

## **SECCION III**

### **IMAGEN POR ULTRASONIDOS**

---

IIIA. Transductores

IIIB. Instrumentación de imagen por ultrasonidos

IIIC. Artefactos de imagen

## Capítulo IIIA

### TRANSDUCTORES

Jose María Escribano  
Hospital Universitario Vall dHebró

#### I. Efecto piezoeléctrico

- A. Es la capacidad de un cristal de generar una corriente eléctrica al aplicar en su superficie, un esfuerzo mecánico. El ultrasonido se genera usando un transductor (cristal) montado sobre una sonda, que actúa como generador y receptor. El cristal piezoeléctrico, es capaz de convertir energía eléctrica (se conecta el cristal a una fuente eléctrica) en energía mecánica y viceversa.
- B. Cuando la sonda se acopla a la piel, las vibraciones generadas son transmitidas al tejido como ondas de alta y baja presión. Cada pulso propagado a través de los tejidos se refleja parcialmente volviendo al transductor. Entonces, el cristal vibra por el ultrasonido, lo que produce un cambio de voltaje. La intensidad del fenómeno estará en relación con el tamaño y tipo de cerámica utilizada

#### II. Características del haz:

- A. **Formación del haz.** Usando materiales piezoeléctricos tradicionales, el transductor es frecuencia dependiente, y es necesario usar un transductor para cada frecuencia. El uso de materiales modificados en los transductores modernos es menos dependiente de la frecuencia, lo cual permite fabricar transductores multifrecuencia.
- B. Las primeras sondas estaban compuestas de un sólo transductor cuyo diámetro variaba entre 1-2 cm según la frecuencia emitida. Actualmente las sondas se diseñan con multielementos lo cual permite una mejor focalización y dirección del haz de ultrasonidos. El número de elementos puede llegar a ser de 1000 en una sola sonda.
- C. Según el principio de **Huygen**, la superficie del transductor se considera como un conjunto de elementos separados cada uno irradiando ondas hemisféricas hacia delante. Los elementos se mueven sincrónicamente y con amplitudes iguales. Consecuentemente, el campo de ultrasonidos producido por un conjunto lineal de elementos, se concentra en un haz que se hace más uniforme según se aumente la distancia al transductor. El haz es la región en la que las ondas están en fase. (Figura 1)-

- D. Se conoce como campo cercano (**zona de Fresnel**) la región más cercana al transductor y como campo lejano (**zona de Fraunhofer**) la región distal (distal al último máximo axial) en la que, el haz diverge en ángulos alrededor del eje central. Pueden existir problemas en la elección de la frecuencia óptima para una imagen si el mismo transductor se usa para operar con doppler. Ello se debe a que en los estudios doppler puede ser mejor usar frecuencias menores.

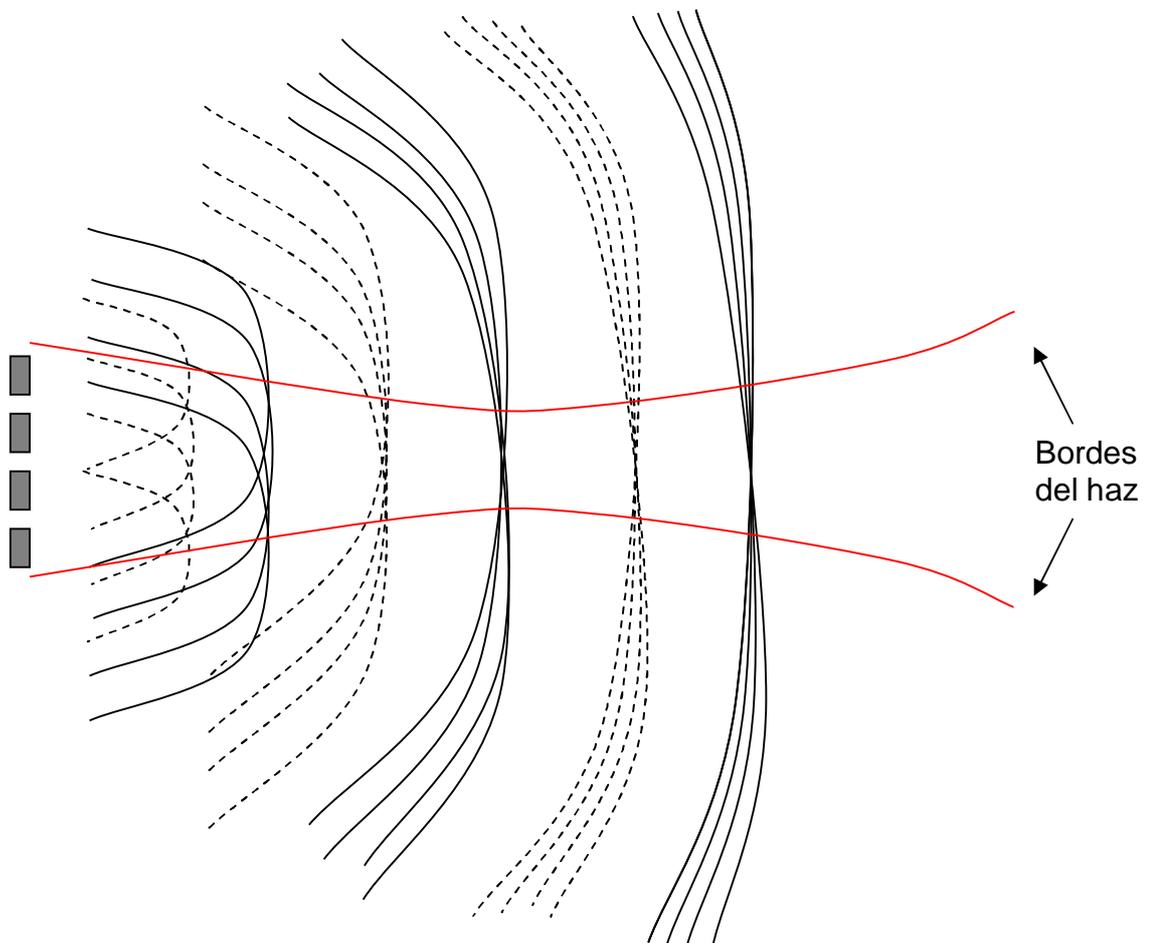


Fig. 1. Formación del haz. Se muestra la formación del haz por interferencia entre ondas emitidas por una sonda formada por 4 elementos. Los máximos de las ondas son las líneas continuas y los mínimos las discontinuas. El haz es la región en la que las ondas están en fase.

Algunos equipos usan dos transductores, para imagen y doppler que pueden operar a diferentes frecuencias. Por otra parte, los equipos electrónicos que incorporan transductores multifrecuencia funcionan satisfactoriamente con frecuencias relativamente bajas para doppler y altas para imagen

### III. Focalización.

- A. Si el haz emitido no dispone de focalización, éste diverge gradualmente según atraviesa los tejidos, lo cual conduce a una pobre resolución espacial. El perfil del haz puede ser modificado mediante técnicas de enfoque. El enfoque reduce las dimensiones laterales del haz dentro de la zona de foco y por lo tanto mejora la resolución en profundidad y elevación. El fenómeno de enfoque ocurre en el punto del campo donde llegan simultáneamente todas las contribuciones de la superficie del transductor, esto es, en fase.
- B. La colocación de *lentes* frente al transductor permite la focalización del haz. Las lentes circulares son usadas para elementos simples, consiguiendo un estrechamiento simétrico del haz.
- C. Para transductores *linear array* (serie de transductores en dispuestos en línea) la focalización se logra con el uso de lentes acústicas que producen un estrechamiento del haz en un plano perpendicular al haz del ultrasonido. Cuando el transductor está compuesto de varios elementos el haz puede ser focalizado electrónicamente. La dirección y enfoque del haz se pueden variar mediante el retraso en el disparo de parte de los elementos. Igualmente en el procesamiento de las señales recibidas podemos introducir tiempos de retraso en cada señal asociada con cada elemento, consiguiendo así que las diferentes partes del frente de ondas se detecten al mismo tiempo. Este enfoque continuo se conoce como **enfoque dinámico**.

### IV Tipos de transductores

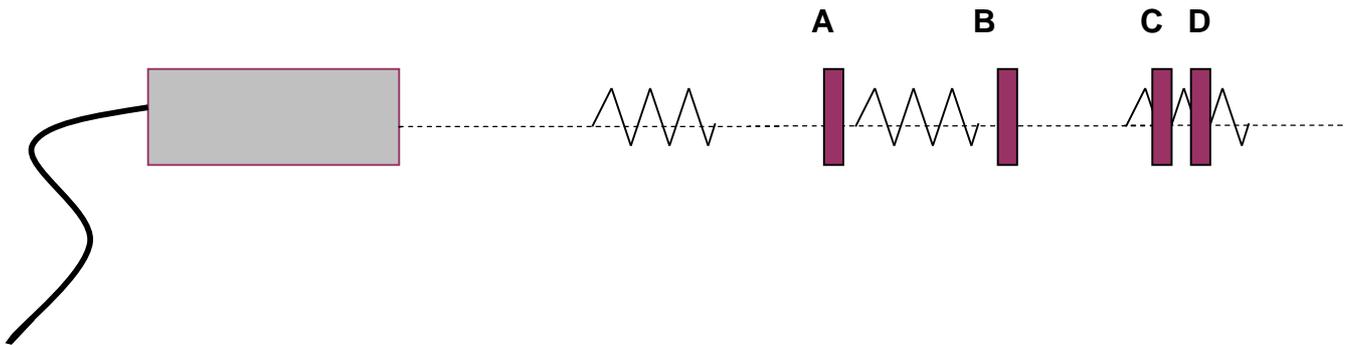
- A. **Mecánicos**. La generación del barrido del haz de ultrasonidos requiere el movimiento **rotatorio** o bien **oscilatorio** del cristal-cristales piezoeléctricos montados en la sonda. La focalización del haz en este tipo de sondas es fija, y la calidad de la imagen es generalmente inferior a la de otras sondas que montan multi-transductores.
- B. Pueden ser construidas sondas mecánicas con elementos múltiples dispuestos en forma de varios anillos concéntricos (**annular array**). En este tipo de sonda se puede realizar un enfoque electrónico, siendo la calidad de su imagen superior al resto de las sondas mecánicas.

- C. En los *sistemas duplex*, para recoger las señales doppler es necesario que el haz sea estacionario durante el tiempo suficiente en cada periodo de adquisición para permitir una muestra adecuada de los objetos en movimiento. Generalmente no es posible adquirir imágenes y señales doppler en tiempo real en las sondas mecánicas, porque la inducción mecánica de las partes móviles impide la parada rápida necesaria y el reinicio de la imagen en movimiento. La disposición habitual es que sobre la imagen a tiempo real, se superponga una línea que representa el haz doppler, de forma que se permita el posicionamiento adecuado del volumen de muestra. Se congela la imagen y se procede a la recolección de las señales doppler. Este problema se puede evitar si se utilizan dos transductores en la misma sonda, uno para la imagen y el otro para las operaciones doppler, de manera que se pueda interpolar el tiempo de los pulsos doppler entre los pulsos de imagen.
- D. Sondas **endoluminales**: Tipos de sondas aptas para ser introducidas por orificios corporales diversos (endorectal, transesofágica, transvaginal e intravascular). El órgano de interés para estas sondas está muy próximo a su superficie, lo que permite el empleo de altas frecuencias. Sus reducidas dimensiones dificultan la incorporación de múltiples elementos, por lo que suelen estar constituidas por un elemento con movimiento oscilatorio o rotatorio (sondas mecánicas).
- E. **Electrónicos**. Serie de elementos piezoeléctricos, cuya disposición espacial puede ser lineal ("**linear array**") o bien curvilínea ("**curvilinear array**"), que producen el barrido sin necesidad de movimiento. En las linear array, el frente de ondas se genera paralelo al plano de la superficie de la sonda, generando una imagen rectangular. En las sondas de superficie curva, el frente de ondas genera un campo progresivamente mayor, logrando obtener un gran campo profundo usando una sonda relativamente pequeña.
- F. Se puede generar el frente de ondas aplicando el voltaje: a todos los elementos a la vez; secuencialmente a grupos de elementos ("**linear switched array**"); a todos los elementos, pero con pequeñas diferencias de tiempo ("**phased array**"). Las sondas linear array pueden operar simultáneamente como switched o como phased array. Este tipo de sondas puede simultanear los estudios de imagen y los estudios doppler debido a que la dirección del haz se puede cambiar instantáneamente, por control electrónico de los retardos de tiempo en los recorridos de las señales ultrasónicas asociadas con cada elemento de la sonda.

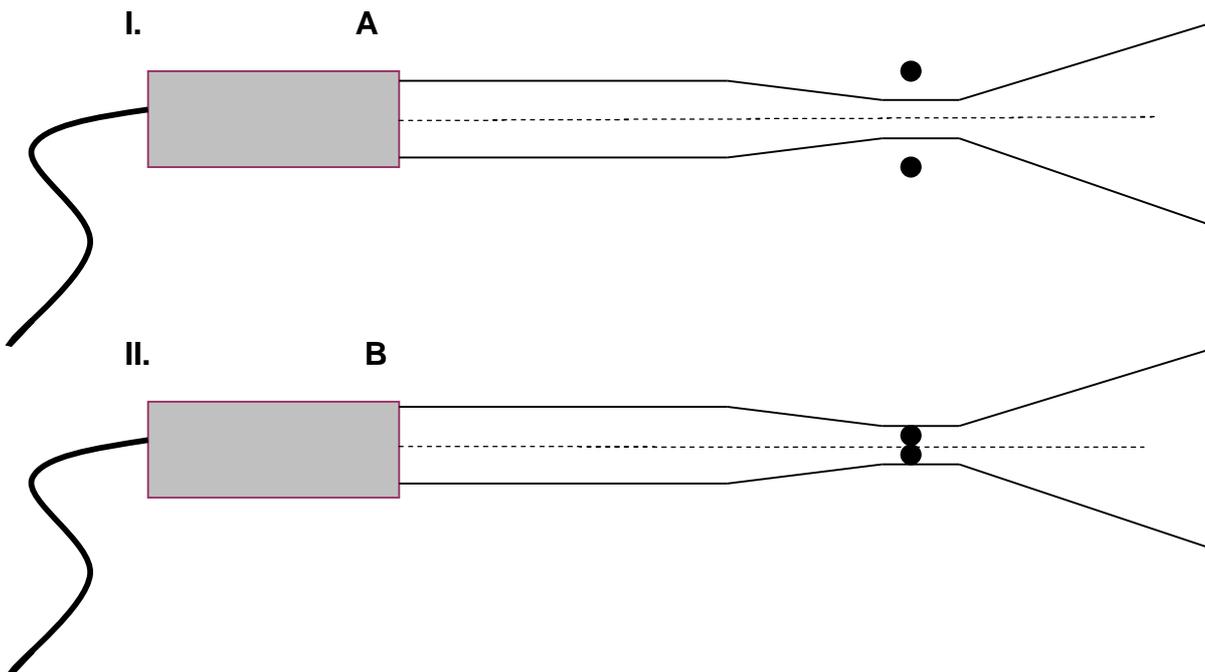
## V. Resolución axial y lateral

- A. La resolución es la separación mínima requerida para poder distinguir dos reflectores como distintos. La generación de la imagen requiere la producción discontinua o pulsada del ultrasonido. Cada pulso típicamente consta de tres ciclos. El producto de la longitud de onda por el número de ciclos del pulso determina la longitud del pulso, la cual define la resolución máxima a lo largo del eje del haz (**resolución axial o longitudinal**).

B. La resolución axial depende de la frecuencia, siendo relativamente constante para un transductor dado. (Fig. 2)



**Fig. 2. Resolución axial** Los reflectores A y B están separados por una distancia mayor que la longitud del pulso, de manera que la imagen los reconocerá como objetos diferentes. Sin embargo los reflectores C y D están separados por una distancia inferior que la longitud del pulso, por lo que, en la imagen aparecerán como un objeto único.



**Figura 3. Resolución lateral.** El ancho del haz de ultrasonidos determina la máxima resolución de los objetos situados en el plano

perpendicular al eje axial. La focalización se emplea para alcanzar la máxima resolución lateral a una profundidad deseada. **A:** El ancho del haz, en la zona focal, es inferior a la distancia entre los puntos a estudio, permitiendo que la imagen los identifique como estructuras distintas. **B:** La distancia entre los puntos a estudio es inferior al ancho del haz. La imagen lo mostrará como un sólo objeto

- C. La resolución de la imagen no sólo está determinada por el eje axial, sino también por las dimensiones laterales y el grosor del haz. La **resolución lateral** también conocida como transversal o azimutal varía con la focalización. El enfoque reduce las dimensiones laterales del haz, mejorando la resolución. **Figura 3.**
- D. La amplitud y longitud del pulso ultrasónico se deberían hacer más cortas (con el uso de altas frecuencias) lo que nos permitiría mejorar la resolución espacial. Sin embargo, los ultrasonidos se atenúan en los tejidos y la atenuación se acentúa si se aumentan las frecuencias.
- E. Existe pues un compromiso entre la resolución espacial y la profundidad de la que, estos ecos, pueden ser obtenidos. En la práctica, se considera que una sonda de 3,5 MHz obtendrá un campo útil de hasta 20-25 cm, una sonda de 5 MHz 10-15 cm y una de 10 MHz, un campo útil de 3-4 cm. La mejor resolución espacial se obtendrá cuando la longitud del pulso sea corta (mejor resolución longitudinal), y cuando el ancho del haz en el plano de exploración y el grueso del corte sean estrechos, con el fin de alcanzar la mejor resolución lateral.

## Capítulo IIIB

### INSTRUMENTACION DE IMAGEN POR ULTRASONIDOS

Jose María Escribano  
Hospital Universitario Vall d'Hebró

#### I. Modo A

- A. La imagen, obtenida por insonación de estructuras estáticas, emplea la modulación de la amplitud del pulso como información. La aplicación más simple de esta información, es el **modo A**, el cual muestra las variaciones en la intensidad del eco retornado como una gráfica simple que mide las variaciones de la amplitud / tiempo (distancia). Esto permite medidas de distancia en una línea única. (Fig 4)

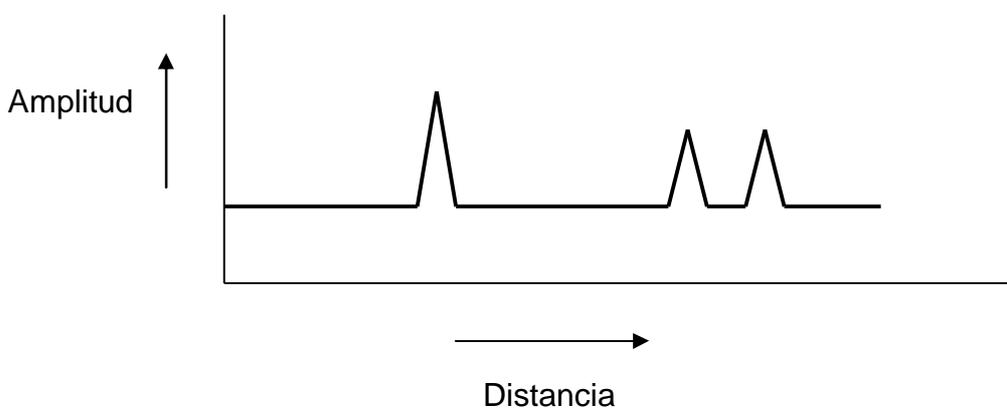


Fig 4. Modo A. El ultrasonido se refleja según va atravesando interfases de distintas impedancias acústicas. La amplitud del eco retornado disminuye a medida que se incrementa la distancia entre el transductor y el reflector.

- B. Así, puede por ejemplo, calcular fácilmente la distancia del transductor a la superficie reflectante multiplicando la mitad del tiempo que el impulso emitido tarda en retornar, por la velocidad con la que el ultrasonido atraviesa los tejidos biológicos (1540 m/s). Al ser una imagen unidimensional, la información anatómica que proporciona es muy limitada.

## II. Modo B.

- A. La visualización de una imagen anatómica fue posible con el desarrollo de la modulación del brillo o **modo B**, en el cual la información sobre las variaciones de la amplitud del pulso se representa en cada punto como una **escala de grises**. Los primeros aparatos mostraban cada punto como claro-oscuro dentro de un brillo uniforme. El desarrollo de los convertidores de barrido analógicos permitió mostrar una verdadera escala de grises. Actualmente, estos aparatos implementan rangos dinámicos amplios, lo cual permite representar una misma imagen tanto con señales de amplitud alta o baja, lo que mejora de forma importante la capacidad de visualizar estructuras semejantes en su representación dentro de la escala de grises.
- B. Por otra parte las primeras generaciones de estos aparatos, requerían un barrido manual. La información de las distintas posiciones del transductor se iba acumulando para producir una sola imagen.
- C. La mejora en el procesamiento de la información permitió el desarrollo de ecógrafos que mostraran la imagen a **tiempo real**. Ello fue posible a partir del momento en que se logran procesar más de 15 imágenes por segundo. Así la imagen en modo B nos muestra la localización espacial de cada punto (resolución axial y lateral), así como una representación en escala de grises de la ecogenicidad del reflector.

## III. Rango dinámico.

- A. En un sistema, es la relación entre la señal discernible más alta y la detectable más pequeña. En el sistema de imagen modo B, es el grado de compresión de la escala de grises (relación entre los valores máximo y mínimo). Se expresa en decibelios. El brillo de cada pixel refleja la amplitud del eco retornada de cada localización del plano barrido.
- B. La *amplitud* de la señal eco mostrada en la escala de grises o rango dinámico, puede ser modificada por el usuario, de manera que si disminuimos el rango dinámico, obtendremos una imagen más contrastada, reduciendo los ecos débiles. Un rango dinámico elevado suaviza la imagen, y aumenta la señal de los ecos débiles.

## IV. Cadencia de imagen (“Frame rate”)

- A. La *resolución temporal* está determinada por el número de imágenes adquirida por segundo y por la suma y superposición de imágenes sucesivas para obtener una imagen sin saltos (frame averaging). Estará limitada por la capacidad de procesamiento de la información adquirida, y

por la profundidad del campo explorado (campos profundos implican un retraso en la recogida de datos).

- B. Los equipos actuales son capaces de adquirir por encima de 100 imágenes/s, si bien para una exploración abdominal es suficiente un frame rate de 20-30. Ahora bien, si la imagen que queremos observar se encuentra en movimiento, necesitaremos trabajar con un frame rate superior. El mezclador de imágenes o frame averaging es una forma eficaz de reducir el ruido de imagen, sin embargo disminuye la resolución temporal.
- C. *Convertidor de barrido*. Las señales eco recibidas por el transductor, son enviadas a un convertidor del barrido. Este ingenio recibe un tipo de información y la transforma para poderla volcar en el circuito de video.
- D. Los *convertidores de señal analógica* han sido progresivamente sustituidos por convertidores digitales, los cuales convierten la señal eléctrica analógica en señal digital. Digitalizan la imagen y la almacenan en la memoria del aparato, guardando datos de la localización y amplitud de cada elemento de la imagen.
- E. El convertidor de barrido o *memorizador de imagen* es un almacenador temporal de la imagen que contiene, al menos, una imagen completa en formato digital. La información del eco es digitalizada y estudiada en este dispositivo, línea a línea.
- F. Hallándose la imagen en el convertidor de barrido, se producen las siguientes operaciones:
  - a.- *Compresión logarítmica*: Para homogeneizar los niveles de amplitud de las señales procedentes de TGC
  - b.- *Interpolación*: Para rellenar píxeles sin información
  - c.- *Postprocesamiento*: Filtros espaciales y temporales para realzar la imagen
  - d.- *Congelador de la última imagen*
  - e.- *Medidas y gráficos*

Posteriormente, estos datos se convierten a señal de vídeo, proceso en el que la visualización de la imagen puede ser realizada

## V. Ganancia

- A. La *ganancia* es el nivel regulable por el usuario, de la amplitud de la modulación de la señal eléctrica provocada por los ecos (rango de grises). A diferencia de la potencia, que es señal emitida, la ganancia modula la señal recibida. En principio estará indicado, por seguridad, trabajar con la máxima ganancia y la mínima potencia posibles.

B. **Compensación de ganancia de tiempo.** La atenuación se incrementa con la profundidad y la frecuencia del ultrasonido. Un coeficiente de atenuación típico sería de 0.6 db / cm x MHz. La atenuación también depende en parte, del tipo de tejido insonado. De esta manera un ultrasonido es menos atenuado por la sangre que por la grasa, y menos por la grasa que por el músculo. La elección de la frecuencia óptima puede calcularse aproximadamente por la regla:

$$F \text{ óptima} = 90 / \text{distancia (mm)}$$

C. En la representación de las estructuras superficiales y profundas en modo B, las señales profundas son amplificadas apropiadamente para compensar la atenuación esperada (**TGC**: *time gain compensation*).

## VI. Resolución de imagen

A. Descriptores de calidad de imagen

1. *Contraste.* Diferencia en los niveles de brillo entre la imagen de la zona de interés y la del tejido circundante
2. *Resolución de contraste.* Capacidad de distinguir entre los distintos niveles de grises
3. *Resolución espacial.* Dependiente de las resoluciones axial y lateral
4. *Resolución temporal* Dependiente de la cadencia de imagen y de la suma y superposición de imágenes.
5. *Ruido aleatorio* Cualquier señal que cause variaciones fortuitas en los niveles de brillo en cualquier punto de la imagen. Consideramos dos fuentes de "ruido": Acústico ("speckle") y electrónico.
6. *Ruido acústico:* En toda imagen generada por ultrasonidos existe una fluctuación espacial conocida como "speckle". Los pequeños ecos generados por la dispersión de la señal, al atravesar las dishomogeneidades de los tejidos, son los responsables de esta interferencia. Este ruido acústico o speckle disminuye, por tanto, la resolución de contraste de la imagen. La longitud de onda del ultrasonido, la apertura del transductor y su posición, son factores que influyen en la presencia del ruido.
7. *Ruido electrónico.* Generado por fuentes tanto internas como externas al scanner. El aumento de la ganancia requerido para amplificar las señales eco débiles, amplifica igualmente el ruido eléctrico de origen térmico y de otras fuentes presente en cualquier circuito electrónico. Por otra parte, los aparatos de eco-doppler son sensibles detectores de señales de radiofrecuencia generadas por multitud de aparatos eléctricos tales como ordenadores, teléfonos móviles, radios, etc.

B. Factores físicos que afectan la calidad de la imagen.

1. *Frecuencia*

2. *Longitud del pulso y forma del haz*
3. *Frame rate*
4. *Ruido acústico*
5. *Ruido electrónico*

## **VII. Memoria digital**

- A. Almacenamiento de datos en formato digital. La información puede guardarse en disco duro, disco óptico o cinta magnética. La recuperación más rápida se obtiene cuando las imágenes son guardadas en disco duro, pero es la forma de almacenamiento más cara.
- B. Las imágenes guardadas en esta memoria están habitualmente comprimidas y con frecuencia se produce pérdida de información, considerada no esencial, con el fin de poderlas comprimir al máximo.

## **VIII. Técnicas de registro**

- A. Existen numerosas técnicas de registro de uso común. La película en diapositiva tiene mayor calidad de imagen que las copias en papel. No obstante, el diagnóstico en ultrasonografía no se realiza basado en un registro, sino a tiempo real, cuando se realiza la exploración. Las técnicas de registro se usan como memoria de la exploración, para lo cual es suficiente emplear técnicas de calidad intermedia basadas en copias en papel. A continuación se citan algunas técnicas de registro enumeradas en orden de calidad creciente:
  1. *Impresión en papel térmico*: Papel sensitivo al calor. Se obtienen imágenes en blanco y negro en pocos segundos.
  2. *Vídeo printer en color*: Impresión en papel de imágenes en color. Los tiempos de procesamiento varían entre 0,5-2 minutos.
  3. *Cámara multiformato*: Se utilizan negativos de diapositivas, que son reveladas en un procesador de películas.
  4. *Láser printer*: Se utiliza para generar diapositivas a distancia, a través de una red informática, con una calidad similar al de la cámara multiformato. Además de las imágenes estáticas, puede ser útil grabar una secuencia dinámica. El método más barato es el vídeo. Todos los grabadores de vídeo degradan la imagen, y el VHS más que el super-VHS. (Fig. 5)

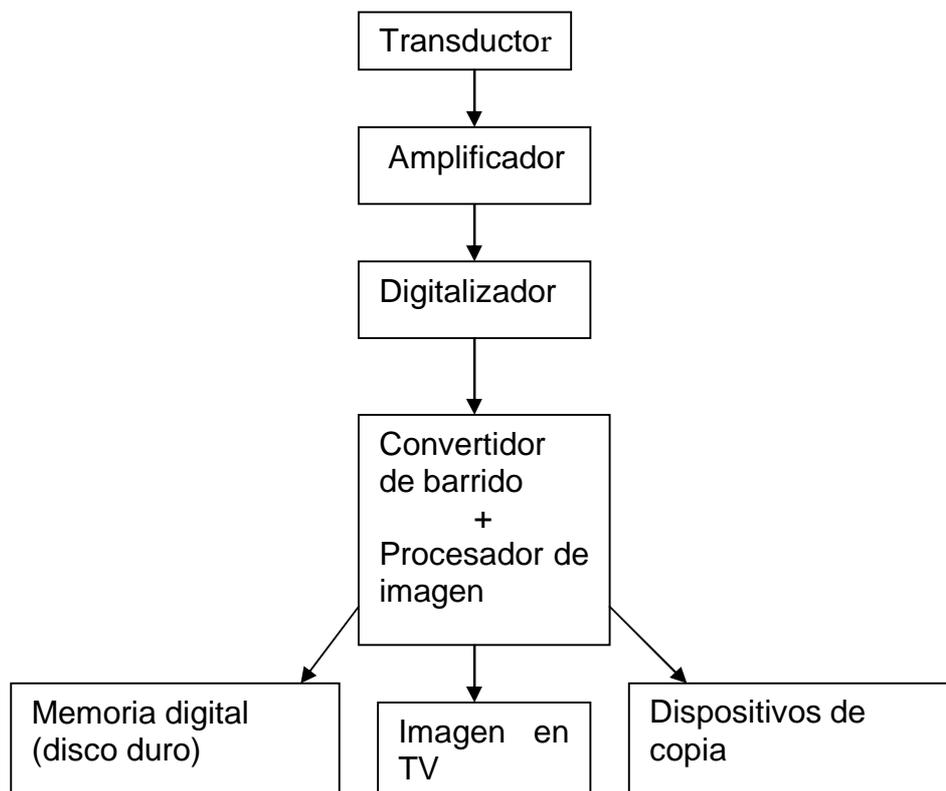


Figura 5. Componentes de un Eco-doppler

## IX. Elección de la instrumentación

- A. En un *equipo duplex*, el diseño más sencillo es el del sistema del sector mecánico, en el que el haz se mueve por rotación u oscilación de los elementos del transductor. Algunos diseños utilizan los mismos transductores para obtener imagen en escala de grises y medidas doppler. Otros son capaces de usar diferentes transductores y así diferentes frecuencias para las dos funciones. Las combinaciones típicas podrían ser 7-10 MHz para imagen en escala grises y 5MHz para estudios doppler en territorio carotídeo, o bien 5MHz para imagen, junto con 3MHz para estudios doppler en el abdomen.

- B. Las *sondas anulares* tienen la ventaja de ofrecer un enfoque dinámico tanto en el plano lateral como en altura para imagen en escala de grises así como para doppler, pero presentan el inconveniente, junto con otros diseños mecánicos de la incapacidad para mover el haz rápidamente de forma gradual, una necesidad para el doppler color.
- C. Los *sistemas sectoriales electrónicos* (o de fase) son capaces de cambiar entre los modos imagen en escala de grises y doppler a una velocidad suficientemente alta como para permitir una imagen simultánea en tiempo real. La posibilidad de obtener imagen en escala de grises y doppler simultáneos es útil donde hay movimiento, el cual dificulta la colocación del volumen doppler. Algunos equipos ofrecen un modo triplex, en el que los modos imagen doppler color y espectro doppler se alternan rápidamente. El deterioro de la resolución doppler en este modo, lo excluye generalmente de todo salvo aplicaciones superficiales.
- D. En las aplicaciones vasculares periféricas, la sonda dirigida lineal con frecuencia es la de elección. La imagen ofrece la ventaja de un formato rectilíneo con un haz ortogonal, que detecta reflexiones especulares de estructuras vasculares paralelas a la superficie de la piel, produciendo así imágenes de alta resolución de la pared vascular. Se opera con un menor número de elementos que con una sonda de fase (phased array) para dirigir el haz doppler que típicamente opera a una frecuencia central menor que la que necesita para la imagen en escala de grises. Debido a que los blancos más superficiales permiten mayores tasas de repetición de pulsos, se pueden conseguir densidades de líneas altas tanto en el modo de imagen como en color, con resultados excelentes. Sin embargo se requieren elementos finamente focalizados y un gran número de canales para dirigir el haz de forma efectiva. Un método más simple de dirigir el haz es inclinar un transductor no dirigido, usando un soporte con forma de cuña. La sonda curvilínea o convexa crea un campo trapezoide que es muy adecuado para la exploración y resolución abdominal. También es una configuración común en aplicaciones transvaginal y transrectal

## BIBLIOGRAFÍA

1. Clinical applications of doppler Ultrasound. KJW Taylor, PN Burns, PNT Wells .-2<sup>nd</sup> Ed. Lippincott-Raven publishers, Philadelphia 1995
2. Clinical diagnostic Ultrasound. GM Baxter, PLP Allan, P Morley.- 2<sup>nd</sup> Ed. Blackwell Science Ltd. London 1999
3. Vascular Diseases. Surgical & Interventional therapy. DL Dawson, D.Eugene Strandness Jr., Arina van Breda. Churchikk Livingstone Inc. New York 1994
4. Vascular diagnosis. EF Bernstein. 4<sup>th</sup> Ed. Mosby-Year book Inc. St. Louis, Missouri 1993

## PREGUNTAS

1. ¿En qué consiste el efecto piezoeléctrico?

- a. En la capacidad de ciertas cerámicas de generar electricidad a partir de una estimulación mecánica
- b. En la capacidad de ciertas cerámicas de generar ultrasonidos a partir de una estimulación eléctrica
- c. En la capacidad que disponen los elementos de un transductor de emitir y recibir ultrasonidos
- d. En la propiedad intrínseca de ciertos transductores para la focalización del frente de ondas de ultrasonidos
- e. Las respuestas a y b son ciertas

2. ¿Cómo se focaliza el haz de ultrasonidos generado?

- a. Por medio de lentes formadas por cristales, de forma similar a como se focaliza la imagen de una cámara fotográfica
- b. Según se trate de una sonda mecánica o electrónica, la focalización normalmente será estática o dinámica
- c. La focalización dinámica se consigue retrasando los impulsos generados en los diferentes componentes del transductor, para obtener el haz a una profundidad deseada
- d. De hecho, el haz es la región focalizada del frente de ondas.
- e. En función de si se trata de la zona de Fresnel o de Fraunhofer, emplearemos diferentes estrategias de focalización: Bien mecánicas, bien electrónicas.

3. La resolución axial

- a. Es la capacidad de discriminar dos puntos en el plano perpendicular al haz
- b. Es la capacidad de discriminar dos puntos en función del grueso del corte
- c. Es independiente de la frecuencia de barrido generada
- d. Depende fundamentalmente de la longitud del pulso generado
- e. Todas las anteriores son ciertas

4. La generación del barrido

- a. Se debe extremar el cuidado en la manipulación de las piezas de la sonda en los trabajos de mantenimiento y barrido
- b. Las sondas mecánicas generan el barrido gracias al movimiento, transmitido en su manipulación, del cristal o cristales que las componen.
- c. Las sondas electrónicas pueden generar un barrido mecánico o bien electrónico en función del diseño de sus transductores
- d. Ninguna sonda mecánica es capaz de generar un barrido electrónico
- e. La generación del barrido electrónico no depende del movimiento de los transductores que los componen.

#### 5. El modo B

- a. Es la representación bi-dimensional, en escala de grises, de las variaciones de la amplitud del pulso.
- b. Al igual que en el modo A, las variaciones de la amplitud del pulso se representan en un plano amplitud / tiempo, pero en escala de grises
- c. En función de la cadencia de imágenes, la representación en escala de grises, genera una imagen en modo A, en modo M o en modo B.
- d. El modo B o bicolor muestra en la pantalla imágenes en dos colores, según elección del usuario, de las variaciones de la amplitud del pulso.
- e. Diferencia, según el tipo de transductor empleado, la dirección de flujo en una escala de colores azul-rojo

#### 6. El rango dinámico

- a. Es la capacidad de un equipo de ecografía, de realizar un enfoque dinámico
- b. Es el equivalente al potenciador de brillo del monitor de TV
- c. En el modo B, el grado de compresión de la escala de grises
- d. Un rango dinámico elevado suaviza la imagen y aumenta la señal de los ecos débiles
- e. Las respuestas C y D son ciertas

#### 7. Para observar una imagen en movimiento

- a. Prestaremos atención al plano en el que se modifica la imagen para variar el enfoque
- b. Aumentaremos la cadencia y el mezclador de imágenes
- c. Disminuiremos la cadencia de imágenes y aumentaremos el mezclador de imágenes para aumentar la resolución temporal
- d. Aumentaremos la cadencia de imágenes, lo cual conllevará una disminución del mezclador.
- e. Las respuestas A y D son ciertas

#### 8. Para observar una imagen en un territorio profundo

- a. Aumentaremos la frecuencia de emisión de los ultrasonidos, para obtener mejor resolución axial
- b. Aumentaremos la frecuencia de emisión de los ultrasonidos, para obtener mejor resolución lateral
- c. Disminuiremos la frecuencia para lograr una mejor penetración de los ultrasonidos y modificaremos a ser posible, la focalización
- d. Aumentaremos la frecuencia para lograr una mejor penetración de los ultrasonidos y aumentaremos la potencia de emisión al máximo
- e. Ninguna de las anteriores es correcta

#### 9. El ruido provocado por el circuito eléctrico del ecógrafo

- a. Es inevitable, no modificable, invariable e inmutable
- b. Puede producirse por cualquier causa, en cualquier lugar, por motivos habitualmente desconocidos y siempre sorprendentes
- c. Varía según su utilización, pues el territorio explorado puede generar ondas electromecánicas que se acoplen al sistema
- d. Es menor cuanto antes de digitalice la información obtenida, en el circuito del aparato

- e. La digitalización incrementa el ruido eléctrico al imponer un nuevo obstáculo técnico en la conversión de la señal ultrasónica

10. Cual de los siguientes no modifica la escala / rango de grises

- a. La ganancia
- b. La potencia
- c. El TGC
- d. El rango dinámico
- e. Frame rate

11. Los equipos duplex

- a. Son capaces de simultanear la imagen (no necesariamente a tiempo real) con las medidas doppler
- b. Generalmente las sondas mecánicas no son capaces de simultanear a tiempo real la imagen y las medidas doppler
- c. En caso de generar la imagen y el estudio doppler por medio de distintos transductores, una combinación adecuada para estudio vasculares periféricos sería de 7-10 MHz para imagen en escala grises y 5 MHz para estudios doppler
- d. En caso de utilizar el mismo transductor para ambos estudios, existirá un compromiso, por la necesidad de mayores frecuencias para la imagen e inferiores para el doppler
- e. Todas las respuestas son ciertas

## RESPUESTAS

1e, 2d, 3d, 4d, 5a, 6e, 7d, 8c, 9d, 10e, 11e

## Capítulo III C

### ARTEFACTOS DE IMAGEN

Juan Fontcuberta  
Complejo hospitalario “Virgen de la Salud”. Toledo

#### I. Concepto

- A. Una imagen formada mediante ultrasonidos consiste en una descripción gráfica de la anatomía registrada mediante un haz de ultrasonidos. La imagen construida mediante la recepción de los ultrasonidos coincide y se correlaciona con la disposición anatómica real de los diferentes tejidos y estructuras anatómicas.
- B. Se puede definir como **artefacto** aquella *imagen virtual* formada tras la recepción de los ultrasonidos y que no se correlaciona con las estructuras anatómicas reales.
- C. Los artefactos pueden adoptar **diferentes formas**:
  - 1. Estructuras que aparecen en la imagen eco-doppler y no se corresponden con la realidad.
  - 2. Estructuras que no aparecen en la imagen eco-doppler y deberían aparecer.
  - 3. Estructuras que aparecen en la imagen eco-doppler pero mal localizadas respecto a la realidad.
- D. Estas alteraciones en la percepción de la imagen generalmente se deben a *limitaciones técnicas o factores anatómicos* específicos. Las **principales causas** de artefactos de imagen son las siguientes:
  - 1. **Inadecuado funcionamiento** del equipo eco-doppler:
    - a. Mal calibrado de la velocidad.
    - b. Alteración de los cristales de emisión-recepción.
    - c. Mal funcionamiento de los monitores o sistemas de grabación.
    - d. Mal ajuste de la sonda con la zona anatómica objeto de estudio.
  - 2. **Inadecuado uso** del equipo eco-doppler:
    - a. Escaso entrenamiento o experiencia personal.
    - b. Inadecuado ajuste de los diferentes parámetros eco-doppler.
  - 3. **Propiedades acústicas** de los tejidos que alteran la propagación de los ultrasonidos.

4. Incumplimiento de alguno de los **requisitos** necesarios para la formación de correctas imágenes tras la recepción de los ultrasonidos.

## II. Artefactos de imagen en escala e grises

No todos los artefactos constituyen un problema en la interpretación de la imagen. Algunos artefactos **permiten identificar mejor** las estructuras anatómicas, como por ejemplo el realce de ecos bajo una cavidad quística, o el sombreado anecogénico bajo estructuras sólidas.

Sin embargo, la mayoría de los artefactos **dificultan la interpretación** de las imágenes, alterando el tamaño, la forma o la localización de los objetos.

Los **artefactos más importantes** en la escala de grises son los siguientes:

- A. Artefactos en la resolución espacial de los objetos.
- B. Artefactos que crean un volumen parcial.
- C. Moteado acústico.
- D. Atenuación.
- E. Banda hiperecogénica.
- F. Refracción.
- G. Reflexión multidireccional.
- H. Reverberación.
- I. Cola de cometa.
- J. Resonancia.
- K. Rango ambiguo.
- L. Imagen especular.
- M. Imagen fantasma.
- N. Error de propagación.
- Ñ. Artefactos ambientales.

## III. Artefactos en la resolución espacial e los objetos

A. La **resolución espacial** de un objeto consiste en el tamaño mínimo que debe poseer un objeto para ser detectado. La **resolución axial** se refiere específicamente a la mínima distancia a la que se deben encontrar dos objetos a lo largo del eje del haz ultrasónico, para que puedan ser detectados como dos entidades separadas.

B. La resolución axial típica de los modernos equipos de ultrasonidos permiten diferenciar objetos de 0,5 –2 mm., así como distinguir entre objetos situados a esta misma distancia. Objetos de menor tamaño son representados en la imagen eco-doppler con un tamaño mínimo de 0,5-2 mm., y por tanto se produce un error en la interpretación del tamaño del objeto. Los objetos que se encuentran separados entre sí a una distancia inferior a 0,5-2 mm, son representados en la imagen eco-doppler como un solo elemento.

C. La capacidad de resolución axial de un equipo eco-doppler depende fundamentalmente de la **longitud de pulso** de ultrasonidos. Esta longitud de un tren de ondas disminuye cuando se emplean altas frecuencias y aumenta cuando se utilizan bajas frecuencias.

- D. La **mejor resolución axial posible** se consigue cuando dos objetos se encuentran situados a una distancia que corresponde a la mitad de la longitud de pulso. Cuando un haz ultrasónico es emitido como un tren de ondas de una determinada longitud (longitud de pulso) y se dirige hacia dos objetos separados por una distancia que corresponde a la longitud de pulso dividida por 2, el haz choca contra el primer objeto, lo que provoca una reflexión de parte de la energía hacia el transductor. El resto de la energía del pulso progresa hacia el segundo objeto, y parte de la energía nuevamente se refleja. En este instante, los ecos reflejados en el primer objeto han viajado una distancia que corresponde a la longitud de pulso / 2. Cuando los ecos reflejados del segundo objeto, alcanzan el primer objeto, los ecos inicialmente reflejados del primer objeto han viajado una distancia correspondiente a la longitud de pulso, y por ello ambos ecos procedentes de los dos objetos se reciben separados en distancia y tiempo por el transductor.
- E. Cuando la frecuencia del transductor aumenta, se produce el mismo número de ciclos en un tiempo inferior, disminuyendo la longitud de onda y por tanto, disminuyendo la longitud de pulso, y mejorando, por tanto la resolución. Sin embargo, disminuye la profundidad de penetración debido al mayor coeficiente de atenuación.
- F. La **resolución lateral** describe la capacidad para discriminar entre dos objetos adyacentes que son perpendiculares al eje del haz de ultrasonidos. La resolución axial permanece prácticamente constante a medida que aumenta la profundidad. La resolución lateral, sin embargo, depende de la anchura del haz de ultrasonidos, y se modifica con la profundidad. Contra menor es la anchura del haz, mejor es la resolución lateral.
- G. La resolución lateral también mejora al enfocar el cristal del transductor. La anchura del haz es más estrecha en el punto focal. La intensidad del haz de ultrasonidos en el máximo punto focal es mayor que cuando se emplea un haz de ultrasonidos no focalizado, ya que el área transversal del haz es menor cuando el haz está focalizado que cuando no está focalizado.
- H. Los problemas de artefactos respecto a la resolución lateral son similares a los de la resolución axial: un objeto puede simular ser más grande de lo que realmente es, y dos objetos que estén separados por una distancia inferior a la anchura del haz simulan ser uno solo.

#### IV. Artefactos que crean un volumen parcial

- A. La anchura limitada de un haz de ultrasonidos puede crear un artefacto de imagen cuando en su recorrido atraviesa una estructura quística (libre de ecos, con una baja atenuación) y una estructura sólida (ecogénica, con alta atenuación). Los ecos recogidos proporcionan ecos con características mixtas, de estructuras parcialmente sólidas y parcialmente líquidas.

- B. Cuando se acumulan este tipo de ecos, pueden producirse errores diagnósticos que consisten en la **ocupación virtual de una cavidad quística** (como por ejemplo la existencia de una masa inexistente en la vejiga)

#### V. Moteado acústico

- A. Es la representación visual del llamado ruido acústico. El moteado más abundante se encuentra localizado fundamentalmente en la proximidad del transductor.
- B. El moteado acústico se considera como un artefacto de imagen debido a que **no existe una correspondencia** entre los diferentes puntos luminosos de la imagen y los objetos explorados. El moteado acústico interfiere con la capacidad de los ultrasonidos para detectar objetos cuyas propiedades de reflexión son similares a las de los objetos circundantes, es decir, objetos escasamente contrastados.

#### VI. Atenuación

- A. La atenuación de un haz de ultrasonidos a medida que se propaga a través de los tejidos provoca uno de los artefactos más útiles y fácilmente reconocibles. Estos artefactos de atenuación afectan sobre todo a la **luminosidad** de los ecos.
- B. Los **quistes** y otras estructuras llenas de contenido líquido provocan normalmente una menor atenuación y se caracterizan por ser anecogénicas (sin ecos internos) comparadas con los tejidos circundantes. Debido a esta menor atenuación, las áreas distales a estas estructuras quísticas reciben un haz de ultrasonidos de mayor intensidad, y por ello los ecos son más brillantes que los observados en zonas adyacentes. Es por esta razón que la pared posterior de la vejiga aparenta ser más gruesa que la pared anterior.
- C. El efecto contrario es el sombreado. Las **masas sólidas** provocan una mayor atenuación y son más ecogénicas. El área distal a esta masa sólida recibe un haz de ultrasonido de menor intensidad, siendo los ecos menos brillantes comparados con los tejidos adyacentes. Estos artefactos ayudan a discernir entre masas sólidas y estructuras quísticas. Existen, sin embargo, masas anecoicas que normalmente provocan un sombreado en lugar de un aumento de la intensidad de los ecos.

#### VII. Banda hiperecogénica

- A. Las características focales de los transductores pueden crear un artefacto consistente en una región con brillo excesivo, causadas por una gran intensidad en la **zona focal**.

## VIII. Refracción

A. La refracción de un haz de ultrasonidos cuando atraviesa el límite entre dos medios con diferentes velocidades provoca dos tipos de artefactos:

**1. Inadecuada localización de la superficie de un objeto.** Un efecto similar causado por la refracción de la luz se produce cuando se mira a un objeto sumergido en el agua, si uno intenta alcanzarlo, confirma inmediatamente la mala localización del objeto. El fenómeno de la refracción incumple uno de los requisitos para la correcta formación de una imagen, que consiste en que el haz de ultrasonidos siempre viaja en línea recta a través de los tejidos.

**2. Sombreado en los bordes de estructuras grandes y curvas.** Así, por ejemplo, en una **estructura redondeada quística**, la velocidad de transmisión es inferior a la del tejido circundante, y se produce la proyección de una sombra con un estrecho ángulo en los bordes del objeto.

B. En el caso de una **estructura ósea**, la velocidad de transmisión es alta, y en los bordes del objeto se proyectan una sombras con un ancho ángulo. El fenómeno de la refracción también puede provocar una distorsión en el tamaño y forma de las estructuras.

C. Los **lóbulos laterales** son proyecciones secundarias de la energía ultrasónica que escapa del haz principal ultrasónico, provocadas por diferentes circunstancias como reverberaciones de los ecos en la inmediación del transductor, el diseño del transductor, etc. La intensidad de estos lóbulos laterales de energía es muy inferior al haz ultrasónico principal. Cuando los niveles de intensidad aumentan, se producen artefactos en forma de una incorrecta localización de la imagen fuera del eje, o presencia de ruido en la imagen. Las sondas lineales de alta frecuencia y las sondas curvas fuertemente convexas son las que con mayor frecuencia producen artefactos de este tipo.

## IX. Reflexión multidireccional

A. El haz de ultrasonidos se refleja desde diferentes superficies con ángulos distintos. Los ecos detectados por el transductor no recorren, por tanto, una línea recta, y se produce una **localización incorrecta del objeto** fuera del eje del haz de ultrasonidos. Una determinada energía puede reflejarse con un ángulo que no alcance el transductor, provocándose una **pérdida de la imagen** del objeto.

## X. Reverberación

A. Consisten en **múltiples reflexiones** desde la superficie de un objeto. En estas circunstancias se pueden producir los siguientes artefactos:

**1. Estructuras virtualmente añadidas a una imagen.** La cantidad de energía reflejada desde una superficie depende de la impedancia acústica entre los medios. Cuando la impedancia acústica es muy diferente entre los medios y la superficie examinada se orienta perpendicularmente a la propagación del haz, pueden producirse reverberaciones entre la superficie examinada y el transductor.

**2. Un eco muy brillante se produce en la superficie explorada.** La energía reflejada puede nuevamente redireccionarse hacia la superficie, donde se produce una segunda reflexión, y así sucesivamente. El resultado consiste en una serie de **bandas brillantes de intensidad decreciente y equidistantes** unas de otras.

B. La reverberación puede ocurrir también entre dos fuertes superficies reflectoras en el eje del haz ultrasónico. En este caso, también se producen bandas de intensidad decreciente en la imagen. Los equipos defectuosos y la mala técnica también pueden provocar el fenómeno de la reverberación.

## XI. Cola de cometa

A. La diferente impedancia acústica en el límite de un objeto forman dos superficies opuestas altamente reflexivas, que producen **múltiples reflexiones internas** y reverberaciones. Esta serie de ecos aparece en la imagen como múltiples bandas pequeñas en la imagen denominadas cola de cometa.

## XII. Resonancia

A. Un fenómeno muy parecido a la “cola de cometa” ocurre cuando entra en resonancia una pequeña **burbuja de gas**, provocando una continua emisión de ultrasonidos, provocando ecos adicionales en la imagen.

## XIII. Rango ambiguo

A. La utilización de **altas PRF** (frecuencia de repetición de pulso) limita la profundidad de exploración. Estructuras que se encuentran más allá del área de interés pueden aparecer representadas en la imagen. Esta ambigüedad en la localización de la imagen se produce a causa de una incorrecta medición del tiempo entre el pulso transmitido y el eco detectado.

- B. Cuando las PRFs son altas, los ecos reflejados de las estructuras más profundas alcanzan el transductor después de la emisión de un segundo pulso. Estos ecos recibidos son atribuidos al más reciente pulso emitido (es decir, el segundo pulso), y son incorrectamente colocados cerca del transductor en la imagen.

#### **XIV. Imagen especular**

- A. Se produce cuando un objeto se sitúa frente a una **superficie altamente reflexiva**, en la cual se produce casi una total reflexión. Parte del haz de ultrasonidos se propaga en la proximidad del objeto, reflejándose sobre una superficie fuertemente reflexiva hacia el propio objeto. Parte de la energía se refleja de nuevo desde el objeto a la superficie reflexiva, y alcanza de nuevo el transductor.
- B. El tiempo necesario para alcanzar el objeto a través de la superficie reflexiva crea un efecto especular, creándose una falsa imagen que se encuentra equidistante de la imagen verdadera respecto a la superficie reflexiva.

#### **XV. Imagen fantasma**

- A. El fenómeno de **refracción** del haz de ultrasonidos puede provocar la duplicación o triplicación de un objeto y su reconocimiento es esencial.

#### **XVI. Error de propagación**

- A. Las medidas de distancias, áreas y volúmenes son un aspecto esencial en el diagnóstico por ultrasonidos. Se basan en el principio según el cual la velocidad de los ultrasonidos es de **1540 m/s**. Cuando la velocidad calibrada no es la adecuada, se pueden producir importantes errores de cálculo de distancias, sobre todo para objetos grandes.

#### **XVII. Artefactos ambientales**

- A. Los aparatos eléctricos o de radiofrecuencia interfieren provocando artefactos de imagen o ruido. Aunque son fácilmente reconocibles, en ocasiones es difícil de eliminar la fuente.

## PREGUNTAS

1. Los artefactos:
  - a. Pueden eliminarse completamente cuando se utiliza correctamente el equipo eco-doppler.
  - b. Dificultan siempre el diagnóstico.
  - c. Son inherentes a la exploración.
  - d. Son fácilmente identificables.
  
2. La resolución axial de los equipos eco-doppler depende fundamentalmente de:
  - a. De la anchura del haz de ultrasonidos
  - b. De la velocidad
  - c. De la longitud de pulso
  - d. De la frecuencia.
  
3. La mejor resolución axial se consigue cuando:
  - a. La distancia entre dos objetos es el doble de la longitud de pulso
  - b. La distancia entre dos objetos es la mitad de la longitud de pulso
  - c. La distancia entre dos objetos es inexistente
  - d. La distancia entre dos objetos es igual a la longitud de pulso.
  
4. La resolución lateral de un objeto mejora cuando:
  - a. Disminuye la anchura del haz de ultrasonidos.
  - b. Aumenta la anchura del haz.
  - c. Aumenta la longitud de pulso.
  - d. Disminuye la frecuencia.
  
5. Respecto a los artefactos provocados por la atenuación de los ultrasonidos, elija la frase verdadera:
  - a. Las estructuras quísticas provocan un realce posterior de los ecos
  - b. Las masas sólidas provocan un realce posterior de los ecos.
  - c. Las estructuras quísticas provocan un sombreado posterior.
  - d. Las estructuras quísticas provocan una gran atenuación.
  
- 6.Cuál de los siguientes artefactos de imagen tiene una mayor importancia en el diagnóstico:
  - a. Incorrecta localización de un objeto.
  - b. Fenómeno de cola de cometa.
  - c. Pérdida del objeto en la imagen.
  - d. Deformación de un objeto.

7. La existencia de un artefacto consistente en bandas brillantes de ecos de intensidad decreciente y equidistantes corresponde a un fenómeno de:

- a. Atenuación.
- b. Refracción.
- c. Reverberación.
- d. Propagación.

8. La formación de una imagen especular requiere:

- a. Una gran dispersión de los ecos emitidos.
- b. Una alta atenuación del medio.
- c. Una potente superficie de reflexión de los ecos.
- d. Un menor tiempo de propagación.

9. La ambigüedad de rango está causada por:

- a. Reverberación.
- b. Resonancia.
- c. Atenuación.
- d. Elevados PRF

10. La imagen fantasma está provocada por:

- a. Un exceso de atenuación
- b. Un aumento de reverberación.
- c. Un fenómeno de refracción.
- d. Un fenómeno de resonancia