



Doppler hepático

Principios y técnicas de estudio

F. Jaldo-Reyes ¹, Victoria Garriga Farriol ²,
Laia Valls Masot³, Ramón Barquet Mur ⁴, Blanca
Domenech-Ximenes⁵

¹Hospital Universitari Dr. Josep Trueta, Girona.

²Hospital Universitari Dr. Josep Trueta, Girona.

³Hospital Universitari Dr. Josep Trueta, Girona.

⁴Hospital Universitari Dr. Josep Trueta, Girona.

⁵Hospital Universitari Dr. Josep Trueta, Girona.



Objetivos docentes

- Revisar las bases de la ecografía Doppler, en especial de la técnica Doppler espectral, definiendo los distintos elementos que conforman la onda Doppler.
- Repasar los patrones de onda Doppler fisiológicos de la arteria hepática, vena porta y venas hepáticas.
- Repasar los patrones de onda característicos de los tres vasos hepáticos principales en las distintas patologías hepáticas más frecuentes.



Bases de ecografía Doppler

Introducción

- La ecografía se basa en la emisión de descargas o pulsos de energía que son transmitidos a través de los tejidos en forma de ondas de presión acústica.
- Cada tejido presenta una menor o mayor resistencia al paso de la onda de sonido, es decir, una impedancia acústica distinta. Cuando el haz de ultrasonidos se propaga por una interfase de tejidos con diferente impedancia acústica, una parte de la onda de presión es reflejada y otra parte sigue su curso. Los ecos reflejados son captados por el transductor en la superficie del cuerpo y transformados en energía eléctrica para la formación de la imagen ecográfica.
- El tiempo que tarda en retornar la onda reflejada proporciona información de la profundidad. Por otro lado, cuanto mayor sea la diferencia de impedancia entre tejidos de una interfase mayor será la amplitud de la onda que se reflejará. Estas variaciones de amplitud son representadas en la imagen ecográfica en modo B (brillo), conformando las diferentes tonalidades de grises



Bases ecografía Doppler

Introducción

- Existe información adicional basada en los cambios de frecuencia que sufre la onda de ultrasonido al incidir sobre un objeto en movimiento (hematíes) o efecto Doppler:
 - Si una onda de sonido incide sobre un objeto inmóvil, el ultrasonido reflejado tendrá prácticamente la misma frecuencia que el sonido transmitido. Sin embargo, cuando la interfase que refleja el sonido se encuentra en movimiento, se produce un cambio de frecuencia del sonido reflexionado por el objeto móvil. Este cambio de frecuencia se explica por la contracción o expansión que experimenta la onda sonora según se acerca o aleja el objeto en movimiento, aumentando su frecuencia al acercarse al observador y reduciéndose cuando se aleja. El cambio de frecuencia es directamente proporcional a la velocidad con la que el objeto se mueve respecto al transductor.
 - A modo de ejemplo, cuando estamos parados en un cruce y a lo lejos de la calle oímos la sirena de una ambulancia, a medida que se acerca hacia nuestra posición sentiremos como el sonido va cambiando de tonalidad y de la misma manera cuando se aleja por el otro extremo de la calle. De forma análoga podemos imaginarnos a nosotros mismos como el transductor situado en la superficie del cuerpo, recibiendo información de ecos de sonido provenientes de los hematíes (principales encargados de la señal Doppler). A medida que se acercan aumentarán su frecuencia haciéndose más agudos. Cuando se alejen del transductor se volverán más graves por un descenso de su frecuencia (**Figura 1**).

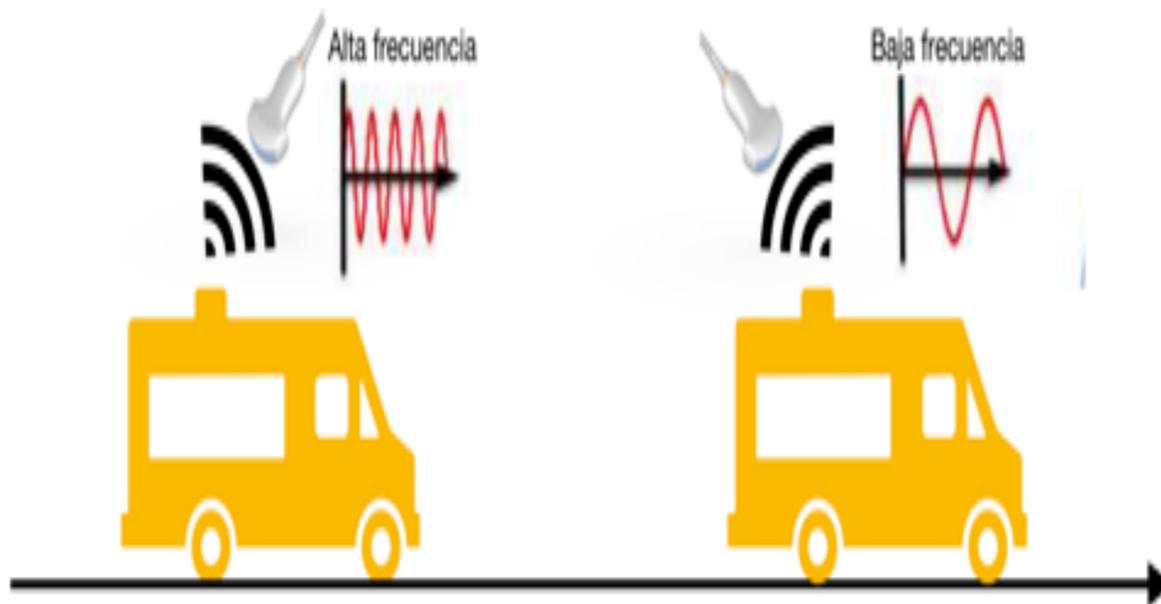


Figura 1: Efecto Doppler: La onda de ultrasonidos cambia su frecuencia al incidir sobre un objeto en movimiento, los hematíes. Cuando se acerca al transductor aumenta su frecuencia; cuando se aleja disminuye.



Bases de ecografía Doppler

Introducción

La imagen resultante del efecto Doppler es la que define la ecografía Doppler. Existen dos formas principales de generar la ecografía Doppler dependiendo de si el transductor transmite la onda de sonido de forma continua o pulsada, siendo la primera forma menos utilizada debido a su compleja interpretación.

En la ecografía Doppler pulsada, un pulso de sonido no es emitido hasta que no se recibe el anterior permitiendo establecer la profundidad a la que se produce el efecto Doppler. De este modo, a partir de una imagen en modo B, se puede elegir una región de interés o “caja”, generando una imagen superpuesta a la imagen convencional que muestra de forma cualitativa el flujo de la sangre, es decir, la imagen Doppler color (**Figura 2**).

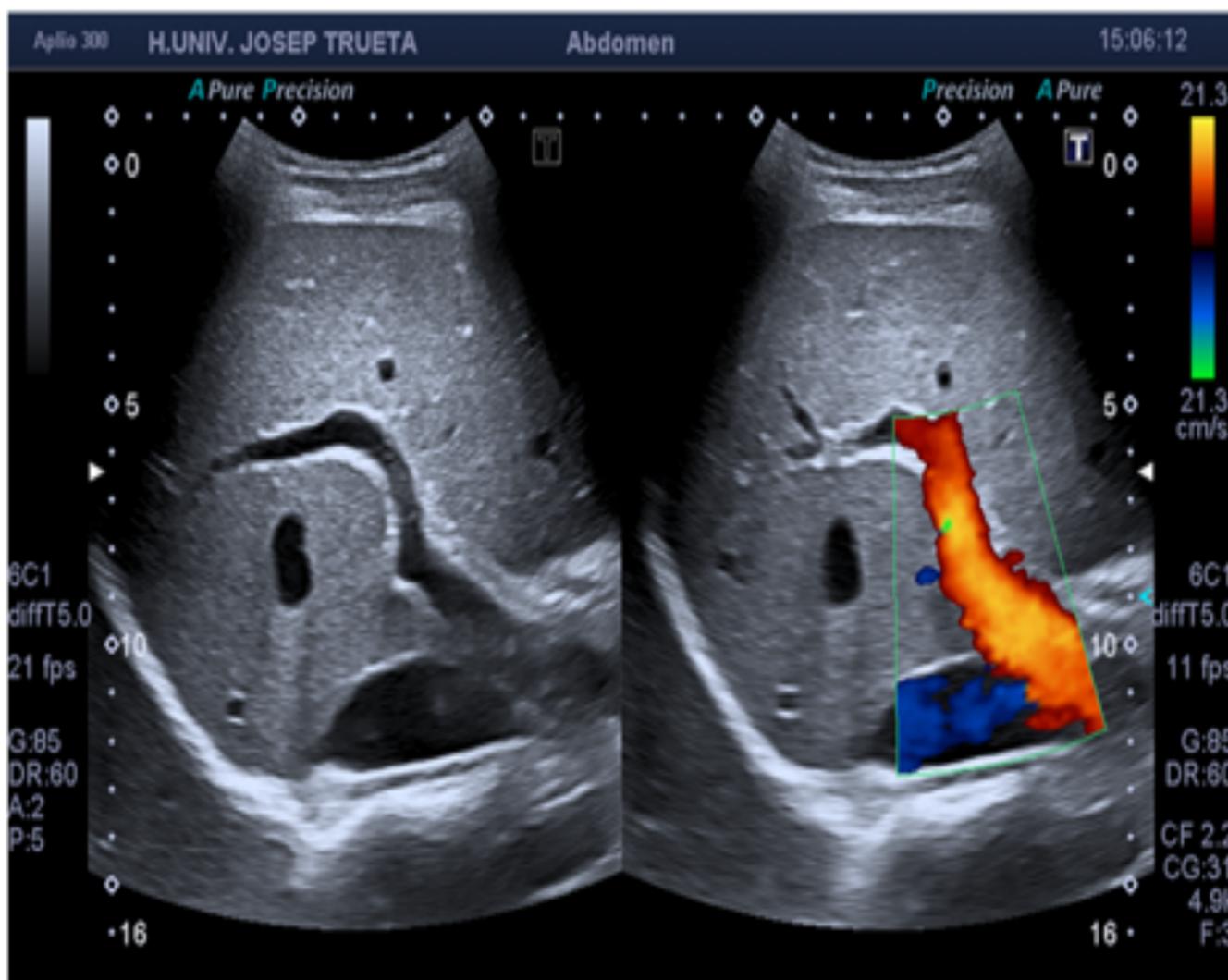


Figura 2: Imagen ecográfica en modo B a partir de una ventana intercostal en plano longitudinal, visualizando la vena porta y rama portal derecha. Posteriormente se sitúa la vena cava inferior (VCI). Al lado, imagen Doppler color superpuesta mostrando el flujo hepatopetal portal y el flujo hepatofugal de la VCI.



Doppler espectral

- A partir de la imagen cualitativa aportada por el Doppler color, se puede obtener información cuantitativa y hemodinámica, mediante el Doppler espectral. Esta modalidad de Doppler se realiza superponiendo a la imagen Doppler color otra región de interés en el lumen del vaso a estudiar, produciendo así la onda Doppler espectral.
- Debido a que esta técnica integra las imágenes de Doppler color y espectral, también se conoce como ecografía dúplex (tríplex cuando integra también la información aportada por la imagen en Modo B). **(Figura 3)**

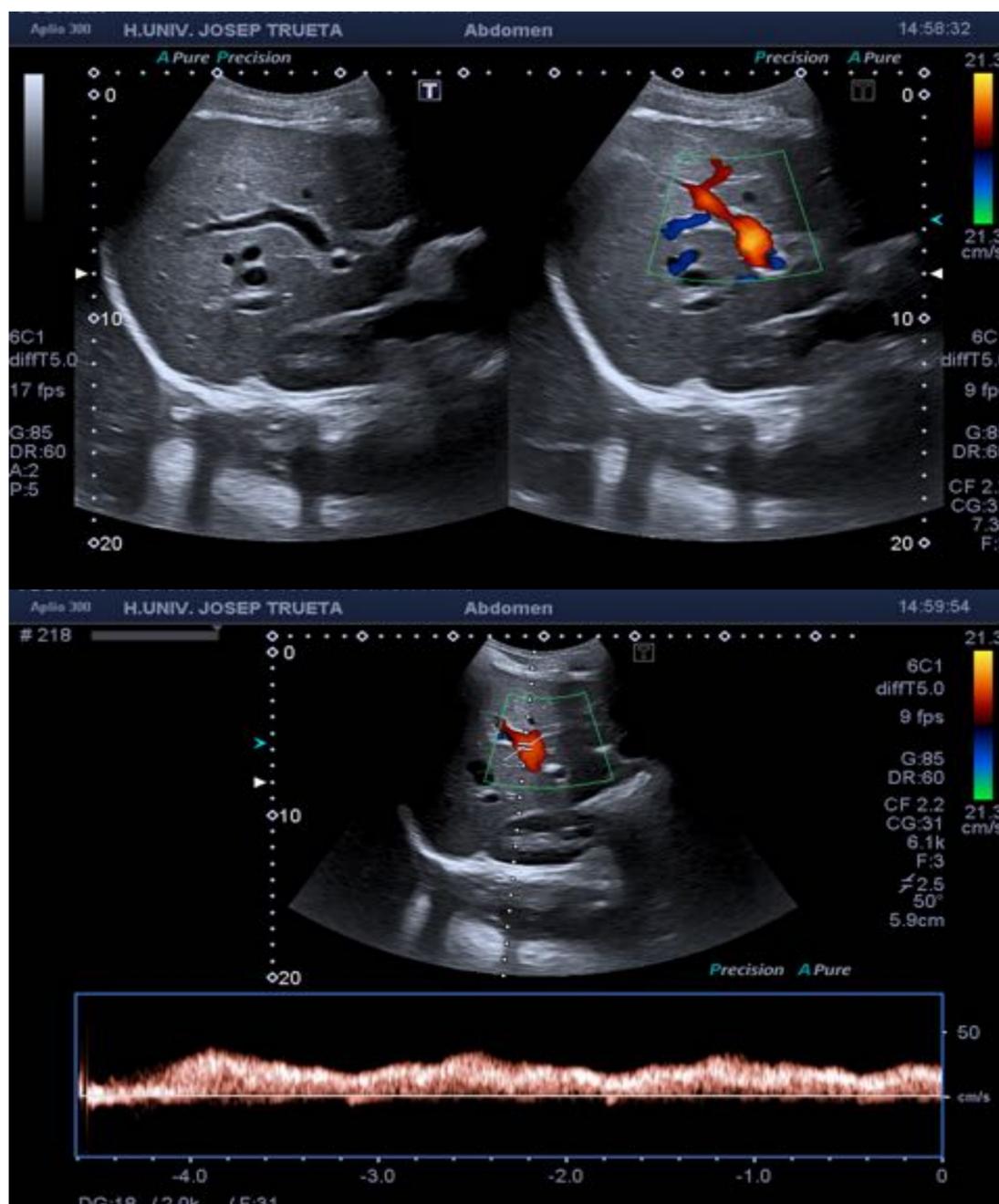


Figura 3: Arriba imagen ecográfica en Modo B, a su lado imagen superpuesta de Doppler color de la vena porta (plano longitudinal ventana intercostal). Abajo se observa la región de interés centrada en el lumen de la vena porta para la realización del Doppler espectral (imagen dúplex).



Doppler espectral

Componentes principales

Los elementos principales que conforman la imagen de Doppler espectral son **(Figura 4)** :

- **Trazo:** Línea que representa la onda espectral. El movimiento horizontal de izquierda a derecha en el que se desplazada la onda corresponde al movimiento en el tiempo.
- **Dirección del flujo:** De manera similar al Doppler color se puede determinar si el flujo se acerca o aleja del transductor a partir de la línea de base, que separa una dirección de otra. De manera convencional, cuando un flujo se acerca al transductor se muestra por encima de la línea de base y al contrario, cuando se aleja se muestra por debajo de dicha línea.
- **Velocidad:** Cualquier movimiento de la onda en vertical (eje y) hacia una dirección u otra de la línea de base indica un aumento de la velocidad.
- **Aceleración:** Determinada por la inclinación de la onda.
- **Cambio de aceleración:** Representados como cambios de inflexión de la curva, que son los responsables de los sonidos característicos escuchados en la ecografía Doppler.
- **Ciclicidad o Fascicidad:** Determinada por la repetición del trazado de la onda en intervalos regulares. Estos ciclos pueden ser pulsátiles (típicamente arterial) o fásicos (típicamente venoso). También podemos encontrar ciclos anormales o incluso no encontrar ciclicidad en el flujo (flujo afásico), indicativo de ausencia de flujo.
- **Morfología de la onda:** Determinado por el número de veces que la onda o trazado cruza la línea base (monofásica, bifásica, etc.).

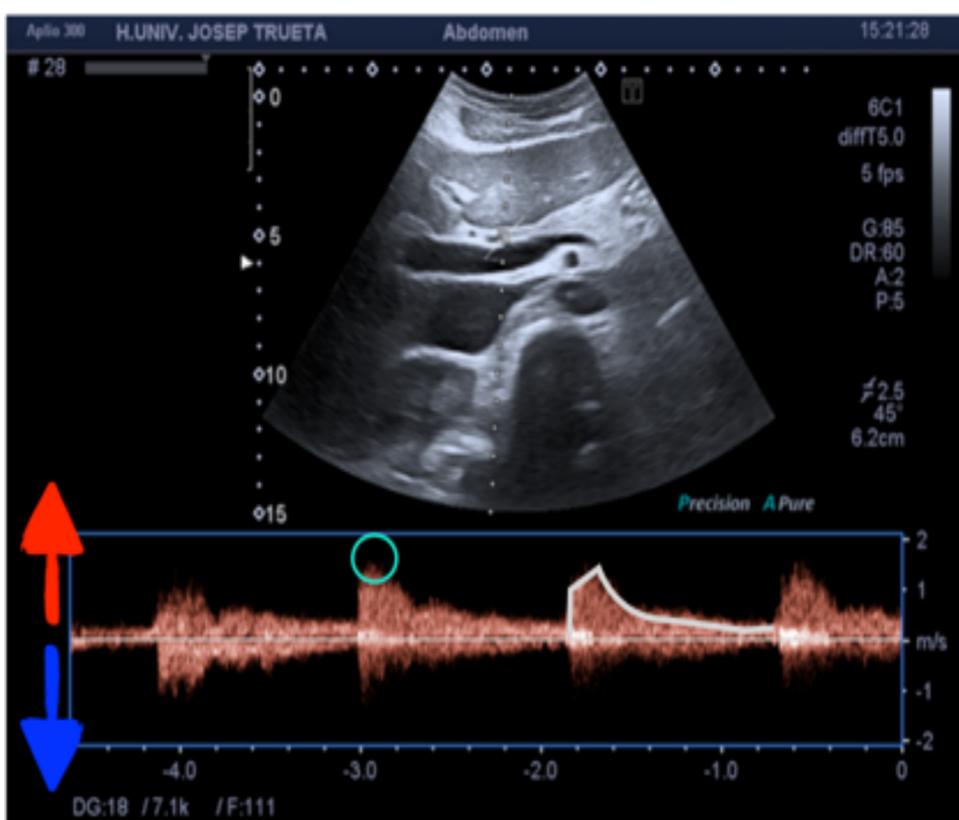


Figura 4: Imagen Doppler espectral de la arteria hepática en un plano longitudinal -ventana subcostal. Los componentes de la onda espectral son: La línea de trazo (línea blanca), dirección de la onda (acercándose-rojo o alejándose-azul del transductor), velocidad (cualquier punto del trazado) y cambios de la aceleración/inflexión de la curva (círculo azul).



Doppler espectral

Información adicional

- **Características del flujo:** Laminar vs turbulento (**Figura 5**).

- Flujo laminar: La velocidad del flujo es menor en la periferia del vaso que en el lumen, dando lugar a un espectro con poca dispersión y una ventana sin valores de velocidad, produciendo el fenómeno ventana. Flujo típico de arterias de mediano y gran calibre.
- Flujo turbulento: Se pierden las láminas de flujo, con aumento de la dispersión de la velocidad y llenado de la ventana espectral, perdiéndose el fenómeno ventana. Suele estar presente en condiciones patológicas como en estenosis. También se puede dar de forma fisiológica en vasos pequeños como la arteria hepática o en bifurcaciones arteriales, o de forma artificial, debido a la situación de la región de interés demasiado cercana a la pared del vaso (es importante centrar la caja en el lumen del vaso). (**Figura 6**).

- **Resistencia arterial:** Basado en la resistencia o impedancia que presentan las arterias al flujo. La arteria hepática, al igual que otras arterias que nutren órganos que necesitan una perfusión continua durante todo el ciclo cardíaco (carótida interna, renales, testiculares) presenta una baja resistencia al flujo. Mediante ecografía Doppler se puede estudiar la resistencia arterial de forma cualitativa y cuantitativamente a partir del índice de resistencia.

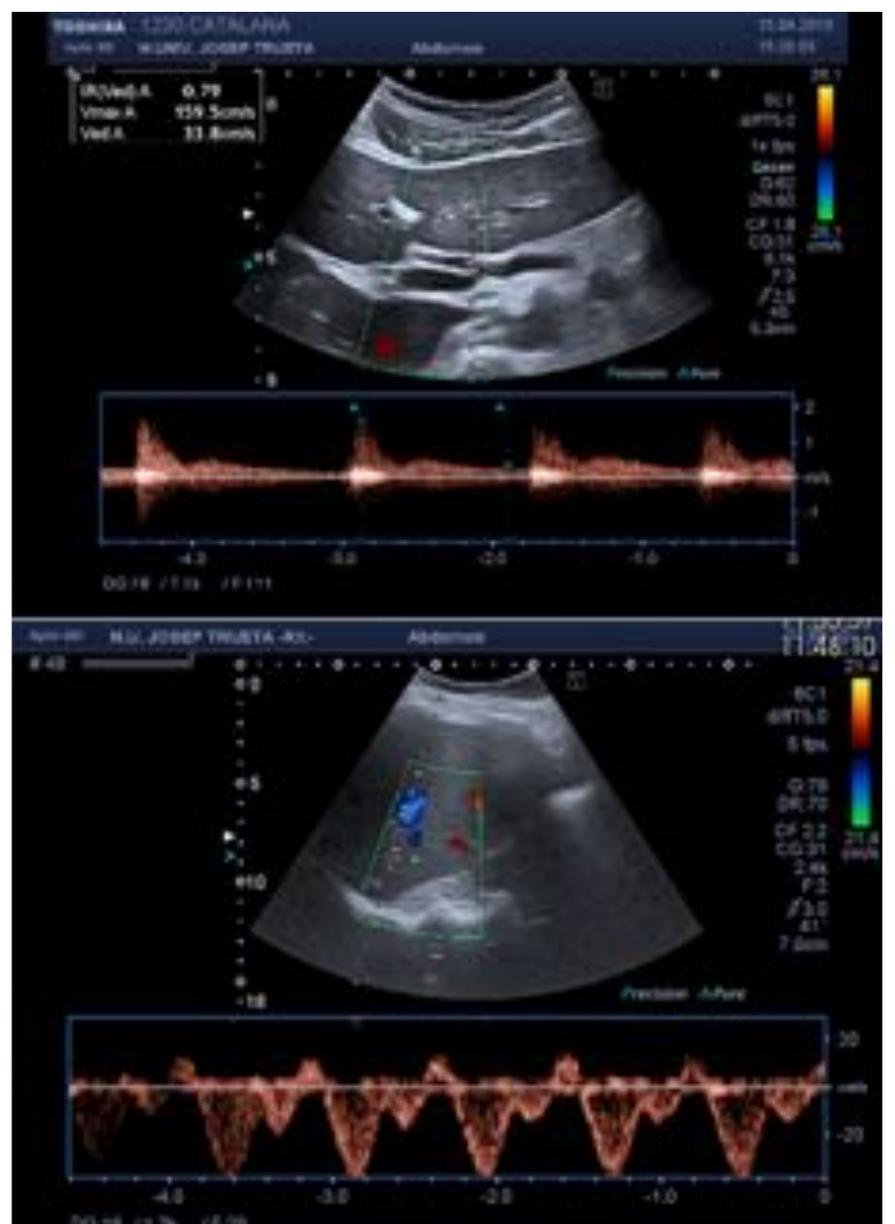


Figura 5: Arriba Doppler espectral de pequeña rama de arteria hepática, mostrando un flujo turbulento con llenado de la ventana espectral típico de arterias de pequeño tamaño. Abajo Doppler de vena hepática mostrando un flujo laminar, apreciando correctamente la ventana espectral.



Doppler espectral

Ángulo Doppler

Importancia del ángulo Doppler:

- Durante la exploración, la variación de la frecuencia dependerá de forma casi exclusiva del ángulo formado entre el haz de ultrasonidos y la estructura en movimiento, a partir de la ecuación que define el efecto Doppler, siendo ideal un ángulo Doppler de 45-60°. Un ángulo Doppler mal posicionado respecto el flujo puede llevar a malinterpretaciones de la velocidad del flujo sobre o infra estimándola. Dicho ángulo no debería ser mayor de 60° (**Figura 7**).

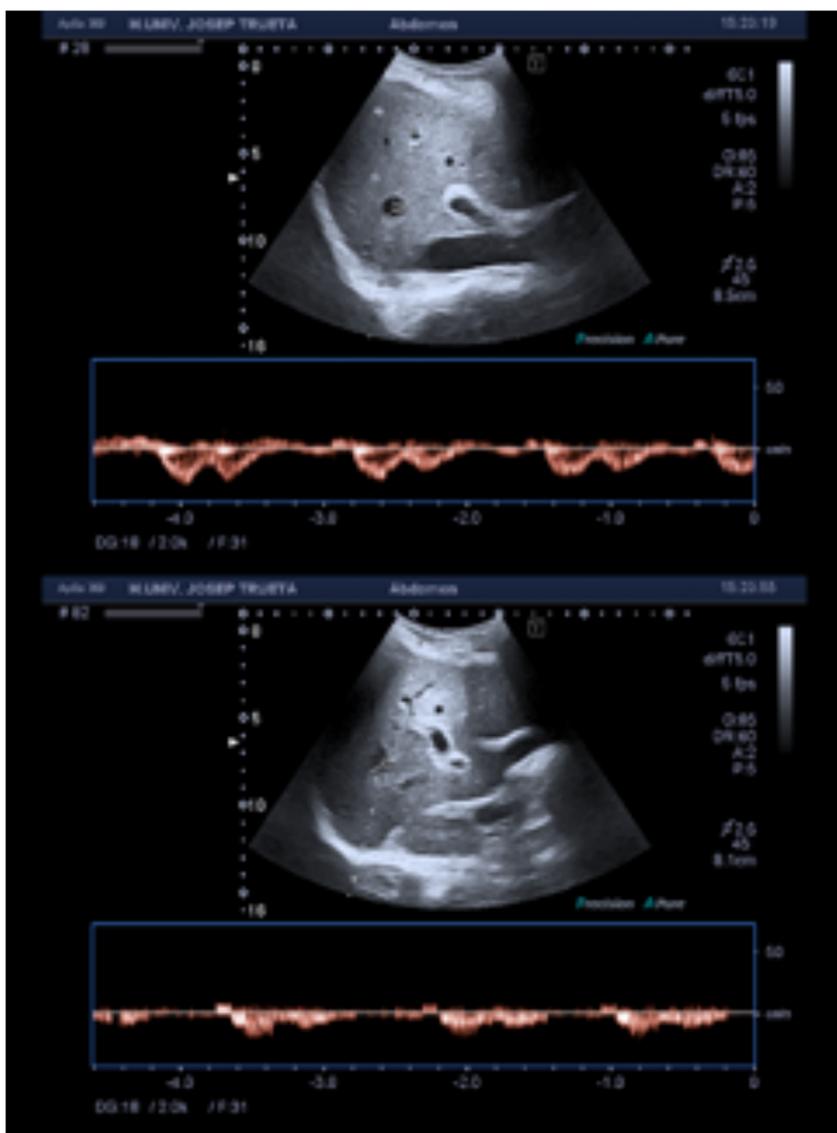
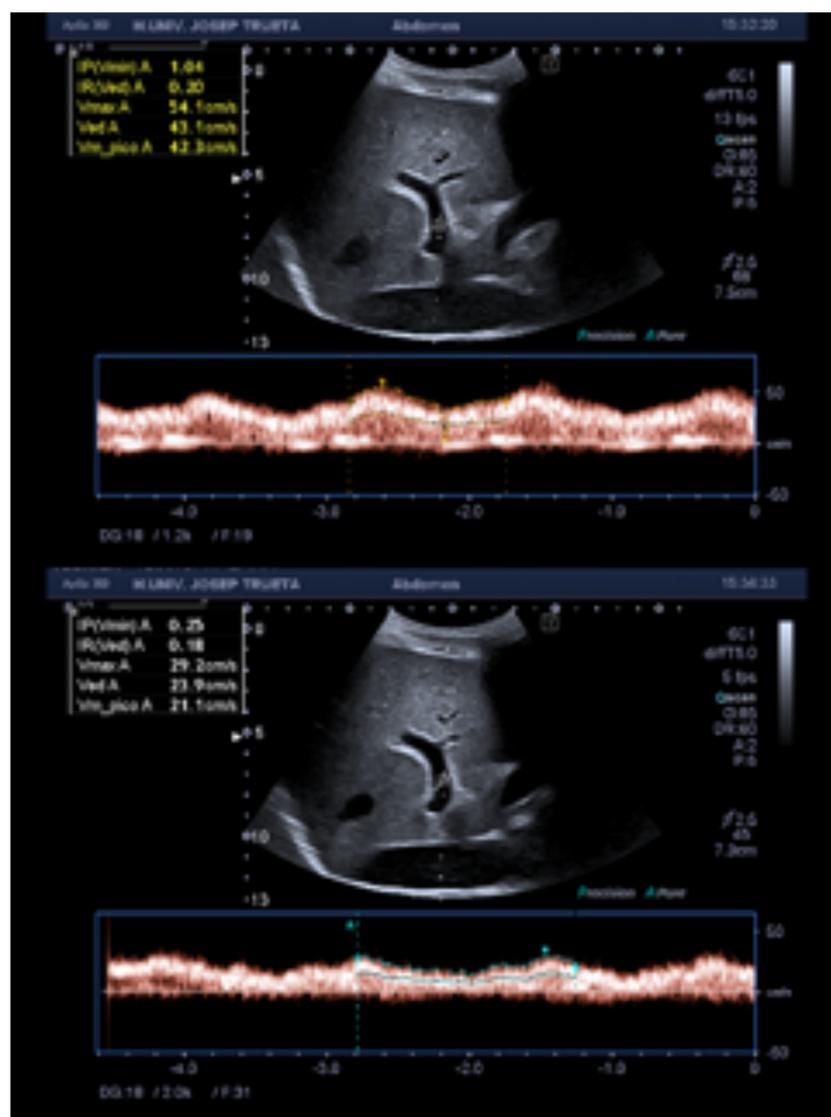


Figura 7: Imágenes Doppler centradas en la vena porta. Arriba con un ángulo de >60° donde se muestra una velocidad portal demasiado elevada sobreestimándola. Abajo misma imagen observando una velocidad correcta y precisa al corregir el ángulo.

Figura 6: Imágenes Doppler longitudinal de la vena hepática. Arriba se visualiza la región de interés correctamente centrada en el lumen del vaso. Abajo, misma imagen pero generando un llenado artificial de la ventana espectral al centrar la región de interés cercana a la pared del vaso.





Venas hepáticas

Patrones onda fisiológicos

El flujo de las venas hepáticas es anterógrado (se dirige de forma fisiológica desde el hígado hacia el corazón). Esto no debe confundirse con la dirección del flujo en la línea de base, en la que este flujo se aleja del transductor y cuya terminología en la bibliografía puede confundirnos. La onda puede ser tri- o tetrafásica.

La onda espectral de las venas hepáticas se encuentra íntimamente relacionada con el ciclo cardíaco, y clásicamente se forma a partir de cuatro componentes (**Figuras 8, 9**):

- **Ondas anterógradas:** Son las que predominan en la onda venosa hepática. Corresponden al flujo fisiológico que se produce desde el hígado hacia el corazón:
 - Onda S: Durante la sístole ventricular no solo se contraen las paredes ventriculares para propulsar la sangre por el tracto de salida del ventrículo derecho. También hay un movimiento del anillo valvular tricúspide hacia el ápex cardíaco creándose una presión negativa en el atrio. Esto produce un flujo anterógrado del hígado al corazón.
 - Onda D: Corresponde a la apertura de la válvula tricúspide en protodiástole, que permite el llenado pasivo de las cavidades cardíacas derechas con un flujo anterógrado

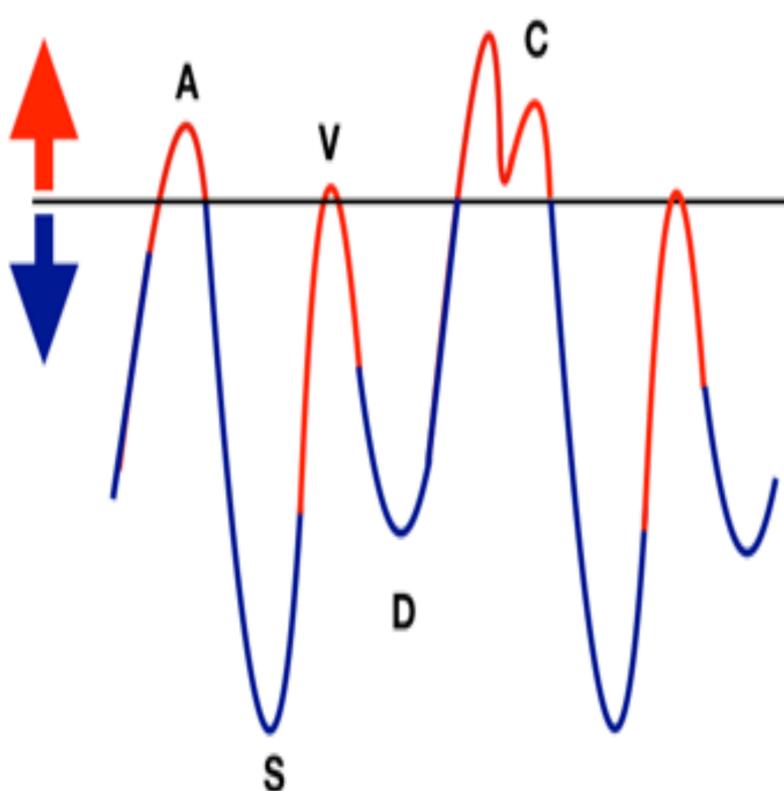


Figura 8: Esquema de la onda espectral de las venas hepáticas: Onda tri-tetrafásica conformada por ondas anterógradas (S y D) y ondas retrógradas (A, C y V).



Venas hepáticas

Patrones onda fisiológicos

Ondas retrógradas: Corresponden a momentos en los que existe un flujo retrógrado desde el corazón al hígado, acercándose el flujo al transductor.

- Onda A: Coincide con la contracción atrial, que propulsa la sangre en dos direcciones: anterógrada hacia el ventrículo derecho y retrógrada hacia la vena cava inferior y venas hepáticas. Cuando comienza la sístole ventricular, la válvula tricúspide se cierra, disminuyendo la velocidad retrógrada hasta la línea de base.
- Onda C (variante normal): Pequeña onda retrógrada que puede aparecer siguiendo a la onda A.
- Onda V: Onda retrógrada que se produce cuando la contracción ventricular empieza a disminuir en intensidad. La válvula tricúspide se relaja después de la sístole ventricular volviendo a su posición después de haberse desplazado hacia el ápex cardíaco durante las primeras fases de la sístole. El pico de la onda V puede estar encima o debajo de la línea de base, determinando que la onda sea tri- o tetrafásica

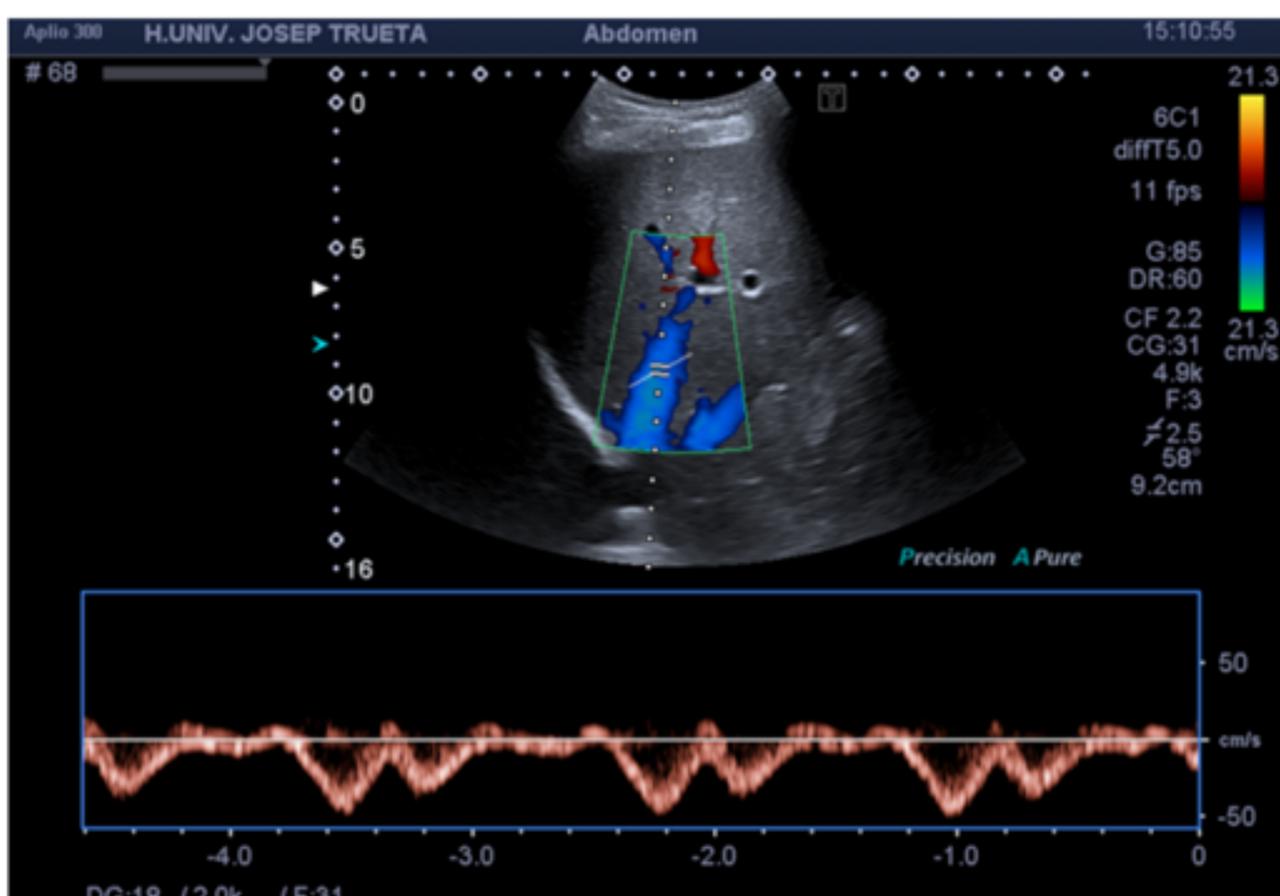


Figura 9: Imagen Doppler espectral de la vena hepática en un plano longitudinal. Onda tetrafásica con un flujo laminar. El flujo predominante de las venas hepáticas es anterógrado, alejándose del transductor.



Venas hepáticas

Patrones onda patológicos

El flujo anormal en las venas hepáticas se puede manifestar como un aumento de la pulsatibilidad o como una disminución de la fasicidad, pudiendo traducir diversas patologías:

Disminución de la fasicidad y de la ventana espectral:

- Disminución de la velocidad del flujo, con pérdida de las ondas características de morfología tri-tetrafásica, transformándose en una onda mal definida monofásica. También suele haber un flujo turbulento con llenado de la ventana espectral. Si no hay flujo (onda afásica) o la dirección del flujo es monofásica y en dirección retrógrada, la patología a considerar como primera opción es el síndrome de Budd Chiari.
- Otras causas de fasicidad disminuida son la enfermedad oclusiva venosa hepática o la cirrosis (**Figura 10**).

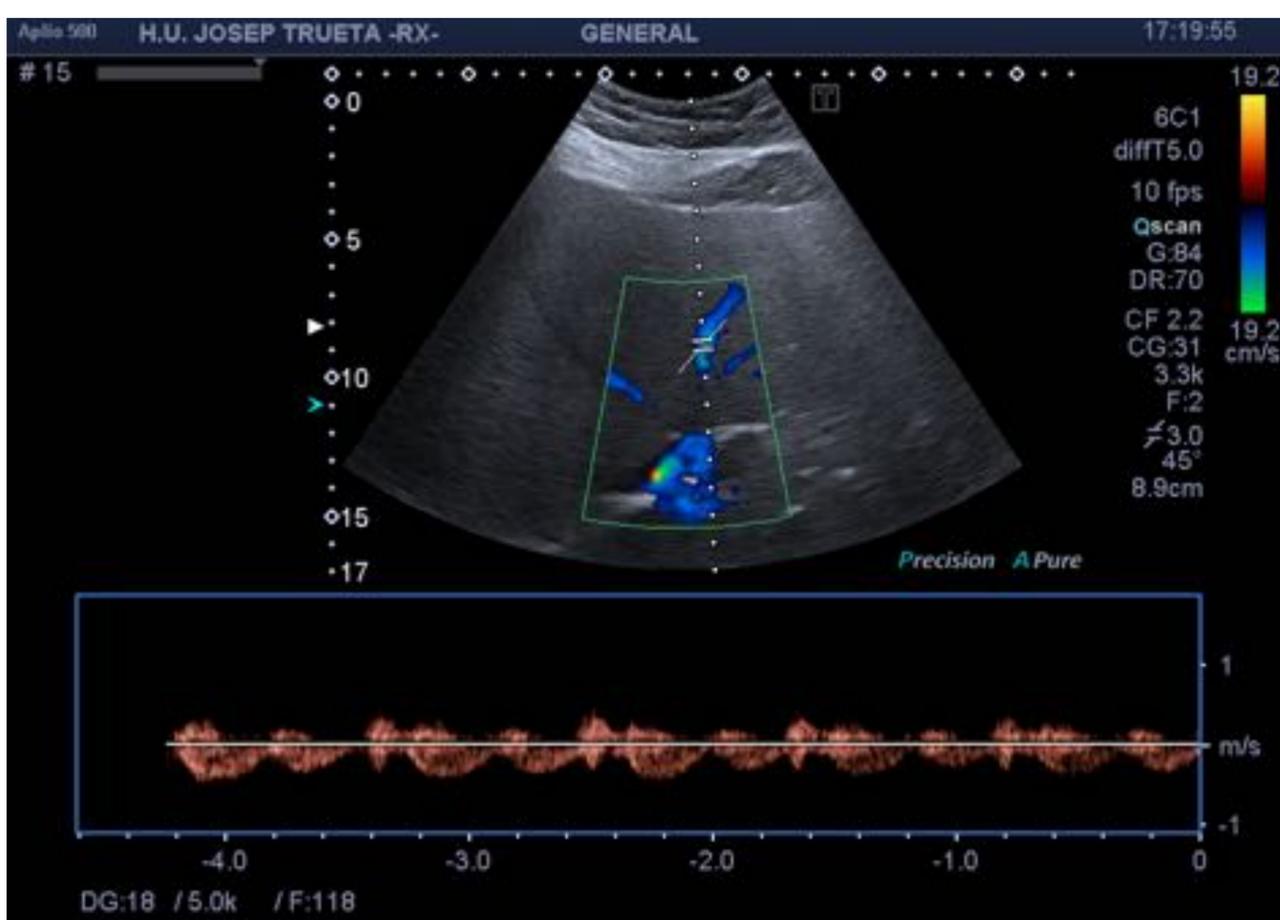


Figura 10: Paciente con cirrosis hepática alcohólica; se aprecia una pérdida de la morfología normal de la onda, apreciando una onda monofásica con llenado de la ventana espectral.



Venas hepáticas

Patrones onda patológicos

Aumento de la pulsabilidad de la onda:

Un aumento de la pulsabilidad, con aumento de las fluctuaciones de la onda Doppler indica patología, encontrándose presente predominantemente en dos entidades: La regurgitación tricuspídea y fallo cardíaco derecho. Ambas entidades suelen darse conjuntamente, siendo difícil su distinción. El hallazgo más importante que las caracteriza es el aumento de la pulsabilidad de la onda.

- **Regurgitación tricuspídea:** Las características de la onda Doppler son las siguientes:
 - Aumento en el tamaño de las ondas retrógradas (ondas A y V): Tanto en la sístole como diástole hay un mayor volumen sanguíneo, generando unas ondas A y V más grandes.
 - Pérdida de profundidad o reversión de la onda S: Durante la sístole, la válvula tricúspide incompetente altera el efecto de presión negativa que se producía en la aurícula creado en las primeras fases de la sístole. Esto provoca una disminución de la onda anterógrada S, volviéndose menos profunda que la onda D. En regurgitaciones graves la onda S puede incluso revertirse sobrepasando la línea de base junto las ondas s y v (retrógradas) (**Figura 11**).

Fallo cardíaco derecho: De forma parecida a la regurgitación tricuspídea hay un aumento del tamaño de las ondas retrógradas. Sin embargo, dado que

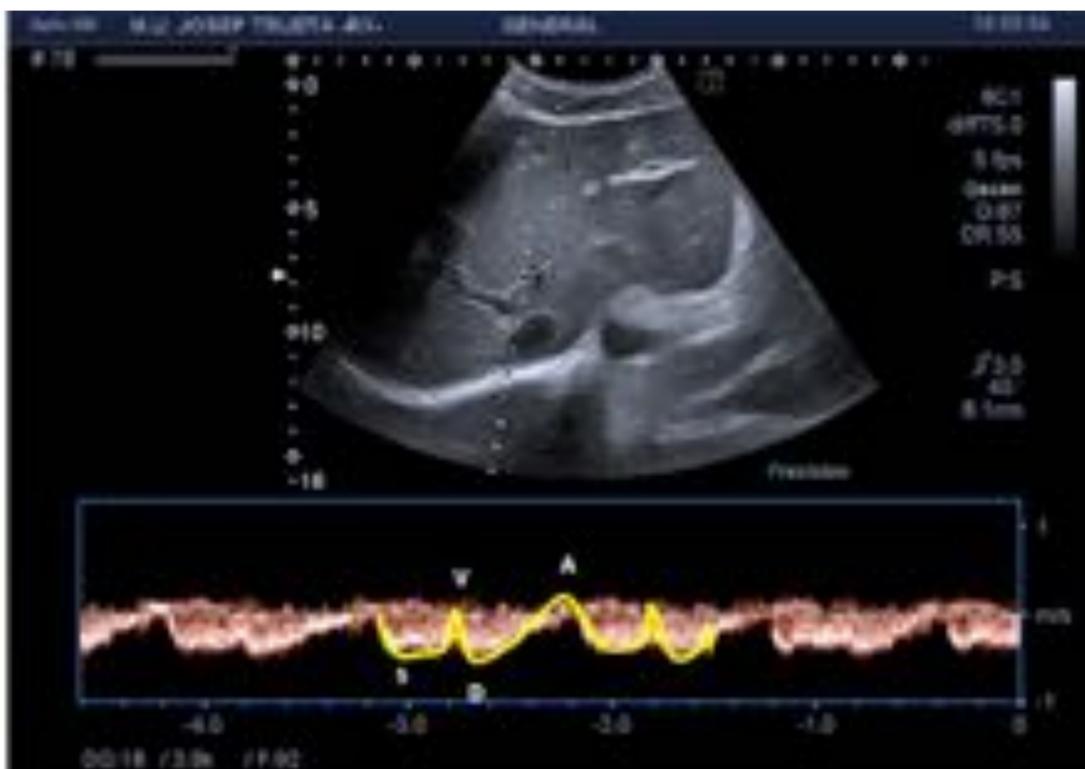


Figura 11: Paciente con regurgitación tricúspide (tipo1); Se muestra la onda S con una profundidad disminuida respecto la onda D



Vena porta

Patrón de onda fisiológico

La vena porta se forma a partir de la confluencia del eje venoso mesentérico y esplénico. Ascende junto a la arteria hepática y la vía biliar a través del ligamento hepatoduodenal, dando dos ramas principales derecha e izquierda, que dividen el hígado en un plano horizontal diferenciando los segmentos superiores de los inferiores.

El flujo portal se dirige hacia el transductor, en forma de una onda monofásica que se encuentra por encima de la línea de base del Doppler espectral. A este flujo se le suele denominar flujo hepatopetal, es decir, el flujo fisiológico de la sangre hacia el hígado. La pulsatibilidad proveniente de las venas hepáticas a través del sinusoides hepáticos condiciona que la onda posea pequeñas fluctuaciones. Por último, la velocidad del flujo de la vena porta normal es de 15 cm/s (**Figura 12**).

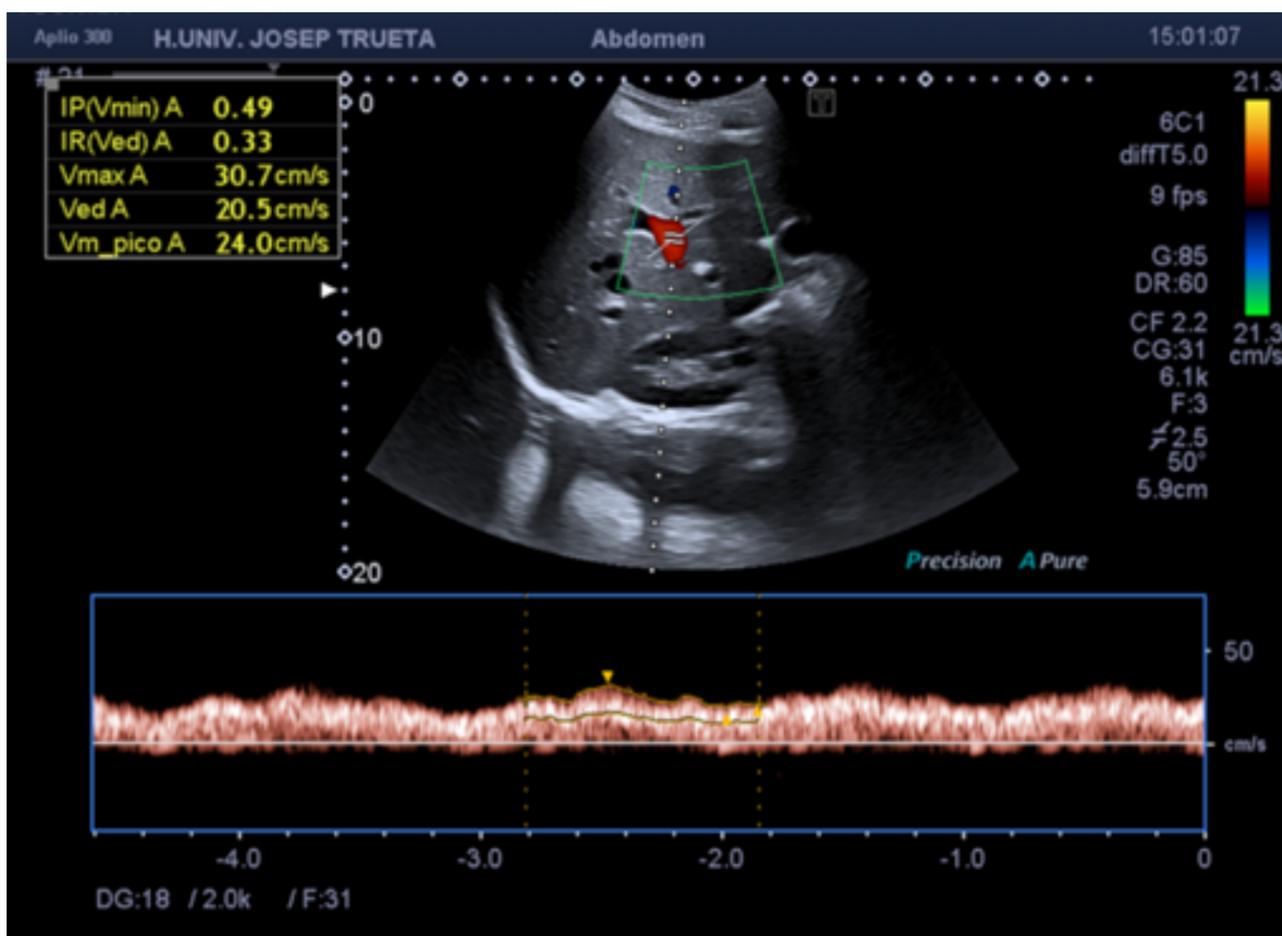


Figura 12: Imagen Doppler espectral de la vena porta normal en plano intercostal y longitudinal. Onda monofásica con flujo hepatopetal de >15cm/s. Se observan pequeñas fluctuaciones en la onda correspondientes a la presión transmitida por la venas hepáticas adyacentes.



Vena porta

Patrones onda patológicos

De forma parecida a las venas hepáticas, se pueden describir dos grupos principales de afecciones en la onda espectral portal, por un aumento de su pulsatibilidad o por un descenso o ausencia del flujo:

Descenso/ausencia de flujo:

- La entidad que más frecuentemente produce un descenso de flujo venoso portal es la hipertensión portal, cuya principal causa es la cirrosis hepática. La característica principal encontrada en el estudio Doppler es un flujo portal lento, menor de 15cm/s. Otros hallazgos complementarios son un aumento del IR de arterial (0.7), disminución de la fascicidad de la onda de las venas hepáticas, ascitis, esplenomegalia o un calibre portal mayor de 13mm. En casos avanzados, el flujo puede llegar a revertirse haciéndose hepatófugo o incluso hacerse ausente. También se puede encontrar ausencia de flujo en la trombosis portal o en casos de invasión tumoral, más frecuentemente debido a hepatocarcinoma (**Figura 13**).

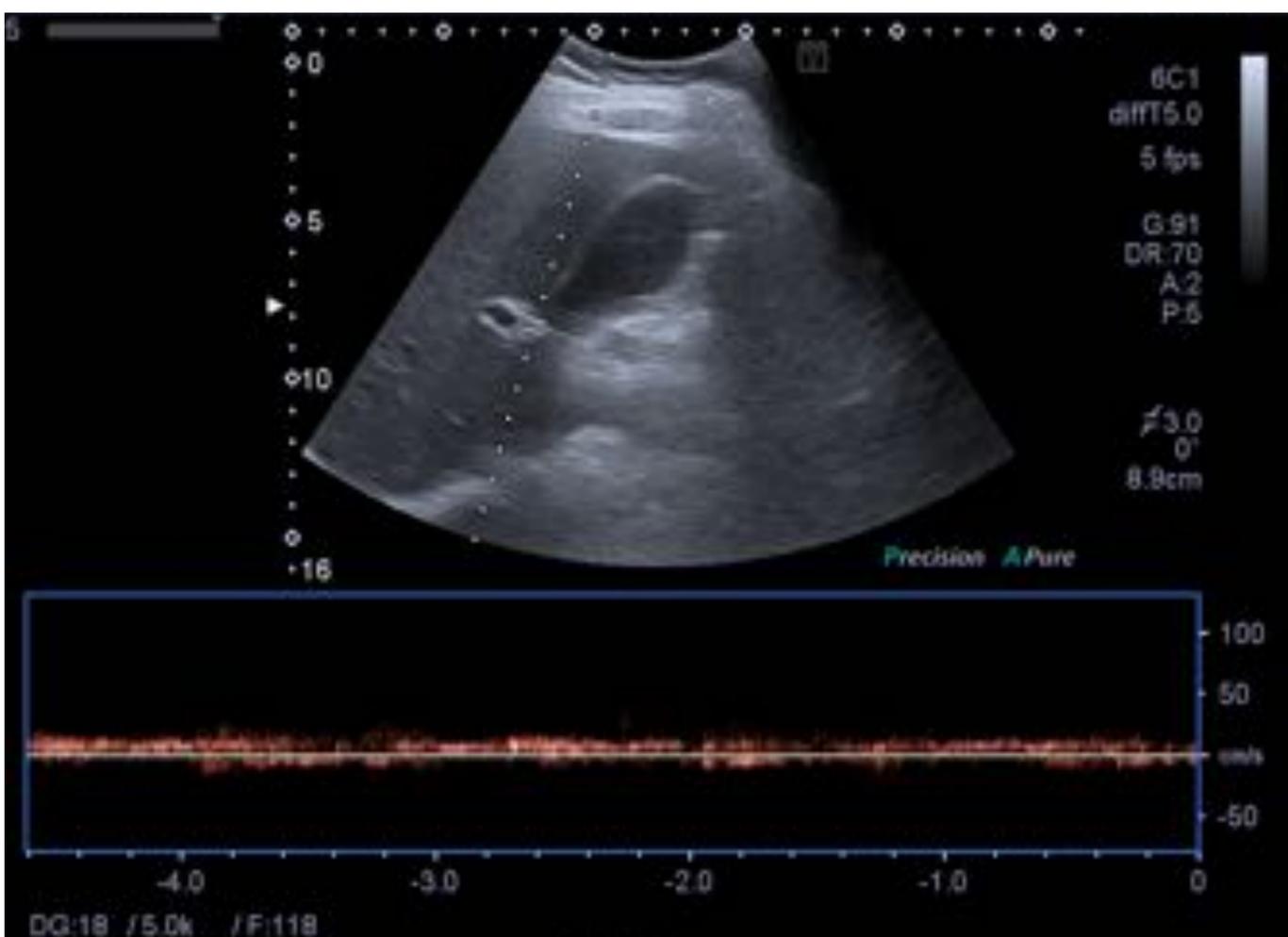


Figura 13: Paciente con cirrosis hepática por VHC. En la imagen modo B se aprecia un parénquima de ecoestructura heterogénea y bordes hepáticos irregulares. En la imagen espectral se aprecian un onda Doppler disminuida de velocidad.



Vena porta

Patrones onda patológicos

Aumento de la pulsatibilidad:

Las venas hepáticas transmiten su pulsatibilidad normal a la vena porta debido a la conexión fisiológica de ambos componentes en el sinusoides hepático. Debido a esta razón también encontraremos un aumento de la pulsatibilidad de la vena porta en entidades como la regurgitación tricuspídea y la insuficiencia cardíaca derecha. Otras causas de aumento de pulsatibilidad son los shunts arterio-venosos.



Arteria hepática

Patrón onda fisiológico

- La mejor ventana ecográfica para el estudio Doppler de la arteria hepática suele ser la intercostal. En esta ventana se superpone normalmente el flujo de la arteria hepática y el de la vena porta, ambos con dirección hacia el transductor siendo en ocasiones difícil la distinción de la arteria al quedar enmascarada por el flujo portal. Una manera útil de identificarla es ajustando la escala de velocidad, es decir, ajustando el rango de velocidades representadas mediante el Doppler color o Doppler espectral (**Figura 14**).

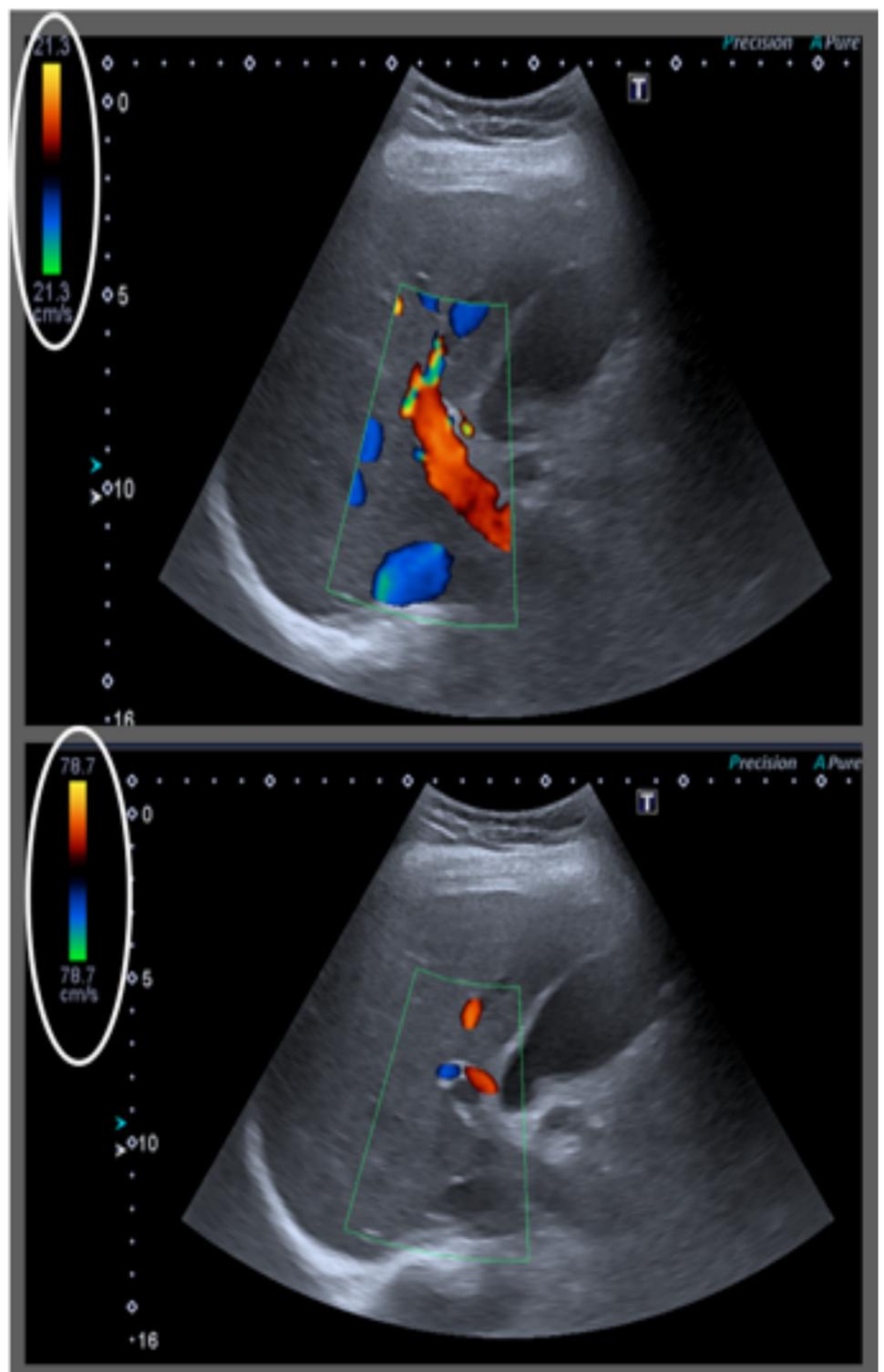


Figura 14: Ecografía Doppler color utilizando una ventana intercostal. En la imagen A se visualiza el Doppler color en región del hilio hepático, siendo difícil la distinción entre vena porta y la arteria hepática. En la imagen B, un ajuste en la escala de velocidad aumentándola permite encontrar un flujo de alta velocidad correspondiente a la arteria hepática.



Arteria hepática

Patrón onda fisiológico

La onda espectral de la arteria hepática presenta un patrón pulsátil, cuyo pico sistólico más alto corresponde con el pico sistólico seguido de un descenso diastólico. Como ya se ha comentado, el hígado requiere un flujo constante de sangre durante el ciclo cardíaco, teniendo la arteria hepática un IR de 0.55–0.7 (**Figura 15**).



Figura 15: Imagen del hilio hepático a partir de una ventana intercostal en un paciente sano. El flujo de la arteria hepática es hacia el transductor, pulsátil, con una onda monofásica y de baja resistencia arterial.



Arteria hepática

Patrones onda patológicos

- El aumento de resistencia de la arteria hepática es un hallazgo inespecífico, que puede encontrarse en estados fisiológicos (como en el envejecimiento o postpandrial) o en múltiples enfermedades hepáticas como en la hepatopatía crónica, congestión venosa o la enfermedad microvascular.
- Una disminución en la resistencia arterial normalmente indica patología, aunque también presenta un amplio diagnóstico diferencial. Entre las entidades más frecuentes se encuentran la hepatopatía crónica (pudiendo aumentar o disminuir el IR, shunts vasculares, arterioesclerosis o en estenosis post-transplante).



Conclusiones

- La ecografía Doppler complementa la información morfológica aportada por la ecografía convencional, aportando a la imagen anatómica información hemodinámica y funcional.
- Es necesario conocer los componentes más importantes que conforman la onda Doppler espectral y los elementos que influyen en su realización para una interpretación correcta de la información que dicha técnica aporta.
- Los tres vasos hepáticos principales (porta, arteria y venas hepáticas) sufren alteraciones hemodinámicas en distintas patologías que pueden ser obviados en la ecografía convencional. Por este motivo es esencial tener un conocimiento básico del patrón de onda Doppler fisiológico de los vasos hepáticos, para así conocer cómo diferentes patologías afectan a su flujo.



Bibliografía

- Hangiandreou NJ. AAPM/RSNA physics tutorial for residents. Topics in US: B-mode US: Basic concepts and new technology. *Radiographics*. 2003;23:1019–33.
- Gorg C, Riera-Knorrenschild J, Dietrich J. Colour Doppler ultrasound flow patterns in the portal venous system. *Br J Radiol* 2002;75(899):919–929.
- McNaughton DA, Abu-Yousef MM. Doppler US of the liver made simple. *Radiographics*. 2011;31:161–88
- Coulden RA, Lomas DJ, Farman P, Britton PD. Doppler ultrasound of the hepatic veins: normal appearances. *Clin Radiol* 1992;45(4):223–227.
- Scheinfeld MH, Bilali A, Koenigsberg M. Understanding the spectral Doppler waveform of the hepatic veins in health and disease. *Radiographics*. 2009;29:2081–98.
- Rumack, C. (2011). *Diagnostic ultrasound*. St. Louis: Elsevier Mosby.
- Del Cura Rodríguez, J., Pedraza Gutiérrez, S. and Gayete Cara, Á. (2019). *Radiología esencial*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.