

UNIVERSIDAD  
DE CHILE

# Módulo Ecografía: Física del Ultrasonido

TM. Ecografista Járol Aguilar González

Noviembre 2020



# Introducción

## La Ecografía

- Examen imagenológico de primera línea
- Altos estándares de aporte decisión terapéutica
- Inocuo y libre de radiación
- Se va abriendo con fuerza y avance rápido

Conocer los **fundamentos reales** de cómo se generan los principales ejes en el diagnóstico no es trivial, mas aún cuando las **variantes anatómicas** para su aplicación son distintas entre cada individuo que se va a examinar. Es por eso y por muchos factores más, que es imprescindible conocer a cabalidad **los principios físicos** y cómo interacciones en cada paciente, permitiendo así generar diagnósticos y evoluciones.

Veremos el desarrollo en torno a los fenómenos del ultrasonido, como se genera y los distintos destinos que toma éste cuando interacciona con la materia, para solo una porción de ellos ser los responsables de la formación de la imagen.



# Ultrasonido: Propiedades

Ultrasonido → Vibración mecánica de la misma naturaleza que el sonido audible, de tipo mecánica elástica y con formación semiesférica periódica

## Frecuencia

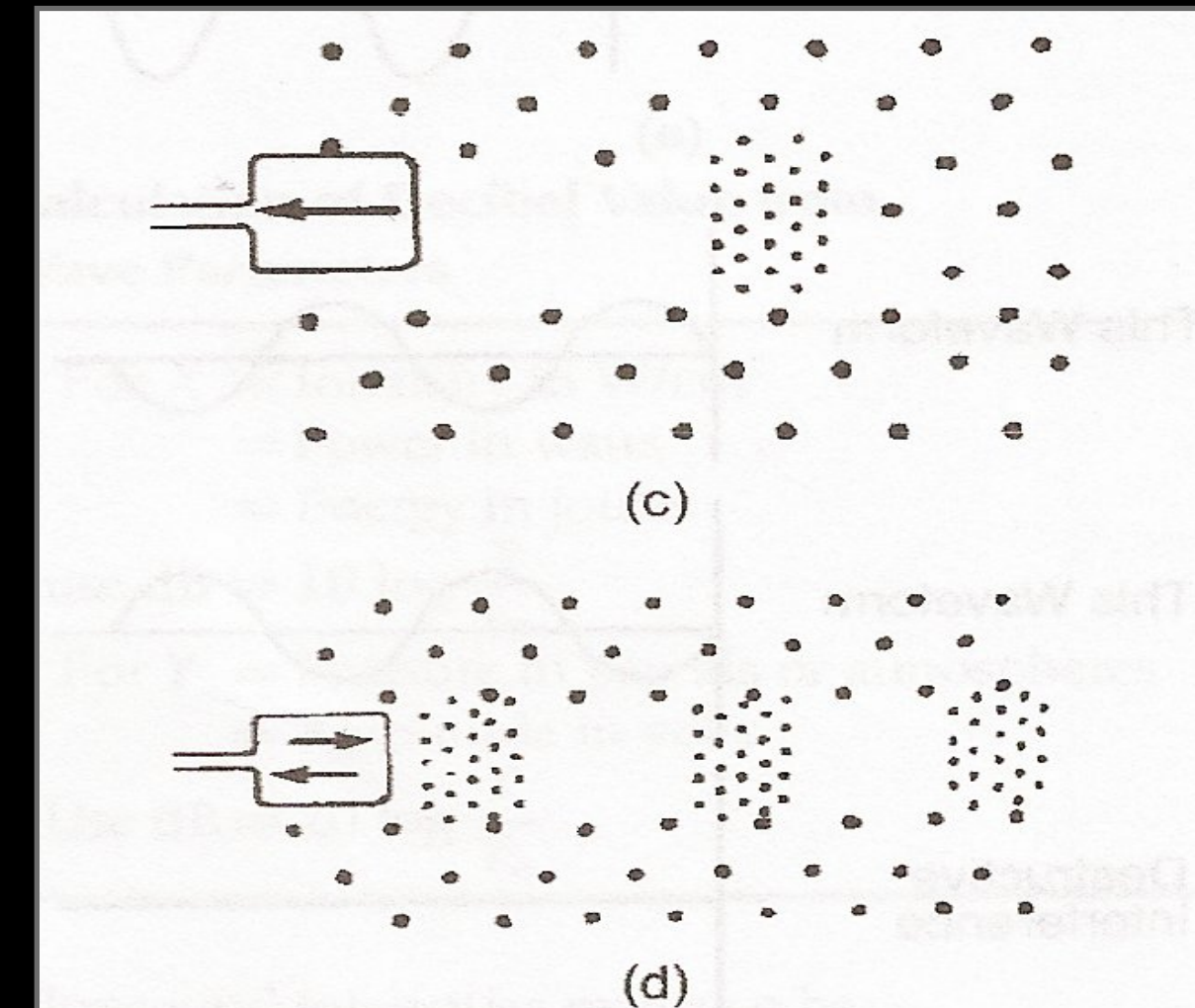
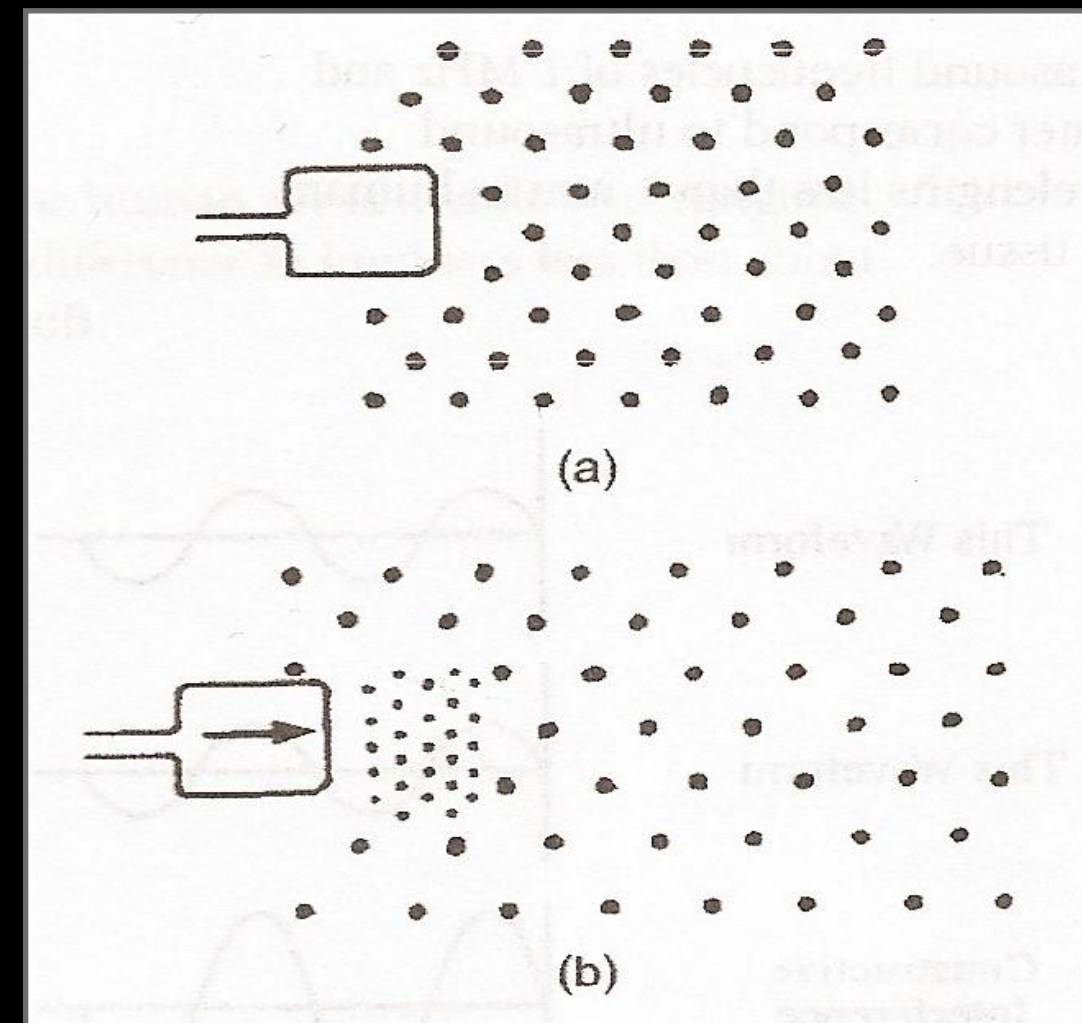
- Infrasonidos  $< 20$  Hz y son inaudibles
- Sonidos audibles 20 Hz a 20 KHz
- Ultrasonidos 20 kHz a 100 MHz
- Hipersonidos  $>1$  GHz.



Las ondas de ultrasonido utilizadas en el diagnóstico clínico son de 1 a 33 MHz de frecuencia. **¿55-70 MHz?**



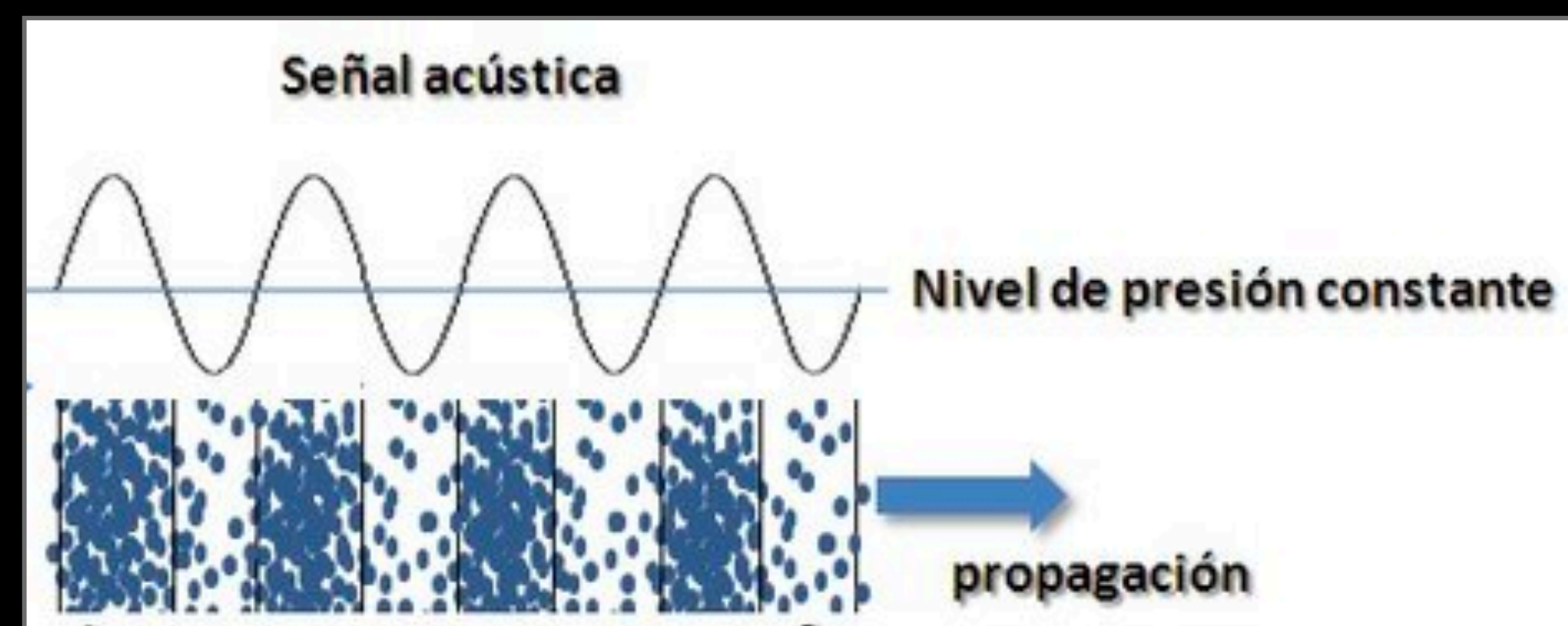
# Ultrasonido: Propiedades



Producción de una onda de ultrasonido. A) Uniforme distribución de las moléculas en el medio. B) Movimiento del pistón a la derecha produce una zona de compresión. C) regreso del pistón a la izquierda produce una zona de rarefacción. D) Alternar los movimientos del pistón a la derecha y a la izquierda establece una onda longitudinal en el medio.



# Ultrasonido: Propiedades



- Longitud de onda  $\lambda$
- Período T
- Frecuencia f
- Amplitud
- Velocidad

$$V(1540 \text{ m/s}) = \lambda * f$$

Densidad

Elasticidad

2 MHz corresponden a  $\lambda = 0.77 \text{ mm}$

5 MHz corresponden a  $\lambda = 0.31 \text{ mm}$

10 MHz corresponden a  $\lambda = 0.15 \text{ mm}$

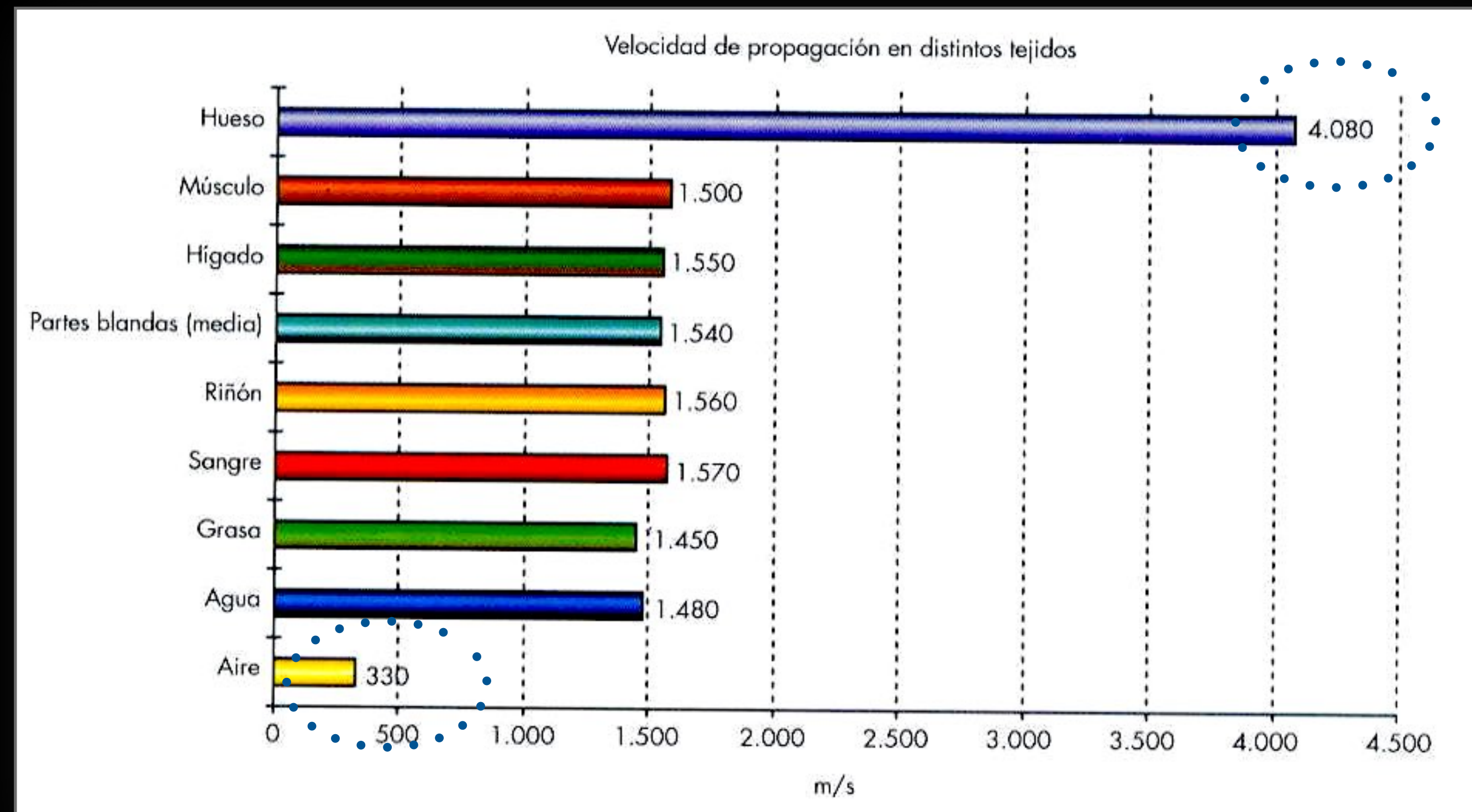


# Ultrasonido: Propiedades

Hertz = 1 Hz = 1 ciclo x segundo

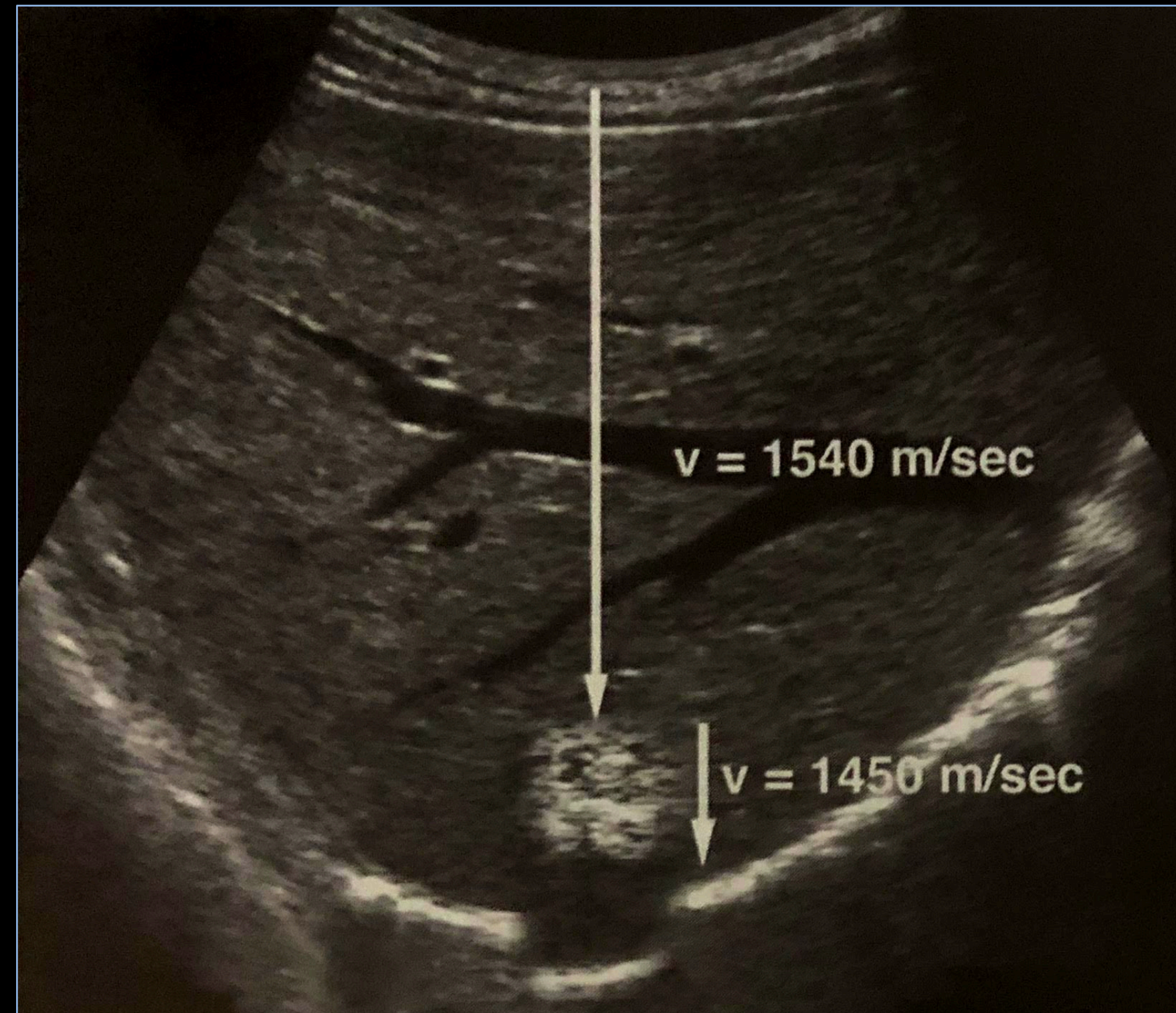
La velocidad del ultrasonido es constante en un medio (A).

$$V(A) = \lambda(A) * f \text{ constante}$$





# Ultrasonido: Propiedades

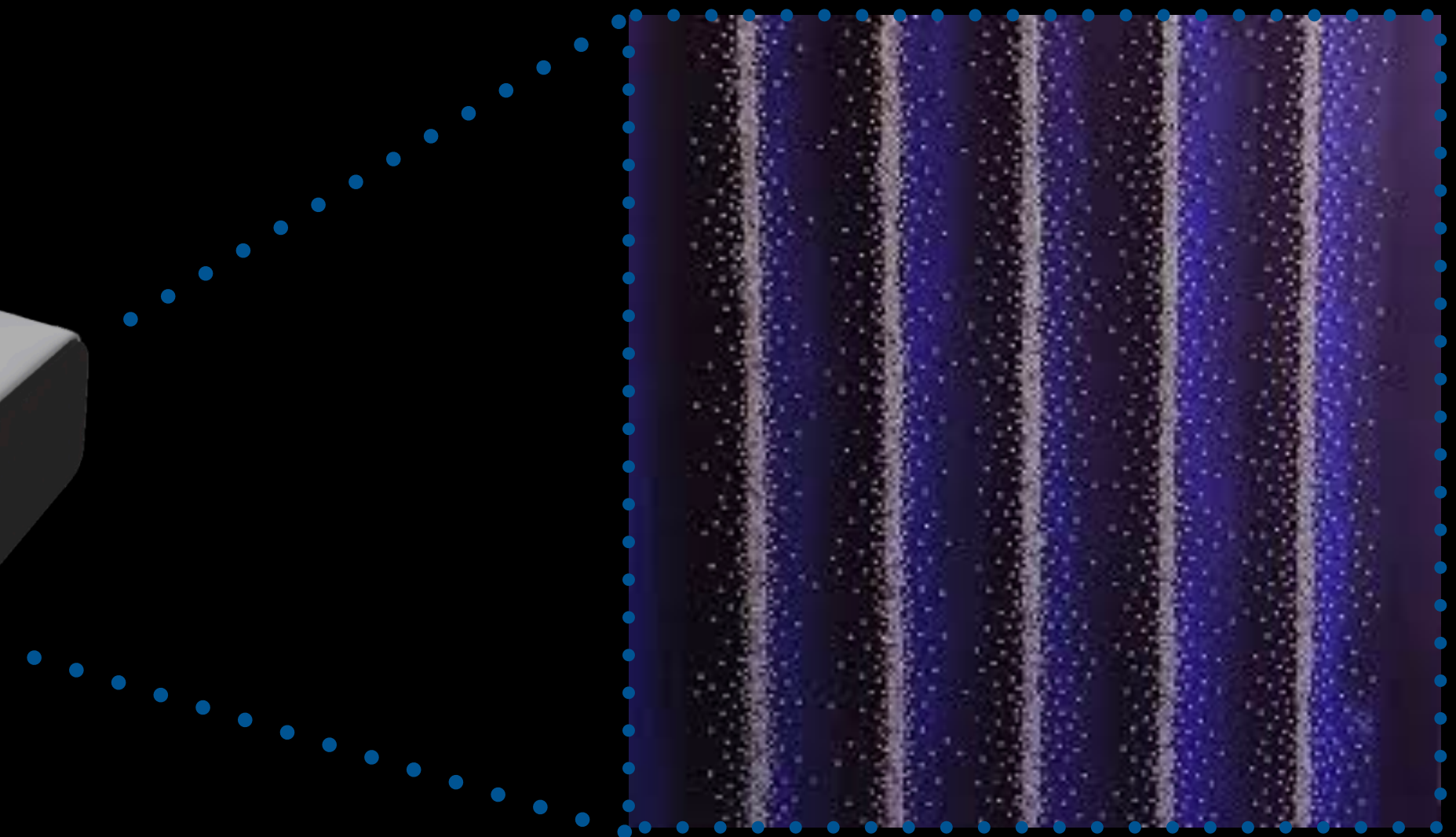
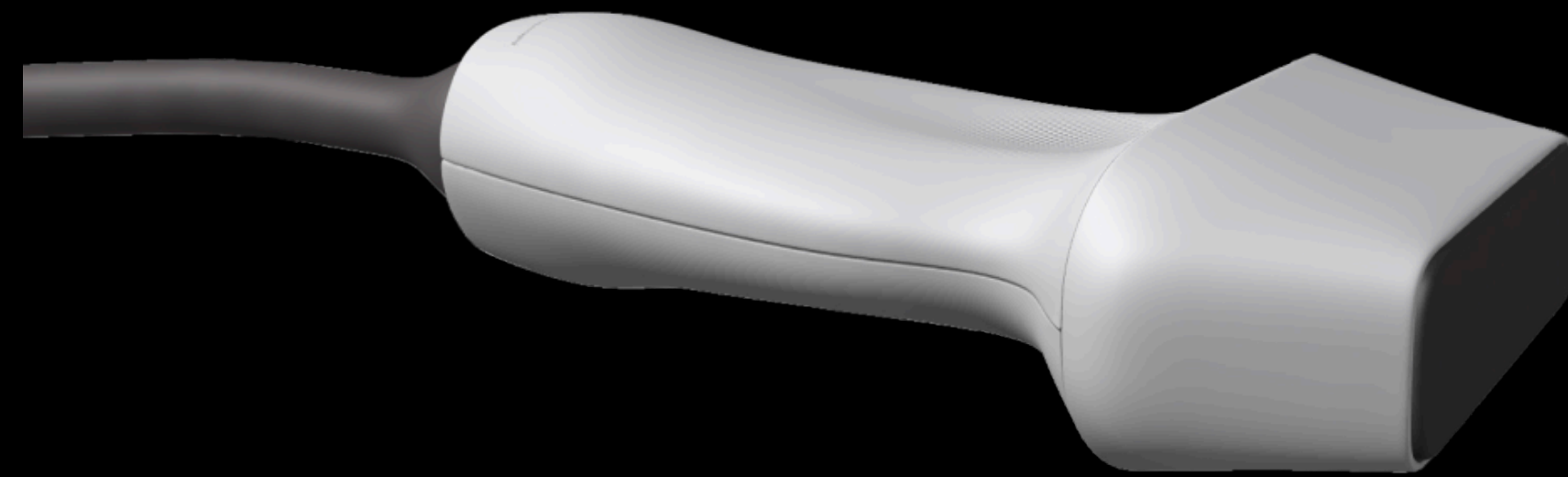


**Artefacto en relación con la velocidad de propagación:** Cuando el sonido atraviesa una lesión que contiene grasa, el retorno del eco se retrasa debido a que la grasa tiene una velocidad de propagación de  $1.450 \text{ m/s}$ , menor que la del hígado. Puesto que el aparato de ultrasonido asume que el sonido se propaga a una velocidad de media de  $1.540 \text{ m/s}$ , el retraso en la vuelta del eco es interpretado como si la lesión se encontrara más lejana al transductor. Por tanto, la imagen final muestra un artefacto en el que el diagrama y otras estructuras más lejanas que la lesión grasa se observan en una posición más profunda que la esperada.



# Ultrasonido: Propiedades

Condiciones en medio homogéneo





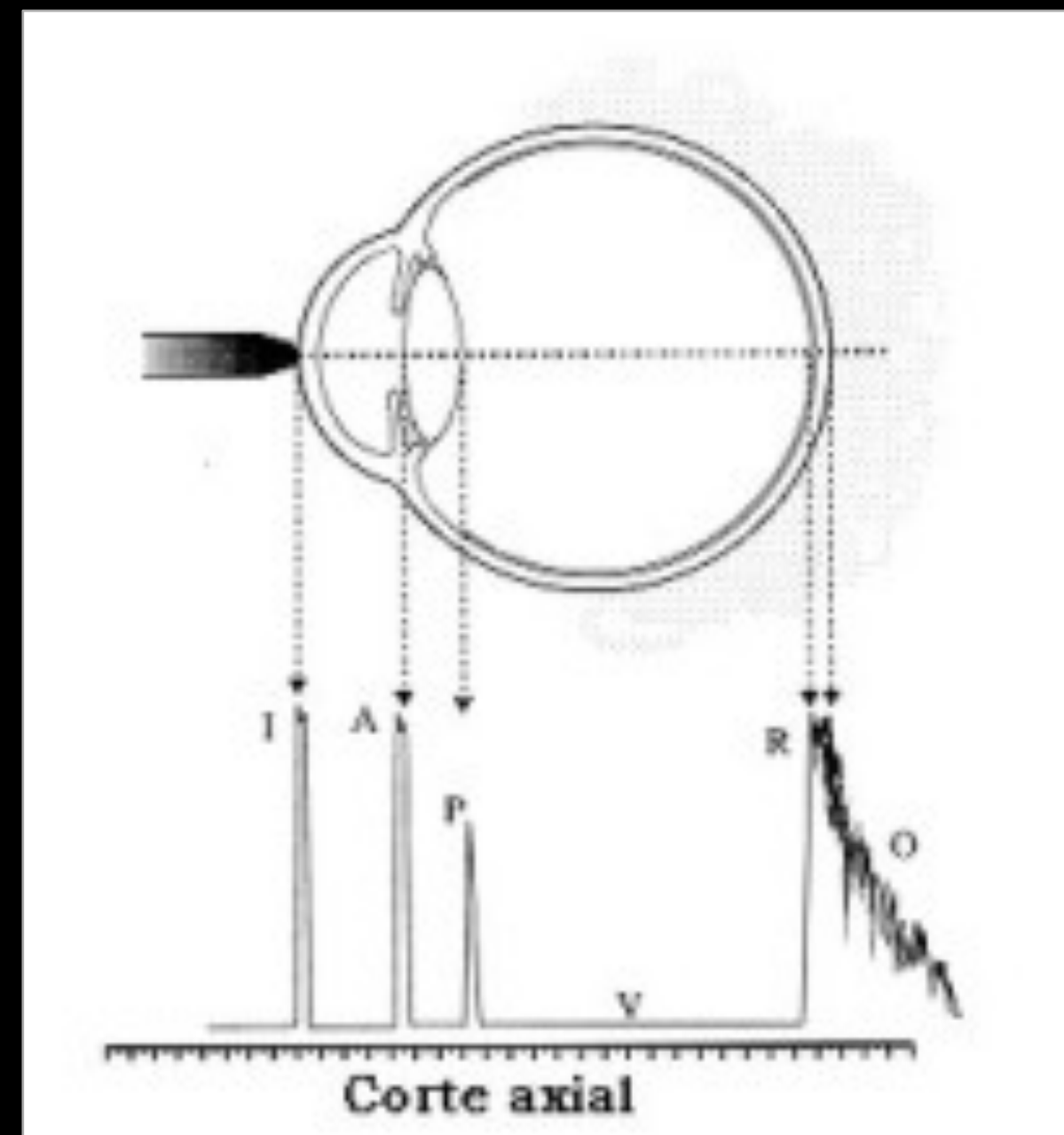


# Interacción US con el medio

- Dos medios
- Heterogeneidad
- Impedancia acústica

$$Z_0 \text{ (kg/m}^2\text{s)} = \rho * c$$

Donde  $\rho$  es el valor de la densidad del medio y  $V$  la velocidad del sonido.



Aire: 0.0004  
Agua: 1.48  
Partes blandas: 1.63  
Hueso: de 3.65 a 7.09

← Interfases  
acústicas



# Interacción US con el medio

## Impedancia acústica característica

Medios	T (°C)	Frecuencia (MHz)	Velocidad (m/s)	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Impedancia acústica (kg/m <sup>2</sup> x s)
Aire	0		331	1,2	413
Agua	25		1.497	0,957*10 <sup>3</sup>	1,49*10 <sup>6</sup>
Solución NaCl	25	15	1.504	1,005*10 <sup>3</sup>	1,51*10 <sup>6</sup>
Tejido Adiposo	24	1,8	1.476	0,928*10 <sup>3</sup>	1,37*10 <sup>6</sup>
Tejido sin hueso	37	2,5	1.490-1.610	1,080*10 <sup>3</sup>	1,58-1,7*10 <sup>6</sup>
Tejido cerebral	24	2	1.521	1,040*10 <sup>3</sup>	1,58*10 <sup>6</sup>
Tejido muscular	24	1,8	1.568	1,058*10 <sup>3</sup>	1,66*10 <sup>6</sup>
Tejido hepático	24	1,8	1.570	1,055*10 <sup>3</sup>	1,66*10 <sup>6</sup>
Tejido óseo		0,6	3.360	1,850*10 <sup>3</sup>	6,2*10 <sup>6</sup>



# Interacción US con el medio

## Impedancia acústica

Densidad

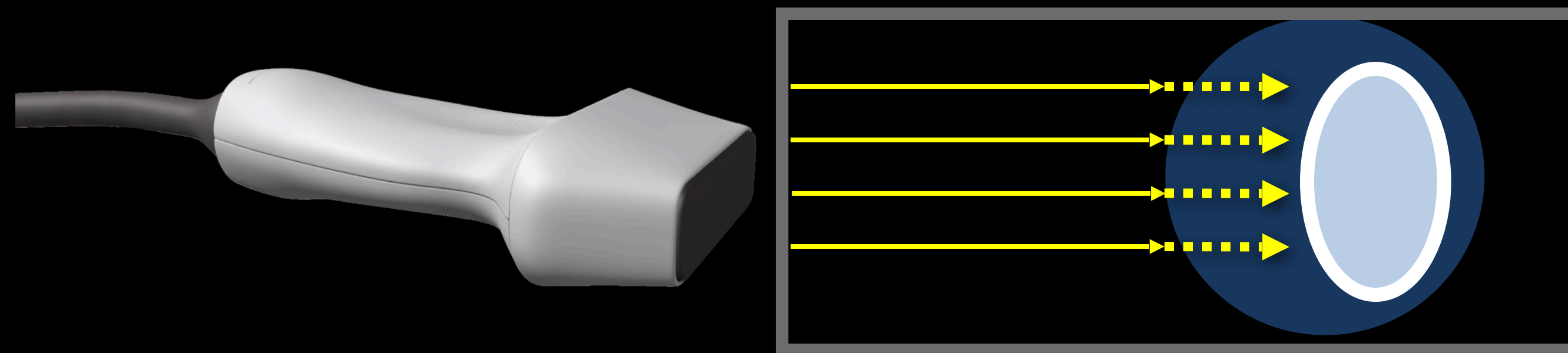
Interfase acústica





# Interacción US con el medio

Interfase Acústico  
Impedancia Acústica (Z):

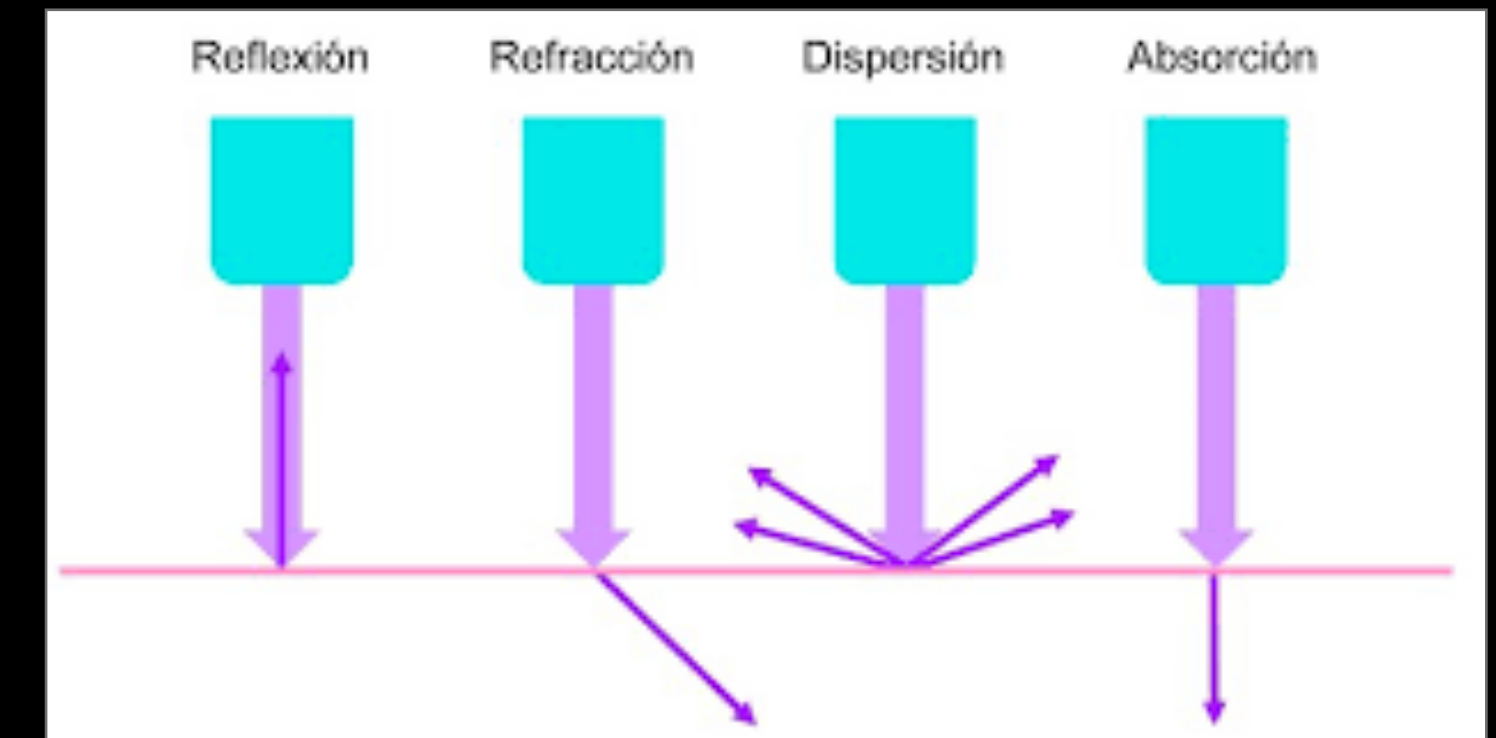
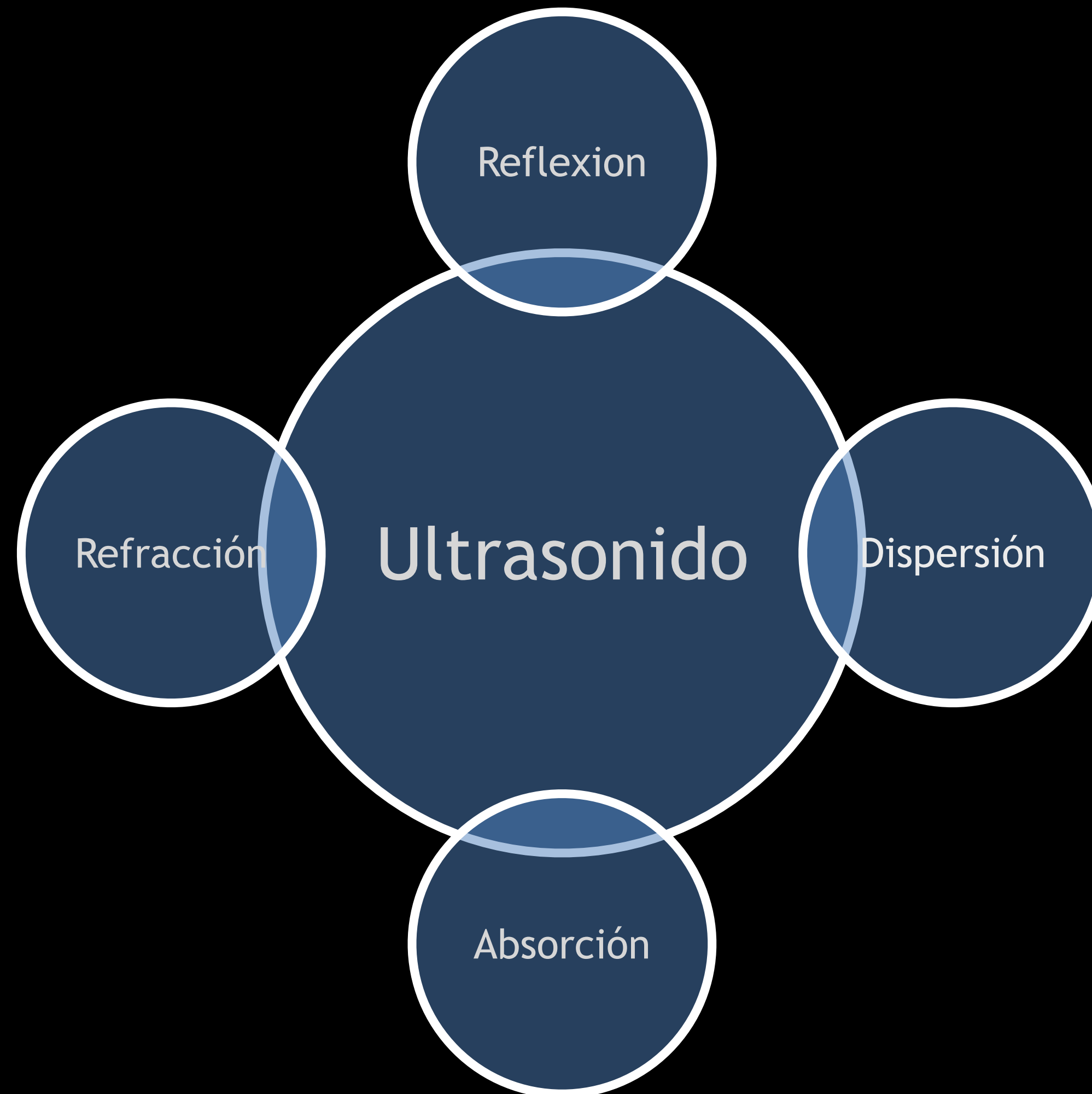


$$Z \neq Z$$

Interfase Acústica



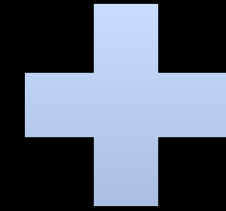
# Interacción US con el medio



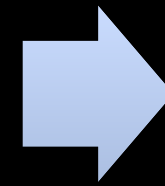


# Interacción US con el medio

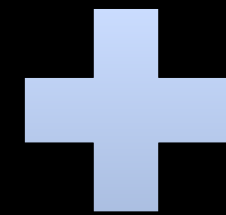
Coef de  
reflexion



Angulo de  
incidencia  
del haz



reflexión



Superficie  
de  
incidencia

Transmisión y Reflexión

$$E_t = T + R$$



# Interacción US con el medio

## Coefficiente de reflexión:

Cuociente entre la intensidad del haz reflejado con la intensidad del haz incidente

$$\alpha_R = [(Z_2 - Z_1) / (Z_1 + Z_2)]^2$$

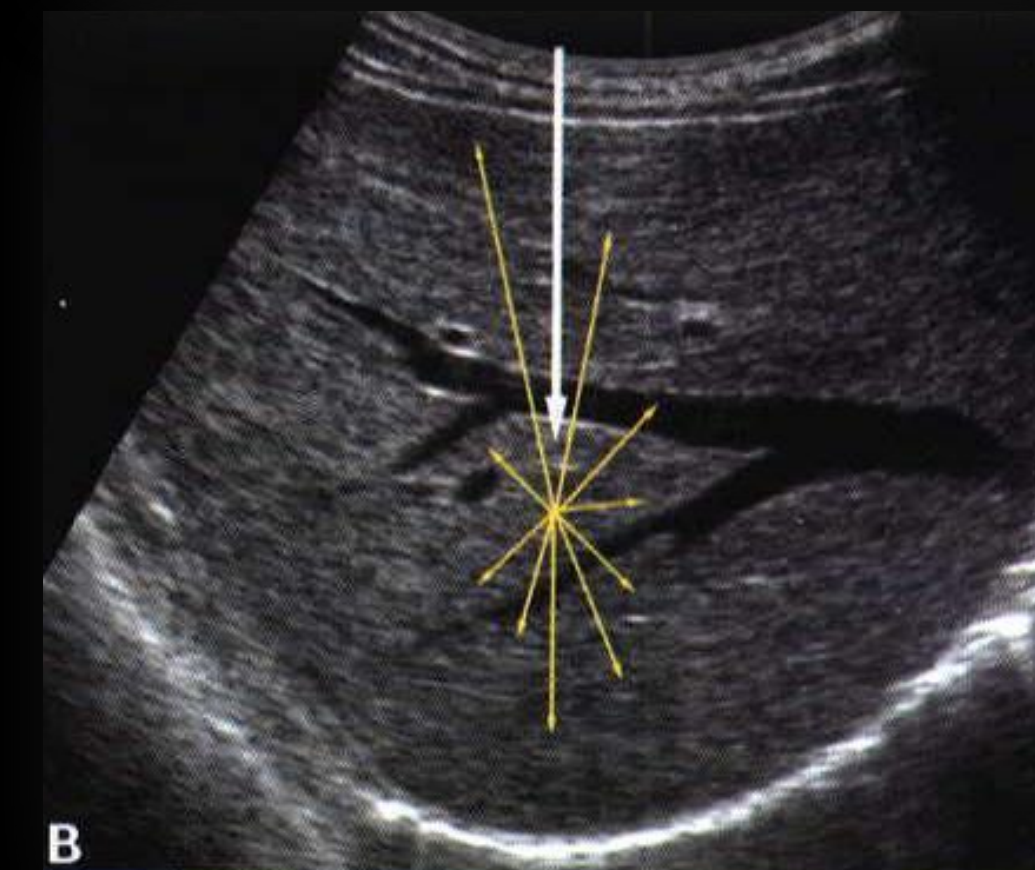
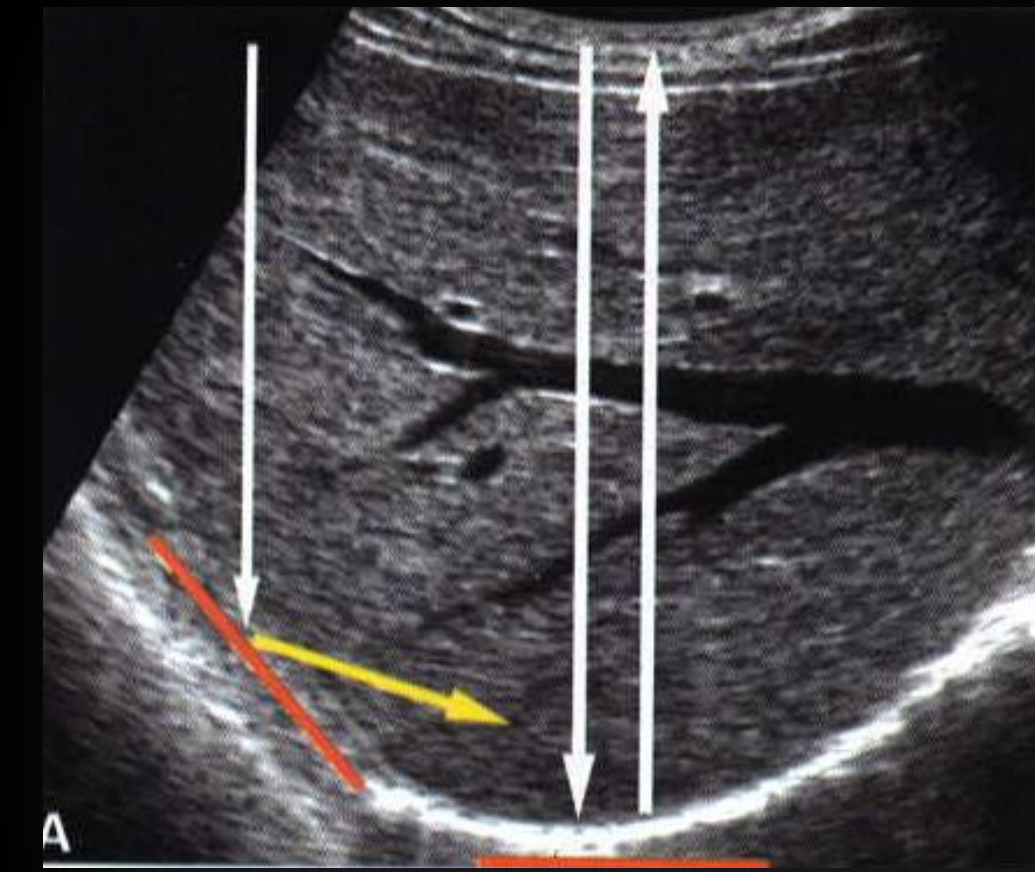
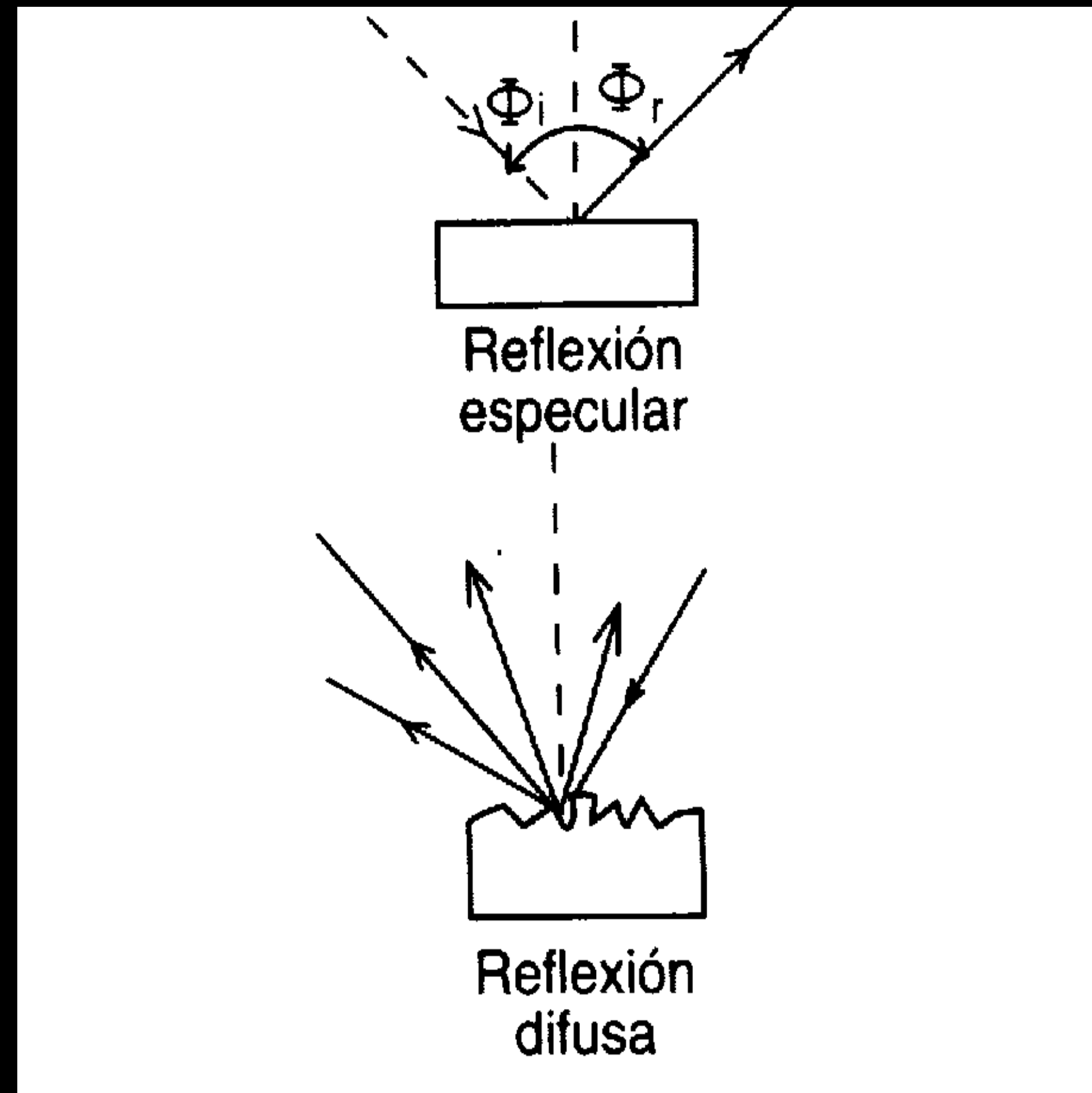
$$\alpha_R + \alpha_T = 1$$

La ecografía es una mapa de impedancias acústicas



# Interacción US con el medio

## Transmisión y Reflexión







# Interacción US con el medio

## Difusión

- La reflexión se produce en todos los ángulos debido a la arquitectura interna de los órganos sólidos, por lo que se dice que existe difusión.
- La orientación del transductor no influye sobre el número de ecos detectado del retorno porque éstos se emiten en muchas direcciones.
- La difusión va a aumentar con el **aumento de la frecuencia** del ultrasonido. Además la difusión propia de cada órgano permite reconocer su estructura.



# Interacción US con el medio

Ley de Snell  $\rightarrow \text{Sen } \theta_1 / \text{Sen } \theta_2 = V_1 / V_2$

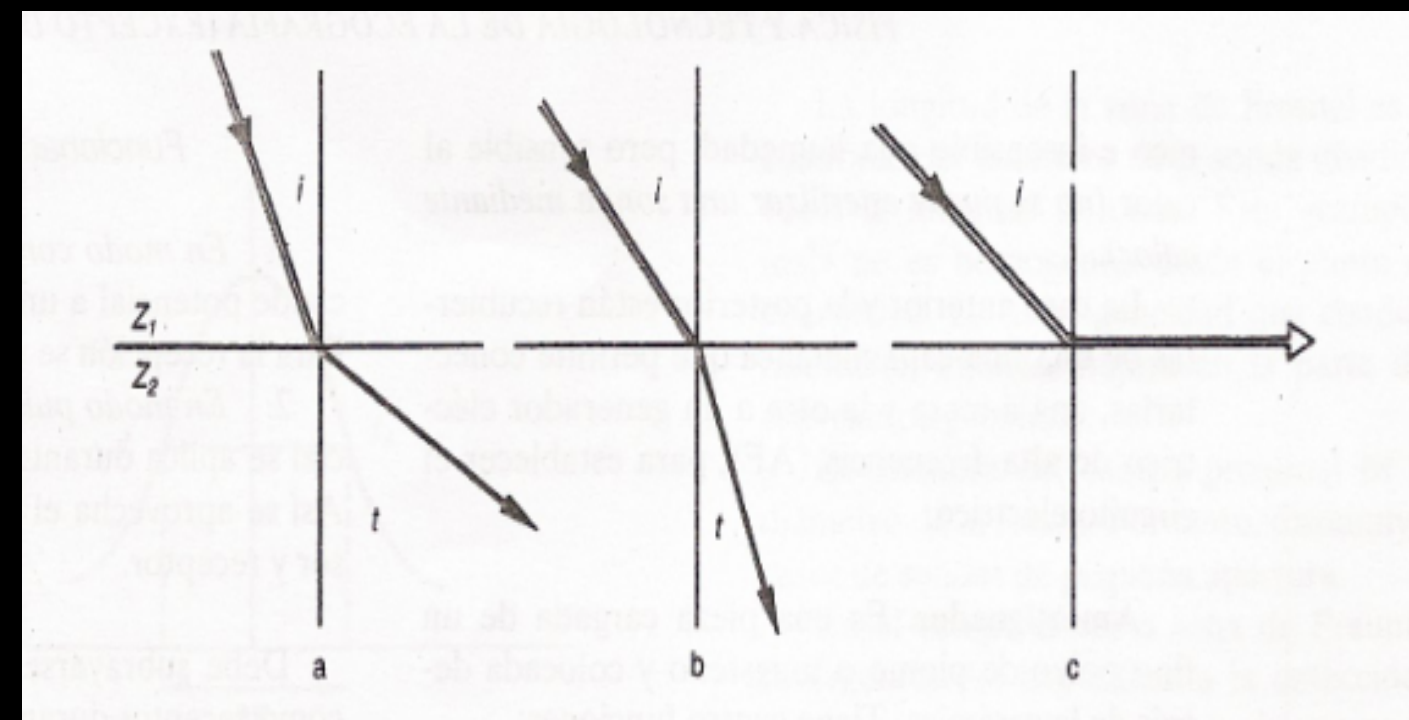
## Refracción

Donde  $\theta_1$  es el ángulo de incidencia y  $\theta_2$  es en ángulo de refracción

Si  $V_2 > V_1$ , el ángulo de refracción  $\theta_2 > \theta_1$ .

Si  $V_2 < V_1$ , el ángulo de refracción  $\theta_2 < \theta_1$ .

Si el ángulo de refracción es de  $90^\circ$ , no se transmite ninguna energía ultrasónica. El ángulo de incidencia  $\theta_1$  recibe el nombre de ángulo crítico. Cuando esto sucede existen pocas posibilidades de obtener información de estructuras más profundas.

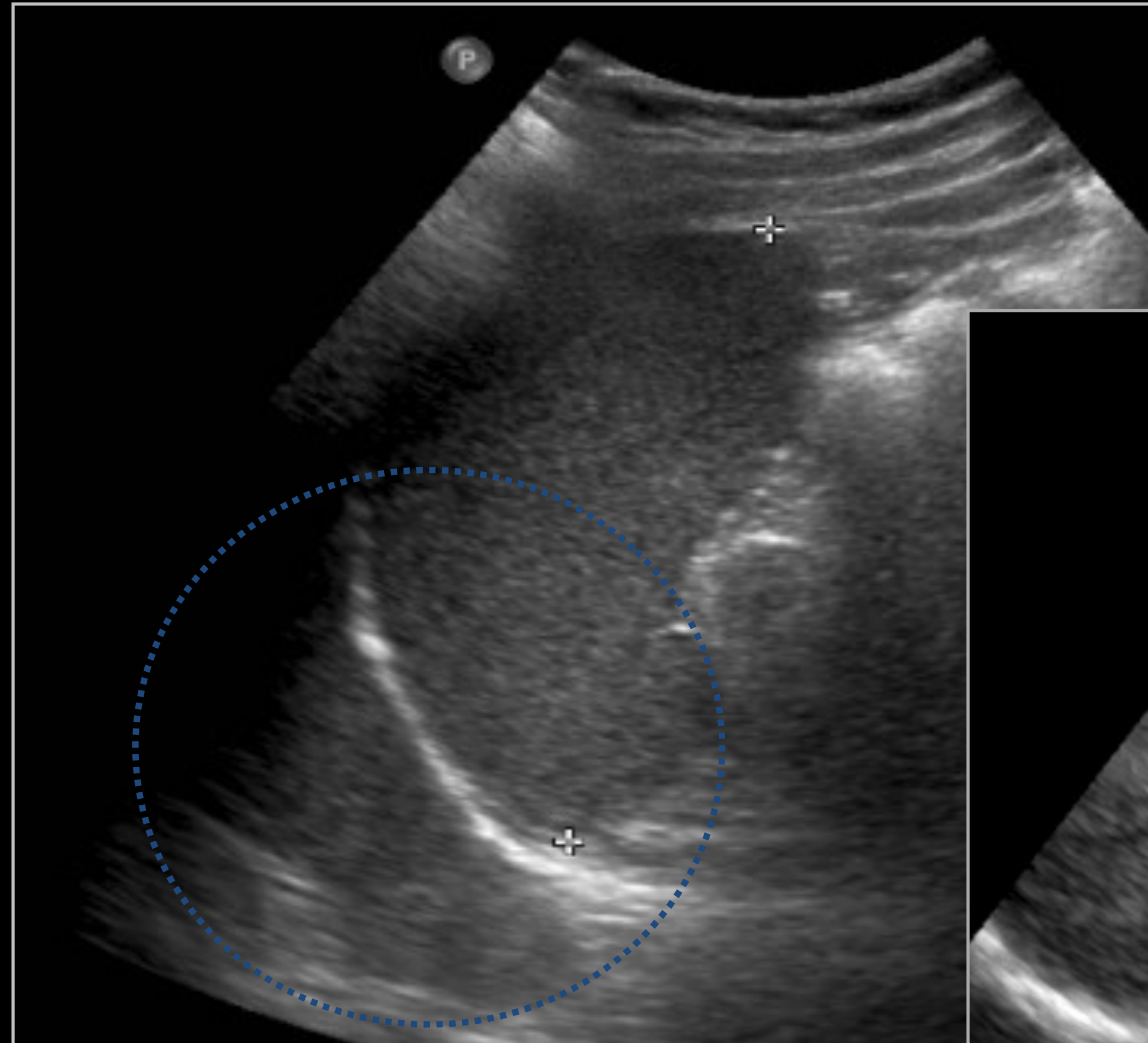


$$\theta_c = \text{sen}^{-1} (v_1/v_2)$$

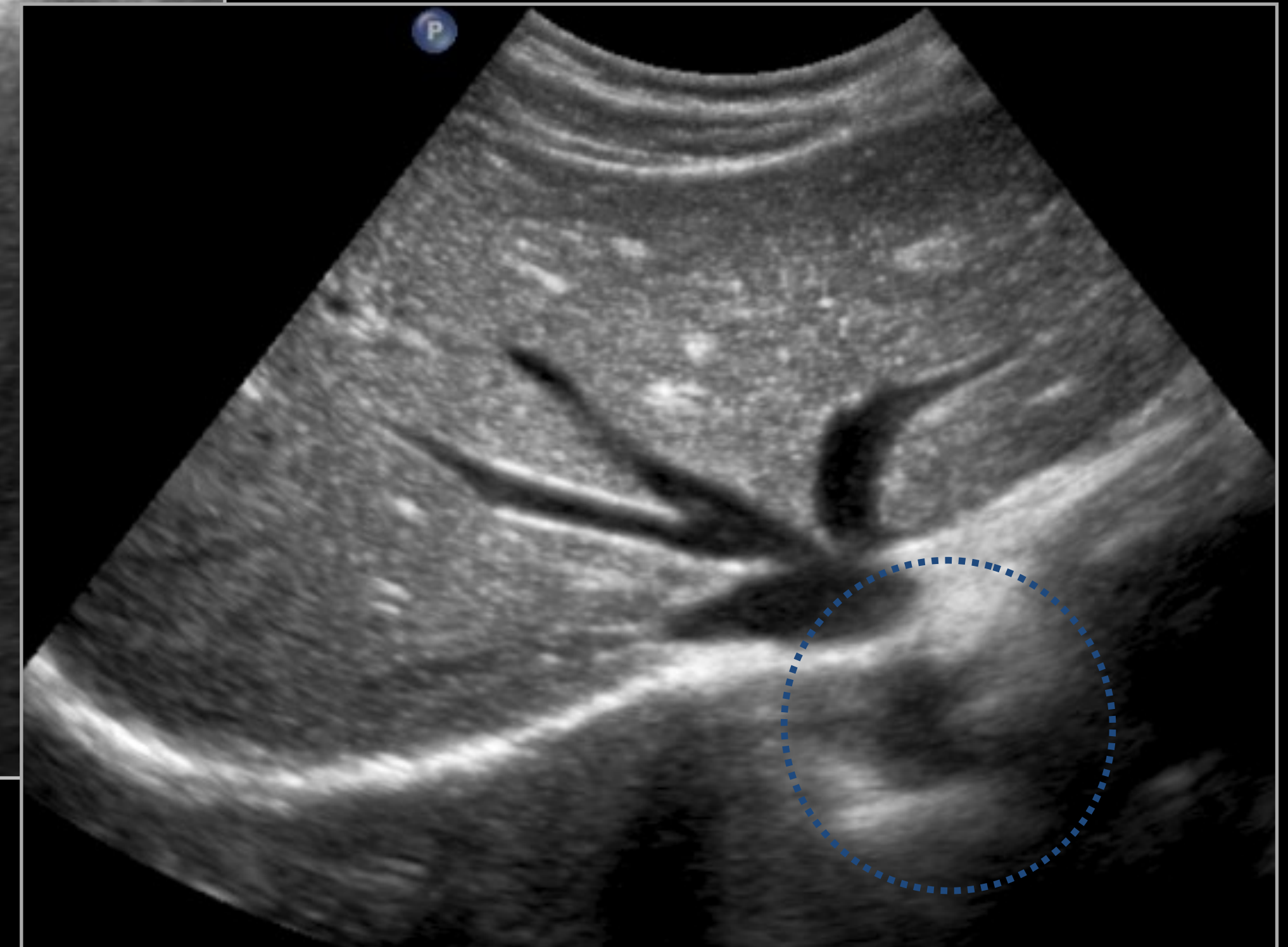
La refracción agrega distorsión espacial y baja resolución a imágenes por ultrasonido, además de ser el responsable de gran parte de los **artefectos ecográficos**



# Interacción US con el medio



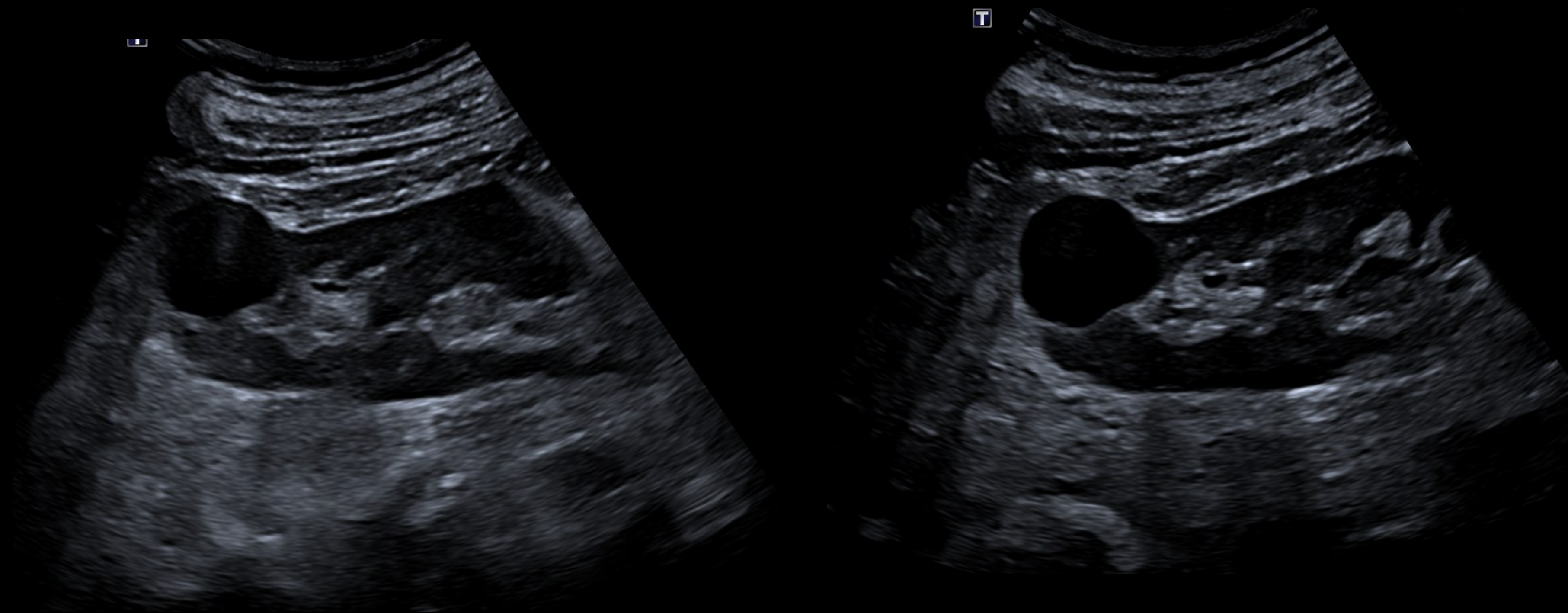
Refracción





# Interacción US con el medio

## Refracción

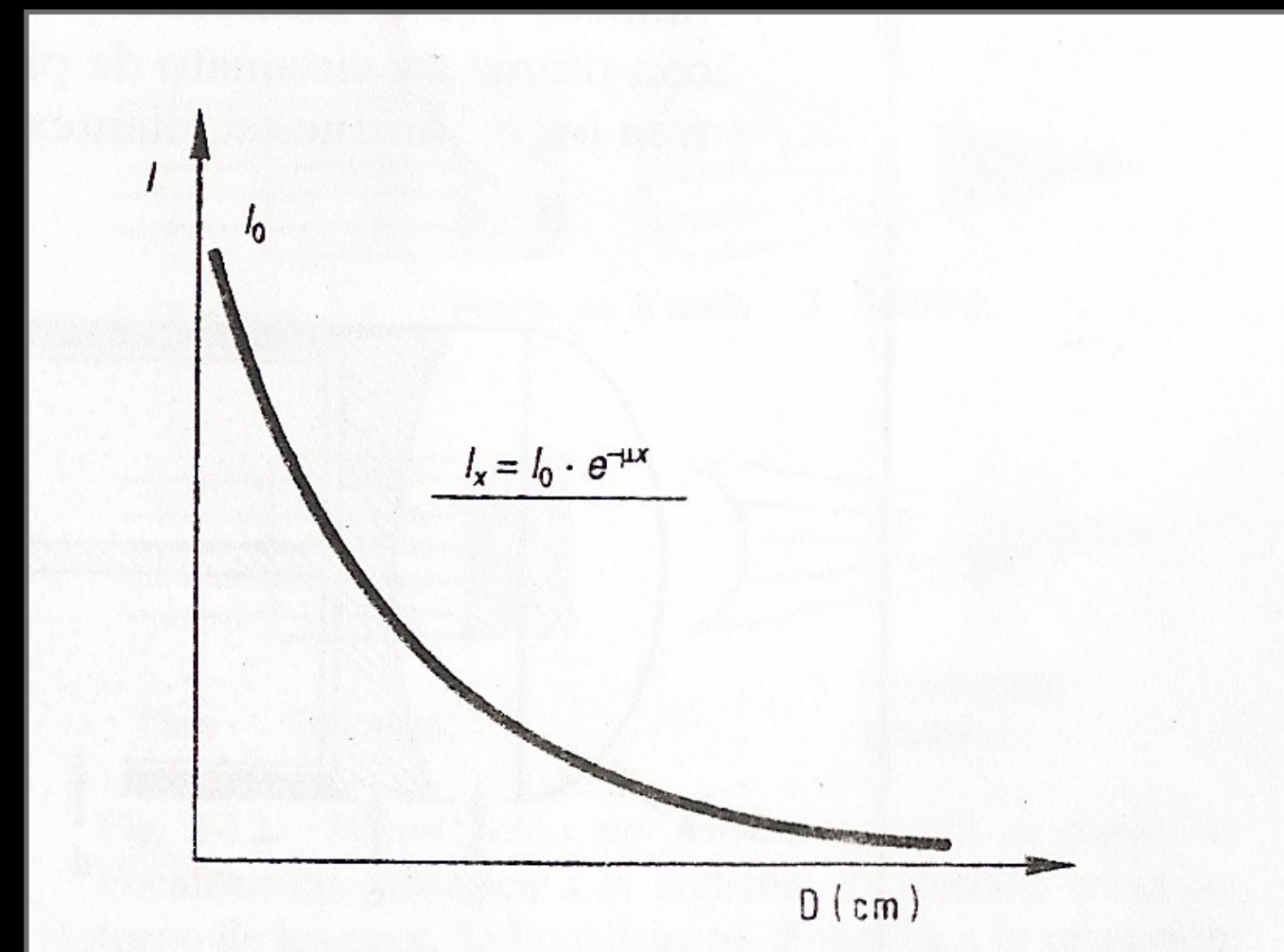




# Interacción US con el medio

## Absorción y Atenuación

Atenuación de la intensidad del haz hacia los planos mas profundos



$$I = I_0 * e^{-\mu x}$$

El sonido pierde energía conforme atraviesa el tejido y las ondas de presión pierden amplitud conforme se alejan de su fuente.

La transferencia de energía al tejido debida al calor (absorción) y la pérdida de energía por reflexión y dispersión contribuyen a la atenuación del haz ultrasónico.

**Las frecuencias altas se atenúan más rápido que las frecuencias bajas.**



# Interacción US con el medio



## Absorción y Atenuación





# Conclusión

**El ultrasonido** es un tipo de onda mecánica que se diferencia del sonido audible solo por la frecuencia que posee, y es este tipo de onda el principal elementos **responsables de la generación de la imágenes ecográficas.**

El ultrasonido tiene factores que van caracterizando cada onda y estas a su vez tendrán distintos comportamientos en el medio en que circulan, variando propiedades como la **velocidad, longitud de onda, frecuencia, amplitud, intensidad, potencia,** etc.

La **reflexión** es el principal fenómeno físico que acompaña a la formación de imagen y la refracción por su lado controla mayormente los distintos artefactos ecográficos, los cuales pueden tanto perjudicar como ayudar a la identificación de patrones imagenológicos.

**La ecografía es una mapa de impedancias acústicas**