

FUNDAMENTO BIOFÍSICO DE LA EXPLORACIÓN ECOGRÁFICA

Dr. Eduardo Freire C. 2004. MEVEPA.
www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Ecografía y ultrasonografía](#)

INTRODUCCIÓN

Las imágenes del hígado de un felino, a inicios de la década de los cincuenta en el siglo pasado, fueron las vistas ultrasonográficas más primitivas que se tiene mención, y aunque el avance tecnológico la ha concedido un cómodo lugar como método complementario al examen clínico dentro de la medicina veterinaria, no ha sido una técnica plenamente comprendida por los profesionales del área.

Los resultados de los estudios de exploración ecográfica permiten una gran eficiencia en el diagnóstico y el pronóstico de una serie de cuadros patológicos, pero el conocimiento de su esencia, queda apenas reservado al grupo de especialistas que manejan esta técnica.

El objetivo de este artículo es facilitar la comprensión de los fenómenos asociados al ultrasonido en sus aspectos aplicados al diagnóstico médico, minimizando al máximo su formulación físico-matemática.

Para entender la rápida evolución que esta tecnología ha tenido, y que seguirá presentado a futuro, es preciso conocer algunos de sus fundamentos biofísicos que, a su vez, nos permitirá deducir sus posibilidades y limitaciones en la aplicación rutinaria en medicina veterinaria.

BASE BIOFÍSICA

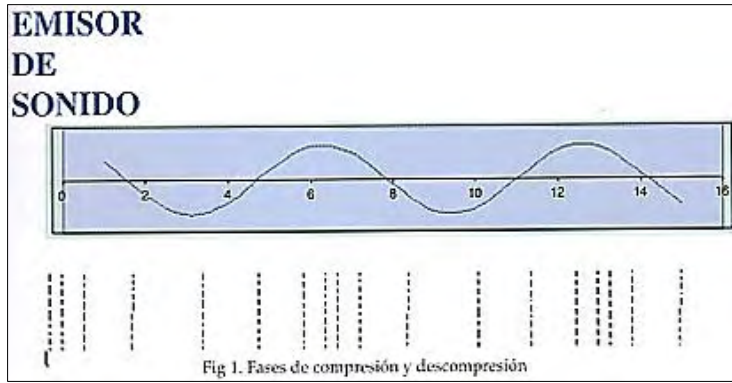
El fundamento de la ecografía reside en la visualización de las modificaciones de los rayos ultrasónicos al atravesar medios de diferente densidad e impedancia acústica.

Desarrollaremos cada uno de estos conceptos:

Rayos ultrasónicos. Son ondas sonoras, es decir, corresponden a una energía que altera la posición de equilibrio de las partículas de un medio, cambiando transitoriamente la densidad del entorno por donde la energía se trasmite.

Como toda onda, las sonoras se caracterizan por 3 parámetros:

- ◆ 1.- Dirección de propagación (o rayo). Los sonidos se propagan como ondas longitudinales, siguiendo un eje de propagación. Cada onda corresponde a una sucesión alternadas de fases de compresión y descompresión que varían en función de la elasticidad del medio.
- ◆ 2.- Frecuencia (f). El tiempo que transcurre entre dos instantes consecutivos en que las condiciones de perturbación del medio transmisor son iguales, se denomina Período (T). La frecuencia es el número de períodos en la unidad de tiempo. Se mide en Hertz (símbolo Hz) o ciclos /segundo. Entonces matemáticamente la frecuencia es el valor inverso del período ($f=1/T$). En los equipos ecográficos utilizados en el diagnóstico médico, los ultrasonidos utilizados van desde las frecuencias de 1 a 10 Megahertz (MHz). Todo sonido superior a 20 kHz, se le denomina ultrasonido. Esta clasificación aparentemente arbitraria se debe a que el oído humano puede detectar sonidos hasta de frecuencias de 20 kHz. Recordemos en cambio, que el oído de un canino puede registrar hasta 50 kHz y un murciélago puede registrar hasta 100 kHz.
- ◆ 3.- Longitud de onda (λ). Es la distancia entre dos puntos ubicados en la trayectoria de la onda que presentan igual vibración (o que vibran en igual fase). En toda onda, su frecuencia y su longitud de onda son inversamente proporcionales. De esta manera mientras más elevada es la frecuencia de una onda, necesariamente su longitud de onda es más corta (pues el producto de ambas es constante para el mismo medio). Si C es la velocidad de transmisión de una onda ultrasónica en ese medio. Entonces, $\lambda \times f = C$ Como se ve, la velocidad de transmisión de una onda ultrasónica en un medio resulta ser independiente de la intensidad o cantidad de energía transmitida. En los tejidos blandos, la velocidad de transmisión del sonido varía, según el tipo de tejido, entre 1490-1610 m/s.



Producción de ondas ultrasónicas

Para el ámbito que nos interesa, las ondas ultrasónicas emitidas por los ecógrafos son producidas por cristales semiconductores que presentan en forma destacada el llamado efecto piezo-eléctrico.

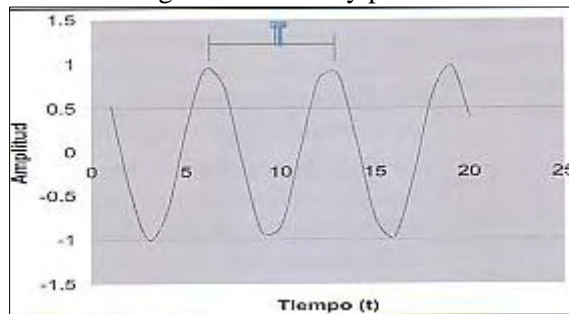
Todo cristal semiconductor, sometido a una presión, cambia la distribución de sus electrones libres, lo que genera una diferencia de potencial eléctrico. Y a la inversa, si al mismo cristal se le aplica una diferencia de potencial eléctrico entre sus caras, genera una deformación estructural del cristal. Este efecto es conocido como efecto piezo-eléctrico.

La llegada de una presión sonora a uno de estos cristales causa una diferencia de potencial que puede ser registrado (receptor o transductor de presión). Del mismo modo, aplicando una diferencia de potencial a sus caras genera una compresión del aire, lo cual conocemos como sonido (emisor). Si la diferencia de potencial que se aplica a un cristal es alterna, se genera una onda sonora de compresión de igual frecuencia. De esta manera, el mismo cristal puede utilizarse como emisor y receptor de ondas ultrasónicas. El cristal que reciba ultrasonidos induce una diferencia de potencial cuya intensidad es proporcional a la cantidad de energía sonora recibida.

Esa transformación de una energía eléctrica en una mecánica (y viceversa) se conoce como transducción. Por eso el elemento emisor-receptor de las ondas sonoras se conoce como transductor (detector o sonda). Entonces si tenemos un transductor, y podemos procesar las señales emitidas y recibidas para que puedan ser presentados en una pantalla, estaremos ante un ecógrafo.

En un ecógrafo, se permite que el transductor alterne las fases de emisión (y que dure unos pocos microsegundos), con las de recepción (de unos pocos milisegundos).

Fig. 2 Frecuencia y periodo



Propagación de ondas ultrasónicas

Las ondas sonoras requieren para su propagación de un medio que pueda transmitir la energía de una partícula a otra.

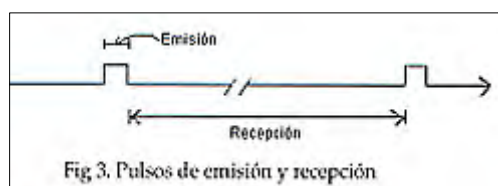


Fig 3. Pulsos de emisión y recepción

La velocidad de transmisión está determinada por el factor densidad del medio, que le otorga diferente resistencia a la compresión y por ende, define la velocidad del cambio. Como hemos dicho, para el mismo medio, la velocidad resulta constante. Entonces, sólo se puede aumentar la velocidad de propagación en un mismo medio,

aumentando la frecuencia de las ondas sonoras. En la Tabla 1 se registran estos datos medidos en diferentes medios. Por cierto, los equipos ecográficos se calibran a la velocidad de propagación de un medio conocido y estandarizado.

La impedancia acústica es entonces, una expresión de la resistencia o dificultad que ofrece el medio a la propagación de las ondas ultrasónicas.

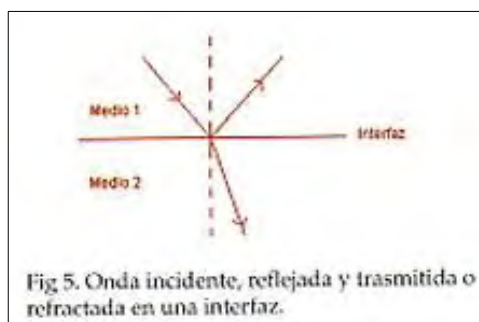
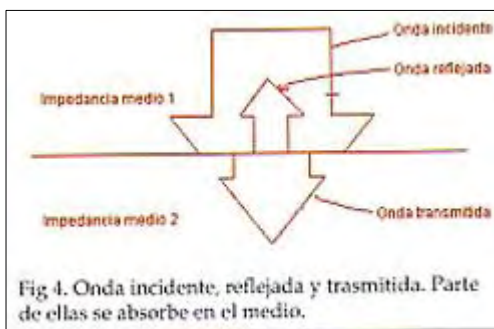
Medios	T (°C)	Frecuencia (MHz)	Velocidad (m/s)	Densidad (kg/m ³)	Impedancia acústica (kg/m ² ·s)
Aire	0		331	1,2	413
Agua	25		1497	0,957*10 ³	1,49*10 ⁶
Solución NaCl	25	15	1504	1,005*10 ³	1,51*10 ⁶
Tejido adiposo	24	1,8	1476	0,928*10 ³	1,37*10 ⁶
Tejido sin hueso	37	2,5	1490-1610	1,080*10 ³	1,58-1,7*10 ⁶
Tejido cerebral	24	2	1521	1,040*10 ³	1,58*10 ⁶
Tejido muscular	24	1,8	1568	1,058*10 ³	1,66*10 ⁶
Tejido hepático	24	1,8	1570	1,055*10 ³	1,66*10 ⁶
Tejido óseo		0,6	3360	1,850*10 ³	6,2*10 ⁶

En un examen ecográfico, cuando un ultrasonido atraviesa de un tejido a otro, que posean diferente impedancia acústica, entonces se dirá que existe una interfaz entre ambos. En general los límites de los órganos o de los tejidos de diferente tipo conforman naturalmente diferentes interfases (también se escribe, interfaces). En una interfaz, parte de las ondas ultrasónicas produce una reflexión especular generando el eco y otra parte se transmite o refracta.

Cuando el rayo incidente no se ubica perpendicular al órgano explorado se observa una distorsión de la imagen real.

En ocasiones es imposible que el transductor reciba toda la onda reflejada. En otras situaciones, no sólo existe reflexión o absorción por los "obstáculos", también puede existir desviación o restitución de ondas previas que llegan de una manera multidireccional difusa.

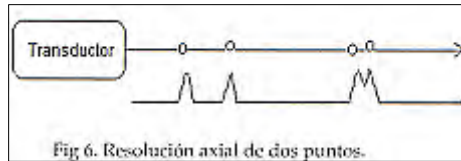
En los tejidos, la energía ultrasónica emitida por el transductor se va debilitando, característica conocida como atenuación. La disipación de la energía de una onda (principalmente en forma de calor o luz) tiene una caída geométrica y depende del medio (se mide en decibeles símbolo: db). Para los fines prácticos en este uso médico, la atenuación es del orden de 1 db/MHz por cada cm de penetración en los tejidos de los mamíferos. Este orden de magnitud señala la importancia que tiene la frecuencia de emisión de los ultrasonidos: a mayor frecuencia, mayor es la atenuación y, por tanto, con menos energía (menor frecuencia) se puede obtener mayor penetración en los tejidos.



Por eso en la práctica, para obtener una mejor calidad de imagen es preciso reducir al máximo el fenómeno de atenuación; eligiendo una frecuencia adecuada, dirigir un rayo estrecho, etc.

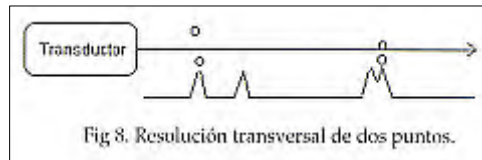
Debemos especificar que una buena imagen es aquella que permite identificar dos puntos separados como diferentes. Esta característica es conocida como poder separador o de resolución. Según el punto de vista tiene dos variantes:

- a) Resolución axial o longitudinal. Es la distancia mínima entre dos puntos ubicados en el eje de los rayos emitidos por el transductor y que el sistema puede discriminar como diferentes y por ende graficar como distintos. La resolución axial es una característica que depende directamente de la frecuencia del rayo.



b) Resolución transversal o lateral. Es la capacidad de distinguir como distintos dos puntos situados sobre un eje perpendicular al eje de los rayos ultrasónicos emitido por el transductor.

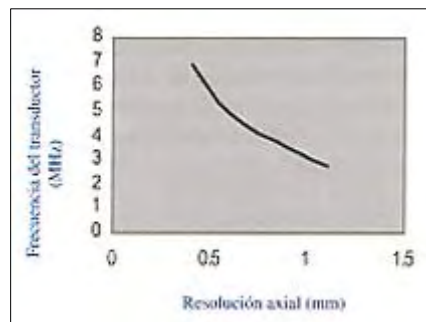
Es conocido que el poder de resolución depende de la relación entre λ y el ancho del rayo. Así, en la medida que disminuye el ancho del rayo aumenta la resolución; pero como al disminuir el ancho del rayo también disminuye la cantidad de energía que se envía, el débil retorno podría hacer dificultoso determinar la imagen.



Por los principios enunciados, podemos ahora relacionar de manera sintética los tres conceptos claves de un ecógrafo: frecuencia de su transductor, poder de penetración y resolución (longitudinal).

A mayor frecuencia de un ecógrafo, mejor es la resolución, pero menor será su poder de penetración.

Por ejemplo, exámenes ecográficos que requieran poca penetración (inferior a 4 cm) se pueden utilizar transductores de 10 MHz (obteniéndose la mejor resolución). Diferente situación es aquella exploración que requiera una profundidad de 10 cm, en el cual se recomienda un transductor de 5 MHz (sacrificando parcialmente su resolución).



Formación de la imagen en el ecógrafo

La transducción de la energía sonora recibida por el transductor (ecos recibidos desde los órganos internos) es procesada por un convertidor análogodigital que transforma las diferentes intensidades de la señal en una graduación digitalizada. Con esta forma digitalizada se puede, si se desea, realizar una serie de operaciones (análisis estadísticos, modificación de la imagen, histogramas, filtrados, etc.). Finalmente con estos datos digitalizados, procesados, pulidos y fijados son enviados a un convertidor inverso (o sea, un convertidor digital-análogo) que permite visualizar la señal.

En la mayoría de los ecógrafos la imagen se visualiza en un tubo de rayos catódicos (tipo TV o monitor de PC), donde la intensidad del haz de electrones resulta proporcional a la amplitud de los ecos recibidos. Cada punto de la pantalla es la visualización de un eco, donde su brillo es proporcional a la energía recibida. El conjunto de esos puntos entrega una representación estructural del objeto. En nuestro caso el despliegue en pantalla representa una copia bidimensional del corte anatómico de la región explorada.

Para generar esa imagen, el microprocesador calcula la profundidad de los tejidos según el retraso que tienen al regresar los rayos ultrasónicos luego de la reflexión en alguna interfaz.

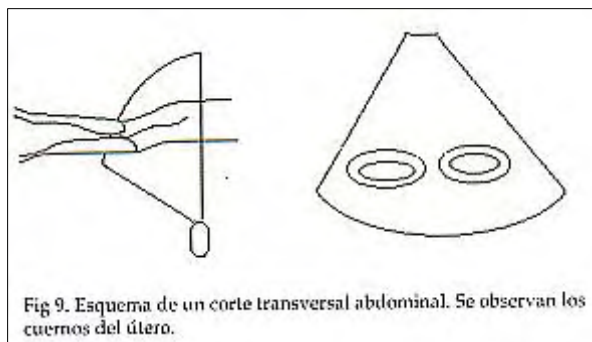


Fig. 9. Esquema de un corte transversal abdominal. Se observan los cuernos del útero.

ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES ULTRASONOGRÁFICAS

Los rayos ultrasónicos, al atravesar diferentes medios biológicos, pueden llegar a conformar una imagen que será dependiente de la densidad del medio (o mejor de su impedancia acústica):

- ◆ Medios gaseosos con una cohesión muy débil (aire en tórax, gases), son difíciles de atravesar. El aire junto con otros medios crea interfases muy reflectivas. Por esta razón se evita la capa de aire entre el transductor y la superficie del animal, utilizando geles que facilitan su contacto. El coeficiente de absorción total de rayos ultrasónicos en el aire es de 7 db/cm para una frecuencia de 2 MHz; en cambio, en el agua es solo de 0,009 db/cm para la misma frecuencia.
- ◆ Medios líquidos (sangre, orina, exudados, etc.). Facilitan la transmisión de las ondas ultrasonoras.
- ◆ Medios sólidos con una mediana cohesión molecular. Causan una importante atenuación de la energía de las ondas ultrasónicas.
- ◆ Medios sólidos con una cohesión muy fuerte (hueso o estructuras calcificadas). Permiten una penetración acelerada de las ondas ultrasónicas, pero como su impedancia acústica es muy elevada, posee una alta atenuación. La diferencia de impedancia acústica entre una estructura calcificada y otra de tejidos blandos cualquiera, genera una interfaz que hace que gran parte de la energía incidente sea reflejada. Este aspecto se torna más importante cuando se pretende comparar pacientes de diferente talla y edad.
- ◆ En una exploración ecográfica, un medio biológico se puede definir según su nivel sonoro en: hipoecogénico, anecogénico y hiperecogénico. Este grado de ecogenicidad, es también calculado por el microprocesador, midiendo la diferencia de energía que retorna como también registrando los cambios en la frecuencia recibida con relación al rayo emitido.
- ◆ De acuerdo con el grado de ecogenicidad y a la experiencia que se tenga de un determinado ecógrafo, es posible inferir la densidad y composición de los fluidos existente en las imágenes exploradas.

NUEVOS DESARROLLOS

Adición del efecto Doppler

El desarrollo de software de uso en ecografía ha permitido interesantes avances sobretodo en lo referente a estudios cardiológicos, pues de su análisis se desprende un alto acercamiento a la funcionalidad cardíaca.

Por ejemplo, aspectos tan complejos de medir como son las velocidades de flujo y las presiones asociadas en el sistema cardiovascular, se han visto simplificadas con la incorporación del efecto Doppler en los especializados ecógrafos, llamados por tanto, ecocardiógrafos Doppler.

El efecto Doppler se basa en el ampliamente conocido cambio de frecuencia que se registra en cualquier onda cuando es reflejada (o también producida por un emisor) por un componente en movimiento.

En el caso de los ecocardiógrafos, el principal componente en movimiento a observar es la sangre circulante. Y es su microprocesador el que calcula en algunos nanosegundos la velocidad de flujo de la sangre, a partir de la medida de las diferencias entre la frecuencia de retorno del eco y la frecuencia emitida por el transductor, así como el ángulo conformado por ambos rayos, asumiendo como constante la velocidad del ultrasonido en la sangre estática.

Con este dato, el microprocesador puede informar si el flujo de sangre se mueve acercándose o alejándose del transductor.

En los más recientes ecocardiógrafos dotados de pantalla a color ("Ecocardiógrafo Doppler Color") se le representa con el color rojo al flujo laminar (1) que se acerca al transductor, azul al flujo laminar que se aleja y de los colores verde al amarillo en los flujos turbulentos como son los que ocurren en los estrechamientos o bifurcaciones del sistema cardiovascular.

Con igual facilidad permite el cálculo de las áreas, presiones y velocidades de flujo en cualquier parte del sistema cardiovascular, que le sea definido.

Del mismo modo, se han incorporado otras mejoras tecnológicas que permiten una impresionante composición tridimensional de las imágenes ultrasonográficas (amplia exposición de imágenes en Internet: <http://www.ob-ultrasound.net/>).

Resulta emocionante observar que el desarrollo de esta tecnología, sobretodo en los últimos años, no se ha debido al desarrollo reciente de las ciencias, sino a la aplicación de conceptos que fueron rigurosamente formulados hace más de 150 años.

(1) Se llama flujo laminar pues el líquido de las zonas del centro de un vaso conductor se mueve más rápido que las cercanas a su pared, asimilándose a láminas concéntricas que se desplazan.

BIBLIOGRAFÍA

Fuenzalida, M. y E. Freire. Curso de Biofísica. Texto guía. Universidad de Chile. Santiago, 1988.

Lamb, C. Abdominal ultrasonography in small animals intestinal tract and mesentery, kidneys and adrenal glands, uterus and prostate. J. Small Anim. Prac 31: 295-304,1990.

Legrand, J y B. Carlier. Bases physiques de l'échotomographie. Res Méd Vét 157: 553, 1981.

Moretti J. Elements de physique ultrasonore. Echographie. Bull Acad Vet de France 55: 159, 1982.

Penminck, D. y S. Cuvelliez. Principes physiques et méthodes d'exploration échographique. Ann Méd Vét 129: 381-391, 1985.(Footnotes).

Volver a: [Ecografía y ultrasonografía](#)