

INTRODUCCION ECOGRAFIA DOOPLER

HVBLE

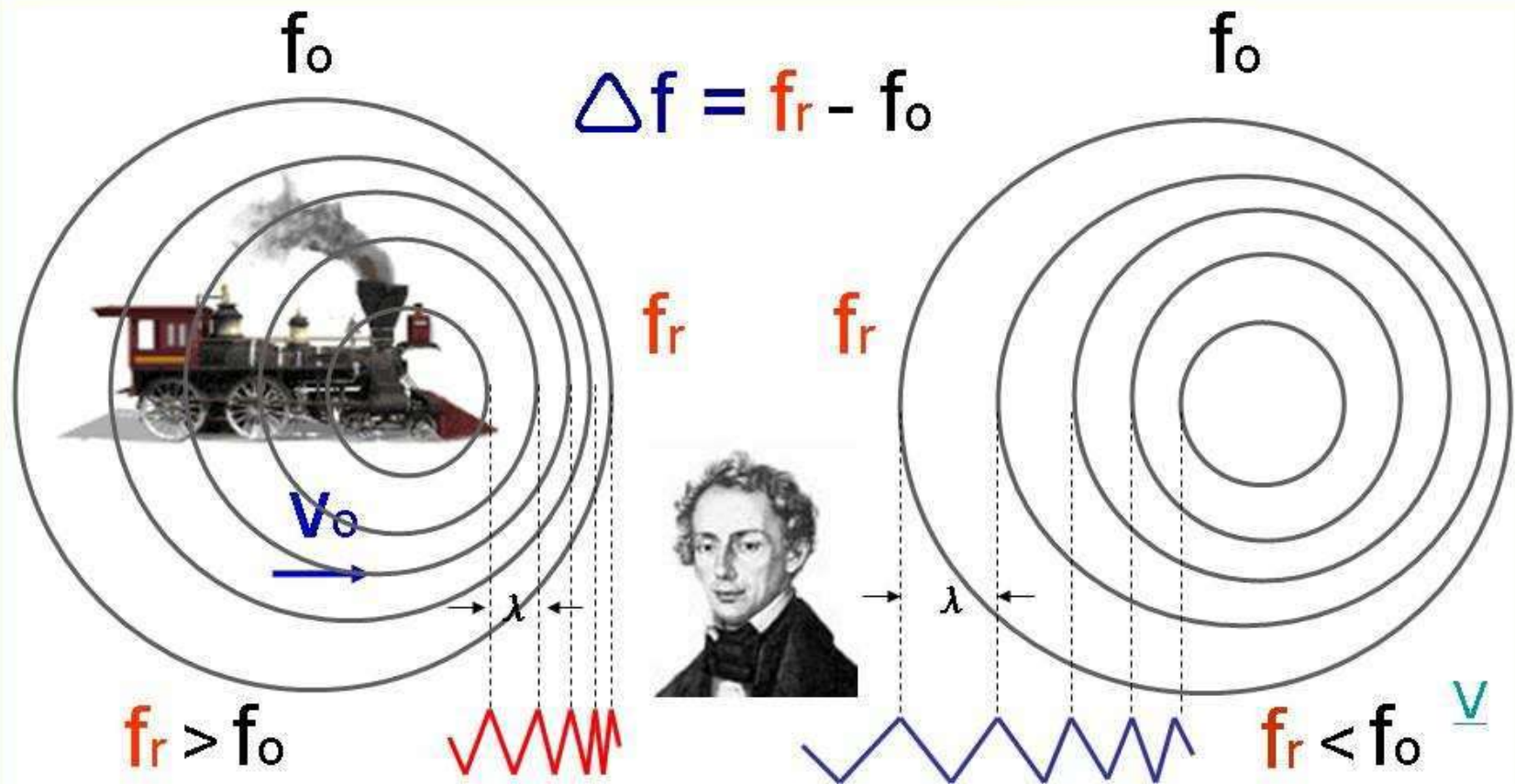
Evolución histórica de la aplicación del principio Doppler en la evaluación ecográfica en Medicina y Obstetricia

1842	Christian Johan Doppler	Descripción del efecto Doppler
1880	Hermanos Curie	Descripción del efecto piezoeléctrico
1917	Langevin Tournier Howeck	Desarrollo del primer aparato piezoeléctrico
1954	Edler y Hertz	Evaluación del corazón por ultrasonido
1955	Satomura	Doppler en la evaluación cardíaca
1959	Kaneko	Medición continua transcutánea de flujo
1963	Rushmer, Ellis, Franklin y Baker	Medición continua transcutánea de flujo y análisis espectral
1965	Smith Kline Instruments®	Sistema comercial para la evaluación de la FCF (Doptone®)
1966	Kato e Izumi	Flujometría Direccional
1970	Baker	Doppler pulsado
1974	Barber, Baker y Reid	Sistema Dúplex
1974	Leandre Pourcelot	Índice de resistencia
1974	Gosling y King	Índice de pulsatilidad
1974	Brandestini	Doppler color direccional
1980	Drumm	Relación sístole-diástole
1984	Namekawa, Kasai y Omoto	Imagen en tiempo real en color direccional (técnica de autocorrelación)
1993	Rubin	Power Doppler (angiografía de poder)

- ▶ La emisión de ondas ultrasonográficas (US) (entre 2–12 MHz (millones de ciclos por segundo) y el análisis de los cambios en frecuencia .

- ▶ Se basa en el efecto referido por Christian Andreas Doppler, un físico austríaco que describió cambios en la reflexión de la luz en relación con el movimiento de las estrellas . El efecto Doppler puede ser codificado cuando se emiten ondas sónicas o luminosas y el emisor el objeto reflejante se encuentran en movimiento

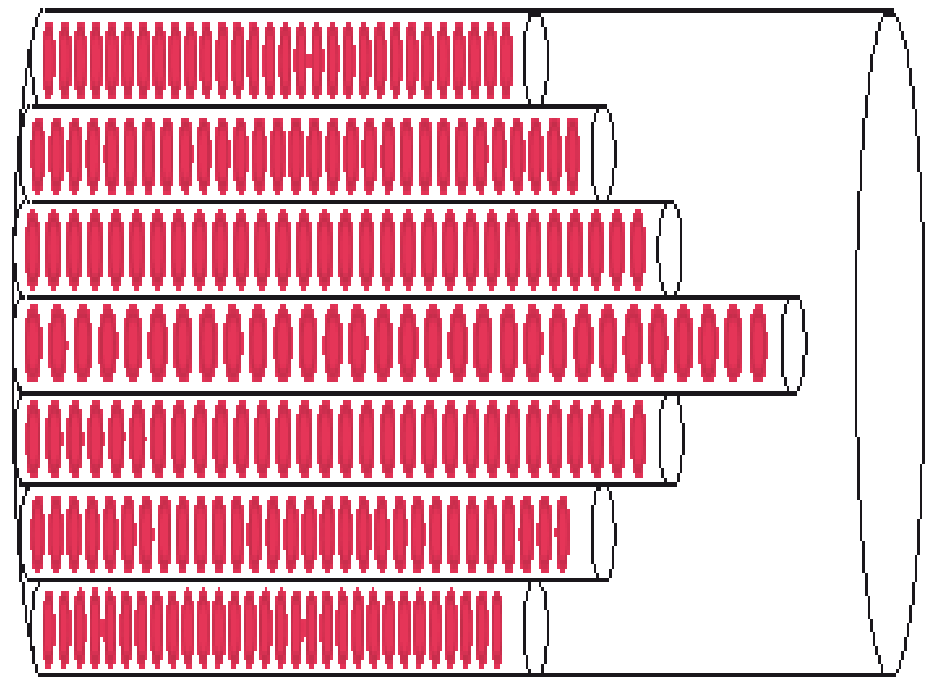
Efecto Doppler



- ▶ En la práctica clínica empleamos el efecto Doppler para valorar el movimiento de la sangre.
 - ▶ El transductor actúa en principio como fuente estática emitiendo una onda de ultrasonidos sobre el vaso.
 - ▶ Si hay movimiento, esta onda es reflejada por los hematíes, que constituyen el mayor componente de la sangre, actuando el transductor también como receptor.
- 

Movimiento de las células sanguíneas dentro del vaso

Disposición «en pilas de monedas» (Rouleaux) de las células sanguíneas. Las columnas centrales viajan a una mayor velocidad que las cercanas a la periferia.

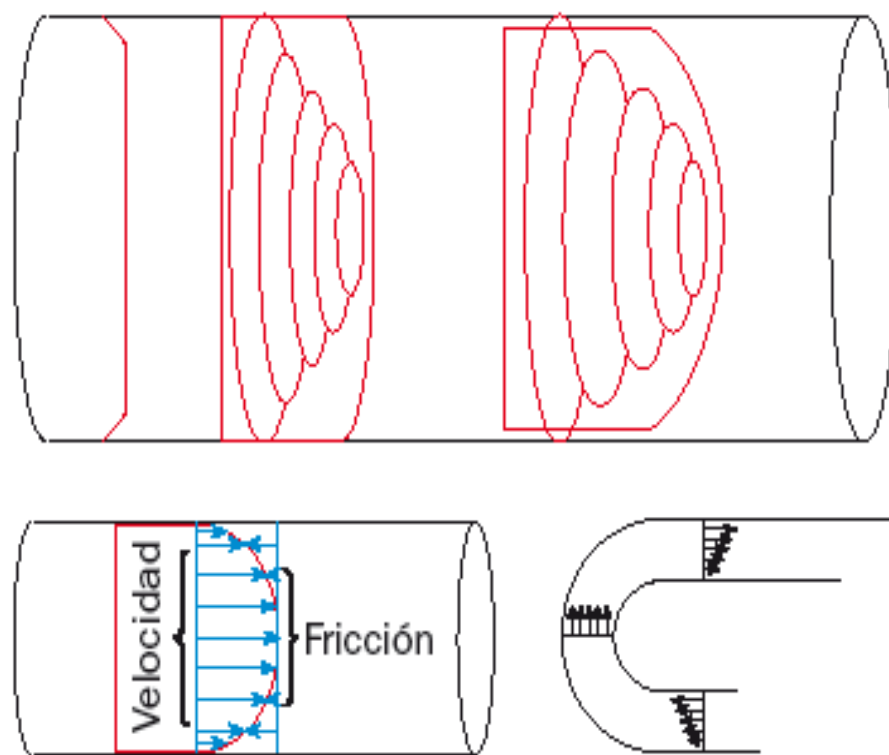


Factores vasculares que afectan al flujo sanguíneo

Cambio en el flujo vascular arterial: plano (sistólico), intermedio (al final de la sístole) y parabólico (diástole).

Resistencia y flujo: en el centro del vaso, a menor resistencia, mayor velocidad; en la periferia del vaso, a mayor resistencia, menor velocidad.

La forma del vaso afecta a la velocidad del flujo dentro del vaso.

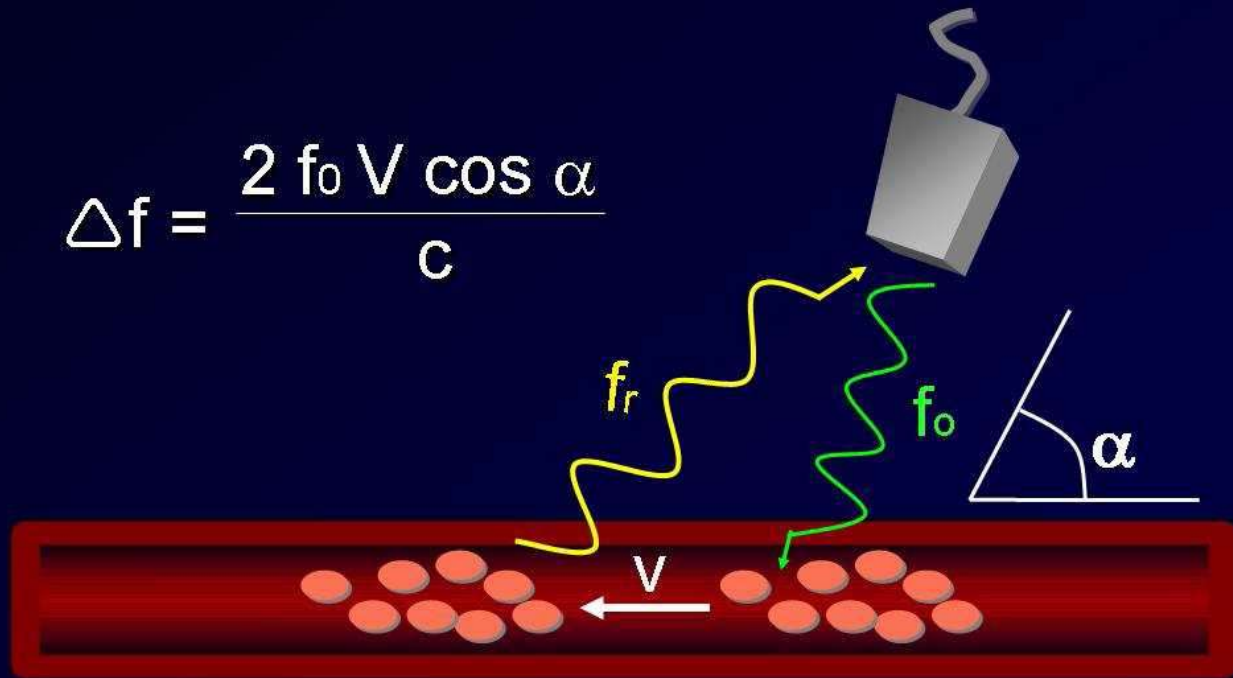


Concepto clave: la forma del vaso, el grosor y el momento del ciclo cardíaco afectan al flujo sanguíneo.

El efecto Doppler en la ecografía

Detectar y evaluar el flujo sanguíneo $\Delta f = f_r - f_o$

$$\Delta f = \frac{2 f_o V \cos \alpha}{c}$$



Ecuación para el cálculo de velocidad

En donde:

$$v = \frac{\Delta f c}{2 f_0 \cos \theta}$$

v = velocidad del objeto (sangre)

Δf = cambio de la frecuencia de la onda sónica (calculada por el sistema)

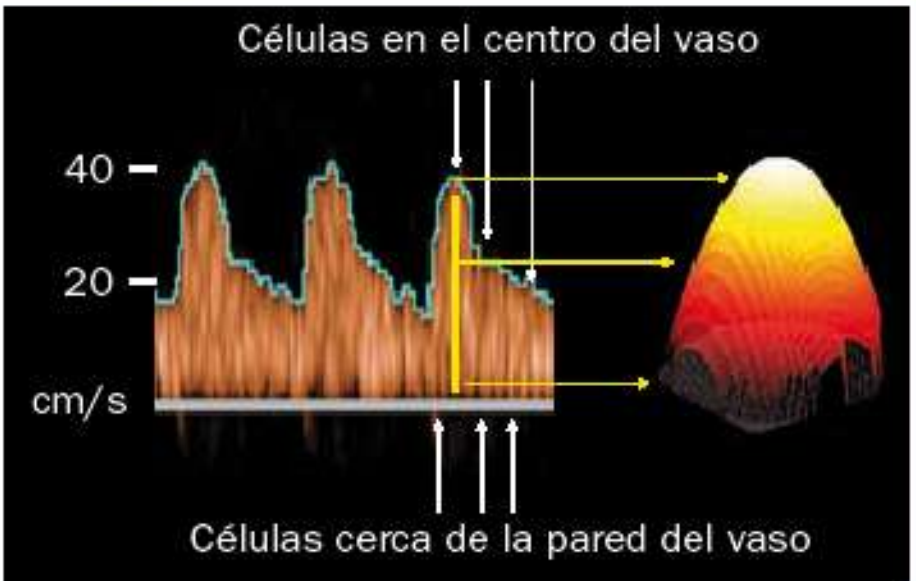
c = velocidad del sonido en el cuerpo humano (aproximadamente 1500 m/s)

f_0 = frecuencia de transmisión del US

θ = ángulo de insonación

Espectro Doppler

El espectro Doppler de una arteria muestra en el eje de las Xs el tiempo, y en el eje de las Ys el espectro de velocidades. Las señales cerca de la línea de base corresponden a la periferia del vaso; las señales más lejanas de la línea de base, a las que se mueven en el centro del vaso a mayor velocidad.

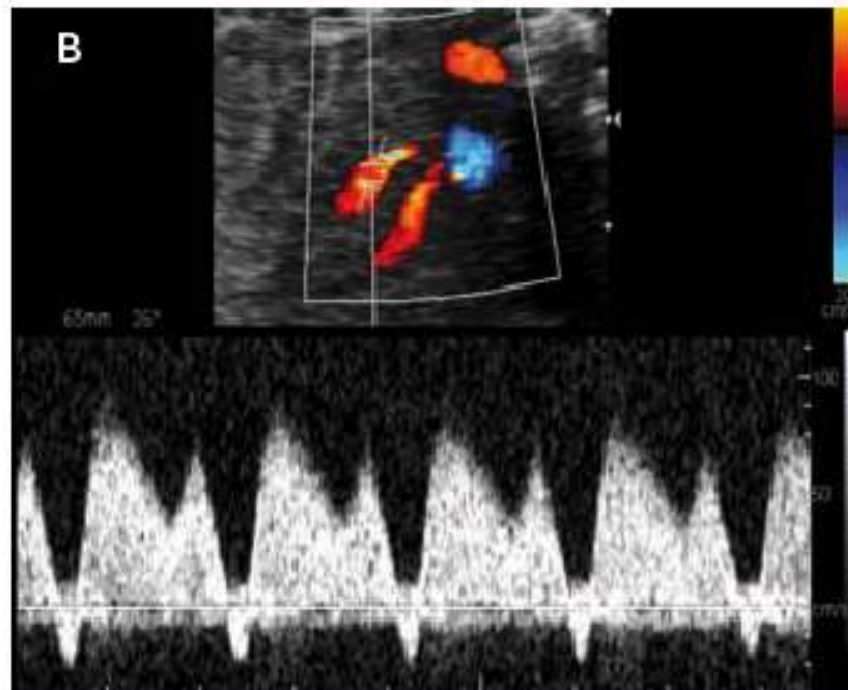
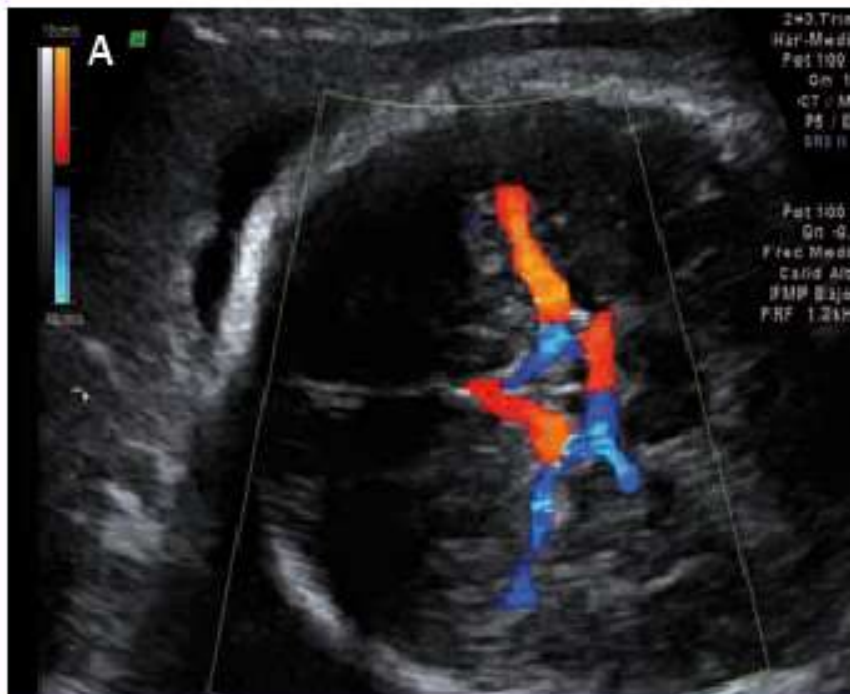


Concepto clave: el espectro muestra, de forma dinámica, los cambios de velocidad en las diferentes partes del vaso con relación al tiempo.

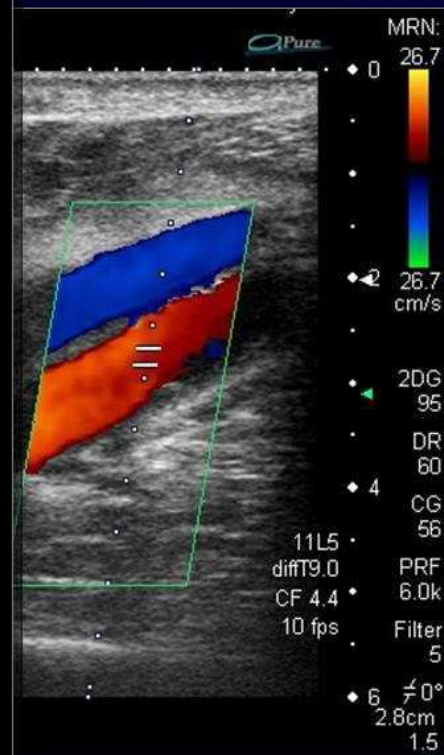
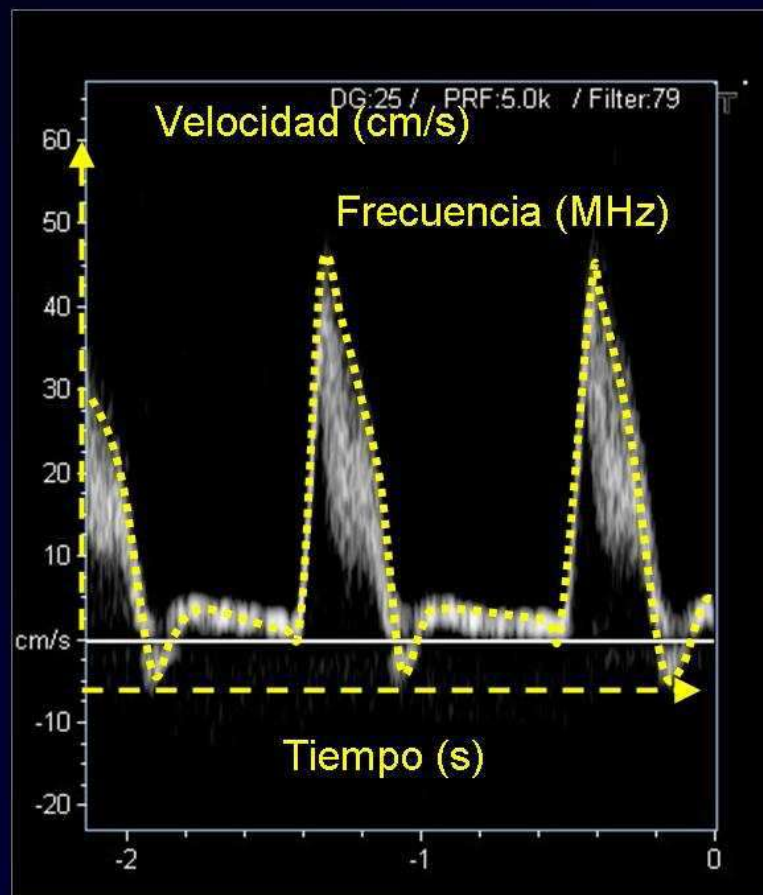
- ▶ La señal Doppler (espectro Doppler) obtenida podemos representarla de 3 modos: como una señal de audio, como una señal de color (con el Doppler color) y como una representación gráfica (con el Doppler pulsado).
 - ▶ En la representación gráfica se muestra el espectro de frecuencias detectadas en función del tiempo y la velocidad (de los hematíes).
- 

Sistemas Dúplex, Tríplex y representación espectral

Figuras (a) sistema Dúplex que muestra una ecografía fundamental (grises) y un mapeo con Doppler color direccional; (b) sistema Tríplex que permite ver una ecografía fundamental, un mapeo con Doppler color direccional y una flujometría Doppler espectral.



Concepto clave: ecografía Dúplex: dos modos ecográficos; ecografía Tríplex: tres modos ecográficos.



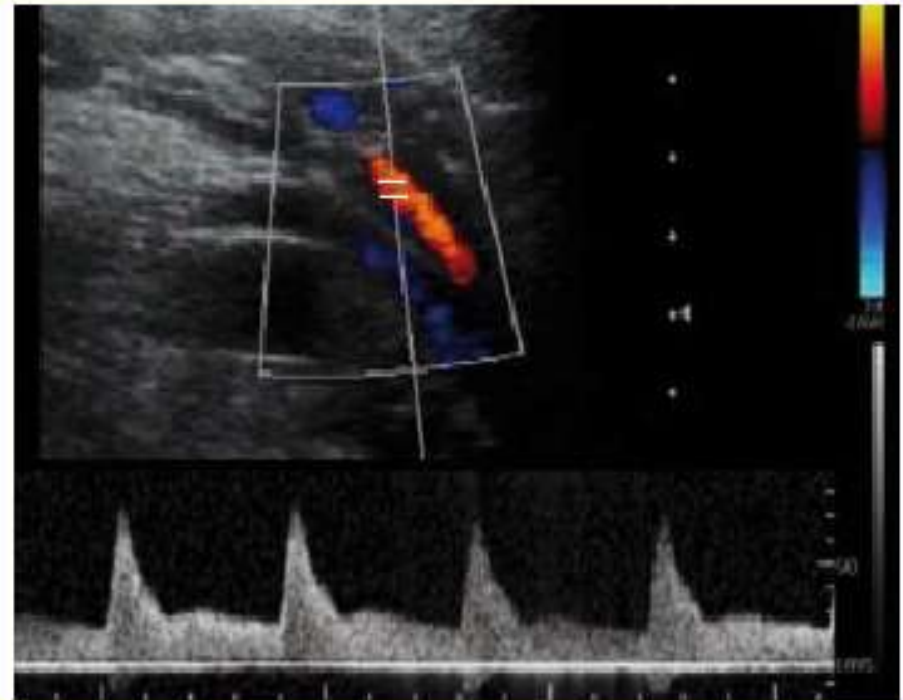
ASPECTOS TÉCNICOS FUNDAMENTALES:

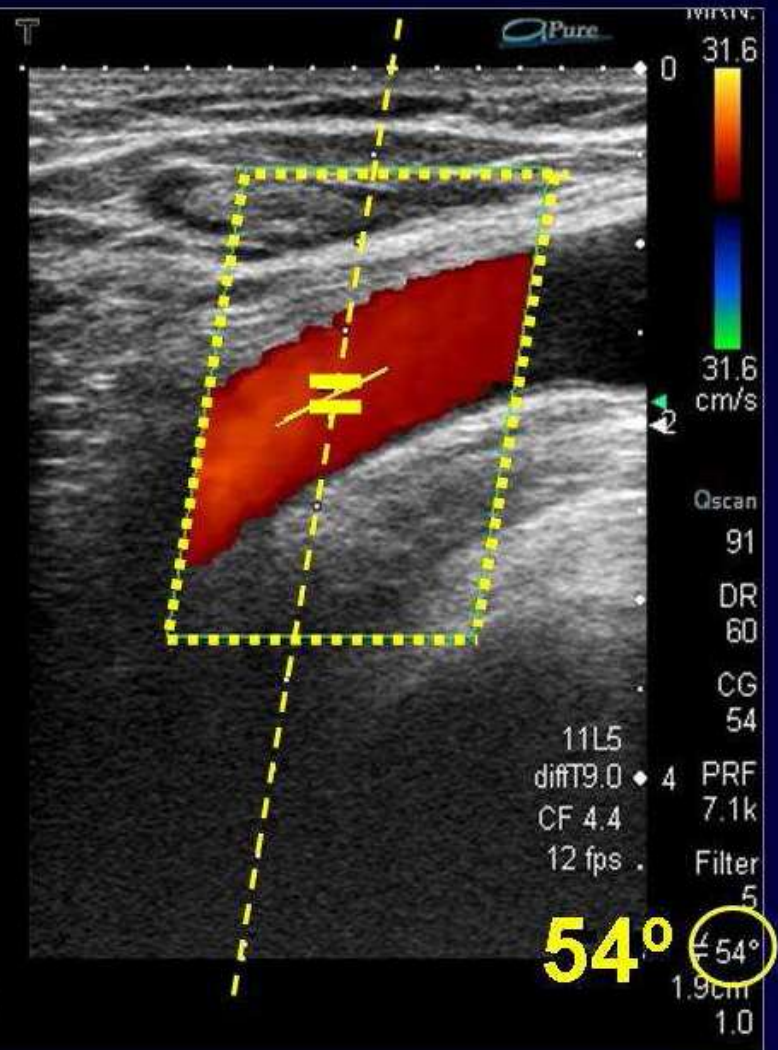
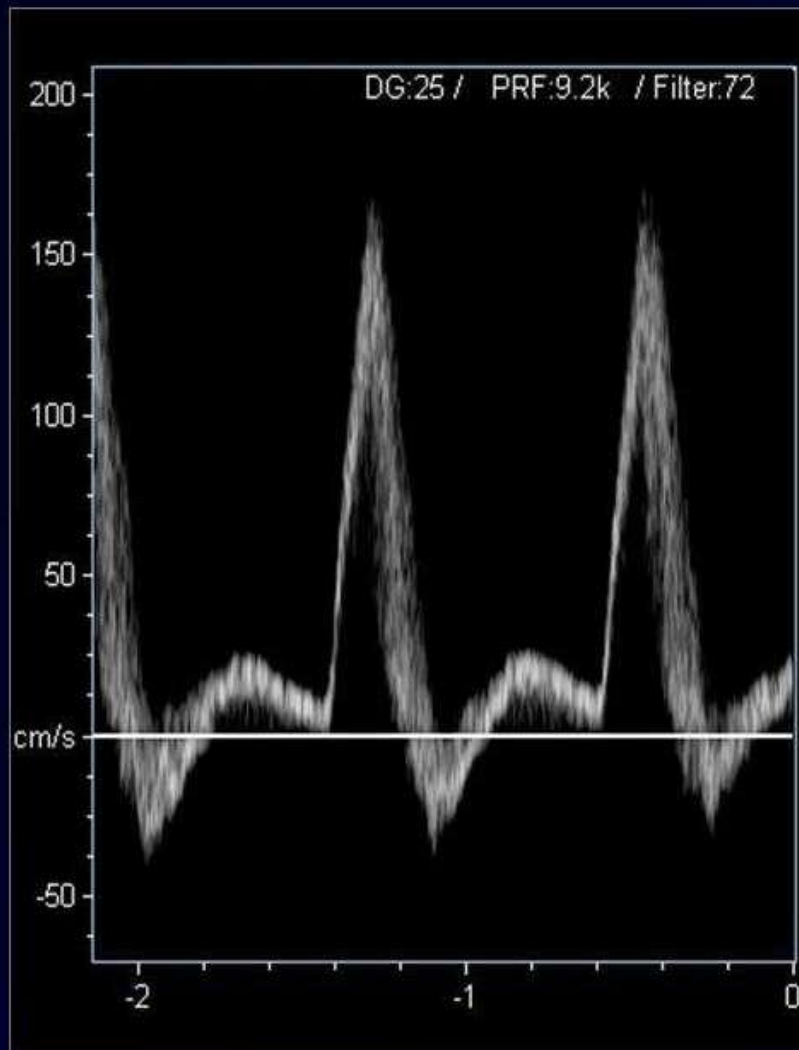
Para realizar una adecuada exploración Doppler hay varios factores técnicos a considerar:

- Ganancia de color correctamente ajustada.
 - Ventana de color lo más estrecha posible y con una adecuada angulación.
 - Volumen de muestra colocado en el centro del vaso, donde el flujo es laminar.
 - Adecuado ángulo de incidencia (ángulo Doppler), de entre 30° y 60° , para obtener una señal Doppler óptima.
- 

Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra determina el área en el eje longitudinal en la cual el ecógrafo detecta velocidades. Lo habitual es establecer un tamaño de muestra parecido al diámetro del vaso que queremos explorar.





Semiología y aplicaciones clínicas fundamentales de la ecografía Doppler:

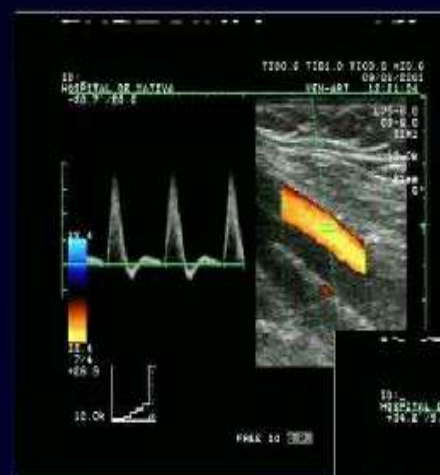
- ▶ Entre las múltiples aplicaciones clínicas de la ecografía Doppler podemos destacar las siguientes:
 - ▶ – Permite caracterizar el vaso. Distingue una arteria de una vena por el tipo de flujo característico; así como el tipo de flujo arterial: de alta resistencia (propio de las arterias musculares) y flujo de baja resistencia (propio de las arterias que irrigan parénquimas).
- 

Sistema venoso:



Sistema arterial:

Alta resistencia
Onda trifásica



Baja resistencia
Onda monofásica

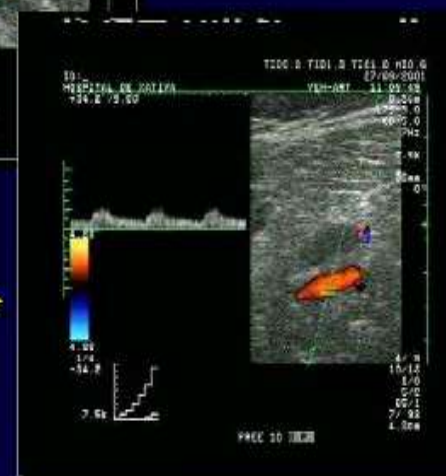


Fig.6 y 7: Espectro Doppler de una vena, y de una arteria de alta y de baja resistencia.

Doppler continuo

- ▶ No selecciona la profundidad, y registra todos los cambios de frecuencia en la línea de emisión. Su aplicación actual en ecógrafos es nula.
 - ▶ El Doppler continuo es una parte fundamental del estudio cardiovascular del adulto, y es la modalidad utilizada en los aparatos ambulatorios de frecuencia cardíaca fetal y en sistemas de cardiotocografía.
- 

Doppler pulsado

- ▶ Es la opción más utilizada, y con ella se obtienen prácticamente todos los índices .
- ▶ Como la velocidad del US en el cuerpo humano es conocida, el sistema puede enviar unos pulsos cortos de ultrasonidos a intervalos regulares, que le permiten localizar la señal Doppler en una profundidad concreta, al estimar el tiempo que tardarán los ecos emitidos en ese pulso concreto en volver.
- ▶ Esto permite al ecógrafo analizar selectivamente los cambios de velocidad en una profundidad determinada, que el explorador puede seleccionar colocando una muestra (*gate*) *en un vaso específico* .
- ▶ Cuando se realiza un Doppler pulsado, no se puede modificar la anchura de la muestra, pero sí la altura, o tamaño de muestra, que define el espacio a lo largo del cual el ecógrafo mide velocidades.

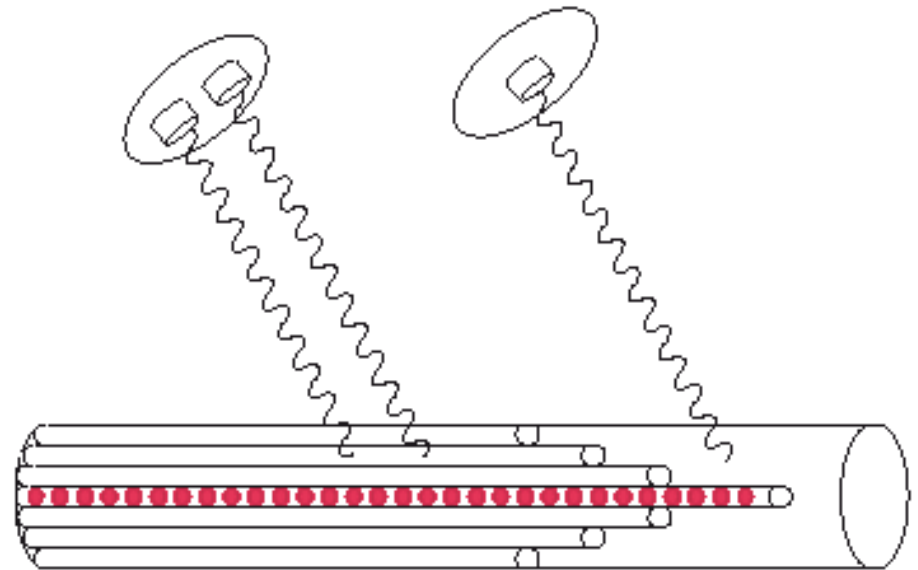
Emisión continua y pulsada de la ecografía Doppler

El Doppler pulsado tiene un tiempo de emisión y otro de recepción (pulsos). Esto permite seleccionar las señales recibidas y ajustar la profundidad de la zona que interesa evaluar.

El Doppler continuo no tiene tiempo de espera. Como ventaja, no presenta *aliasing* y puede evaluar velocidades muy altas, pero no selecciona la zona a evaluar.

Doppler continuo:
dos emisores, uno que emite y otro que recibe simultáneamente

Doppler pulsado:
un solo emisor que emite y recibe durante los pulsos



DOOPLER COLOR

El Doppler color es una variante del Doppler pulsado que permite mostrar de forma gráfica, mediante COLORES (rojo y azul), el movimiento de la sangre dentro de una «ventana» .

El Doppler color direccional es indispensable para localizar y evaluar la disposición de los vasos sanguíneos en general, y una herramienta clave en la evaluación cardíaca fetal.

La ventana de color se delimita a lo ancho por el número de líneas emitiendo US Doppler, y a lo alto por el número de «puertas» que le pedimos analizar. Al aumentar el tamaño de la ventana de color, el número de puertas que se analiza es mayor, y su presentación en la pantalla es más lenta. Cuando se disminuye la ventana de color, el proceso se hace más rápido y la calidad de la imagen mejora. El Doppler color analiza velocidad y dirección, y los representa en un código dicromático (rojo y azul). Por convención:

- El movimiento que se acerca a la sonda (positivo) es rojo.
- El que se aleja (negativo) es azul.

Principio de la codificación en Doppler color

En la caja de color, todas las líneas emiten ondas Doppler. Cada línea tiene muchas ventanas (volúmenes muestra), y en cada una de ellas se analizan los cambios de frecuencia o poder. El resultado es que sólo las áreas que muestren movimiento serán codificadas en color, dando un mapa agregado a la ecografía fundamental.



Efecto del ángulo de Insonación en la codificación Doppler color direccional

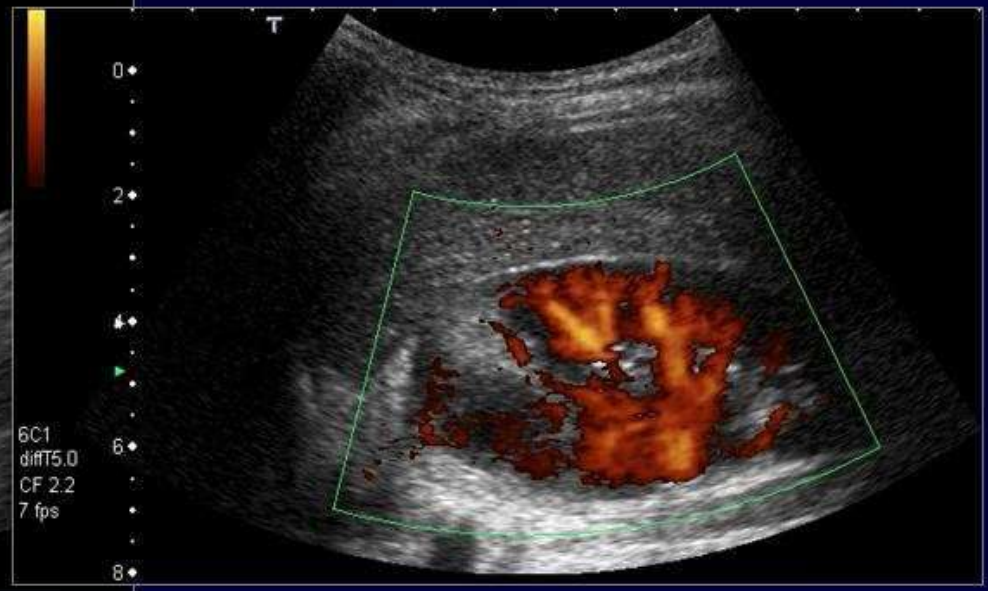
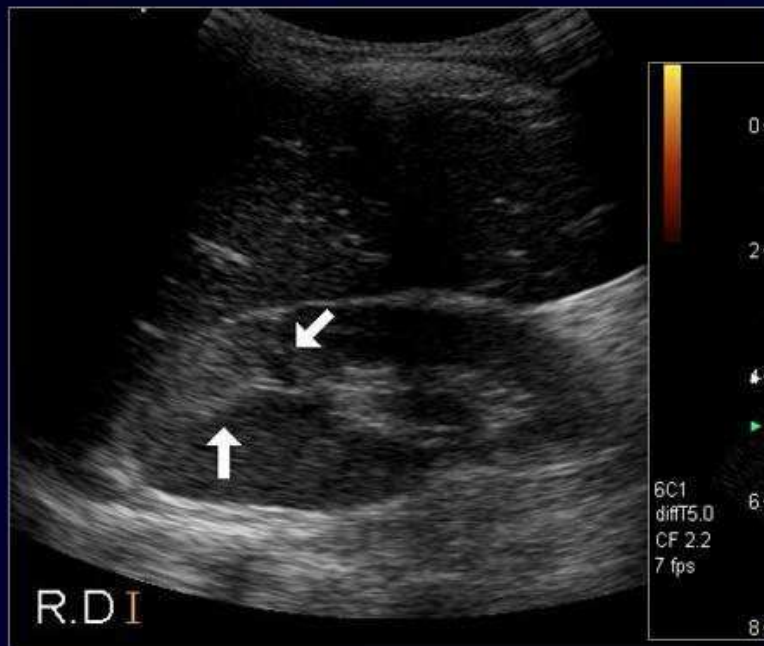
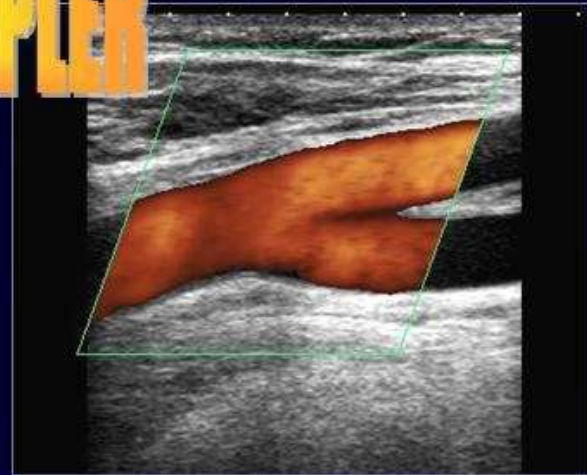
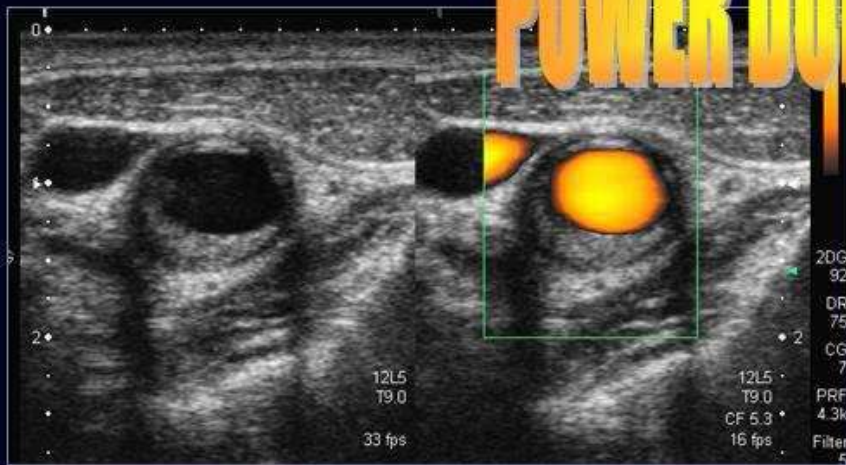
Se observa un asa del cordón umbilical en la cual el flujo que se acerca al transductor se codifica en rojo y el que se aleja en azul. Nótese la zona sin codificación que corresponde a un ángulo de 90° en relación al transductor y al movimiento sanguíneo.



Doppler energía o Power Doppler:

- ▶ El Doppler energía o “power Doppler”, constituye una **técnica Doppler adicional**, que presenta unas particularidades propias, ya que analiza el cambio en la amplitud de los ecos, en lugar del cambio de frecuencia.
- ▶ Se relaciona por ello con la **densidad de los hematíes en la muestra, no con su velocidad**. Suele ser más **sensible para detectar flujos lentos y débiles**. Valora mejor los contornos de la luz del vaso y la vascularización tisular.

POWER DOPPLER



Índices utilizados en arterias

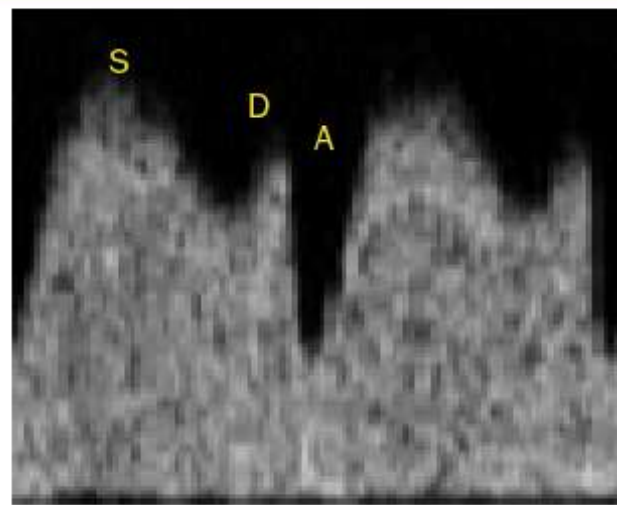
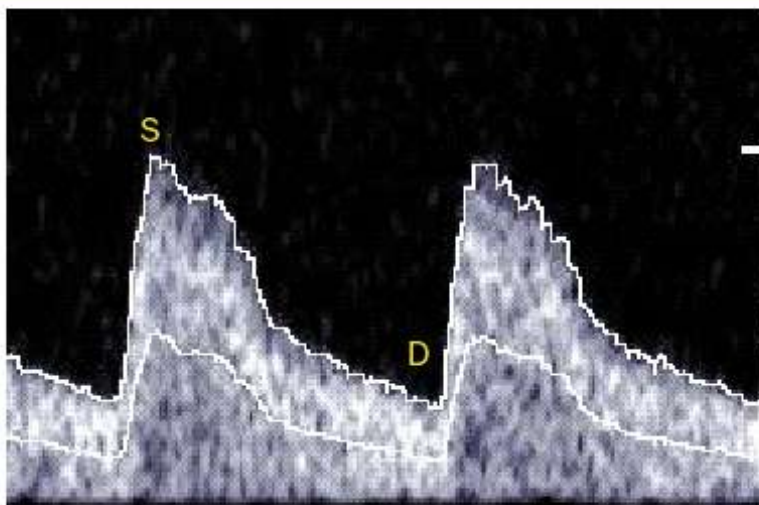
- **Índice de pulsatilidad:** parámetro clave de la exploración Doppler; se trata de un índice semicuantitativo que evalúa fundamentalmente, pero no únicamente, la relación entre el funcionamiento cardíaco y la resistencia periférica. El índice principal actualmente utilizado es el índice de pulsatilidad. Otros índices utilizados antiguamente para este tipo de evaluación eran el de resistencia ($IR = \text{sístole} - \text{diástole} / \text{sístole}$) y la relación $\text{sístole} / \text{diástole}$ (S/D). Estos índices no deben utilizarse ya en clínica, porque no dan información cuando el flujo en diástole es 0 o negativo, problema que no sucede con el IP.
- **Velocidad sistólica (también máxima o pico):** utilizado exclusivamente en arteria cerebral media, permite evaluar indirectamente el grado de anemia.
- **Velocidad diastólica y promedio:** junto con la sistólica, son mediciones que automáticamente realiza el ecógrafo. Se emplea en algunos aspectos concretos de investigación, pero no en clínica.

Índices utilizados en venas

- **Índice de pulsatilidad:**
se utiliza también en venas pulsátiles, y refleja la resistencia que encuentra la sangre al llegar al corazón.
- **Velocidad máxima y velocidad promedio:**
Se pueden usar en venas pulsátiles o de flujo continuo. No se emplean en clínica, pero sí en investigación, para calcular volumen por minuto (a partir de la velocidad media y diámetro), lo que ha permitido importantes avances en el conocimiento de algunas patologías fetales.

Cálculo del índice de pulsatilidad

El índice se calcula con la velocidad máxima, la mínima y la media. En vasos arteriales (izquierda), la máxima y la mínima se corresponden con la sístole y la diástole; y en vasos venosos (derecha), la máxima coincide con la sístole y la mínima con la fase de flujo atrial (véase la pulsatilidad del *ductus* venoso en el capítulo 3). Como puede observarse en el patrón arterial, el ecógrafo ha dibujado automáticamente dos líneas: una que corresponde a la velocidad máxima en cada momento, y otra a la velocidad media, que es la que se utiliza para el cálculo del índice.



El índice de pulsatilidad depende en su mayor parte de la resistencia (o impedancia), de las arteriolas del territorio irrigado, y en menor medida del volumen de eyección cardíaco. A más alta resistencia (o vasoconstricción) de las arteriolas, mayor índice de pulsatilidad (mayor diferencia entre sístole y diástole), y viceversa. El índice también aumenta si existe fallo cardíaco. En casos raros de hipovolemia marcada, también se ve afectado, porque se produce una reducción de la velocidad diastólica.

Principales índices utilizados en el Doppler pulsado

Índices basados en la velocidad

Los cambios de velocidad en un vaso sanguíneo ofrecen una gran información hemodinámica, y por este motivo una de las mayores utilidades del Doppler pulsado es el cálculo de velocidades y de índices.

Como concepto básico en la utilización del Doppler, el cálculo correcto de las velocidades depende:

- Críticamente del ángulo, por lo que debe ser siempre lo más cercano a 0°.
- De la adecuada frecuencia de emisión de pulsos (escala de velocidad): la

altura de la onda debe ocupar al menos el 50–75% de la escala de velocidad,

ya que cuando es $< 50\%$ la variabilidad en la estimación aumenta.