



Bases de los ultrasonidos en ecocardiografía

Arturo Evangelista-Masip

1.1. Introducción

La ecocardiografía es la técnica que permite el estudio anatomofuncional del corazón y grandes vasos mediante los ultrasonidos, que son sonidos de muy alta frecuencia, imperceptibles al oído humano. Teniendo en cuenta que la frecuencia de los sonidos se expresa en ciclos/segundo o Hz ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo/s}$), los ultrasonidos son aquellos sonidos con una frecuencia superior a 20.000 Hz. En ecocardiografía se emplean frecuencias por encima de 1 MHz ($1 \text{ MHz} = 1.000.000 \text{ Hz}$).

Los ultrasonidos tienen las siguientes características:

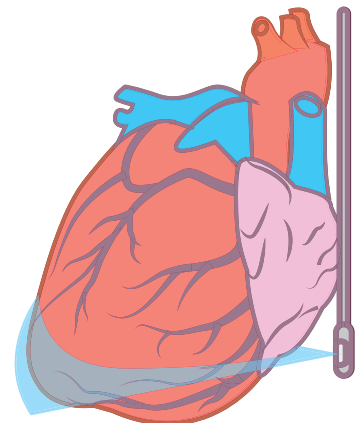
- Se propagan en forma de haz.
- Siguen las leyes físicas de la reflexión y la refracción.
- Son reflejados por pequeñas estructuras.

Para la generación de los ultrasonidos se utilizan cristales piezoeléctricos a los que se someterá a un campo eléctrico que, deformando las caras de cristal, generarán ondas ultrasónicas. Igualmente, la recepción de las ondas ultrasónicas condicionan una deformación física, generan una señal eléctrica proporcional a dicho fenómeno. A esta transformación de energía mecánica en eléctrica se le llama transducción y a los elementos piezoeléctricos transductores.

1.2. Bases físicas

Los parámetros que definen una onda sonora son:

- **Amplitud.** Es la altura de la onda (distancia del pico de compresión al pico de rarefacción). Se mide en decibelios (dB). Es un indicador de su intensidad y energía. En ecocardiografía se utilizan amplitudes de hasta 120 dB.
- **Longitud de onda.** Es la duración de 1 ciclo completo, desde el inicio o pico de una compresión al inicio o pico de la siguiente ([Figura 1.1](#), [Vídeo 1.1](#)).





- **Frecuencia.** Se expresa en ciclos por segundo o hercios (Hz). Se relaciona inversamente con la longitud de onda.
- **Velocidad de propagación.** Es más rápida en relación a la densidad del medio. La velocidad de propagación en el aire es de 340 m/s, en los líquidos 1.000-1.600 m/s y en los tejidos blandos de 1.540 m/s.
- **Profundidad o capacidad de penetración.** La profundidad de propagación de los ultrasonidos se relaciona de forma directa con la potencia y la longitud de onda e inversamente con la frecuencia. Los ultrasonidos más potentes y con menor frecuencia son los que alcanzan mayor profundidad. Por ello los transductores de adulto acostumbran a usar 2,5

MHz, los pediátricos 5-7 MHz y los transductores de la sonda transesofágica 5 MHz.

- **Frecuencia de repetición de pulsos (PRF).** Con ella se mide la cantidad de pulsos emitidos. Cuanto más se espacien los pulsos a más profundidad llegará la señal.

Básicamente la ecocardiografía consiste en emitir haces de ultrasonidos a través del tórax y recoger los rebotes o “ecos” que producen en las estructuras cardíacas. Las formas o modos de estudio del corazón con ecocardiografía son:

- Modo M.
- Técnica bidimensional.
- Técnica Doppler.

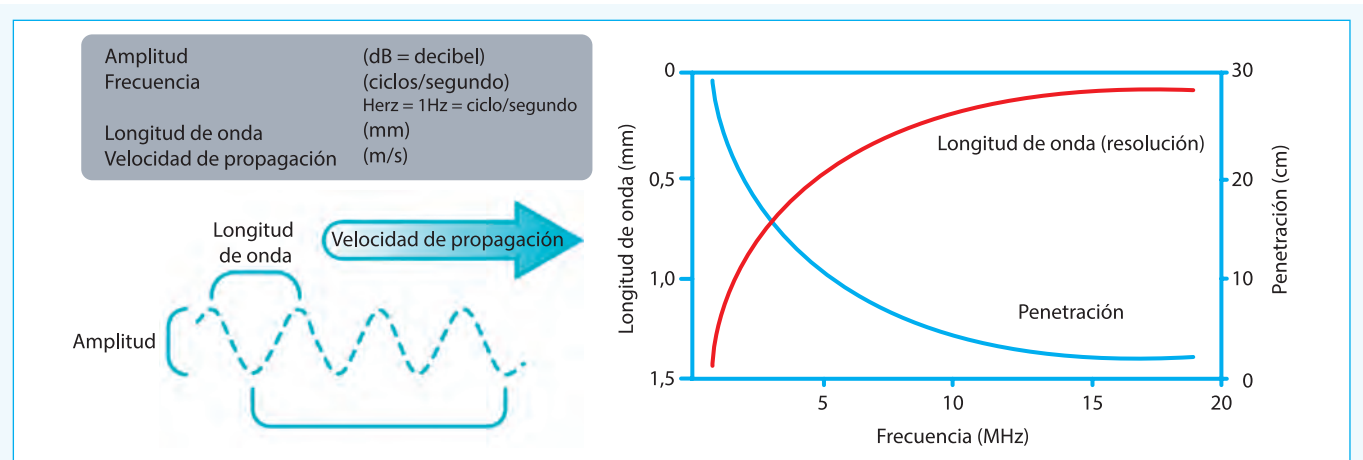
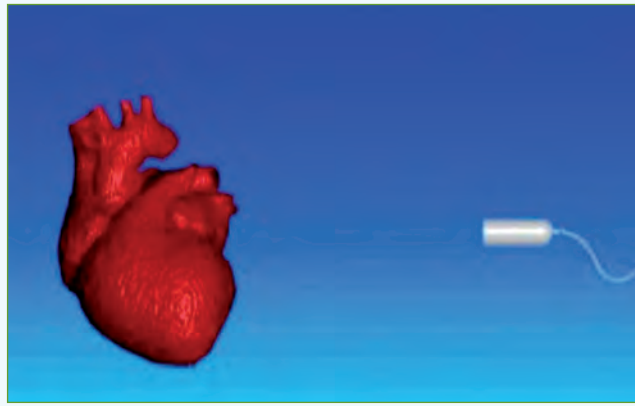


Figura 1.1. Propiedades del ultrasonido



Vídeo 1.1. Propiedades del ultrasonido

Ecocardiografía en modo M

Fue la primera técnica empleada y actualmente se utiliza combinada con la bidimensional. Mediante un transductor o sonda colocada sobre la pared torácica se emite un haz de ultrasoni-

dos, que al pasar a través de las estructuras cardíacas se refleja en parte, especialmente en las zonas en que existe un cambio de densidad, generando rebotes o “ecos” que vuelven al transductor, donde son transformados en impulsos eléctricos y enviados al ecocardiógrafo que los procesa y los presenta en la pantalla

en forma de espículas luminosas de distinta amplitud según la intensidad de los ecos que cada estructura genera. Esta forma de presentación se conoce como modo A (Figura 1.2). Para la obtención del modo M las espículas del modo A se transforman en puntos luminosos de mayor o menor tamaño, según la amplitud de la espícula a la que corresponden (Figura 1.2). Estos puntos, al barrer en el osciloscopio, dejan un rastro luminoso, más o menos ondulado, según sea el movimiento de la estructura a la que representan, que es el que se conoce como modo M (Figura 1.2).

Cada estructura cardíaca produce un eco de mayor o menor intensidad, situado de manera precisa en el osciloscopio y con un movimiento característico. El registro de la imagen del osciloscopio se hace sobre papel fotosensible y se superpone al ECG, que

sirve de referencia para situar el momento del ciclo cardíaco. El trazado lleva además unas marcas de tiempo y profundidad que permiten realizar mediciones de los diámetros de las cavidades, espesor de las paredes y velocidad de apertura y cierre de las válvulas.

La ecocardiografía en modo M permite la exploración del corazón en una sola dimensión (anteroposterior) y en una zona muy estrecha (la que abarca el haz de ultrasonidos), de forma que las imágenes obtenidas, aunque reflejan la anatomía del corazón, no proporcionan una orientación espacial, por lo que para identificar las estructuras cardíacas es necesario conocer su patrón de movimiento y su relación con las otras estructuras. Su principal ventaja es su alta resolución temporal (Video 1.2).

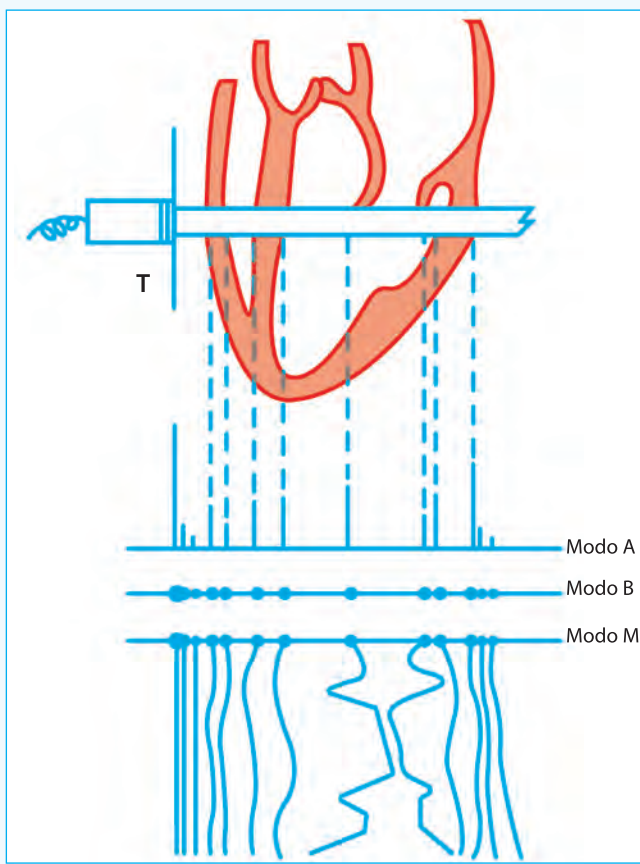
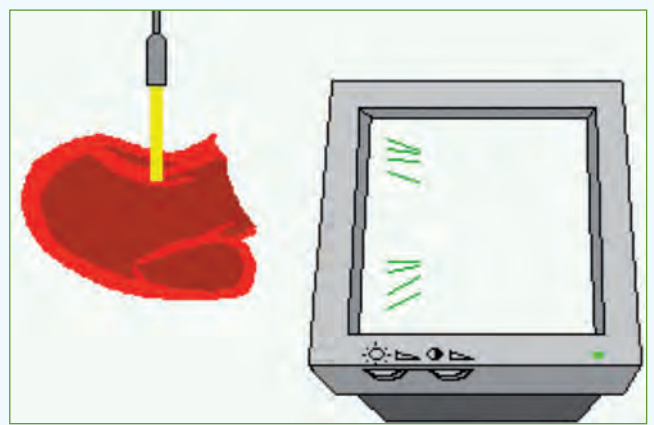


Figura 1.2. Esquema que muestra la forma de obtención de la ecocardiografía en los modos A, B y M (T: transductor)



Video 1.2. Representación esquemática de la forma de obtención del modo M

Ecocardiografía Doppler

Las características técnicas del Doppler cardíaco se especifican en el Capítulo 3.

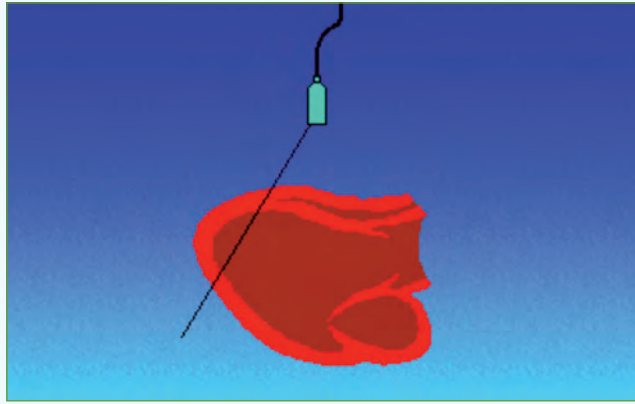
Ecocardiografía bidimensional

Esta técnica, la más utilizada actualmente, permite obtener imágenes reales del corazón en movimiento en diferentes cortes.



Para ello se utilizan barridos rápidos de líneas de modo B, en un sector de alrededor de 90-120°, de forma que en cada barrido se tienen de 60 a 120 líneas explorando el corazón de forma prácticamente simultánea (**Vídeo 1.3**), con lo que se obtiene una imagen real del corazón. Los barridos se repiten con una

frecuencia de 60 por segundo, lo que permite obtener la sensación de movimiento. Es decir que con la técnica bidimensional se obtiene una imagen anatómica real y en movimiento de un sector amplio del corazón.



Vídeo 1.3. Representación esquemática de la forma de obtención de la ecocardiografía bidimensional. Las líneas de modo B, al barrer un sector del corazón, permiten la reconstrucción de una imagen real del corazón

1.3. Determinantes de la calidad de imagen

La calidad de la imagen ecocardiográfica depende del correcto aprovechamiento de las características físicas de los ultrasonidos (resolución, atenuación) y del manejo adecuado de los controles del ecocardiógrafo (compensación en profundidad, ganancia, rechazo):

- **Resolución.** Se define como la menor distancia entre dos puntos que pueden distinguirse. Se diferencian cuatro tipos:
 - **Axial.** Es la capacidad para diferenciar objetos que se encuentran en la dirección de propagación del haz de ultrasonidos, Depende de la longitud de onda y de la duración del pulso. La resolución axial es proporcional a la frecuencia de los ultrasonidos.
 - **Lateral.** Es la capacidad de diferenciar objetos que se sitúan perpendicularmente al haz de ultrasonidos. Cuanta más anchura del haz de ultrasonidos, menor resolución lateral y cuanta mayor profundidad, menor resolución lateral.
 - **Contraste.** Es la capacidad para detectar objetos con reflectancia acústica diferente. Depende de la ganancia y escala de grises.

- **Temporal.** Es la capacidad de discernir acontecimientos en el tiempo. Dependerá del número de imágenes por segundo o *frame rate* (FR). Se consigue aumentar el FR disminuyendo la profundidad y el sector de exploración.

- **Atenuación.** Es la pérdida de energía de los ultrasonidos a medida que atraviesan las estructuras cardíacas. Depende de la frecuencia del ultrasonido, a mayor frecuencia mayor atenuación.
Resolución y atenuación se relacionan inversamente. Con frecuencias altas se consigue buena resolución, pero mucha atenuación, mientras que con frecuencias más bajas sucede al revés. Es pues importante, en cada caso, seleccionar el transductor de la frecuencia adecuada para que la resolución y la atenuación sean óptimas.
- **Imagen armónica.** Los equipos actuales trabajan con un tipo de frecuencia denominada armónica, que aporta una recepción del doble de frecuencia a la emitida, eliminando la fundamental o nativa, ya que ésta es susceptible a contaminarse con artefactos (**Figura 1.3**). Al aportar una mayor frecuencia de recepción comporta una menor penetración. La principal ventaja de la imagen armónica es que mejora de forma muy significativa la relación señal-ruido y, por tanto, la calidad de la imagen (**Vídeo 1.4**).

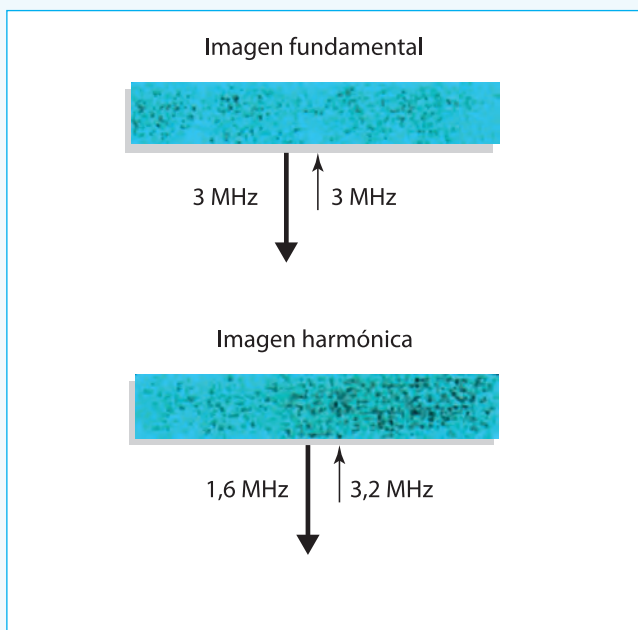
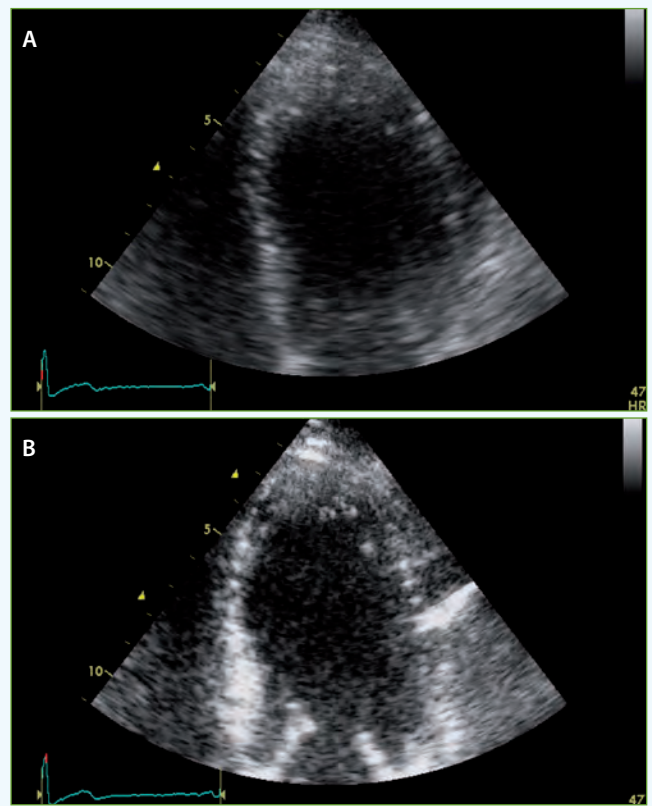


Figura 1.3. Concepto físico de la imagen armónica



Vídeo 1.4. Comparación de la calidad de imagen y definición del endocardio utilizando la imagen fundamental A y la armónica B

1.4. Ajustes de los parámetros ecocardiográficos

El ajuste de los parámetros del equipo es esencial para optimizar la calidad de la imagen. Cada explorador debe familiarizarse con los controles de su equipo:

- **Ganancia y rechazo.** La intensidad con que llegan los ultrasonidos al ecocardiógrafo puede modificarse de forma global mediante un mando conocido como ganancia (*gain*). Con otro mando conocido como rechazo (*reject*) se puede conseguir una modificación selectiva, atenuando solamente los ecos más débiles.
- **Compensación en profundidad.** Todos los equipos de ecocardiografía disponen de un dispositivo que permite atenuar los ecos de las estructuras anteriores (los más intensos) para realzar los de las posteriores (los más débiles). Este dispositivo lleva habitualmente las siglas TGC (*time gain compensation*).
- **Potencia de transmisión (dB).** Regula la potencia de los ultrasonidos emitidos por el transductor. La energía acústica puede lesionar el tejido debido al calor y se mide por el índice térmico (que debe ser < 2) o a cavitación y se mide por el índice mecánico (que debe ser $< 1,9$). El índice mecánico utilizado para el estudio de perfusión miocárdica oscila entre 0,1-0,5 y para la opacificación de cavidades entre 0,5 y 1,2.
- **Foco.** Es la zona en la que se consigue la máxima resolución del haz de ultrasonidos. Se sitúa a una distancia de 5-10 cm del transductor dependiendo. Colima el haz de ultrasonidos en una o varias zonas aumentando la resolución lateral.
- **Compresión o rango dinámico.** El número de niveles de grises puede ajustarse para proporcionar imágenes más o menos contrastadas.
- **Rechazo.** Elimina niveles de grises por debajo de un umbral (de rechazo) que se mostrará en negro en la imagen. El control de compresión redistribuye el rango de grises para las señales que están por encima del umbral.
- **Tamaño del sector.** Modifica el ángulo del sector. Sectores mayores implican FR menores.



Bibliografía

1. Garbi M. *The general principles of echocardiography*. En: Galuto L. *The EAE Textbook of Echocardiography*. Oxford University Press. New York, 2011; pp. 1-13.
2. Kremkau FW. *General principles of echocardiography*. En: Lang R. *ASE's comprehensive echocardiography*. Elsevier. Philadelphia, 2016; pp. 1-3.
3. Olson J. *Tissue harmonic imaging*. En: Lang R. *ASE's comprehensive echocardiography*. Elsevier. Philadelphia, 2016; pp. 17-19.