

Ecografía Doppler en modo fácil: fundamentos físicos, características de la técnica y aplicaciones

F. J. Pérez García, E. Ruiz Castellano, M. Crespo Balbuena, D. Luengo Gómez

Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

Objetivo docente

Exponer de forma sencilla y práctica los fundamentos y características de la ecografía Doppler aplicada al estudio hepático.

Revisión del tema

Introducción

La ecografía Doppler constituye la técnica más extendida en el estudio de la patología relacionada con el flujo de los vasos hepáticos. A través de un gran desarrollo tecnológico especialmente a partir de finales del siglo pasado, ha conseguido proporcionar un gran nivel de precisión a la hora de definir las particularidades del flujo de cada vaso estudiado de una forma enormemente eficiente.

El estudio del Doppler hepático requiere, en primera instancia, el conocimiento de los conceptos básicos utilizados en relación con la adquisición de las ondas y algunos fundamentos físicos en referencia a la mecánica de fluidos para entender la traducción fisiopatológica de las gráficas que estamos obteniendo.

Después debemos saber identificar los patrones normales de flujo que podemos esperar en los principales tipos de vaso. Por suerte, tanto la arteria hepática como las venas suprahepáticas y la vena porta tienen flujos que frecuentemente se presentan con una morfología característica y reconocible. Conociendo estos patrones tendremos posteriormente la capacidad de indagar en las posibles fuentes de patología cuando nos encontremos ondas con características que no se adecúen al trazado que cabría esperar en ese vaso en cuestión.

Así, manejar un esquema conceptual relacionando las enfermedades a estudiar más importantes con sus potenciales efectos en la dinámica de flujo de los vasos y su teórica representación en el estudio espectral es una herramienta de gran valor a la hora de enfrentarse a este tipo de estudios y acercarse a un diagnóstico acertado en cada caso.

A grandes rasgos, el estudio hepático por ecografía consta de 3 tipos de exploración, en los cuales cada cual añade algún tipo de información al previo.

El primer nivel lo constituye la ecografía en **modo B**, en el que estudiamos las estructuras según su impedancia relativa en una escala de grises.

En el siguiente escalón encontramos el **modo Doppler**, que consiste en la determinación de un flujo sanguíneo en una región de interés dentro de la imagen en modo B que estamos examinando, a la que se superpone una escala en colores que nos dará la imagen Doppler.

Finalmente, podemos extraer un volumen muestral dentro de la región de interés del Doppler y explorar esta mediante el **modo espectral**, cuya exposición va a suponer el grueso del contenido de esta presentación.

A continuación, describiremos de forma resumida los elementos más relevantes a conocer acerca de las ondas Doppler espectrales.

1. Características de las ondas

a) *¿Cómo las obtenemos?*

Cada onda espectral tiene características morfológicas que proporcionan información respecto a la dirección, velocidad, y aceleración del flujo sanguíneo que estamos estudiando.

La información de la onda se obtiene de un volumen de muestra pequeño, que debemos tratar de encontrar en la porción media de la luz del vaso en lugar de hacia la periferia, para hallar una estimación óptima del flujo laminar.

- Uno de los elementos importantes a tener en cuenta a la hora de su obtención es el **ángulo Doppler**, que es el constituido entre el haz Doppler emitido por nuestro transductor y la línea Doppler que sigue el flujo real que estamos estudiando.

Es esencial prestar atención a este ángulo por su implicación en el estudio de las estimaciones de la velocidad del flujo, de forma que un ángulo Doppler mayor de 60º nos falseará el resultado (ya que en la ecuación de la obtención de la velocidad de flujo, un ángulo Doppler igual o mayor a 60º actuará como $\cos 60$ o mayor, que equivaldrá entonces a 0).

b) Componentes de las ondas (fig. 1).

- La información de la **dirección** se determina en base a si la onda está por encima o por debajo de la línea base.
- La información de la **velocidad** se determina en base a la distancia desde la línea base en cualquier punto dado de la curva.
- La información de la **aceleración** se obtiene de la pendiente de la curva (proporción de cambio en la velocidad), con cambios en la aceleración marcados por los picos de la onda o los puntos de inflexión. Estos puntos de inflexión (cambios de aceleración) generan sonidos audibles característicos en la ecografía Doppler.

c) Definición de las ondas (fig. 1).

Las ondas espectrales se pueden clasificar en función de varios componentes:

- Según la **dirección predominante del flujo**:

Se definirá el flujo como *anterógrado* o *retrógrado* según avance en la dirección principal del sistema circulatorio o en la opuesta, respectivamente.

Cabe puntualizar que *anterógrado* no debe confundirse con *flujo hacia el transductor* (que se muestra por encima de la línea base). El flujo anterógrado puede dirigirse hacia el transductor o alejarse de este. Ello dependerá de la relación espacial entre el transductor y el vaso en cuestión; por lo tanto, el flujo anterógrado puede mostrarse por encima o por debajo de la línea base.

Se puede hacer la misma apreciación respecto al concepto de flujo “retrógrado”.

- Según su **fasicidad**:

En este contexto, un flujo *fásico* es sinónimo de flujo *cíclico*. Esto significa que contiene fluctuaciones en la velocidad y aceleración del mismo que son cuantificables. En este sentido, encontraremos:

- Flujos pulsátiles: cuando tengan morfologías de curva correspondientes a arterias.
- Flujos fásicos: cuando tengan morfologías de curva correspondientes a venas.
- Flujos no fásicos: cuando tengan morfologías de curva correspondientes a venas enfermas.
- Flujos afásicos: cuando no obtengamos una gráfica de flujo en el estudio.

- Según la **cuantificación de la fase**:

En base a este criterio una onda puede ser afásica, monofásica, bifásica, trifásica o tetrafásica (según las fases del ciclo cardiaco).

- Según su **morfología**:

Aquí podremos definir una onda dentro del espectro existente entre la morfología típica de un flujo turbulento y la de un flujo laminar. En general, cuanto mayor sea el calibre del vaso en cuestión, más probable será encontrar un flujo laminar, ya que el efecto de la resistencia al paso que ejerce la pared del mismo será pequeño, sobre todo en el registro obtenido de la parte central del mismo.

En el caso contrario, conforme más pequeño es un vaso, el efecto de la resistencia de su pared se incrementa y el flujo que encontramos presenta un amplio rango de velocidades y direcciones, lo que define a un flujo turbulento.

Este “llenado” de la onda que observamos en la gráfica de los vasos conforme pasamos de estudiar estructuras vasculares de gran calibre a otras de menor calibre se denomina **ensanchamiento espectral**, y podemos encontrarlo de forma fisiológica (por ejemplo, en vasos de pequeño calibre o en bifurcaciones arteriales) o en diferentes entidades patológicas.

- Según el **índice de resistencia (IR)**:

Este es un elemento muy importante a considerar al realizar un estudio espectral. Se puede medir de forma gráfica o cuantitativa. De forma simplificada, definiremos un flujo arterial como de *alta resistencia* si la final de la diástole se encuentra bajo en la curva, y de *baja resistencia* si el final de la diástole se encuentra alto en la curva (próximo al pico sistólico).

Existen arterias que presentan un patrón de flujo de alta resistencia de forma fisiológica como las arterias carótidas externas, y otras que presentan característicamente patrones de baja resistencia como las testiculares, las hepáticas o las arterias carótidas internas. Los valores numéricos de normalidad del IR son relativamente variables en la literatura pero se propone en general un intervalo entre 0,55 y 0,70.

- ¿Patrón de **estenosis**?

Uniendo los dos conceptos previos podemos intuir que al estudiar un vaso que presente una alteración estenótica, su patrón de flujo teórico debe presentar una morfología de flujo turbulento y una resistencia arterial elevada medida en el segmento pre-estenótico (aunque disminuida en el segmento post-estenótico).

De tal forma que encontraremos ondas de morfología **parvus-tardus** definible cuantitativamente por la existencia de un índice de aceleración **<0.5 m/seg** y un tiempo de aceleración sistólico **>70 m/seg**.

2. Estudio Doppler hepático

A continuación describiremos esquemática y pictóricamente (usando referencias a casos de nuestro hospital) las características principales y algunas situaciones indicativas de patología de los vasos más importantes de la circulación hepática: arteria hepática, venas suprahepáticas y vena porta.

a) Arteria hepática (fig. 1-6):

El flujo espectral normal de la arteria hepática es **pulsátil, anterógrado, de bajo IR y aparece sobre la línea base**. Aquí es importante señalar que el hallazgo de un patrón de flujo de alta resistencia es menos indicativo de patología que el hallazgo de un patrón de **baja resistencia**, ya que múltiples situaciones fisiológicas pueden dar un falso positivo en este sentido como la edad avanzada o encontrarse el paciente en periodo post-prandial.

b) *Venas suprahepáticas (fig. 7):*

Principalmente anterógrado, con momentos de **flujo retrógrado**, por debajo de la línea de base y fásico. Hay que destacar que en este caso el flujo seguirá una dirección **hepatófuga** de forma fisiológica.

Clásicamente se describe como **tetrafasico**, presentando unas inflexiones (cambios de aceleración) que obedecen a los cambios de presión en la aurícula derecha.

Las principales alteraciones a destacar en el estudio espectral de las venas suprahepáticas serán la pulsatilidad aumentada, la pérdida de fasicidad y la ausencia de flujo.

c) *Vena porta (fig. 8-12):*

Que presenta un flujo principalmente **anterógrado**, por encima de la línea base y fásico. Su rango de velocidad normal es de **16 a 40 cm/s**. La contractilidad cardiaca se transmite parcialmente a través de los sinusoides hepáticos, por lo que la podremos intuir en este caso.

Aquí no utilizaremos el IR, sino el *Pulsatility Index (PI)*, que se hallará dividiendo la velocidad final diastólica por la velocidad pico sistólica (P2/P1) y será normal si es $> 0,5$.

Las principales alteraciones que podemos encontrar en la onda de la vena porta en situaciones patológicas serán: pulsatilidad incrementada, flujo venoso portal lento, flujo hepatófugo y flujo ausente.

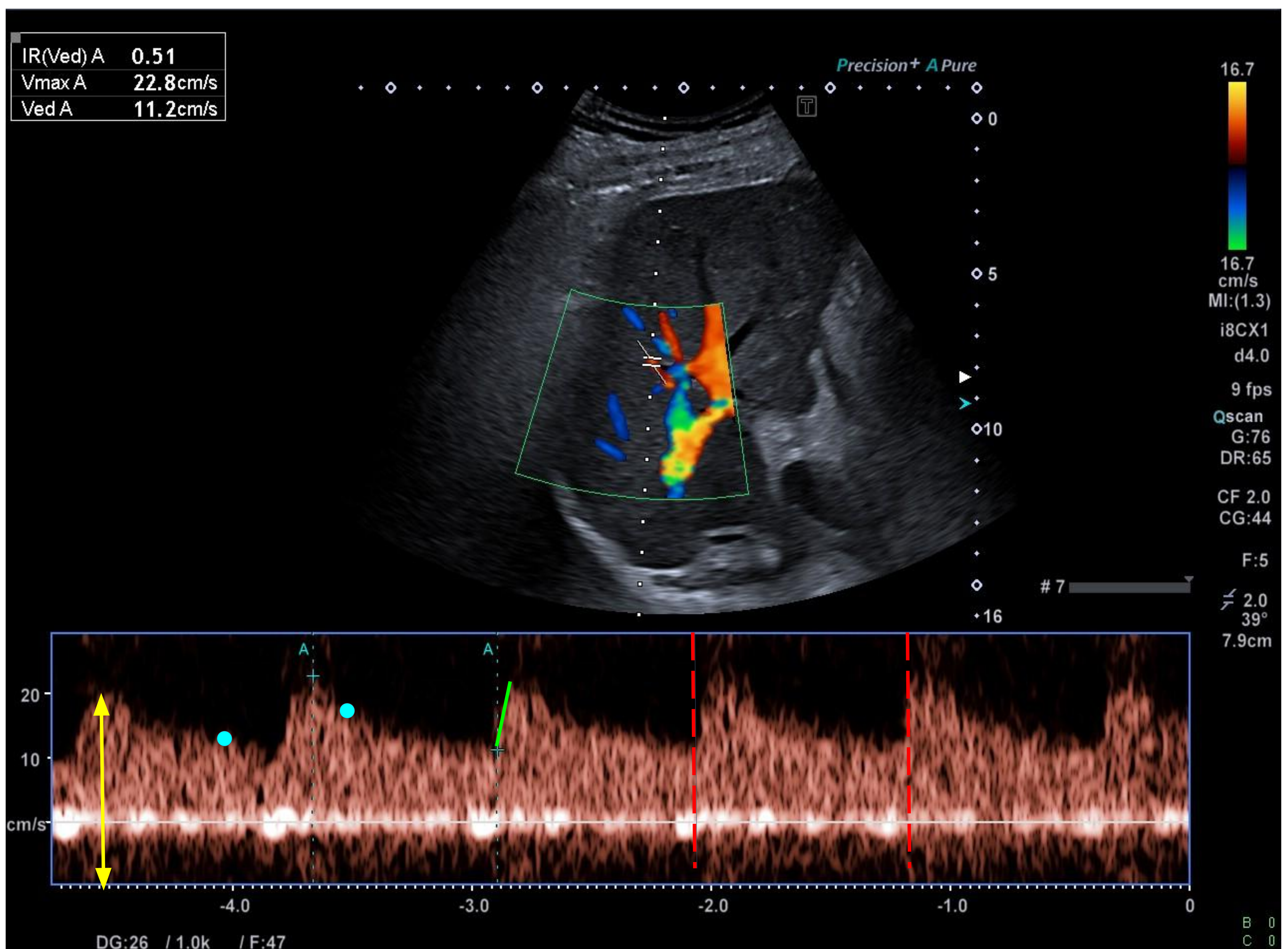


Figura 1. Ecografía hepática en modo Doppler y espectral en la que se señalan los principales **componentes de las ondas del estudio espectral:**

- *Flecha amarilla:* dirección de la onda (sobre o bajo la línea de base).
- *Puntos azul celeste:* velocidad de la onda.
- *Línea verde:* aceleración de la curva.
- *Líneas rojas discontinuas:* ciclo (fásico) del flujo.
- *Línea verde:* aceleración (pendiente) de la curva.

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

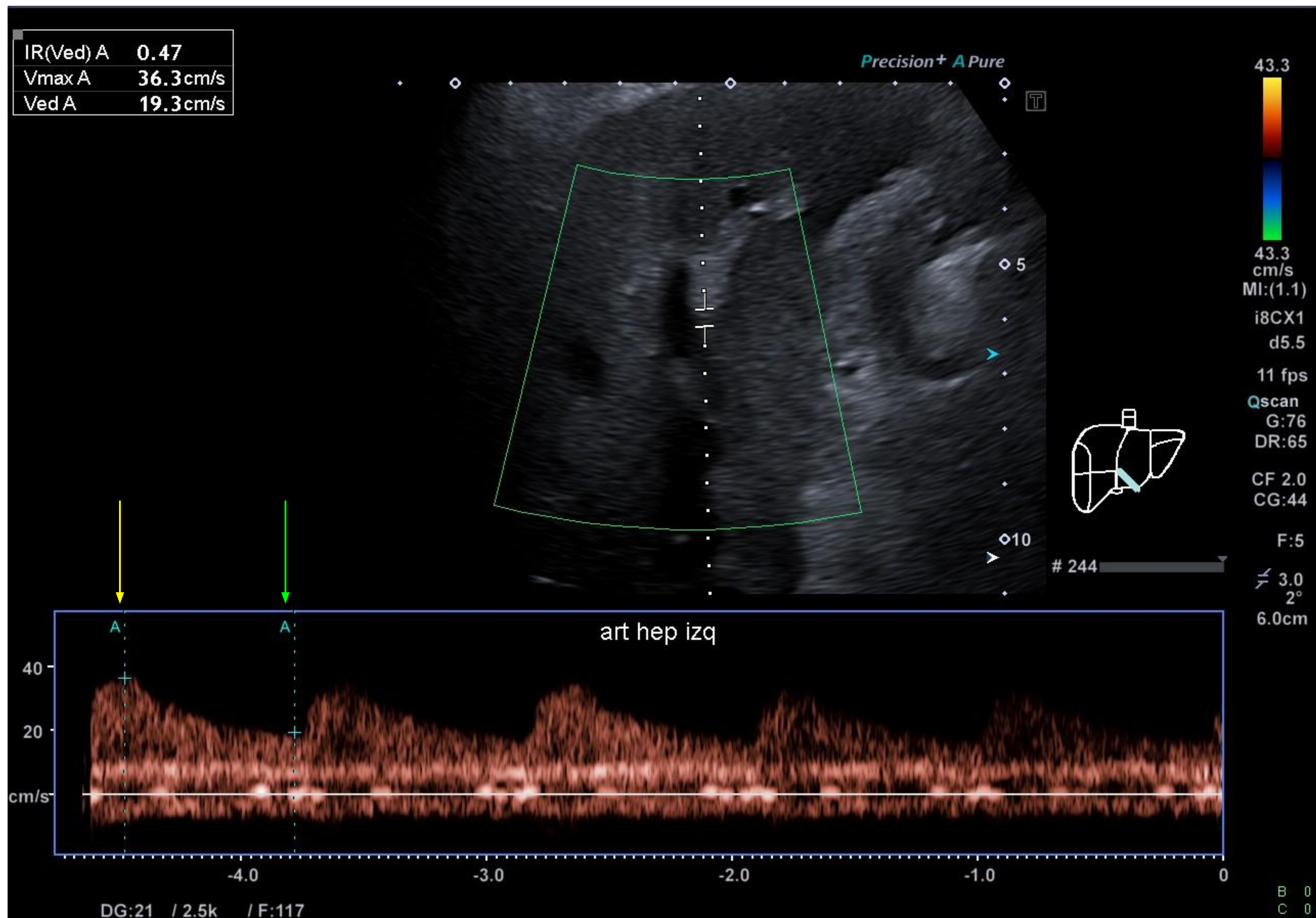


Figura 2. Ecografía hepática en modo espectral. Ejemplo de **flujo de baja resistencia** (IR de 0,47) de la **arteria hepática izquierda** en control de trasplante hepático en control anual.

- *Flecha amarilla:* velocidad pico sistólico (36,3 cm/s).
- *Flecha verde:* velocidad del final de la diástole (19,3 cm/s).

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

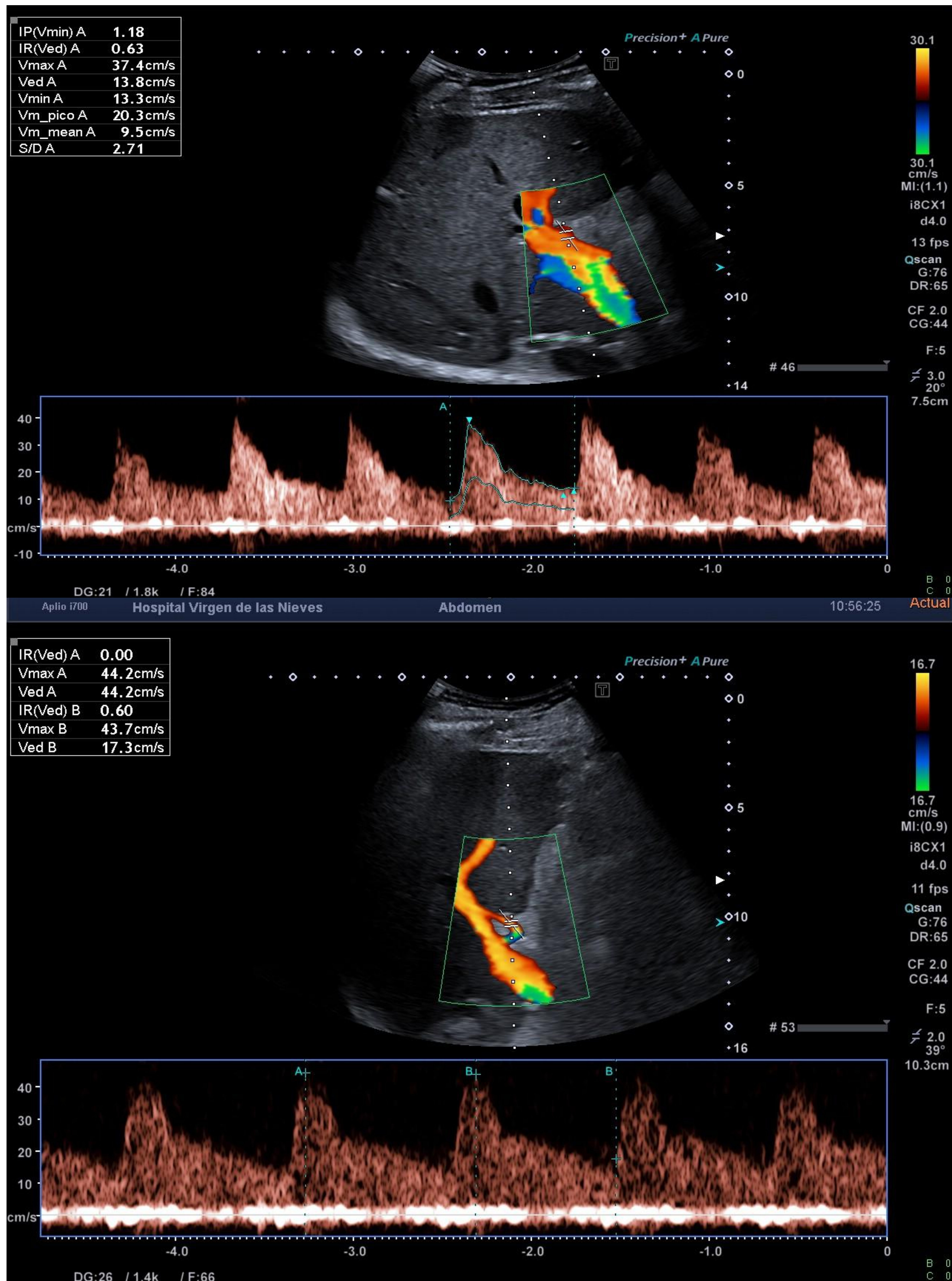


Figura 3. Imágenes de ecografías hepáticas en dos pacientes sometidos a trasplante hepático en modo Doppler y estudio espectral con hallazgo de flujos normales en ambos en la arteria hepática en el hilio (pulsátiles, sobre la línea de base y con IR de 0,63 y 0,60, respectivamente).

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

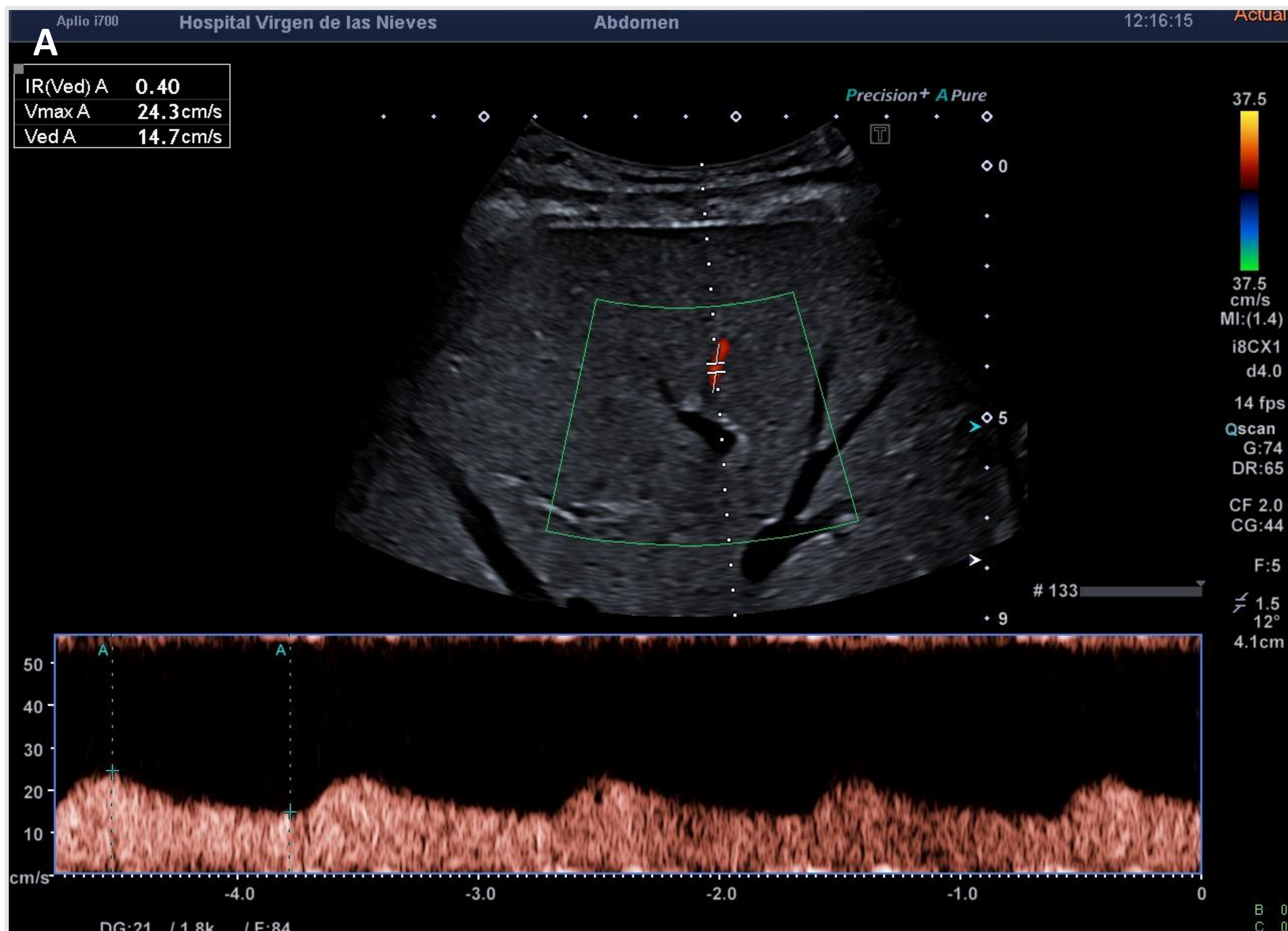


Figura 4. Ecografía hepática en modo Doppler y estudio espectral (A) en la que se encuentra un **flujo anormal en una arteria intrahepática** en un estudio de control de paciente trasplantado hepático de 3 meses de evolución que también presentaba alteraciones clínico-analíticas, con hallazgo de un IR de 0,40 y morfología típica de parvus-tardus y retraso en la aceleración al pico. En este contexto concreto hay que sospechar la existencia de una **estenosis anastomótica post-trasplante**.

TC abdominopélvica multifásica (B) en la que se muestra una arteria hepática propia filiforme con estenosis considerable (cabeza de flecha roja).

TC abdominopélvica multifásica (C) tras la colocación de una prótesis en la arteria hepática propia en la que se aprecia de nuevo una estenosis del segmento distal a la misma (cabeza de flecha amarilla).

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

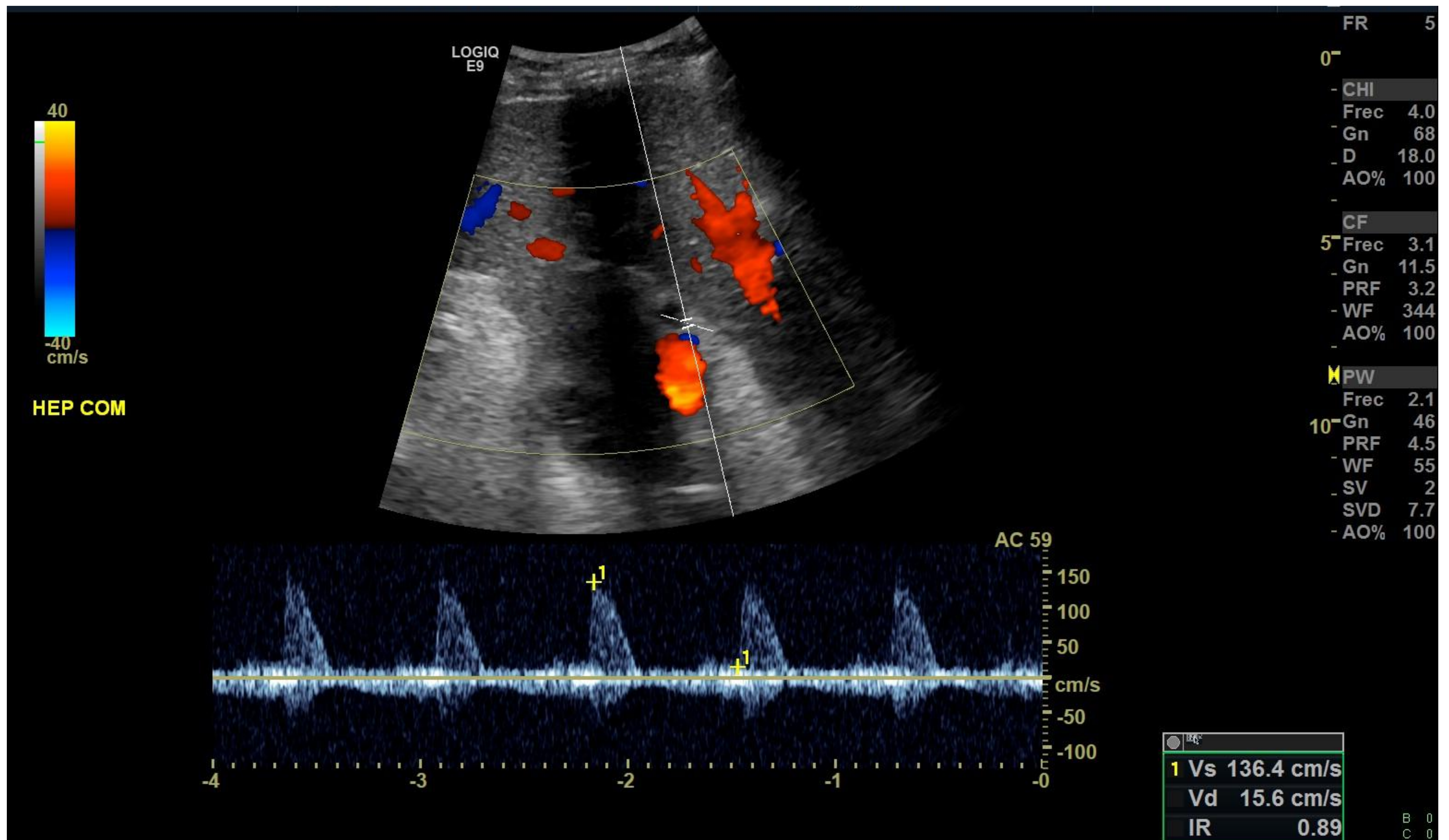


Figura 5. Ecografía hepática en modo Doppler y estudio espectral en la que se encuentra un **flujo de muy alta resistencia en la arteria hepática común** en el hilio que muestra la práctica desaparición del componente diastólico de la onda, encontrando un IR de 0,89. Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

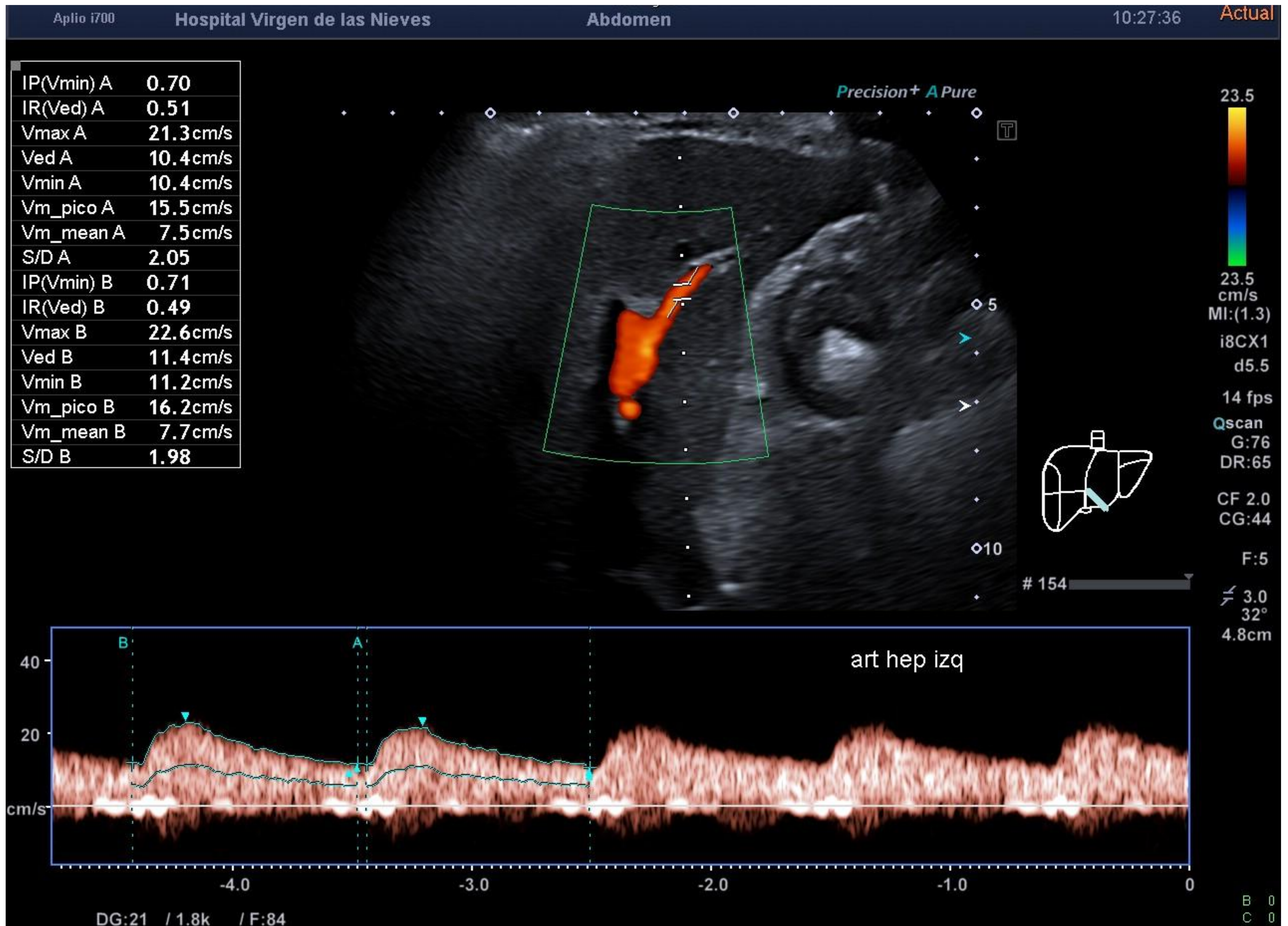


Figura 6. Ecografía hepática en modo Doppler y estudio espectral. Nuevamente encontramos un **flujo anormal en la arteria hepática izquierda** en un estudio de control de paciente trasplantado hepático de dos años de evolución, con registro de IR de 0,51 y morfología parvus-tardus. En este caso, el paciente no presentaba ninguna alteración clínica o analítica y en los controles ecográficos previos se habían encontrado registros consistentemente similares, por lo que aquí no pensaríamos en una estenosis vascular como responsable de los hallazgos. Sería recomendable adoptar una actitud conservadora y continuar con el seguimiento ecográfico al no disponer de otros datos de alarma.

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

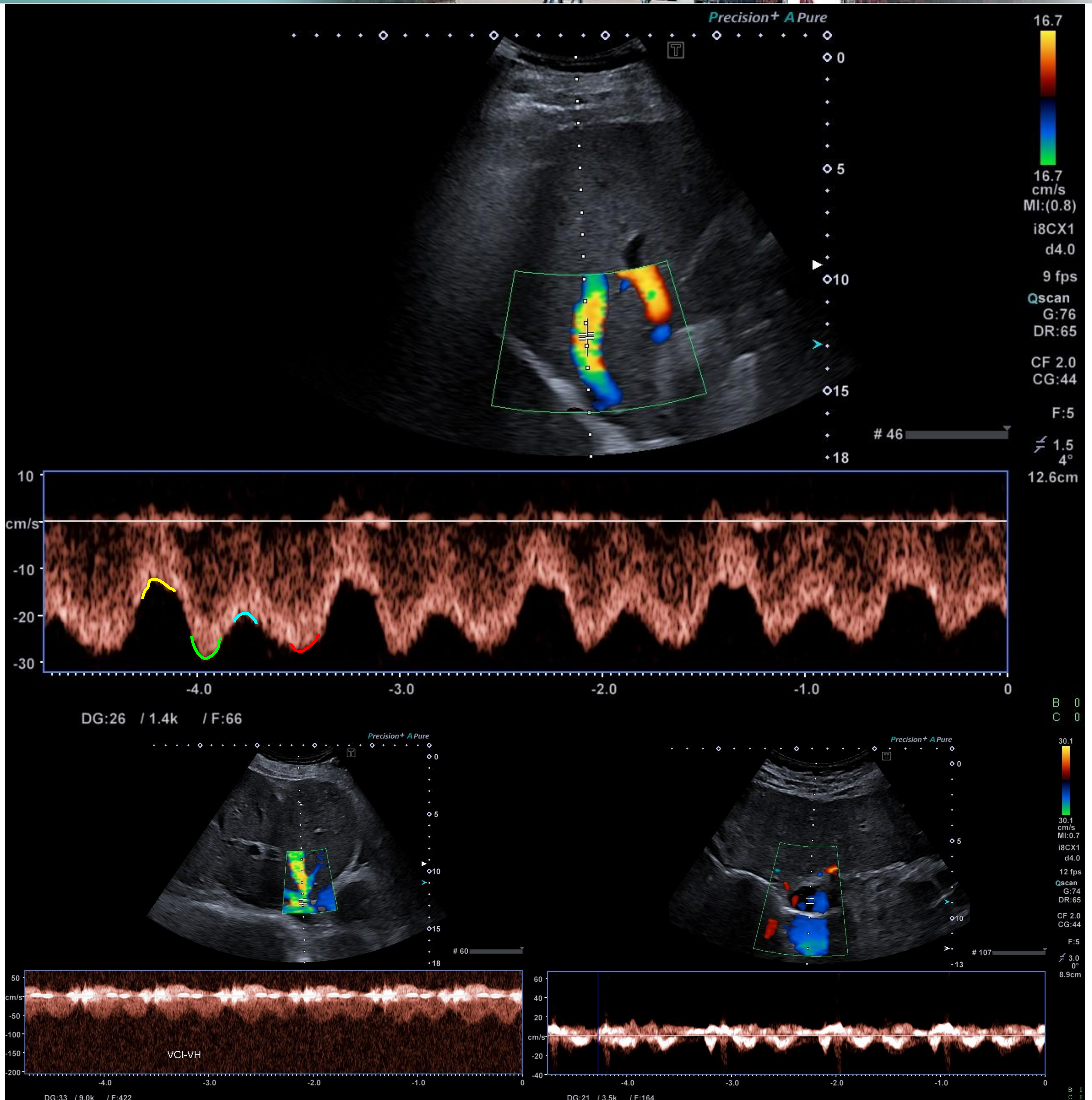


Figura 7. Imágenes de ecografía hepática en modo Doppler y estudio espectral. Flujo normal de **venas suprahepáticas** (tetrafásica, bajo la línea de base) en tres pacientes diferentes. Sobre el primer caso exponemos las **ondas de la curva típica del flujo normal**. **Línea amarilla:** onda a. Responde a la contracción de la aurícula derecha y debe ser la más elevada en condiciones tanto fisiológicas como patológicas (excepto en una insuficiencia tricuspídea severa, donde podríamos ver la onda v más alta que ésta). **Línea verde:** onda S. En sístole temprana, por efecto de “succión” del tabique interventricular al descender hacia el ápex. **Línea azul:** onda v. Su pico está generado por el cierre de la válvula tricúspide. **Línea roja:** onda D. Llenado ventricular en diástole temprana. Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

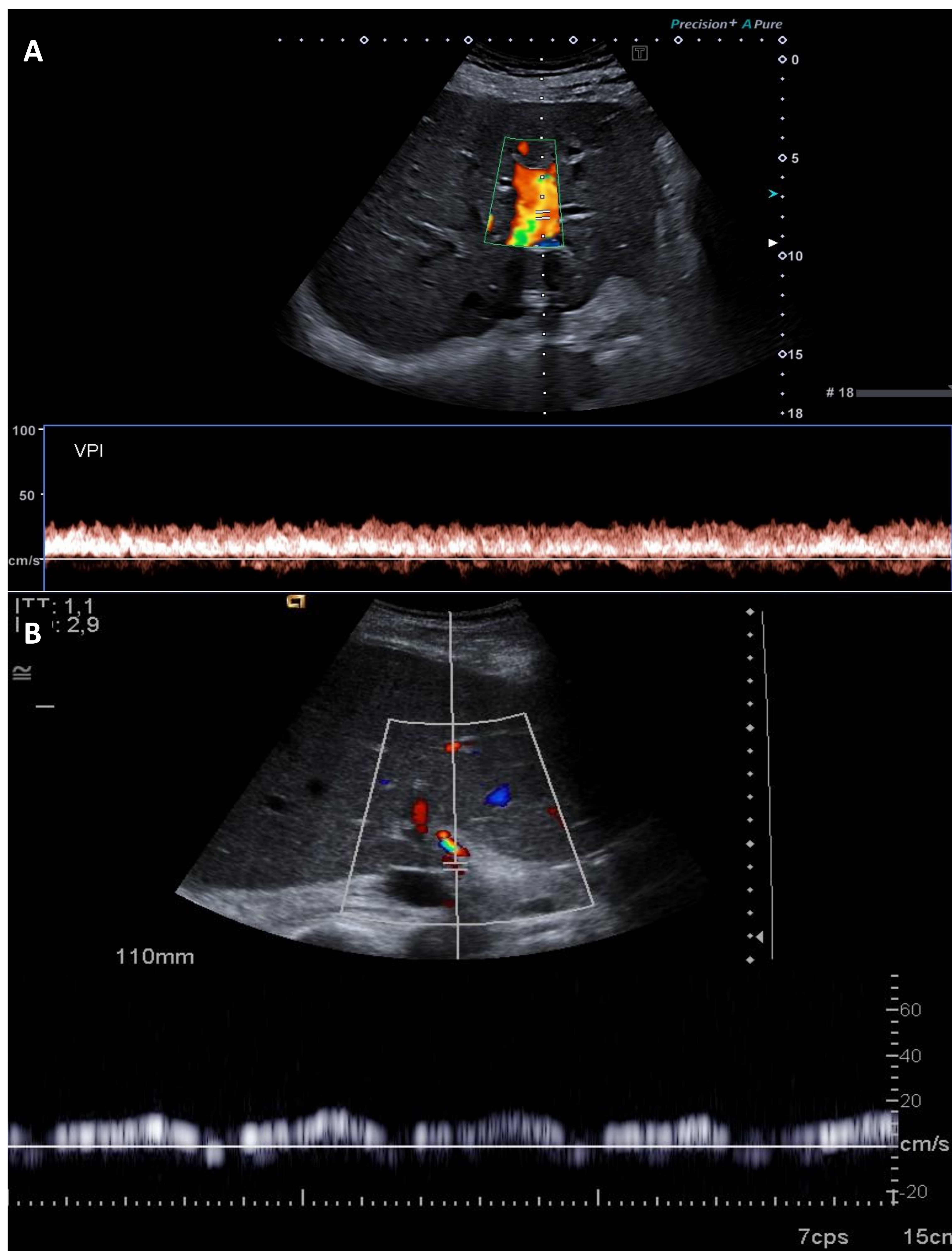


Figura 8. Ecografía hepática en modo Doppler y estudio espectral del flujo normal de la vena porta izquierda: fásico, hepatópeto y de velocidad normal (unos 22 cm/s). (A). **Flujo portal paradójico hepatópeto y hepatófugo**, signo ecográfico indirecto de sobrecarga de cavidades derechas (B).

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

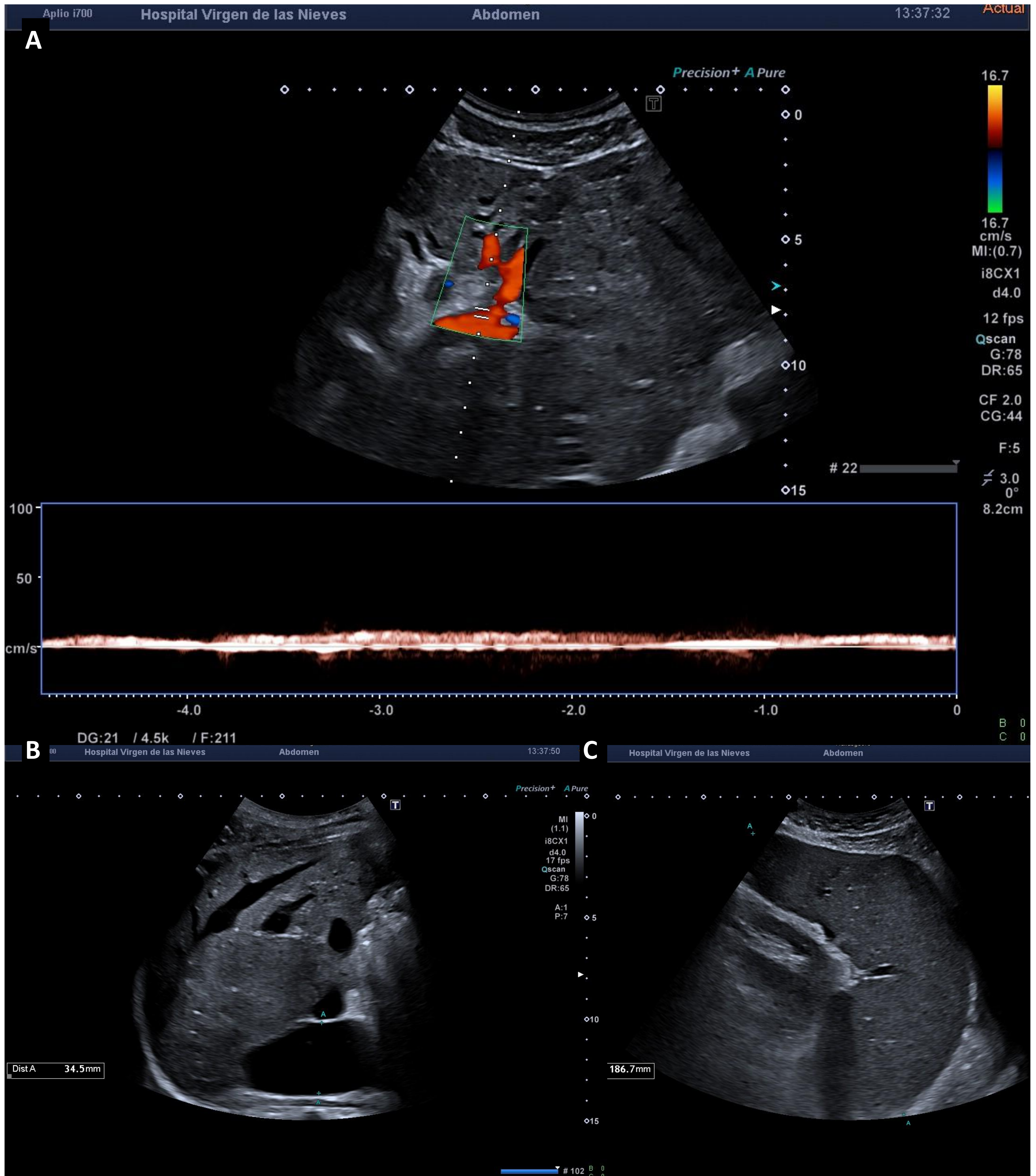


Figura 9. Ecografía hepática en modo Doppler y estudio espectral en paciente con **síndrome de Budd-Chiari y trombosis portal**. En el estudio espectral portal (A) se identifica un flujo lento portal (<16 cm/s) y en modo B (B y C) se aprecia una gran dilatación de la vena cava inferior y una esplenomegalia de 18,7 cm, hallazgos compatibles con la existencia de una redistribución vascular por hipertensión portal en este contexto.

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

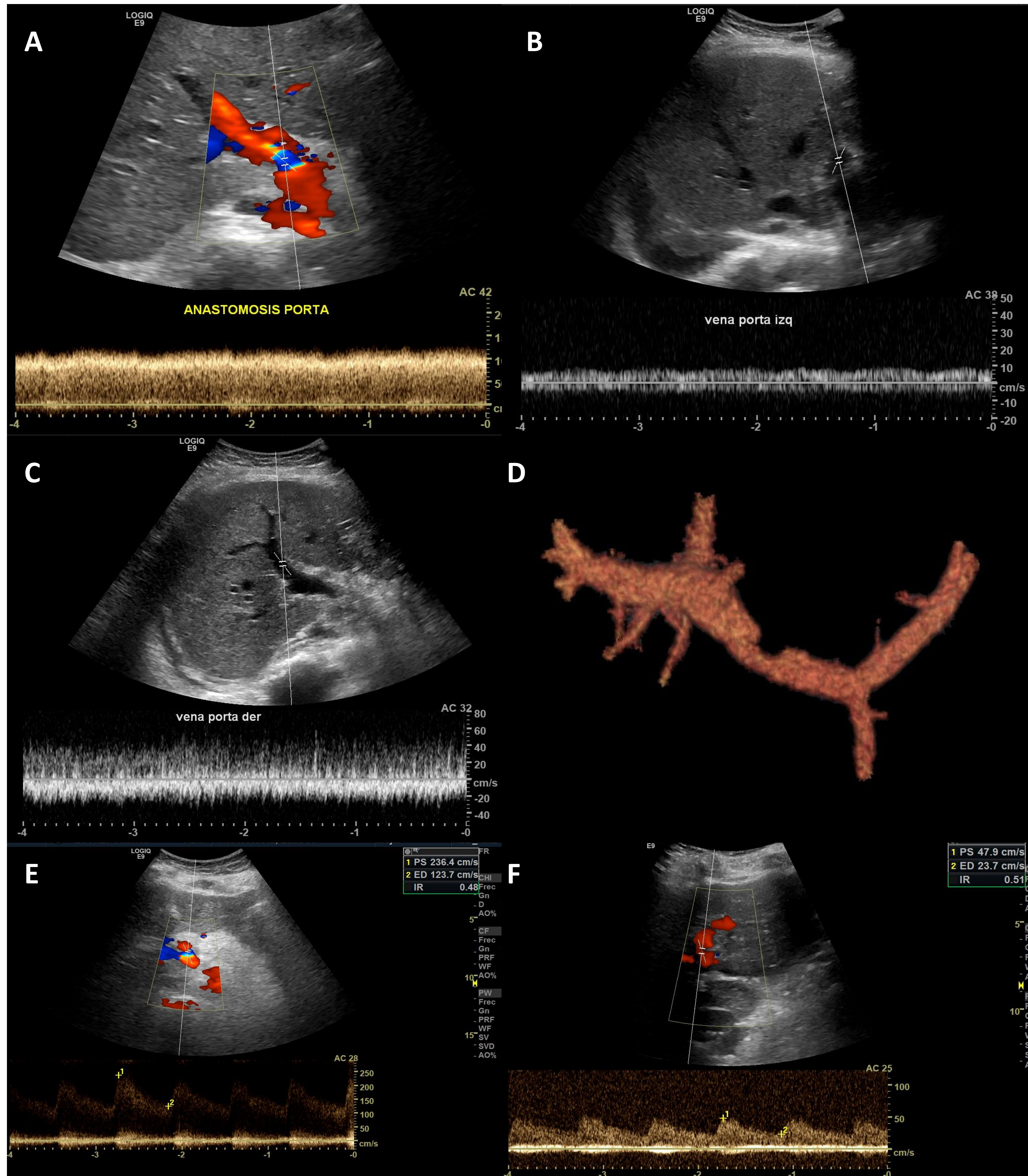


Figura 10. Ecografía hepática de control en paciente de 35 años sometida a trasplante hepático, 2 semanas después de la intervención. Se identifica un aumento focal de velocidad en la anastomosis portal con picos de 123 cm/s, que mantiene relaciones de velocidad con el segmento proximal >5 , compatible con una estenosis en la anastomosis (A). Vena portal izquierda permeable con flujo monofásico de baja velocidad (8 cm/s) (B). Flujo turbulento en anastomosis y ramas portales intrahepáticas derechas (C). Reconstrucción vascular por TC donde se aprecia una **estenosis en la vena porta principal** asociada a una dilatación post-estenótica (D). Arteria hepática permeable con aumento focal de velocidad en la anastomosis (pico sistólico de 236 cm/s) (E). Flujo arterial hiperdinámico en ramas intrahepáticas con IR ligeramente disminuido (0,45-0,5) (F).

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

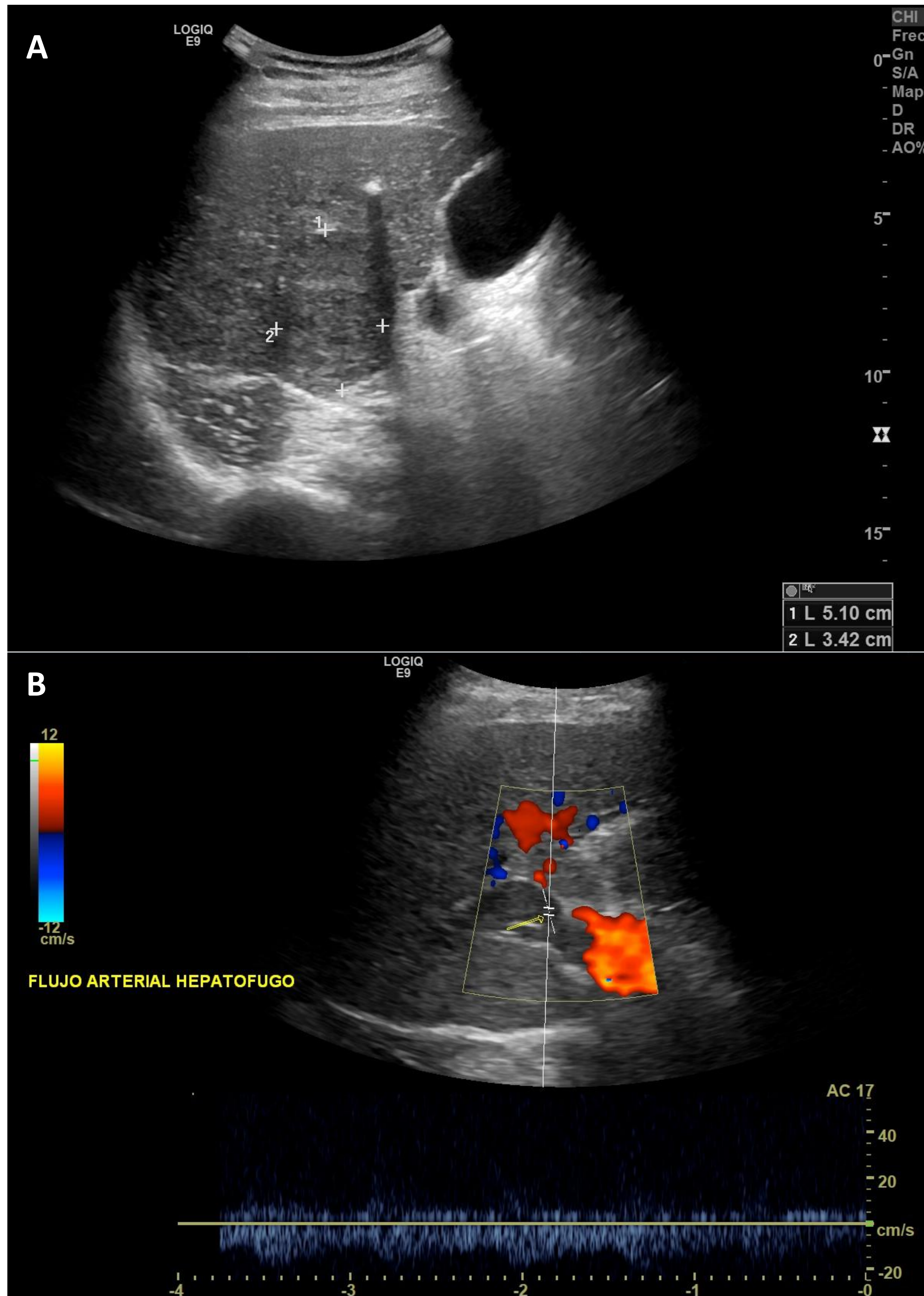


Figura 11. Control ecográfico en paciente cirrótico. Hígado con cambios morfológicos de cirrosis con textura gruesa y contorno nodular en el que se aprecia una lesión focal en la porción medial del segmento 6 con diámetros de 5,1 x 3,4 cm, ligeramente hipocogénica con relación al parénquima circundante (A). Distensión por material ecogénico de venas porta derechas posteriores en vecindad a la lesión, con extensión hacia la rama derecha y el segmento craneal de la porta principal, en las que se detecta un flujo arterial hepatofugo (B). Estos hallazgos sugieren la presencia de una **lesión tumoral con invasión de ramas portales**.

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

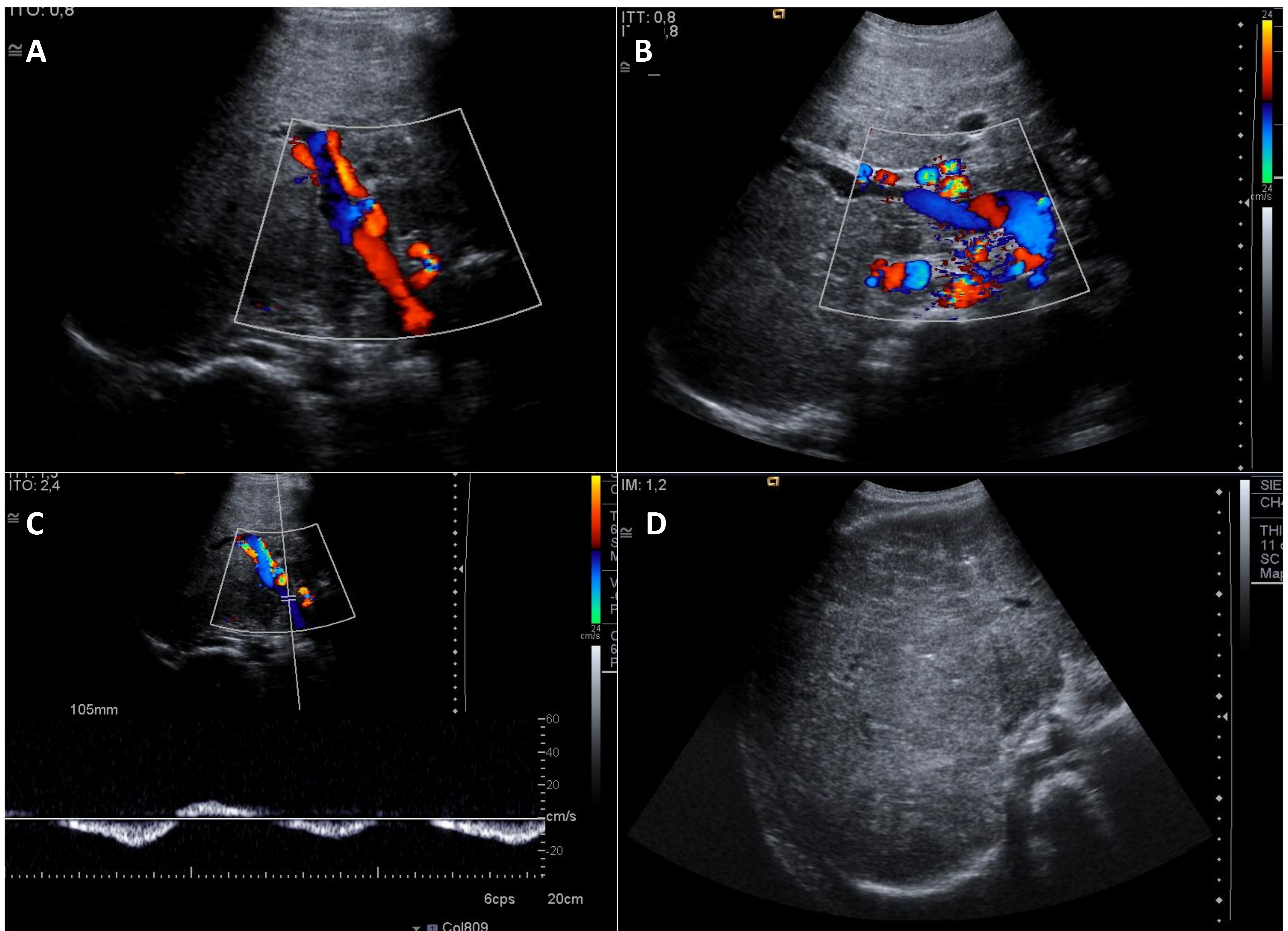


Figura 12. Ecografía hepática en modo Doppler color y estudio espectral en un paciente con síndrome de **Budd-Chiari con hipertensión portal secundaria**. Se aprecia un flujo de dirección hepatópeta en la vena porta principal y en la rama porta izquierda y un flujo hepatófugo en la rama portal derecha (A). Gran colateralidad intrahepática portosistémica (B). Estudio espectral en la vena porta que muestra un flujo helicoidal, con pérdida de la fasicidad normal (C). Imágenes pseudonodulares hipoecogénicas en el parénquima hepático en relación con nódulos macrorregenerativos (D).

Referencia. Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada.

Conclusiones

- Resulta esencial comprender las **características** de la onda espectral en la ecografía Doppler para poder interpretar de forma fiable los **hallazgos** que encontremos.
- Los componentes principales de la onda son **dirección, velocidad y aceleración**.
- La estenosis va a dar origen a una onda con morfología **parvus tardus**.
- El flujo de la **arteria hepática** es pulsátil, anterógrado, con bajo índice de resistencia y sobre línea base.
- El flujo de las **venas hepáticas** es principalmente anterógrado, con momentos de flujo retrógrado, por debajo de la línea base, fásico y obedece a cambios de presión en la aurícula derecha.
- El flujo de la **vena porta** es anterógrado, por encima de la línea base y fásico.
- Una de las principales aplicaciones de la ecografía Doppler hepática es el estudio del **trasplante hepático**, donde debemos ser capaces de obtener registros satisfactorios y determinar si estos son normales o sugieren la existencia de complicaciones.

Referencias

- Diagnostic Ultrasound 4th Edition. Carol M. Rumack, Stephanie R. Wilson, J. William Charboneau, Deborah Levine.
- McNaughton DA, Abu-Yousef MM. Doppler US of the liver made simple. Radiographics. 2011;31(1):161–88.
- Del Cura Rodríguez J, Pedraza Gutiérrez S, Gayete Cara Á. Radiología esencial. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2019.
- Scheinfeld MH, Bilali A, Koenigsberg M. Understanding the spectral Doppler waveform of the hepatic veins in health and disease. Radiographics [Internet]. 2009;29(7):2081–98. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.297095715>