferenciada.	Estudio observacional prospectivo. Servicio de urgencias en un solo hospital de atención terciaria académica. Un médico capacitado en ecografía realizó una ecografía en cada paciente utilizando un protocolo de hipotensión estandarizado. Se solicitó el diagnóstico diferencial y el plan de manejo al médico tratante inmediatamente antes y después de la ecografía.	Los puntos finales primarios fueron la identificación de una causa precisa de hipotensión y cambio en la incertidumbre diagnóstica de los médicos. Los puntos finales secundarios fueron cambios en el plan de tratamiento, uso de recursos y cambios en la disposición después de realizar la ecografía. Ciento dieciocho pacientes con una edad media de 62 años se inscribieron. Hubo una disminución significativa del 27.7% en la complejidad agregada media de la incertidumbre diagnóstica antes y después del protocolo de hipotensión por ultrasonido (1.85-1.34; -0.51 [IC 95%, -0.41 a -0.62]), así como un aumento significativo en el absoluto proporción de pacientes con diagnóstico definitivo del 0,8% al 12,7%. En general, el diagnóstico principal después del protocolo de hipotensión por ultrasonido demostró una excelente concordancia con el diagnóstico final (Cohen k = 0,80). Veintinueve pacientes (24.6%) tuvieron un cambio significativo en el uso de fluidos IV, agentes vasoactivos o productos sanguíneos. También hubo cambios significativos en las principales imágenes de diagnóstico (30.5%), consulta (13.6%) y disposición del	El manejo clínico que implica el uso temprano de la ecografía en pacientes con hipotensión guía con precisión el diagnóstico, reduce significativamente la incertidumbre diagnóstica de los médicos y cambia sustancialmente el manejo y la utilización de recursos en el departamento de emergencias.

					departamento de emergencias (11.9%).	
Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R	2014	Canada	Ecografía en el punto de atención para el diagnóstico de edema pulmonar cardiogénico agudo en pacientes con disnea aguda: una revisión sistemática y un metanálisis.	Se creó un protocolo de revisión sistemática que se adhiere a las directrices del Manual Cochrane para guiar la búsqueda y el análisis, y se realizaron búsquedas en las siguientes bases de datos: PubMed, EMBASE, Ovid MEDLINE, Ovid MEDLINE en proceso y otras citas no indexadas, y la base de datos Cochrane de sistemática Comentarios Se realizaron búsquedas manuales en las referencias de los artículos revisados y se realizaron búsquedas electrónicas de resúmenes de conferencias de las principales conferencias de medicina de emergencia, cardiología y cuidados críticos. Los autores incluyeron estudios prospectivos de cohorte y prospectivo de casos y controles que reclutaron pacientes que se presentaron en el hospital con disnea aguda sintomática, o donde había una sospecha clínica de insuficiencia cardíaca congestiva, e informaron la sensibilidad y especificidad de las líneas B	Se identificaron siete artículos (n = 1.075) que cumplían los criterios de inclusión (dos estudios completados en el servicio de urgencias, dos en la unidad de cuidados intensivos [UCI], dos en salas de hospitalización y uno en el entorno prehospitalario). Los siete estudios fueron calificados como promedio a excelente calidad metodológica. La sensibilidad de los EE. UU. Que utilizan líneas B para el diagnóstico de ACPE es del 94,1% (intervalo de confianza [IC] del 95% = 81,3% al 98,3%) y la especificidad es del 92,4% (IC del 95% = 84,2% al 96,4%). Los análisis de subgrupos planificados previamente no revelaron cambios estadísticamente significativos en las estimaciones generales resumidas, ni excluyeron tres posibles estudios atípicos.	Este estudio sugiere que en pacientes con una ecografía que muestre líneas B se puede utilizar para fortalecer el diagnóstico de ACPE (edema pulmonar cardiogenico) realizado por un médico de emergencia. En pacientes con una baja probabilidad previa de ACPE, un estudio negativo casi puede excluir la posibilidad de ACPE.
Via G, Hussain A, Wells M.	2014	EUA	Recomendaciones internacionales basadas en evidencia para	La Red Mundial Interactiva Centrada en Critical UltraSound realizó un proceso de consenso internacional, multiespecializado, basado en	Durante cuatro conferencias (en Nueva Delhi, Milán, Boston y Barcelona), se elaboraron y discutieron 108 declaraciones. Los debates cara a cara se llevaron a	Este documento presenta los resultados de la primera Conferencia Internacional sobre FoCUS. Por primera vez,

			ecografía cardíaca focalizada.	evidencia y metodológicamente riguroso sobre FoCUS. Participaron treinta y tres expertos de 16 países. Se realizó una búsqueda sistemática en múltiples bases de datos, búsqueda doble en la literatura (enero de 1980 a septiembre de 2013). El método de calificación de recomendación, evaluación, desarrollo y evaluación se utilizó para determinar la calidad de la evidencia disponible y el desarrollo posterior de las recomendaciones. El criterio y el consenso del panel basado en la evidencia se recolectó y analizó mediante el método de adecuación RAND	cabo en dos rondas usando la técnica Delphi modificada. El desacuerdo ocurrió para 10 declaraciones. Se hicieron recomendaciones débiles o condicionales para dos declaraciones y recomendaciones fuertes o muy fuertes para 96. Estas recomendaciones delinean la naturaleza, las aplicaciones, la técnica, los beneficios potenciales, la integración clínica, la educación y los principios de certificación para FoCUS, tanto para adultos como para pacientes pediátricos.	las recomendaciones clínicas basadas en evidencia abordan integralmente esta rama del ultrasonido en el punto de atención, proporcionando un marco para que FoCUS estandarice su aplicación en diferentes entornos clínicos en todo el mundo.
Randazzo MR, Snoey ER, Levitt MA, Binder K	2003	EUA	Precisión de la evaluación del médico de emergencia de la fracción de eyección del ventrículo izquierdo y la presión venosa central mediante ecocardiografía.	Los autores realizaron un estudio observacional transversal en un servicio de urgencias de enseñanza urbana, que incluyó una muestra de conveniencia de pacientes que acudieron al servicio de urgencias entre septiembre de 2000 y febrero de 2001. Ecografistas que se habían sometido a una sesión de entrenamiento de tres horas en ecocardiografía limitada, centrándose en la medición de FEVI y CVP (presión venosa central), realizó ecocardiogramas. Los signos vitales y la indicación de ecocardiografía se	Un total de 115 pacientes fueron evaluados para FEVI, y 94 pacientes tenían información completa para CVP. Las indicaciones para la ecocardiografía incluyeron dolor torácico (45,1%), insuficiencia cardíaca congestiva (38,1%), disnea (5,7%) y endocarditis (10,6%). Los resultados mostraron una correlación de FEVI de $r(2) = 0.712$ con un acuerdo general de 86.1%. El análisis de subgrupos reveló la mayor concordancia (92.3%) entre EP y ecocardiogramas formales dentro de la categoría de FEVI normal, seguido por una concordancia de 70.4% en la categoría de FEVI	Los ecografistas con experiencia con una pequeña cantidad de entrenamiento adicional enfocado en ecocardiografía de cabecera pueden evaluar la FEVI con precisión en el servicio de urgencias.

				<p>documentaron en una hoja de datos del estudio. La FEVI se calificó como pobre (<30%), moderada (30% -55%) o normal (> 55%) y un porcentaje absoluto. Las categorías de presión venosa central incluyeron baja (<5 cm), moderada (5-10 cm) y alta (> 10 cm). Se obtuvieron ecocardiogramas formales dentro de una ventana de cuatro horas en todos los pacientes e interpretados por un cardiólogo del personal.</p>	<p>pobre y 47.8% en la categoría de FEVI moderada. Las mediciones de la presión venosa central resultaron en un 70.2% de concordancia general entre EP y ecocardiogramas formales. El análisis de subgrupos reveló el mayor acuerdo (83.3%) dentro de la categoría de CVP alto, seguido por 66.6% en las categorías moderadas y 20% en las categorías bajas.</p>	
--	--	--	--	--	--	--

Evaluacion de la calidad de los estudios incluidos

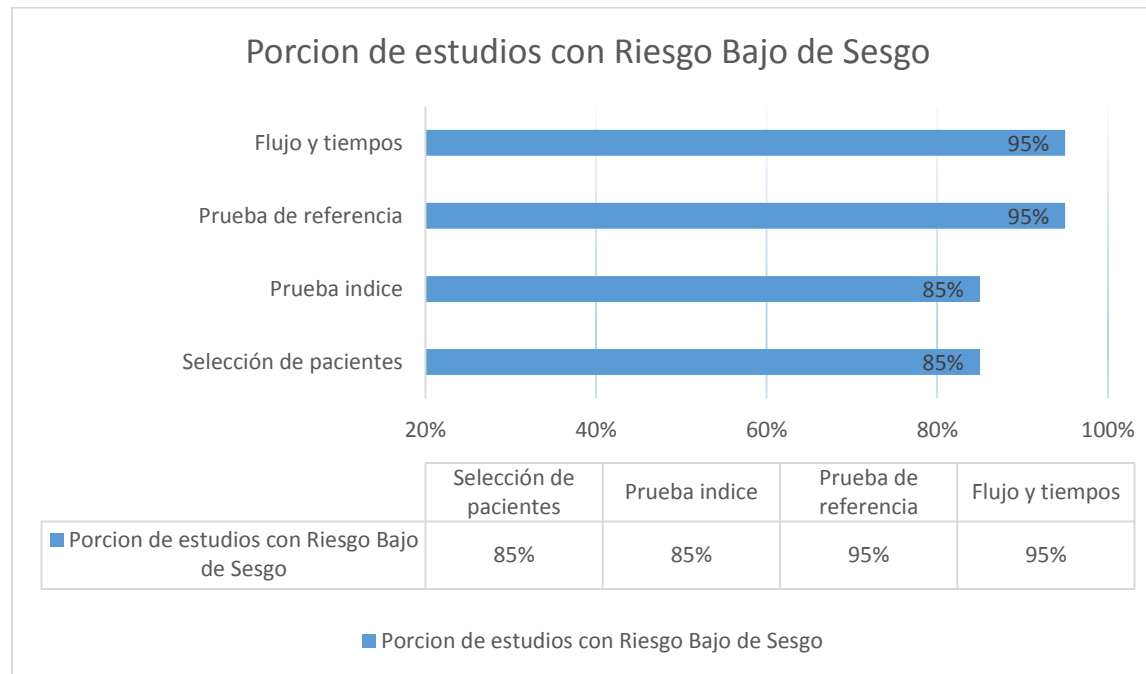
“Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies” (QUADAS 2)

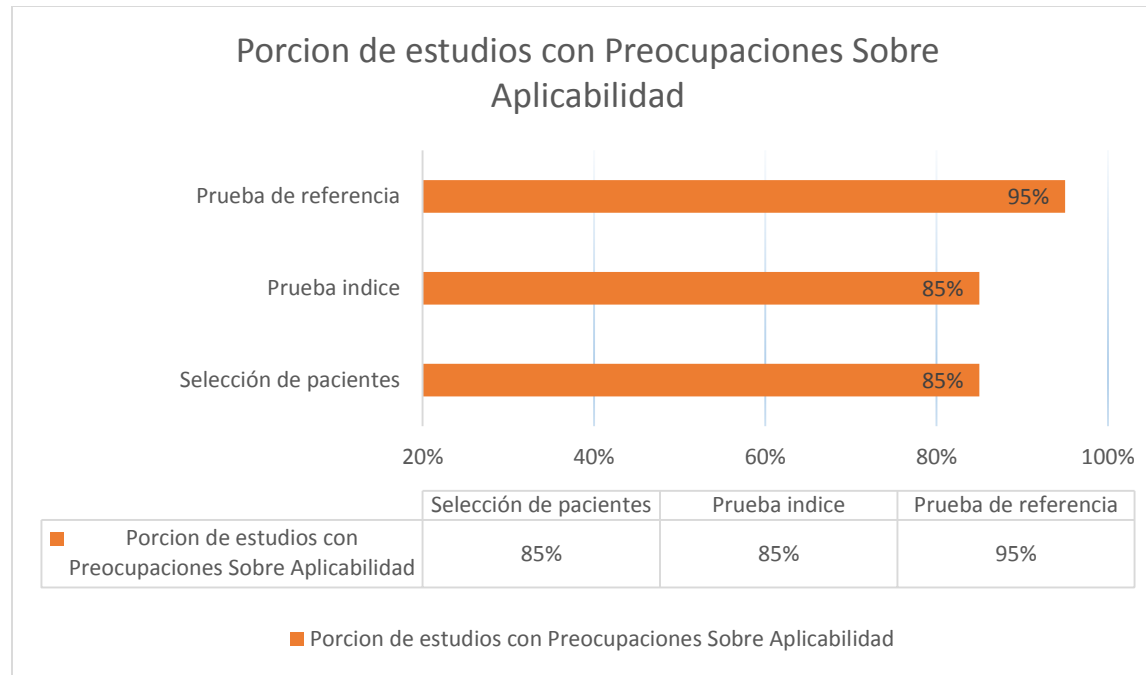
Estudio	Año	Probabilidad de sesgos				Preocupacion sobre la aplicabilidad de los resultados		
		Selección de los individuos	Prueba indice	Prueba de referencia	Flujos y tiempos	Selección de los pacientes	Prueba indice	Prueba de referencia
Mercado P, Maizel J.	2017	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Jose de Jesus Rincon Salas, Mijail Raullovich Abrahamo	2012	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Jose luis Laso Bayas, Gabriel Garcia Montalvo	2014	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊
Eusebio Garcia, Carlos Arellano	2017	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Lucia Florio, Gustavo Vignolo.	2012	?	😊	😊	😊	😊	😊	😊

Bouchra Lamia, Ana Ochagavia, Xavier Monnet.	2007							
Bouchra Lamia, Ana Ochagavia, Xavier Monnet.	2007	?						
Yin W, Li Y, Zeng X, Qin Y, Wang D	2017							
Oks M, Cleven Kl, Cardenas Garcia	2014							
Mathis G, W en Blanco, reissig A.	2005							
Lichtenstein DA, Meziere GA, Lagoueyte JF	2009							
Dan Schlager, Gerry Lazzareschi, David Whitten	1994		?					
Kory PD, Pellecchia CM, Shiloh AL	2010							

Constantino TG, Bruno EC, Handly N	2005							
Dent B, Kendall RJ, Boyle AA, Atkinson PR	2007							
Jeffrey A. Marbach, Aws Almufleh	2019							
Shokoohi H, Boniface KS, Pourmand A	2015							
Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R	2014							
Via G, Hussain A, Wells M.	2014							
Randazzo MR, Snoey ER, Levitt MA, Binder K	2003							

	Probabilidad baja		Probabilidad alta		Probabilidad incierta
---	-------------------	---	-------------------	---	-----------------------





- Luego de evaluar los estudios, valoramos que no genera preocupaciones sobre su riesgo de sesgos, o sobre la aplicabilidad de sus resultados, no genera preocupaciones respecto de ambos dominios.

Analisis de los Datos

principales estudios ecocardiograficos	¿Cuáles son los beneficios en la práctica actual?	¿Cuáles son las limitaciones y costos?	¿Cuáles son los efectos en la práctica actual?	¿Cuál es la confiabilidad?	¿Cuáles son las tendencias recientes?
Estimacion del gasto cardiaco e indice cardiaco	<ul style="list-style-type: none"> Los equipos pueden ser ubicados al lado de la cama del paciente Procedimiento no invasivo En los estudios que se realizaron no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de los promedios en las mediciones hemodinámicas entre Swan-Ganz (CAP) y Ecocardiografía transtorácica (ETT). 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidad del equipo Explorador dependiente (subsana mediante una formacion primero general y despues dirigida. Costo beneficio muy dificil de superar por cualquier otra tecnologia sanitaria. 	Los autores concluyeron que es una tecnica no invasiva precisa para evaluar y monitorizar; No existen diferencias significativas entre CAP y ETT	<ul style="list-style-type: none"> $P < 0.0001$ $R = 0.92$ Sensibilidad 80-86% Especificidad 92-97% 	<ul style="list-style-type: none"> En Europa y EUA es utilizado desde hace mas de 5 años en los pacientes de UCI Los ultimos consensos hablan sobre la obligacion del especialista en UCI , de formarse en ecografia critica.
Estimacion de las presiones de llenado del VI					
Calculo de la resistencia vascular sistematica					
Prediccion de la respuesta cardiovascular al volumen			Los estudios demuestran que la respuesta del VTI aortico es un buen predictor a la respuesta a volumen, y la respuesta cardiovascular a inotropicos asociando la contractilidad en 2D		
Respuesta cardiovascular a inotropicos (dobutamina)					
Variables ultrasonicas al ingreso y la mortalidad en UCI			Predice el pronostico de los pacientes y la toma de decisiones clinicas.		

Diagnostico de embolia pulmonar			La eco pulmonar en ausencia de angiografia pulmonar de TC, es una herramienta adecuada para demostrar TEP.		
Ultrasonido pulmonar para predecir la presion de oclusion de la arteria pulmonar.			El predominio de lineas A sugiere que se puede administrar liquidos , lineas B indican sindrome intersticial (edema intersticial excluye necesidades de fluidoterapia).		
Diagnostico de TVP			Diagnostico rapido y preciso de la TVP, al lado de la cama.		
Evaluacion del aneurisma aortico abdominal			Se puede determinar con precision la presencia de AAA. Alta sensibilidad y especificidad.		
Diagnostico y guia de reanimacion en pacientes con hipotension indiferenciada			el uso temprano de la ecografia en pacientes con hipotension guia con precision el diagnostico, reduce la incertidumbre diagnostica y cambia el manejo y utilizacion de los recursos.		
Evaluacion de la fraccion de eyeccion del VI y la presion venosa central			Los ecografistas con un pequeño entrenamiento enfocado en ecocardiografia pueden evaluar la FEVI con precision en el servicio de urgencias.		

Discusión

La ventaja principal de utilizar la técnica de ecocardiografía, es que se trata de un procedimiento no invasivo, se comparo con la técnica más invasiva que a su vez es el estándar de oro para las mediciones hemodinámicas.

Las mediciones se correlacionaron fuertemente al utilizar las dos técnicas (CAP y ETT), a pesar del poco número de pacientes los hallazgos son similares a los encontrados en otros estudios.

En los estudios que se realizaron no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de los promedios en las mediciones hemodinámicas entre Swan-Ganz (CAP) y Ecocardiografía transtorácica (ETT). El índice de Pearson mostró una correlación positiva entre las dos técnicas con p significativa.

Se encontraron las siguientes dificultades: pacientes que no ofrecían ventanas acústicas adecuadas para la realización del ecocardiograma y el poco número de pacientes que se lograron reclutar en el período de tiempo.

Estos hallazgos contribuyen a incentivar el uso de la ecocardiografía transtorácica a la cabecera del enfermo como método no invasivo y dinámico para realizar mediciones de hemodinamia, y especialmente para el seguimiento y evaluación de las estrategias terapéuticas.

Conclusiones

La Ecocardiografía es una de las herramientas de imagen no invasivas más usadas por el médico moderno. Es de muy rápido acceso, la relación costo efectividad es sin dudas la mejor, es transportable y entonces puede llegar a sitios donde otras tecnologías más complejas como la Tomografía Axial Computarizada (TAC) y la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) no pueden, como son: una zona de accidentes, un quirófano, dentro de una ambulancia, o en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

El paciente crítico no es transportable y además de difícil acceso porque tiene que estar rodeado de múltiples equipos indispensables como son: respiradores mecánicos, balón de contrapulsación, máquinas de hemodiálisis, monitores, máquinas de gasto cardiaco, bombas de infusión, jeringuillas perfusoras, aspiradores, sondas y recolectores, por esto tiene que ser diagnosticado dentro de la UCI y sin poder separarse de este diverso y complejo equipamiento que la garantiza la vida, esta razón hace a la Ecocardiografía de inmenso valor en el manejo del enfermo grave.

la ecocardiografía en las UCI es importante para el reconocimiento del estado de la volemia, presiones de llenado, función de bomba del corazón y alteraciones fisiológicas propias del paciente, así como para valorar la respuesta a la terapéutica con inotrópicos, vasopresores, vasodilatadores, cristaloides, coloides e instrumentaciones.

Frente a un paciente con inestabilidad hemodinámica ninguna herramienta puede dar tanta información al lado de la cama del paciente, en tan poco tiempo y por demás de manera no invasiva.

Con la práctica una exploración ecocardiográfica completa en UCI puede ser realizada en minutos y evaluar precarga, contractilidad, función sistólica global y segmentaria, disfunción diastólica, postcarga, valorar la interacción corazón-pulmón y buscar enfermedades cardiacas específicas.

Las variables hemodinámicas mediante ecocardiografía transtorácica a la cabecera del enfermo, de pacientes en estado crítico se correlacionaron fuertemente con las mediciones mediante el estándar de oro (catéter de Swan-Ganz), las diferencias entre los promedios de las dos mediciones no se mostraron diferentes estadísticamente.

Las ventajas fundamentales del uso de la ecocardiografía fue la no invasión del enfermo, la disponibilidad inmediata, el no uso de radiación y la posibilidad de realizar el estudio luego de cada intervención terapéutica para su evaluación; Las desventajas principales, la pobre ventana acústica de algunos enfermos y el operador dependiente.

Se deberían realizar estudios con mayor número de pacientes, y realizar comparaciones de una manera dinámica es decir antes y después de una intervención terapéutica.

Anexos

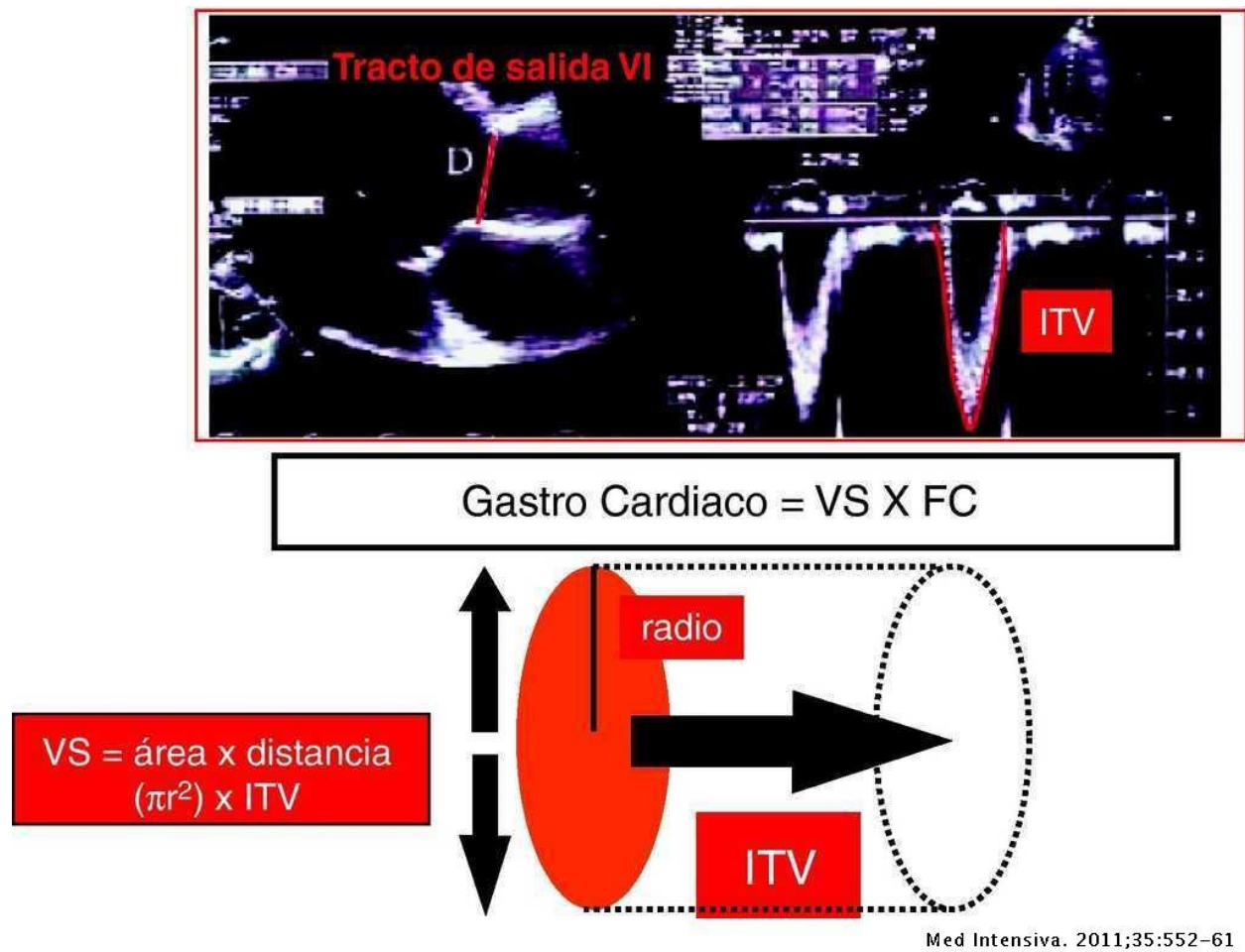


Figura X. Medición del gasto cardíaco por ecocardiografía. Fuente: Med Intensiva. 2011; 35:552-61

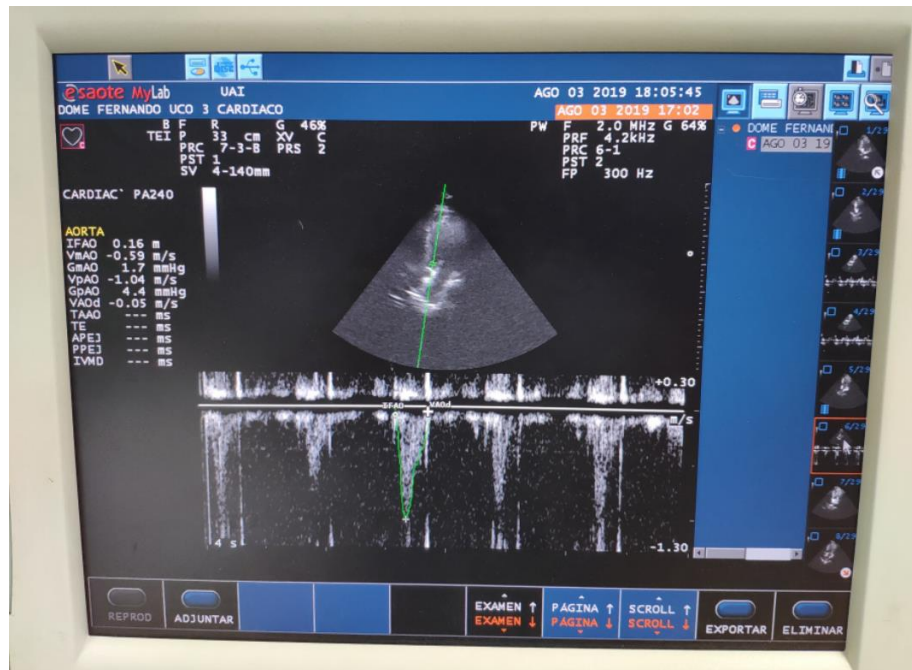


Figura XI. Monitor del ecógrafo de la UCO del Hospital de la UAI, marca Esaote Mylab 40. Fuente Propia.

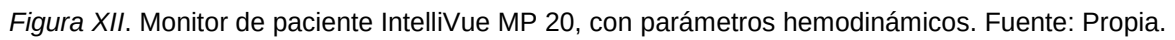




Figura XIII. Monitor del ecógrafo de la UCO del Hospital de la UAI, marca Esaote Mylab 40. Fuente Propia.

Referencias Bibliográficas

1. Vincent JL, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Della Roca G, Vallet B, et al. Clinical review: Update on hemodynamic monitoring-a consensus of 16. *Crit Care*. 2011; 15:229.
2. Mateu Campos M, Ferrándiz Sellés A, Gruartmoner de Vera G, Mesquida Febrer J, Sabatier Cloarec C, Poveda Hernández Y, et al. Técnicas disponibles de monitorización hemodinámica. Ventajas y limitaciones. *Med Intensiva*. 2012; 36:434-44
3. Ayuela Azcárate JM, Clau Terré F, Ochagavía A, Vicho Pereira R. Papel de la ecocardiografía en la monitorización hemodinámica de los pacientes críticos. *Med Intensiva*. 2012; 36:220-32.
4. Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, et al. American college of Chest Physician/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest*. 2009; 135:1050-60.
5. Ochagavía A, Baigorri F. Introducción de la serie «Puesta al día: monitorización hemodinámica en el paciente crítico». *Med Intensiva*. 2011; 35:497-8.
6. GRADE working group. Grading quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2004; 328:1490-8.
7. Howell MD, Donnino M, Clardy P, Talmor D, Shapiro NI. Occult hypoperfusion and mortality in patients with suspected infection. *Intensive Care Med*. 2007; 33:1892-9.
8. Mesquida J, Borrat X, Lorente JA, Masip J, Baigorri F. Objetivos de la reanimación hemodinámica. *Med Intensiva*. 2011; 35:499-508.
9. Varpula M, Tallgren M, Saukkonen K, Voipio-Pulkki LM. Hemodynamic variables related to outcome in septic shock. *Crit Care Med*. 2005; 31:1066-71.
10. Dubin A, Pozo MO, Casabella CA, Pálizas Jr F, Murias G, Moseinco MC, et al. Increasing arterial blood pressure with norepinephrine does not improve microcirculatory blood flow: A prospective study. *Crit Care*. 2009;13: R92.
11. Antonelli M, Levy M, Andrews PJD, Chastre J, Hudson LD, Manthous C, et al. Hemodynamic monitoring in shock and implications for management. International Consensus Conference, Paris, France, 27-28 April 2006. *Intensive Care Med*. 2007; 33:575-90.
12. X. garcia, L. Mateu, J. Maynar, A. Ochagavia, A. Ferrandiz. Estimation of cardiac output. Utility in clinical practice. Monitoring available invasive and non-invasive. Update In *Intensive Medicine*. 2011; 78:949-58.
13. Kern JW, Shoemaker WC. Meta-analysis of hemodynamic optimization in high risk surgical patients. *Crit Care Med*. 2002; 30:1686-92.
14. Reinhart K, Kuhn HJ, Hartog C, Bredle DL. Continuous central venous and pulmonary artery oxygen saturation monitoring in the critically ill. *Intensive Care Med*. 2004; 30:1572-8.
15. Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, et al. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med*. 2001; 345:1368-77.
16. Textoris J, Fouche L, Wiramus S, Antonini F, Tho S, Martin C, et al. High central venous oxygen saturation in the latter stages of septic shock is associated with increased mortality. *Crit Care*. 2011;15: R176.
17. Chatterjee K. The Swan-Ganz catheters: past, present, and future. A viewpoint. *Circulation*. 2009 Jan 6;119(1):147-52.

18. Jones AE, Shapiro NI, Trzeciak S, Arnold RC, Claremont HA, Kline JA. Lactate clearance vs central venous oxygen saturation as goals of early sepsis therapy: A randomized clinical trial. *JAMA*. 2010; 303:739-46.
19. Smith I, Kumar P, Molloy S, Rhodes A, Newman PJ, Grounds RM, et al. Base excess and lactate as prognostic indicators for patients admitted to intensive care. *Intensive Care Med*. 2001; 27:74-83.
20. Vallee F, Vallet B, Mathe O, Parraguet J, Mari A, Silva S, et al. Central venous-to-arterial carbon dioxide difference: An additional target for goal-directed therapy in septic shock. *Intensive Care Med*. 2008; 34:2218-25.
21. Perez R. (2014, enero 23). Del campo de concentracion a los anales de la medicina. <https://curaraveces.wordpress.com/2014/02/23/del-campo-de-concentracion-a-los-anales-de-la-medicina-w-ganz-y-j-swan/>.
22. Slagt C, Breuker RM, Groeneveld J. Choosing patient-tailored hemodynamic monitoring. *Crit Care*. 2010; 14:208.
23. García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A, et al. Estimación del gasto cardíaco. Utilidad en la práctica clínica. Monitorización disponible invasiva y no invasiva. *Med Intensiva*. 2011; 35:5552-61.
24. Brandi LS, Bertolini R, Pieri M, Giunta F, Calafa M. Comparison between cardiac output measured by thermodilution technique and calculated by O₂ and modified CO₂ Fick methods using a new metabolic monitor. *Intensive Care Med* 1997;23(8):908-15.
25. Carley JE, Wong BY, Pugh DM, Dunn M. Clinical significance of the V wave in the main pulmonary artery. *Am J Cardiol* 1977;39(7):982- 85.
26. Connors AF, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell Jr FE, Wagner D, et al., for the SUPPORT Investigators. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. *JAMA*. 1996; 276:889-97.
27. Goedje O, Hoeke K, Lichtwarck-Aschoff M, Faltchauser A, Lamm P, Reichart B. Continuous cardiac output by femoral arterial thermodilution calibrated pulse contour analysis: Comparison
28. Frieschke F, Heinrich A, Abel P, Felix SB. Comparison of pulmonary artery and aortic transpulmonary thermodilution for monitoring of cardiac output in patients with severe heart failure: Validation of a novel method. *Crit Care Med*. 2009; 37:119-23.
29. Linton R, Band D, Haire K. A new method of measuring cardiac output in man using lithium dilution. *Br J Anaesth*. 1993; 71:262-6.
30. Sakka SG, Kozieras J, Thuemer O, van Hout N. Measurement of cardiac output: A comparison between transpulmonary thermodilution and uncalibrated pulse contour analysis. *Br J Anaesth*. 2007; 99:337-42.
31. Hofer CK, Senn A, Weibel L, Zollinger A. Assessment of stroke volume variation for prediction of fluid responsiveness using the modified FloTrac and PiCCO plus. *Crit Care*. 2008; 12:282.
32. Mayer J, Boldt J, Mengistu AM, Röhm KD, Suttner S. Goal-directed intraoperative therapy based on autocalibrated arterial pressure reduces hospital stay in high-risk surgical patients: A randomized controlled trial. *Crit Care*. 2010;14: R18.
33. Mathews L, Singh K. Cardiac output monitoring. *Ann Cardiac Anaesth*. 2008; 11:56-68.

34. Benes J, Chytra I, Altmann P, Hluchy M, Kasal E, Svitak R, et al. Intraoperative fluid optimization using stroke volume variation in high surgical patients: Results of prospective randomized study. *Crit Care*. 2010;14: R118.
35. Monge MI, Estella A, Díaz JC, Gil A. Monitorización hemodinámica mínimamente invasiva con eco-Doppler esofágico. *Med Intensiva*. 2008; 32:33-44.
36. Squara P, Denjean D, Estagnasie P, Brusset A, Dib JC, Dubois C, et al. Noninvasive cardiac output monitoring (NICOM): A clinical validation. *Intensive Care Med*. 2007; 33:1191-4.
37. Thom O, Taylor DM, Wolf RE, Cade J, Myles P, Krum H, et al. Comparison of a supra-sternal cardiac output monitor (USCOM) with the pulmonary artery catheter. *Br J Anaesth*. 2009; 103:800-4.
38. Bendjelid K, Romand JA. Fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: A review of indices used in intensive care. *Intensive Care Med*. 2003; 29:352-60.
39. Michard F, Teboul JL. Predicting fluid responsiveness in ICU patients: A critical analysis of the evidence. *Chest*. 2002; 121:2000-8.
40. Sabatier C, Monge I, Maynar J, Ochagavía A. Valoración de la precarga y la respuesta cardiovascular al aporte de volumen. *Med Intensiva*. 2012; 36:45-55.
41. Levy MM, Macias WL, Russell JA, Williams MD, Trzaskoma BL, Silva E, et al. Failure to improve during the first day of therapy is predictive of 28-day mortality in severe sepsis. *Chest*. 2004;124 Suppl:120S.
42. Murphy CV, Schramm GE, Doherty JA, Reichley RM, Gajic O, Afessa B, et al. The importance of fluid management in acute lung injury secondary to septic shock. *Chest*. 2009; 136:102-9.
43. Kastrup M, Markewitz A, Spies C, Carl M, Erb J, Grosse J, et al. Current practice of hemodynamic monitoring and vasopressor and inotropic therapy in post-operative cardiac surgery patients in Germany: Results from a postal survey. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2007; 51:347-58.
44. Dellinger RP, Levy M, Rhodes A, Annane D, Gerlach H, Opal SM, et al. Surviving Sepsis Campaign: International guidelines from management of severe sepsis and septic shock: 2012. *Crit Care Med*. 2013; 41:580-637.
45. Glenn P. Gravlee, Richard F. Davis, Joe R. Utley. *Cardiopulmonary Bypass Principles and Practice*. Williams & Wilkins 1993.
46. Marik PE, Baram M, Vahid B. Does central venous pressure predict fluid responsiveness? A systematic review of the literature and the tale of seven mares. *Chest*. 2008; 134:172-8.
47. Teboul JL, et le groupe d'experts de la SRLF. Recommandations d'experts de la SRLF «Indicateurs du remplissage vasculaire au cours de l'insuffisance circulatoire». *Réanimation*. 2004; 13:255-63.
48. Michard F, Teboul JL. Using heart-lung interactions to assess fluid responsiveness during mechanical ventilation. *Crit Care*. 2000; 4:282---9.
49. Michard F, Boussat S, Chemla D, Anguel N, Mercat A, Lecarpentier Y, et al. Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients with acute circulatory failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000; 162:134---8.
50. Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, Hirani A. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: A systematic review of the literature. *Crit Care Med*. 2009; 37:2642---7.
51. Berkenstadt H, Margalit N, Hadani M, Friedman Z, Segal E, Villa Y, et al. Stroke volume variation as a predictor of fluid responsiveness in patients undergoing brain surgery. *Anesth Analg*. 2001; 92:984-9.

52. Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, et al. Esophageal Doppler monitoring predicts fluid responsiveness in critically ill ventilated patients. *Intensive Care Med.* 2005; 31:1195-201.
53. Feissel M, Michard F, Mangin I, Ruyer O, Faller JP, Teboul JL. Respiratory changes in aortic blood velocity as an indicator of fluid responsiveness in ventilated patients with septic shock. *Chest.* 2001; 119:867-73.
54. Natalini G, Rosano A, Taranto M, Faggian B, Vittorielli E, Bernardini A. Arterial versus plethysmographic dynamic indices to test responsiveness for testing fluid administration in hypotensive patients: A clinical trial. *Anesth Analg.* 2006; 103:1478-84.
55. Loupec Th, Nanadoumgar H, Frasca D. Pleth variability index predicts fluid responsiveness in critically ill patients. *Crit Care Med.* 2011; 39:294-9.
56. Feissel M, Richard F, Faller JP, Teboul JL. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med.* 2004; 30:1834-7.
57. Vieillard-Baron A, Chergui K, Rabiller A. Superior vena cava collapsibility as a gauge of volume status in ventilated septic patients. *Intensive Care Med.* 2004; 30:1734-9.
58. De Backer D, Heenen S, Piagnerelli M, Koch M, Vincent JL. Pulse pressure variations to predict fluid responsiveness: Influence of tidal volume. *Intensive Care Med.* 2005;31: 517-23.
59. Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, et al. Passive leg raising predicts fluid responsiveness in the critically ill. *Crit Care Med.* 2006; 2006:5.
60. Cavallaro F, Sandroni C, Marano C, La Torre G, Mannocci A, De Waure C, et al. Diagnostic accuracy of passive leg raising for prediction of fluid responsiveness in adults: Systematic review and meta-analysis of clinical studies. *Intensive Care Med.* 2010; 36:1475-83.
61. Vincent JL, Weil MH. Fluid challenge revisited. *Crit Care Med.* 2006; 34:1333-7.
62. Poelaert J. Haemodynamic monitoring. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2001; 14:27-32.
63. Pinsky MR. Functional Hemodynamic monitoring: Applied physiology at the bedside. En: Vincent JL, editor. *Yearbook of intensive care med.* Berlin: Springer-Verlag; 2002. p. 537-51.
64. Ochagavía A, Zapata L, Carrillo A, Rodríguez A, Guerrero M, Ayuela JM. Evaluación de la contractilidad y la poscarga en la unidad de cuidados intensivos. *Med Intensiva.* 2012; 36:365-74.
65. Grossman W, Braunwald E, Mann T, McLaurin LP, Green LH. Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relations. *Circulation.* 1977;56: 845-52.
66. Chen CH, Fetis B, Nevo E, Rochitte CE, Chiou KR, Ding PA, et al. Noninvasive single-beat determination of left ventricular end-systolic elastance in humans. *J Am Coll Cardiol.* 2001; 38:2028-34.
67. Crexells C, Chatterjee K, Forrester JS, Dikshit K, Swan HJ. Optimal level of filling pressure in the left side of the heart in acute myocardial infarction. *N Engl J Med.* 1973; 289:1263-6.
68. La Vecchia L, Varotto L, Spadaro GL, Zanolla L, Fontanelli A. Left ventricular stroke work reserve as prognostic marker in severe heart failure. *Minerva Cardioangiol.* 2006; 54:249-55.
69. Cotter G, Williams SG, Vered Z, Tan LB. Role of cardiac power in heart failure. *Curr Opin Cardiol.* 2003; 18:215-22.
70. Bertomeu T. (2016, septiembre 20) Ecocardiografía: de los orígenes a la actualidad. *Ecografía Cardíaca.com*. <http://www.ecografiacardiaca.com/ecocardiografia-los-origenes-la-actualidad/>

71. Fincke R, Hochman JS, Lowe AM, Menon V, Slater JN, Webb JG, et al. Cardiac power is the strongest hemodynamic correlate of mortality in cardiogenic shock: A report from the shock trial registry. *J Am Coll Cardiol*. 2004; 44:340-8.
72. O’Gara PT, Kushner FG, Ascheim DD, Casey Jr DE, Chung MK, de Lemos JA, et al. 2013 ACCF/AHA guidelines for the management of ST-elevation myocardial infarction. *Circulation*. 2013;127: e362-425.
73. McMurray J, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K, et al., ESC Committee for Practice Guidelines. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J*. 2012; 33:1787-847.
74. Slama M, Maizel J. Echocardiographic measurement of ventricular function. *Curr Opin Crit Care*. 2006; 12:241-8.
75. Monge García MI, Gil Cano A, Gracia Romero M. Dynamic arterial elastance to predict arterial pressure response to volume loading in preload-dependent patients. *Crit Care*. 2011;15: R15, doi:10.1186/cc9420.
76. Pinsky MR. Protocolized cardiovascular management based on ventricular-arterial coupling. En: Pinsky MR, Payen D, editores. *Functional hemodynamic monitoring*. Berlin: Springer-Verlag; 2005. p. 381-95.
77. Schmidt GA, Koenig S, Mayo PH. Ultrasound to guide diagnosis and therapy. *Chest*. 2012; 142:1042-8.
78. Richard Ch, Monnet X, Teboul JL. Pulmonary artery catheter monitoring in 2011. *Curr Opin Crit Care*. 2011; 17:296---302.
79. Beaulieu Y. Bedside echocardiography in the assessment of the critically ill. *Crit Care Med*. 2007;35 Suppl: S235-49.
80. Expert Round Table on Ultrasounds in ICU. International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med*. 2011; 37:1077-83.
81. Gil Cano A, Monge García IM, Baigorri González F. Evidencia de la utilidad de la monitorización hemodinámica en el paciente crítico. *Med intensiva*. 2012; 36:650-5.