

# CAPÍTULO 1

## Principios físicos del ultrasonido

*Andrés T. Soto, María Verano Gómez  
y Rodolfo L. de la Sota*

### Generalidades

En 1880 se descubren los "cristales piezoeléctricos", los cuales posibilitaron transformar los pulsos eléctricos en ondas de ultrasonido y convertir las ondas reflejadas en pulsos eléctricos. Durante la Segunda Guerra Mundial las ondas de ultrasonido fueron utilizadas para detectar submarinos, mediante el sistema conocido como SONAR (Sound Navigation and Ranging). A partir de ese momento, este principio fue adaptado para la visualización de tejidos y líquidos de humanos y de animales. El primer sistema basado en el ultrasonido para inspeccionar el abdomen y la cavidad pélvica se basó en una técnica similar al sonar. En un tanque de agua fue sumergido el paciente y un transductor ultrasónico giraba alrededor de la persona. El constante progreso de la física y la medicina han permitido el desarrollo de los traductores de contacto. Este avance, permitió colocar los traductores directamente sobre el paciente, evitando el uso de agua para la transmisión de las ondas de ultrasonido y sus ecos.

Se conocen tres modos en la utilización de las ondas de ultrasonido a saber:

- Modo A o Amplitud
- Modo B o Brillo
- Modo M o Movimiento

El modo A, donde los ecos se presentaban como picos de una onda y se visualizaban en un osciloscopio, fue el usado originalmente y durante mucho tiempo fue el sistema usado para la detección de preñez en cerdos y pequeños rumiantes. El modo B es la base de todos los sistemas de imágenes bidimensionales y muestra los ecos como puntos brillantes. El brillo del punto depende de la amplitud o intensidad del eco. El tiempo que toma el eco para reflejarse nuevamente al transductor determina la situación o posición del punto o pixel en la pantalla. Las unidades del modo-B utilizan generalmente una escala de grises de 64 valores, y la imagen final es generada por diferencias en sombras de gris originadas del campo del tejido. Hoy en día todos los equipos ecográficos usados en pequeños rumiantes utilizan el modo B y son de tiempo real

(lo que significa que los cambios que realizamos con el haz de sonido en el tejido son rápidamente analizados por la central electrónica del ecógrafo y presentados en la pantalla) lo que nos permite estudiar estructuras en movimiento. El modo M es específico ya que se utiliza para estudios cardíacos.

Dentro de los sistemas bidimensionales de tiempo real (Modo B), existen dos sistemas: mecánicos y electrónicos. El principio de ellos es que el haz sonoro lee en un plano determinado a una alta velocidad generando información suficiente e instantánea sobre una estructura bidimensional, y a su vez la presentación de la imagen puede ser en forma sectorial o lineal.

## Equipo de ultrasonografía

Todo equipo de ecografía consta básicamente de una consola y un transductor siendo este último el que emite los ultrasonidos de una determinada frecuencia. Un transductor se encuentra construido por uno o varios cristales piezoeléctricos que al pasaje de una corriente eléctrica de una frecuencia apropiada comienzan a contraerse o dilatarse de acuerdo a la frecuencia transmitida. De esta forma, las ondas de sonido que se generan comienzan a propagarse por los tejidos a una velocidad determinada. A su vez, cuando una onda de sonido se refleja, los ecos vuelven al transductor, éste los capta y genera una señal eléctrica que, por medio del procesamiento hecho por el equipo ecográfico, iniciará la construcción de la imagen correspondiente en la pantalla. Lo que realmente va a construir nuestra imagen ecográfica serán los “ecos” que se generaron cuando los haces de ultrasonido impactaron contra los órganos en estudio.

## Consola

La consola se encuentra equipada por una pantalla, sobre la cual se visualiza la imagen basada en una escala variable de grises, y un teclado que de acuerdo al equipo podremos contar con diferentes posibilidades de uso. Así, por ejemplo, a través de un teclado de mando podremos cambiar la frecuencia de uso (de 5 Mhz a 7.5MHz), grabar imágenes, mensurar imágenes, ampliar imágenes entre otras funciones. También posee un escáner que tiene la función básica de procesar la imagen adquirida por el transductor y transportar esta imagen a la pantalla. La fuente de energía de los ecógrafos portátiles puede ser eléctrica, a baterías o ambas. Para la realización de las ecografías es recomendable disponer de un lugar determinado, aislado, con una fuente de energía cercana, evitándose la luz solar directa, ya que realizar ecografías con mucha claridad disminuye considerablemente la visualización de la imagen. La mayor oscuridad asegura el mejor uso de escalas de grises y se obtiene una máxima calidad de imagen (Fotografía 1).



*Fotografía 1: Modelo de consola con teclado (de la Sota, RL).*

## Transductores

El transductor es el instrumento convertidor de energía. Un transductor de ultrasonido de cristales piezoeléctricos convierte la energía eléctrica en energía mecánica para la producción de ondas de ultrasonido, y convierte la energía acústica que retorna en energía eléctrica. La ecografía utiliza ondas de sonido de alta frecuencia, los ultrasonidos, que se sitúan por encima de los 20.000 Hertz (recordemos que las ondas sonoras audibles están entre los 16.000 y los 20.000 Hertz). Los transductores más utilizados en veterinaria son los de 3.5 MHz, 5 MHz y 7.5 MHz (1Mhz = 1.000.000 ciclos de sonido por segundo).

La penetración de las ondas de ultrasonido en los tejidos con un transductor de 7.5 MHz es de sólo 4 o 5 cm, por lo que solo permite examinar con claridad estructuras muy cercanas. Los transductores de 5 MHz tienen una penetración de 8 a 10 cm y aquellos de 3.5 MHz penetran una profundidad de 12 a 15 cm.

***A mayor frecuencia, menor penetración***

Los transductores no sólo varían en su frecuencia, sino también en la forma en que se disponen los cristales en el transductor, y son los que en definitiva determinan de qué manera se generarán los haces de ultrasonido.

### **Lineal**

Son los transductores más comúnmente usados en reproducción animal ya que se adaptan perfectamente al uso transrectal. Los cristales se encuentran situados uno al lado del otro en una línea recta. Cada subgrupo de cristales genera un haz de sonido creándose haces de sonido paralelos. Su característica es una imagen ecográfica rectangular producida sin movimientos mecánicos en la cabeza del transductor (Figura 1 A). El transductor necesita una gran área de contacto para el estudio (Fotografía 2).

El transductor recomendado para la mayoría de las aplicaciones a realizar para la evaluación de la carcasa en animales de interés zootécnico es la Sonda de Producción Animal (ASP-18). Esta sonda contiene un total de 128 cristales colocados en una serie lineal. La sonda es de 18 centímetros de longitud y permite examinar todos los animales (bovinos de carne, ovinos y porcinos). La almohadilla de alejamiento (guía de la onda) se usa para adaptar la superficie plana del transductor lineal a las curvas de la parte posterior del animal y poder obtener imágenes de calidad. El uso de la almohadilla es necesario para estimar el área de ojo de bife en una sección transversal, pero no se requiere de la misma para realizar la estimación del espesor de grasa o de la profundidad del músculo.

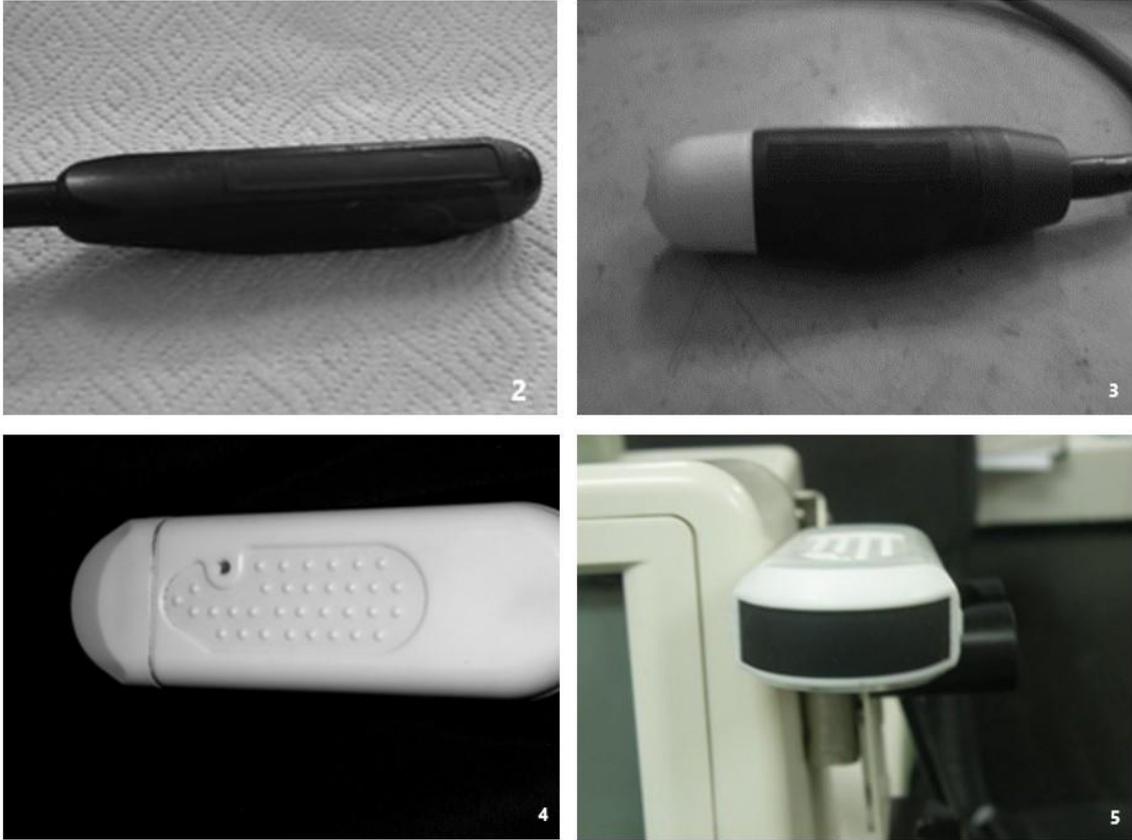
### **Convexo**

La superficie del transductor es ligeramente curva y brinda una imagen con formato sectorial (Figura 1 C). Su principal ventaja es que necesita una superficie de contacto menor que los transductores lineales tradicionales (Fotografías 4 y 5). Actualmente, los transductores microconvexos han permitido disminuir la superficie de contacto y el tamaño del transductor por lo cual pueden ser utilizados tanto por vía endovaginal como transrectal.

### **Sectorial mecánico**

Este sistema contiene un solo cristal que oscila rápidamente y crea una imagen triangular con el vértice hacia arriba. Su ventaja es la mínima superficie de contacto que necesita. Dentro de los sectoriales tenemos el sistema *PHASED ARRAY* el cual contiene numerosos cristales muy pequeños en una línea, los que se activan simultáneamente para producir un único haz de sonido (Figura 1 B). El transductor es muy pequeño con la característica de una imagen sectorial pero aquí no hay movimientos en la cabeza del transductor y a su vez necesita una pequeña superficie de contacto (Fotografía 3).

La elección del equipo de ultrasonido debe estar basada en las aplicaciones previstas. El transductor de 5 MHz ofrece un balance entre profundidad de penetración (hasta 10 cm a partir del transductor) y la calidad de la imagen (resolución) para el estudio de los diferentes aspectos reproductivos.



Fotografías 2-5: 3) Transductor lineal. 4) Transductor sectorial. 5 y 6) transductores convexos. (Soto, AT; Gómez, MV; de la Sota, RL)

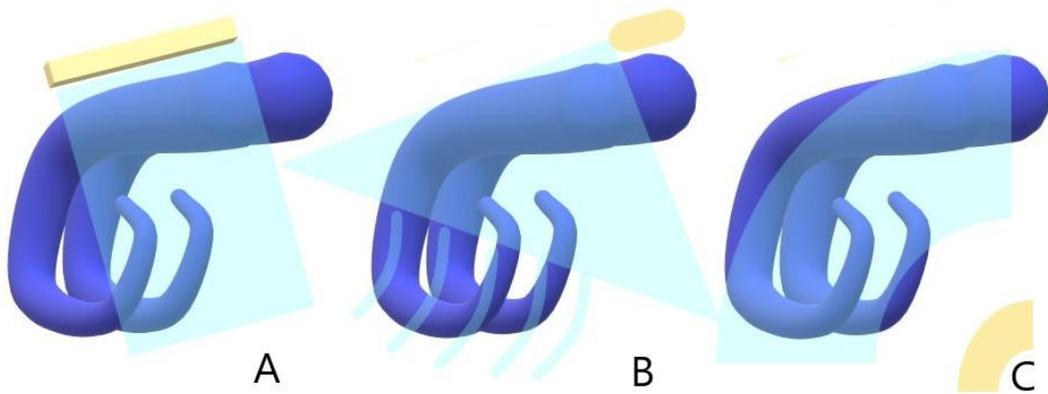


Figura 1: Formato de imagen ecográfica a partir de diferentes tipos de transductor (A) lineal (B) sectorial (C) convexo. (Soto, A.T.).

## Principios físicos del ultrasonido relacionados a la interpretación de imágenes

Ante todo, para poder realizar una correcta interpretación de las estructuras (tejidos u órganos) que nos presenta la pantalla de un ecógrafo debemos conocer los principios básicos sobre

los cuales se sustenta esta técnica, lo que nos va a permitir discernir sobre lo que es verdaderamente una imagen ecográfica de lo que es un “artefacto” creado por la técnica en sí.

Las ondas de sonido tienen velocidades estipuladas y fijas de acuerdo a los diferentes tejidos o medios por donde se propagan (Cuadro 1).

Tejidos	Velocidad del Sonido (m/seg.)
Aire	330
Cerebro	1540
Grasa	1450
Agua	1495
Hígado	1550
Músculo	1580
Sangre	1570
Hueso	4080

**Cuadro 1:** Velocidad de propagación del sonido en diferentes medios y tejidos.

Como se deduce del cuadro 1, el aire es un pésimo conductor del sonido, razón por la cual siempre entre el transductor y el tejido se debe usar gel o aceite con el fin de que no exista aire entre la superficie del transductor y la superficie a explorar. La imagen se compone de varios tonos de grises, los que son una copia fiel de la capacidad de los diferentes tejidos de reflejar o propagar las ondas de sonido. En el caso de los *líquidos* (vejiga, fluidos fetales, folículos ováricos y otros) se verán de color negro ya que *NO reflejan las ondas* y literalmente se podría decir que son atravesados por el sonido sin generar ningún eco, por lo tanto se las denomina estructuras **anecogénicas** ó **anecoicas** (Fotografía 6). En el otro extremo están los que *reflejan casi toda la onda* (70%) como el tejido óseo; observándose estructuras muy blancas y se las denomina **hiperecogénicas** ó **hiperecoicas** (Fotografía 6). En el medio se encuentran los demás tejidos u órganos con sus diferentes tonos de grises denominándose **ecogénicos** o **ecoicos** (Fotografía 6) y aquellas estructuras levemente grises se las identifica como **hipoecoicas**. En muchos casos crean patrones de imágenes que son típicos de ellos (imagen hepática, bazo, corteza renal, entre otras). Este patrón, en realidad, es la impedancia acústica de cada uno de los tejidos y que está dada por la velocidad con que el sonido puede atravesarlo y su densidad (Cuadro 2).



**Fotografía 6:** Ecogenicidad de los diferentes tejidos correspondientes a una gestación. Ecogénico (placenta); hiperecogénico (huesos craneanos); anecogénico (líquidos gestacionales). Transductor sectorial 5 MHz. (Soto, AT; Gómez, MV; de la Sota, RL).

<u>Tejido</u>	<u>Impedancia Acústica</u> (gr./cm/seg.)
Sangre	1,61 x 10 <sup>-5</sup>
Hueso	7,80 x 10 <sup>-5</sup>
Agua	1,48 x 10 <sup>-5</sup>
Aire	0,0004 x 10 <sup>-5</sup>
Músculo	1,70 x 10 <sup>-5</sup>

**Cuadro 2:** Impedancia acústica de diferentes tejidos.

Gracias a que cada estructura posee su propia impedancia acústica se puede diferenciar una de otra ya que se crean interfaces entre ellas ayudándonos a delimitarlas o bien, si ese patrón se encuentra alterado, poder inferir patologías en dichos órganos.

La resolución de un equipo ecográfico es muy importante porque es la habilidad para poder distinguir estructuras que se hallen muy próximas. Tenemos una resolución axial, interpretada como la capacidad del equipo para diferenciar dos puntos en el mismo sentido de propagación del haz y una resolución lateral interpretada como la capacidad de diferenciar dos puntos en un plano perpendicular al sentido del haz de sonido.

***A mayor frecuencia, mayor resolución***

A su vez cuanto mayor es el poder de resolución menor será el poder de penetración. Si bien para una exhaustiva revisión ecográfica de ovarios optaríamos por un transductor de 5 o 7,5

Mhz, también deberíamos saber su limitación en cuanto a penetración de cada uno de ellos, que en el primer caso no va más allá de 10 cm y en el segundo 5 cm. Otro ejemplo sería si queremos determinar el área de ojo de bife usaríamos un transductor de 3,5 Mhz que nos proporcionaría una penetración superior a los 20 cm. pero obviamente la “calidad de detalles” será menor que a uno de 7,5 Mhz. En particular, el poder de penetración es muy importante a la hora de tener que seleccionar transductores para una técnica determinada

**A mayor poder de resolución menor poder de penetración**

La atenuación es otro factor a tener en cuenta. Corresponde a la disminución de la intensidad como resultado del paso del haz de sonido por los tejidos y decrece a medida que se propaga por varias razones a saber:

- a) Los tejidos absorben energía sonora y la transforman en calor.
- b) La reflexión de parte haz sonoro cuando atraviesa dos medios diferentes.
- c) La divergencia haz sonoro (siempre tiende a cubrir una mayor área).

***A mayor frecuencia mayor atenuación***

Como resultado de la atenuación, en la mayoría de los equipos vienen provistos de una compensación en profundidad (*Time Gain Compensation*) que les posibilita proveer al operador de la capacidad de poder amplificar más los ecos lejanos que los próximos y poder así equilibrar la pérdida producida.

## **Presentación de las imágenes**

### **Imágenes correspondientes a líquidos**

Los líquidos puros son asimilables al agua y transmiten perfectamente los ultrasonidos. Sobre la pantalla aparecen como zonas carentes de eco, anecogénicas, por lo tanto se visualizará de color negro sobre la pantalla. La orina, el líquido amniótico, la bilis y algunos derrames son líquidos considerados "puros". En cambio, la presencia de líquidos de elevada celularidad o que contengan partículas en suspensión, se denominan líquidos "impuros". En estos casos, las ondas de ultrasonido “chocan” contra numerosos elementos reflectores. Aquí la imagen observada será de un fondo negro (anecogénico) sobre el cual se encuentra suspendido un puntillado blanco. La orina de los caballos, coleccionadas purulentas o mucopurulentas, loquios y algunos derrames se consideran líquidos impuros.

### **Imágenes correspondientes a gas y cálculos**

En la interfase de tejido medio gaseoso, los ultrasonidos son totalmente reflejados, ya que la diferencia de impedancia es elevada. Sobre la pantalla, observamos una imagen de interfase hiperecogénica seguida de un cono de sombra. La observamos al principio de la exploración cuando el contacto entre la sonda y la piel aún no es suficiente, y en ecografía digestiva desde el momento en que aire o gas están presentes en un tejido. Los cálculos también originan un cono de sombra, ya que la totalidad de las ondas de ultrasonidos es reflejada. Lo mismo ocurre con el hueso. Los cálculos están representados por un arco hiperecogénico, seguido de un cono de sombra que a veces es más visible que el cálculo mismo, sobre todo si este último no presenta una cara perpendicular al haz incidente.

### **Artefactos**

Los artefactos son alteraciones de la imagen producidas artificialmente durante la exploración. No corresponden a ninguna anomalía o lesión. Estas alteraciones de la imagen son debidas a fenómenos físicos inherentes a las leyes de propagación de las ondas de ultrasonido. Durante la interpretación de las imágenes ecográficas se debe tener en cuenta estas imágenes "parásitas", por lo tanto, es fundamental reconocerlas.

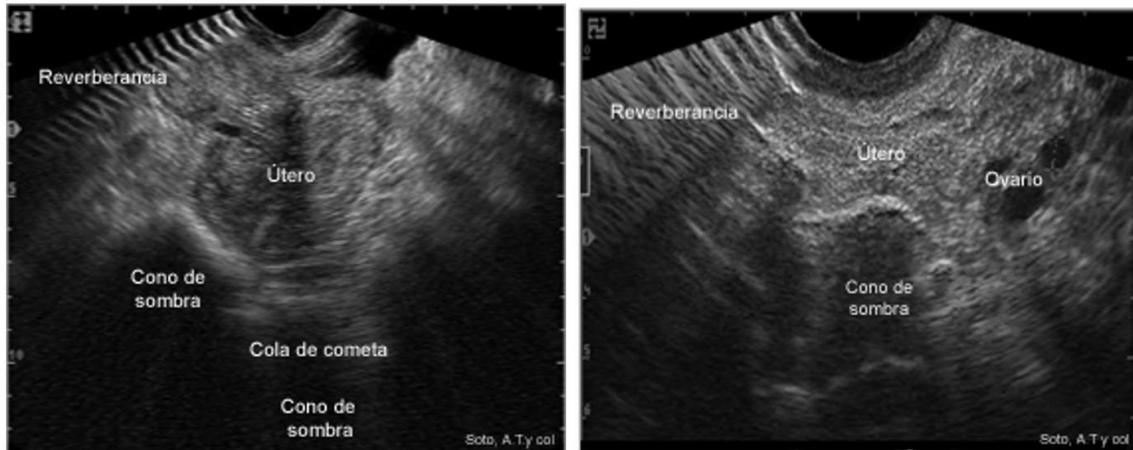
#### **Reverberación o eco de repetición**

Se manifiesta por una sucesión de curvas hiperecogénicas paralelas. Se origina a partir de reflexiones múltiples entre dos interfases muy reflejantes o entre una interfase y la superficie de la sonda. Únicamente el primer eco corresponde a una estructura real; los demás se presentan como copias de menor intensidad.

Este artefacto generalmente aparece cuando no hay un buen contacto entre la superficie del transductor y la superficie a explorar generalmente debido a la presencia de aire entre ambas superficies.

#### **Cola de Cometa**

Es un trazo vertical hiperecogénico que encontramos cuando el haz de ultrasonidos choca contra una burbuja de aire o una pequeña superficie mineralizada. Es un fenómeno de reverberación. El ecógrafo interpreta los intervalos sucesivos entre reverberaciones como un alejamiento; aparecen entonces una serie de pseudointerfases próximas entre sí en forma de "cola de cometa". Estas aparecen frecuentemente asociadas al cono de sombra en cortes transversales de intestino delgado, en caso de pequeños cálculos o de calcificaciones erráticas (Fotografía 7).



**Fotografías 7 y 8:** En ambas fotografías se observa la presencia de reverberancia y cono de sombra así como interfase hiperecogénica dada por el contenido gaseoso intestinal. Transductor sectorial 5 MHz y 7,5 MHz. (Soto, AT; Gómez, MV; de la Sota, RL).

### Cono de sombra

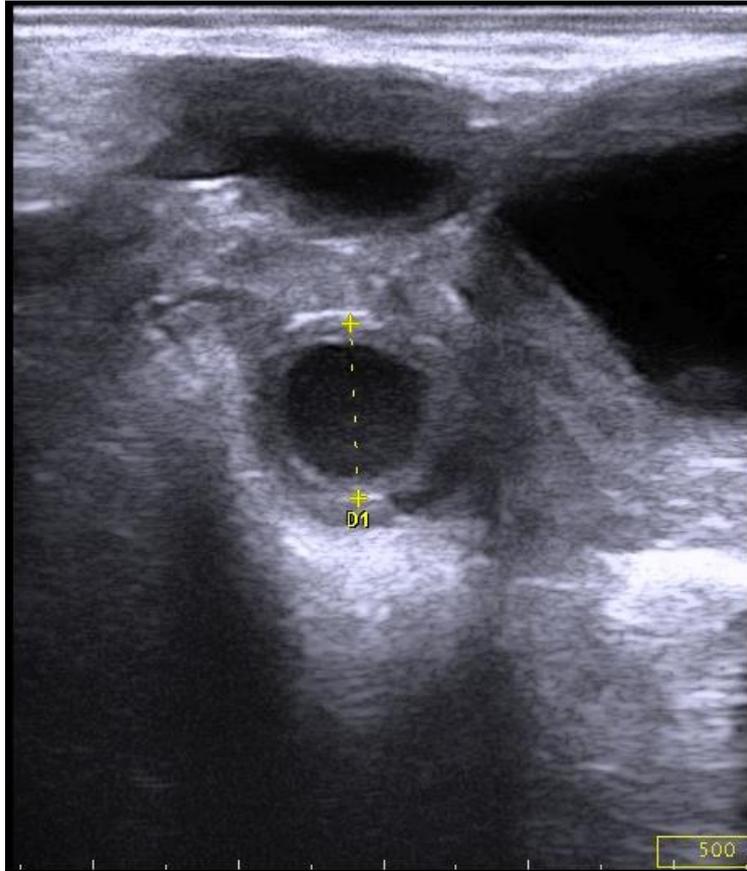
El cono de sombra es una zona oscura, resultado de la ausencia de ecos debida a la reflexión total de la onda ultrasónica a nivel de una interfase con aire, hueso o cálculos (Fotografía 7 y 8).

### Refuerzo Posterior

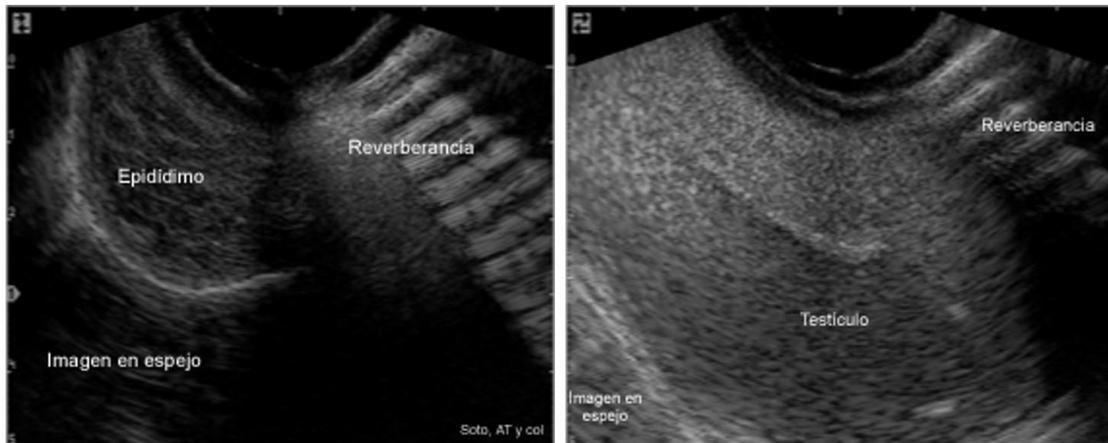
El refuerzo posterior se traduce por una imagen más ecoica que observamos distalmente a una estructura que no atenúa los ultrasonidos. Una onda que atraviesa la vejiga, un folículo ovárico o la vesícula embrionaria está poco atenuada. En estas estructuras, las ondas se comportarán como si estuviesen amplificadas, los ecos serán más potentes y la imagen subyacente parecerá más ecogénica que la adyacente (Fotografía 10). Este fenómeno se utiliza para el diagnóstico precoz de gestación en el cual se emplea a la vejiga como ventana acústica (Fotografía 9).

### Artefacto en espejo

Consiste en la aparición en la pantalla de dos imágenes idénticas, simétricas respecto a una línea muy ecogénica. Se observa fundamentalmente durante la ecografía de la cara diafragmática del hígado. La interfase hígado-pulmón refleja totalmente las ondas que inciden perpendiculares al diafragma. Una parte de la energía reflejada alcanza directamente el transductor y permite al ecógrafo construir la imagen correspondiente al intervalo sonda-pulmón. Otra parte de la energía sufre reflexión y difusión y alcanza el transductor tras una nueva reflexión sobre la interfase hígado-pulmón. Este fenómeno se traduce sobre la pantalla mediante la formación de una imagen distal al diafragma, simétrica a la imagen próxima. Situaciones similares ocurren en el caso de ecografías testiculares y en el caso de vejigas en estado de repleción (Fotografía 10 y 11).



**Fotografía 9:** Tanto en el extremo superior como en el inferior de la línea trazada (amarilla) se observan líneas blancas en los bordes de un quiste ovárico en una hembra ovina. Transductor lineal de 10 Mhz. (Gómez, MV y Soto, AT.).

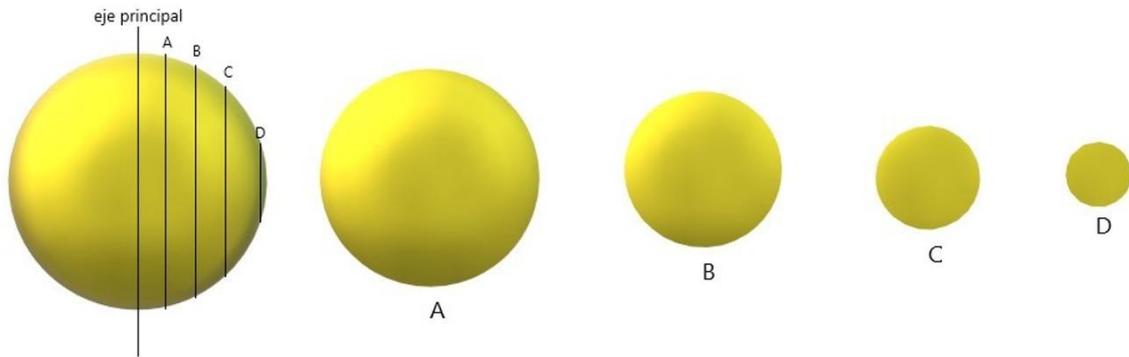


**Fotografía 10 y 11:** Imagen en espejo en cola de epidídimo (izquierda) y en testículo (derecha). Transductor sectorial 7,5 MHz. (Soto, AT y Gómez, MV).

## ¿Cómo se ven los cortes de los órganos?

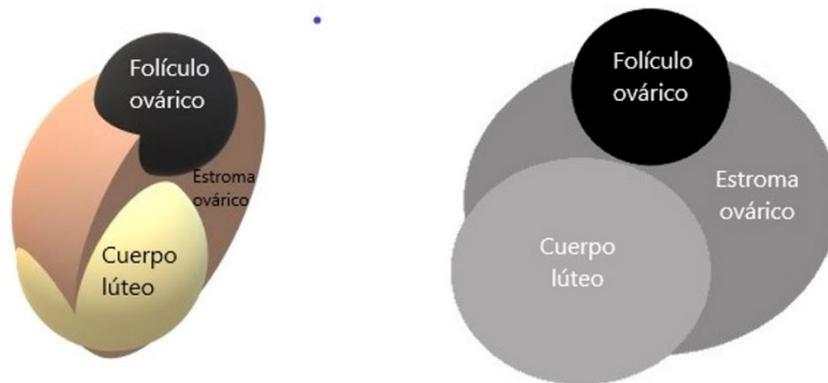
La mayoría de los órganos pueden ser comparados con figuras geométricas lo cual facilita la interpretación del corte visualizado en una imagen ultrasonográfica. Así, los folículos ováricos o el cuerpo lúteo podrían ser comparados con una esfera y al útero como un cilindro.

En los órganos esféricos o esferoides es importante revisar el órgano buscando su mayor dimensión para su mensura, En la figura 2 se observa una esfera y como es el tamaño a observar en una imagen ultrasonográfica de acuerdo al lugar del corte. Cuanto más cercano sea el corte al eje de la esfera, más fidedigna será la medida tomada.



**Figura 2:** Dimensiones de los círculos acordes al lugar del corte a partir de una misma esfera (Soto, AT)

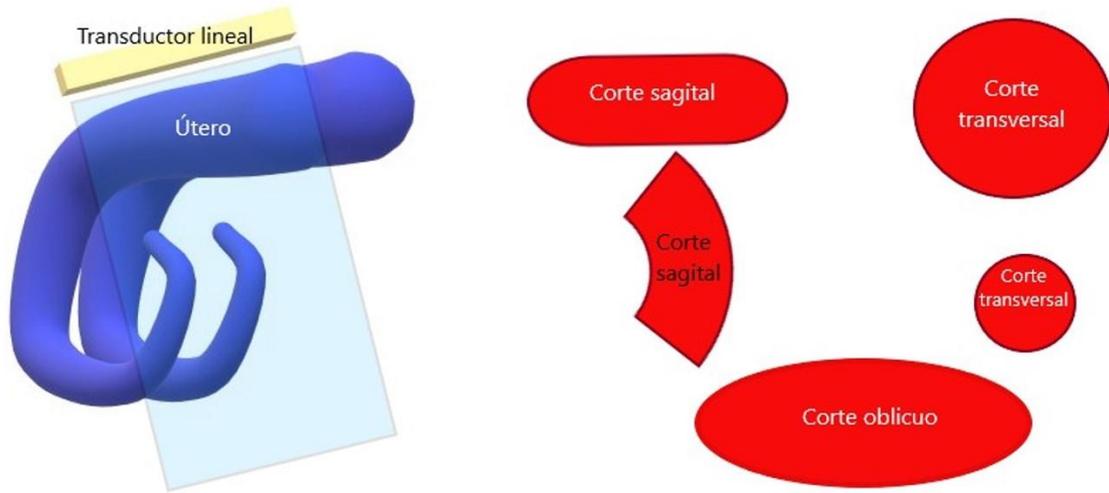
De acuerdo a las consideraciones anteriores, el ovario y sus estructuras serían cuerpos esféricos y esferoides, los cuales se diferenciarían por su ecogenicidad. (Figura 3).



**Figura 3:** Representación esquemática de un corte sagital de un ovario y sus estructuras. A la derecha su representación bidimensional ultrasonográfica (Soto, AT).

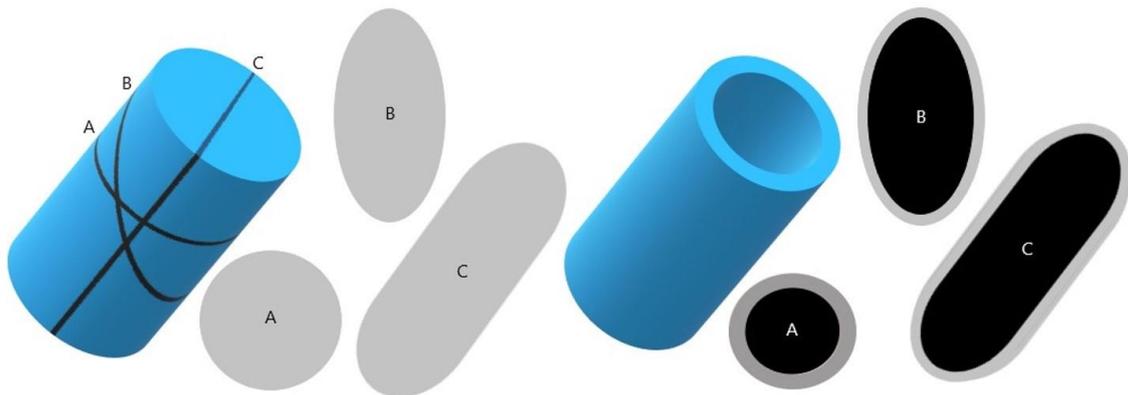
El útero era comparable con un cilindro, el cual podrá contener o no un contenido en su interior. De no contener contenido su aspecto será sólido, comparable a una salchicha y de tener contenido su aspecto puede ser comparable a un tubo, ya que su cavidad virtual se convirtió en real.

Acorde a la posición que tenga el útero y la disposición con que coloquemos el transductor obtendremos diferentes cortes del mismo en una imagen, pudiéndose obtener cortes sagitales, transversales y oblicuos (Figura 4).



**Figura 4:** representación esquemática de diferentes cortes uterinos obtenidos mediante un transductor lineal (Soto, AT)

Cuando exista un contenido líquido intrauterino, los cortes serán similares en su forma pero quedarán compuestos por una zona periférica ecogénica (pared uterina) y una central, anecogénica, correspondiente al líquido intrauterino (Figura 5).



**Figura 5:** representación esquemática de diferentes cortes ultrasonográficos de un cuerno uterino con (derecha) o sin contenido líquido (izquierda) obtenidos mediante un transductor lineal. (Soto, AT)

## Bibliografía

- Fowler, D.G. and Wilkins, J.F. 1984 "Diagnosis of pregnancy and number of foetuses in sheep by real-time ultrasonic imaging. I. Effects of number of foetuses, stage of gestation, operator and breed of ewe on accuracy of diagnosis." *Livestock Production Science* 11:437-450.
- Ginther, O.J. 1995. *Ultrasonic imaging and animal reproduction: Fundamentals, Book 1*. Ginther Ed. Madison, Wisconsin.
- Goddard, P. J. 1995. In *Veterinary Ultrasonography*. CAB International, Wallingford, UK.

- Gresham, J. D. 1995. Ultrasonography as an objective tool for evaluating live beef cattle: Using the Pie Scanner 200 Ultrasound Scanner. *The Ultrasound Review. Classic Ultrasound Equipment*, 19900 Mona Road, Suite 105, Tequesta, FL 33469.
- Gresham, J. D. 1996. Introduction to characterization of live beef muscle tissue by use of the Pie 200 Scanner quality indexing program: An automated system for estimating quality grade of beef animals. *The Ultrasound Review. Classic Ultrasound Equipment*, 19900 Mona Road, Suite 105, Tequesta, FL 33469.
- Houghton, P. L., and L. M. Turlington. 1992. Application of ultrasound for feeding and finishing animals: A review. *J. Anim. Sci.* 70:930.
- Kaspar, B. 1989 "Ultraschalluntersuchung bei Ziegen: Eine zuverlässige methode zur Trächtigkeitsfeststellung. *Der Ziegenzüchter* 5:8-12.
- Kähn, W. 1994 *Veterinary Reproductive Ultrasonography*. Ed. Mosby – Wolfe, Germany.
- Kaulfuss, K.H.; Süß, R.; Schenk, P. 1999 "Die ultrasonographische trächtigkeitsdiagnostik (B-Mode) beim schaf. Teil 4: Ergebnisse einer feldstudie in Deutschland". *Tierärztl Prax* 27 (G): 74-82.
- Meinecke-Tillmann, S 2017. Basics of ultrasonographic examination in sheep. *Small Ruminant Research*, Volume 152:10-2.
- Palmer, E. and Driancourt, M.A. 1980 Use of ultrasonic echography in equine gynecology. *The-riogenology.* 13:203-216.
- Pieterse, M.C. 1998 *Le Nouveau Peripartum*. Société Française de Buiatrie, Paris, France.
- Pieterse, M.C. 1999. I Taller de Ultrasonografía: Aplicaciones en la reproducción bovina y ovina. Instituto de Teriogenología. Fc. Cs. Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata.
- Wild, J.J. 1950. The use of ultrasonic pulses for the measurement of biological tissues and the detection of tissue density changes. *Surgery* 27:183.