

El desarrollo de la ecografía. Parte 2: De la Segunda Guerra Mundial a nuestros días

David Llanos¹, Íñigo de la Pedraja¹, Virginia Álvarez², Felipe Alemán³

¹ Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Clínico San Carlos. Madrid.

² Servicio de Física Médica. Hospital Clínico San Carlos. Madrid.

³ Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario de Guadalajara.

EN la primera parte de este artículo, dejábamos la historia con la invención del SONAR por Langevin y Chilowsky. Pero hasta la obtención de la ecografía médica, tal y como conocemos actualmente esta técnica de imagen, todavía quedaba un largo camino.

A continuación, vamos a exponer como continuó el desarrollo de esta poderosa herramienta de la Medicina, avanzando también en la explicación de sus fundamentos físicos y tecnológicos.

LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Transcurridos tan solo 15 años desde el final de la Primera Guerra Mundial, Adolf Hitler llegó al poder en Alemania, gracias a alimentar el descontento de los ciudadanos con las condiciones firmadas en el Tratado de Versalles¹ (figura 1), que obligaban al país a pagar enormes indemnizaciones económicas al bando vencedor. Bajo su mandato, el país fue objeto de un intenso rearme, y poco después sucedió lo inevitable: estalló la Segunda Guerra Mundial.

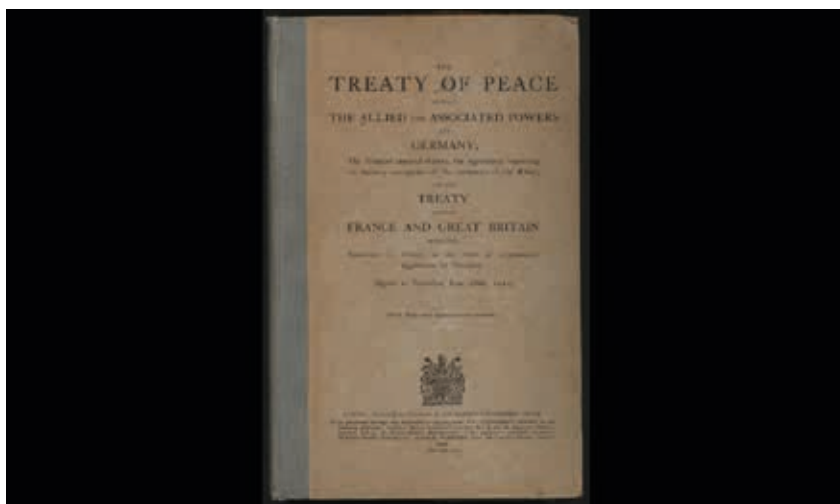


Figura 1. Copia inglesa del Tratado de Versalles (dominio público).

La Segunda Guerra Mundial fue una tragedia humana incluso peor que la Primera, pero nos dejó una sucesión de progresos tecnológicos, que surgían a una velocidad nunca vista antes. El más recordado es la bomba atómica, pero hubo muchos más, y el uso de los ultrasonidos fue uno de ellos. Eso sí, hasta 1945, después de terminada la Guerra, no se publicó ningún trabajo al respecto, porque estaban bajo secreto militar.

EL REFLECTOSCOPIO

El primer trabajo relevante se publicó en 1946. En Estados Unidos, un ingeniero llamado Floyd Firestone (1898-1986), utilizando un aparato al que denominó «reflectoscopio», podía detectar grietas en distintos materiales utilizando ultrasonidos². Durante la Guerra, esto fue especialmente útil para exa-

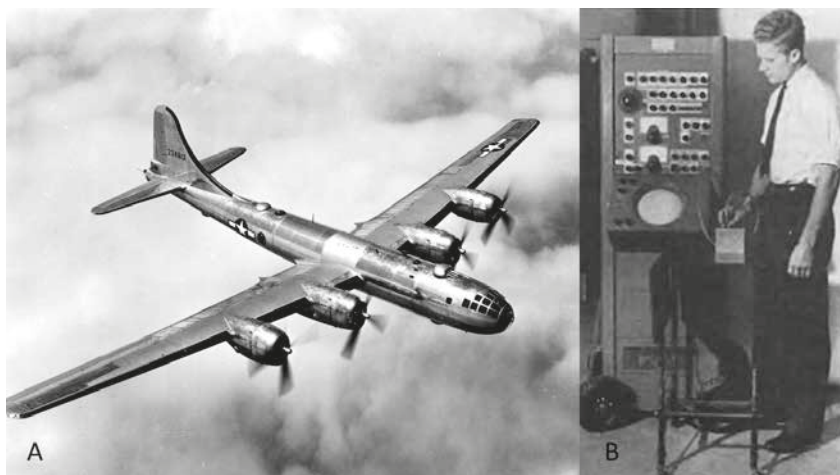


Figura 2. A: Bombardero Boeing B29 Superfortress, como los que lanzaron las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki (dominio público) B: Floyd Firestone utilizando su reflectoscopio. © 1946 Acoustical Society of America. Reproducido bajo permiso.

minar las alas de los aviones militares, donde a veces grietas tan pequeñas que no se podían ver a simple vista, ponían en peligro la integridad estructural de la aeronave (figura 2).

El sistema utilizaba un diseño similar al del SONAR. Un pequeño transductor piezoeléctrico, puesto en contacto con el ala del avión, emitía un breve pulso de ultrasonidos, y después generaba una corriente eléctrica al recibir el eco. Como el aire tiene una impedancia acústica muy diferente a la del metal del ala, cuando había una grieta, por pequeña que fuera, devolvía un eco intenso. La débil corriente generada por el transductor cuando recibía esta onda de eco, era amplificada y representada en la pantalla de un osciloscopio (figura 3). Como la transmisión del sonido en el ala ocurría a una velocidad constante, se podía saber la distancia exacta que había a la grieta, y así encontrarla fácilmente y repararla.

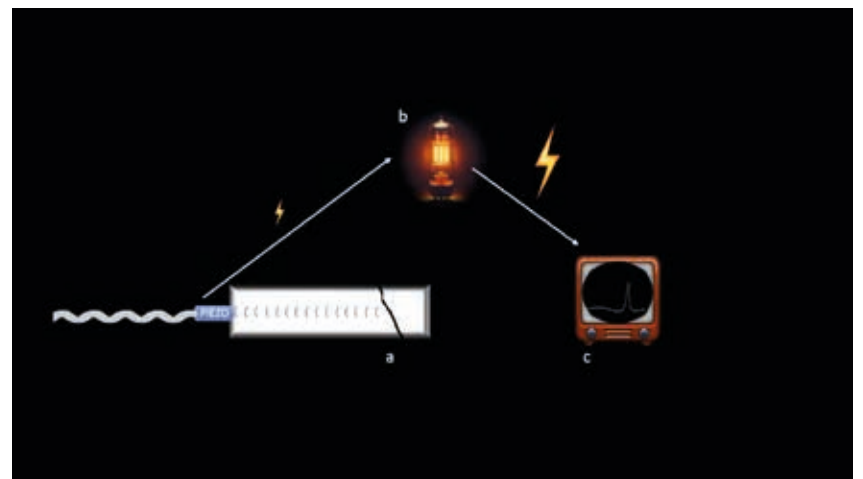


Figura 3. Esquema del funcionamiento del reflectoscopio de Firestone. El ultrasonido emitido se refleja en la grieta del medio de transmisión (a), y es convertido en una pequeña corriente eléctrica en el transductor piezoeléctrico. Esta corriente se amplificaba en esta época mediante válvulas de vacío tipo triodo (b) y era enviada a un osciloscopio (c), que permitía registrarla. Un ecógrafo actual sigue basado en este diseño. Elaboración propia.

Determinar con tanta seguridad la posición de la grieta en el ala, también era posible gracias a que los ultrasonidos, se transmiten prácticamente en línea recta. Esto, en cierta medida, también sucede con el sonido audible, que cuanto más alta es su frecuencia, más estrecho es su frente de propagación. Nos podemos hacer una idea escuchando con atención un altavoz de nuestro equipo de música: Las frecuencias muy bajas, los graves, se propagan con un frente en forma de esfera, en todas direcciones, y por eso los oímos igual de bien desde cualquier lugar de la habitación, ya estemos a un lado o incluso detrás del altavoz. Sin embargo, las frecuencias altas, los agudos, solo se aprecian adecuadamente si estamos delante del centro del altavoz, porque su propagación es como un cono muy estrecho. Con los ultrasonidos sucede lo mismo que con los agudos, pero de forma más extrema, y se propagan en línea recta.

El aparato de Firestone contaba con una gran resolución espacial. Utilizaba frecuencias de 5 MHz, y gracias al desarrollo de temporizadores muy precisos, podía emitir pulsos de onda muy cortos, de 1 microsegundo, que a esta frecuencia son tan solo 5 ciclos de onda, lo que en el aluminio suponía longitudes de pulso de 6 mm. Podía detectar grietas de este tamaño, o mayores. Langevin, casi 30 años antes, se había tenido que conformar con pulsos de unos 40 ciclos de onda, y en el agua no podía detectar objetos de menos de 30 cm.

GEORGE LUDWIG Y LA ECOGRAFÍA EN SERES VIVOS

En 1949 se publicaron las investigaciones de George Ludwig (1922-1973). Fue un médico del ejército estadounidense, que realizó los primeros experimentos para demostrar la potencial capacidad diagnóstica de los ultrasonidos.

Tomando prestado un reflectoscopio de su base militar, fue capaz de realizar la primera ecografía «in vivo», detectando unos cálculos biliares implantados, primero en la musculatura de la espalda de un perro, y posteriormente en la propia vesícula biliar del animal³.

Sus experimentos posteriores confirmaron que, utilizando amplitudes de la onda emitida mucho menores que las empleadas por Langevin durante su

incidente con los peces, la técnica era segura. Hay que decir que una buena parte de sus experimentos los realizó con su propio cuerpo y con los de los investigadores de su equipo.

Ludwig fue el que averiguó la velocidad promedio de propagación del sonido en los tejidos blandos de un humano vivo⁴. Calculó un valor de 1.540 m/s. Este dato se sigue utilizando actualmente para calibrar los ecógrafos.

LA ECOGRAFÍA EN MODO A

Estos primeros ecógrafos no formaban una imagen como tal, sino que se obtenían curvas de amplitud del eco recibido en un osciloscopio, lo que se denomina «modo A» (la A es de «amplitud»). La amplitud del eco recibido era mayor cuanto más diferencia en impedancia acústica había entre la estructura detectada y el medio de transmisión, y cuanto más cerca se encontraba ésta del transductor (figura 4). Como la velocidad del sonido en un medio es constante, la posición del pico en la curva se correlacionaba con exactitud con la distancia que existía entre el transductor y la estructura en cuestión.



Figura 4. Imágenes en modo A. Una vejiga llena se representaría en el osciloscopio con la curva superior: las paredes producen una reflexión del ultrasonido, y la orina no. La pared anterior genera un eco más intenso que la posterior, porque tanto la onda emitida como la reflejada, se atenúan menos al estar más cerca del transductor. En una vejiga poco replecionada (imagen inferior), los picos correspondientes a las paredes aparecen menos separados.

Desde el punto de vista científico, poder detectar órganos o diferentes tejidos en el interior del cuerpo humano, era realmente interesante, pero la verdad es que unas curvas en un osciloscopio no conseguían entusiasmar a la clase médica, que prefería las imágenes de la radiografía, que se percibían como más cercanas a la realidad. Aun así, el modo A se sigue utilizando, por ejemplo, en oftalmología, cuando se quiere medir con gran precisión la distancia entre diferentes estructuras del ojo.

LA ECOGRAFÍA EN MODO B

John Wild (1914-2009), médico británico emigrado a EEUU, y John Reid (1926-2023), un ingeniero estadounidense (figura 5), se propusieron obtener imágenes más parecidas a la anatomía humana. En 1952 publicaron en la prestigiosa revista «Science» el primer método para conseguir imágenes bidimensionales mediante ecografía⁵. Lo hicieron modificando un pequeño SONAR del ejército dedicado originalmente a entrenar aviadores en el uso del RADAR, cuyos gráficos de lectura eran similares a los del modo A⁶.



Figura 5. Portada del número de marzo de 1955 de la revista «electronics» (McGraw-Hill). John Wild de pie a la izquierda junto al paciente, John Reid agachado manipulando el equipo de ultrasonidos.

Puesto que, como hemos dicho antes, los ultrasonidos se propagan en línea recta, «como una aguja de biopsia» decían Wild y Reid en su artículo, decidieron representar gráficamente el trayecto de esta «aguja de ultrasonidos» modificando el osciloscopio. Hicieron que, en vez de representar la amplitud del eco recibido con una curva más alta o más baja, lo hiciera en una sola

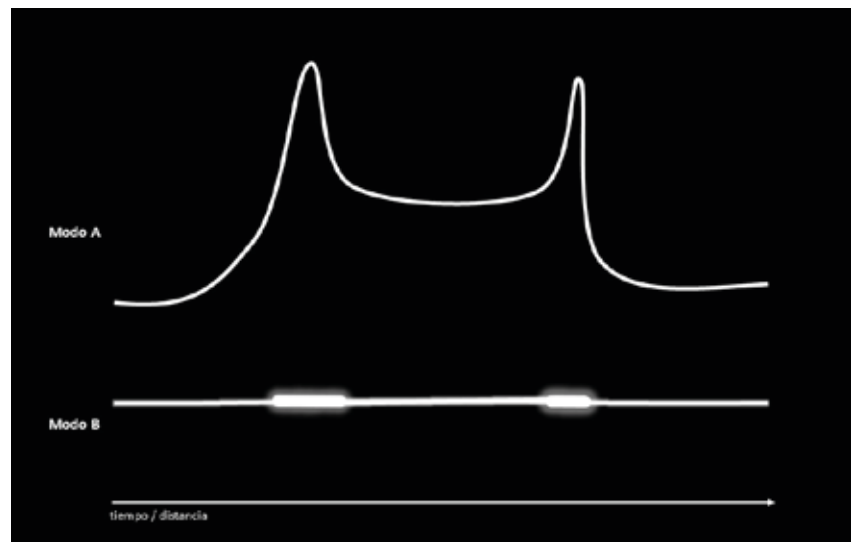


Figura 6. Representaciones de un mismo registro del eco recibido en modo A y en modo B.

línea, que tuviera mayor o menor intensidad luminosa según la magnitud del eco recibido (figura 6).

A continuación, movían de forma sincronizada el transductor y la posición de la línea en el monitor. Fotografiando con un tiempo de exposición largo el recorrido de la línea de brillo por la pantalla, conseguían una imagen bidimensional del plano explorado. La primera imagen ecográfica bidimensional de la historia, lo que podría ser el equivalente ultrasónico a la mano de Berta Röntgen, fue un riñón de vaca.

Este tipo de imágenes se denominaron modo B, de «brillo», y son las que se utilizan actualmente de forma mayoritaria en los exámenes ecográficos (figuras 7 y 8).



Figura 7. Ecografía en modo B del globo ocular de una niña de 9 años, con drusas en la papila óptica (flecha).

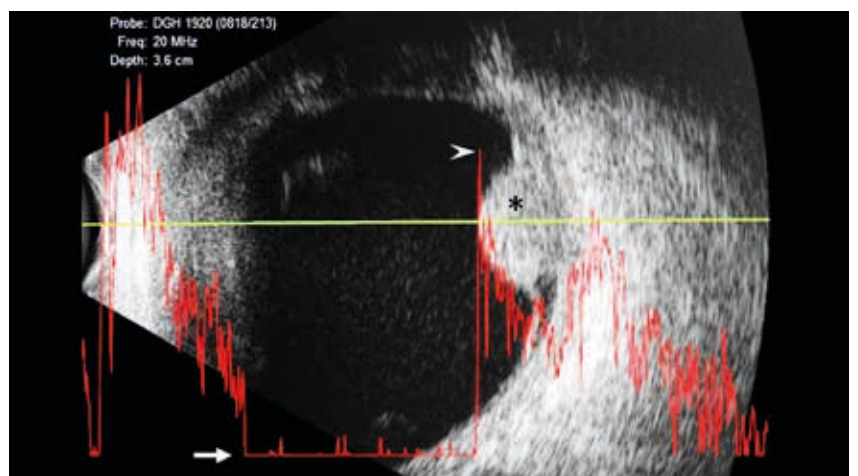


Figura 8. Ecografía en modos A y B de un globo ocular. La imagen en escala de grises es en modo B, y muestra un melanoma coroideo (*). La línea verde marca el recorrido del haz de ultrasonido cuyo eco se utiliza para trazar un gráfico en modo A, que es la línea roja. El humor vítreo es anecoico y casi no devuelve eco (flecha), mientras que el melanoma es hiperecogénico y devuelve un eco de elevada amplitud, que se atenúa según profundiza en la lesión (cabeza de flecha).

Actualmente las sondas de ecografía no montan uno, sino muchos pequeños cristales piezoeléctricos (figura 9). Esto permite obtener todas las líneas de la imagen a la vez y en tiempo real, haciendo innecesario desplazar el transductor de forma sincronizada con la línea luminosa de la pantalla, y fotografiar el proceso.

Hubo otros diseños casi simultáneos al de Wild y Reid que también permitieron obtener imágenes en modo B⁷⁻¹⁰, como el de Douglas Howry (1920-1969), en el que el transductor se movía por un rail, a un lado o alrededor de un paciente sumergido en agua. La idea era ingeniosa, pero su aplicación en la vida real, complicada, y pronto se abandonó este método.

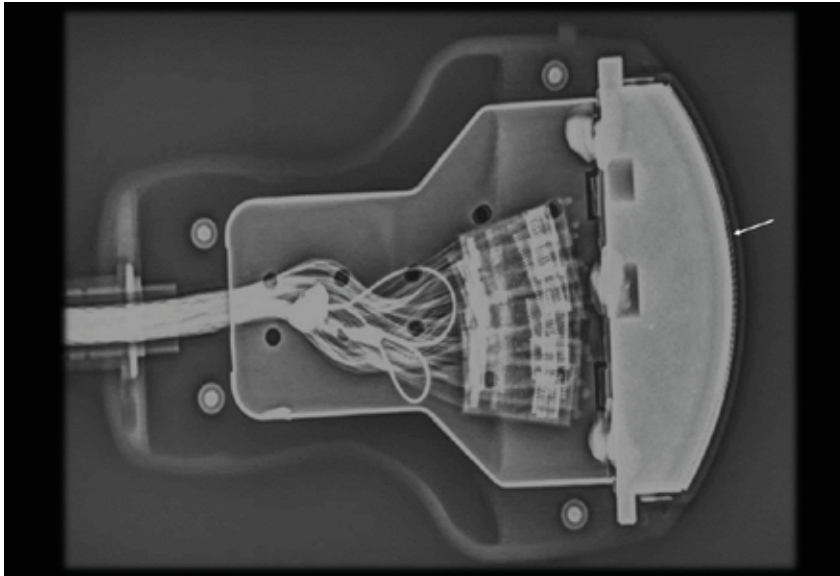


Figura 9. Radiografía de una sonda de ecografía actual. Nótese la multitud de pequeños cristales piezoeléctricos (flecha) que hay en su superficie, permitiendo obtener todas las líneas de la imagen a la vez.

LA ECOGRAFÍA EN MODO M

En 1953, poco después de la publicación de modo B, Inge Edler (1911-2001), un cardiólogo sueco, y Hellmuth Hertz (1920-1990), ingeniero alemán, y también inventor de la impresora de inyección de tinta y sobrino-nieto de Heinrich Hertz (el que da nombre a los hercios), describieron una nueva estrategia de representación bidimensional, que reflejaba el movimiento de las estructuras¹¹ (figura 10). Es lo que se conoce como modo M, de «movimiento».

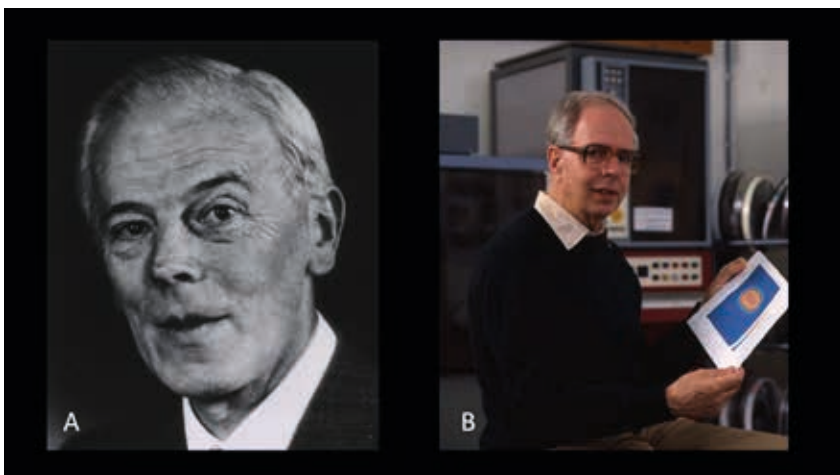


Figura 10. A Retrato de Inge Edler (dominio público) B Retrato de Hellmuth Hertz (Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Carl_Hellmuth_Hertz)

En lugar de desplazar sincronizadamente la línea de eco en el monitor y el cristal piezoeléctrico, el transductor no se movía, y la línea tampoco se desplazaba en el eje X. Lo que hacían era filmar una película a velocidad constante con los cambios que ocurrían en la intensidad de la línea de brillo. Después revelaban la película, y la extendían. Las estructuras que no se movían aparecían como líneas rectas, mientras que las que sí lo hacían, aparecían como ondulaciones que se acercaban y alejaban del transductor. Así podían registrar los desplazamientos de las estructuras del plano explorado a lo largo del tiempo.

El modo M se sigue utilizando mucho en ecocardiografía (figura 11).

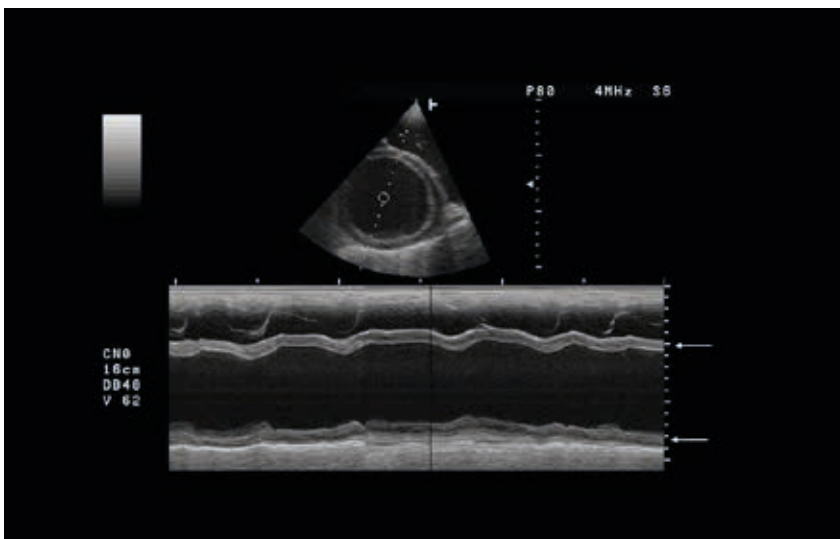


Figura 11. Ecocardiografía en modo M del ventrículo izquierdo en una miocardiopatía dilatada. Las bandas gruesas (flechas) son la representación del movimiento de contracción del miocardio, que en este paciente es muy escaso. (Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9ica%20ultrasonograf%C3%ADa>)

IMÁGENES CLÍNICAS

Ian Donald (1910-1987) fue un ginecólogo británico que durante la Segunda Guerra Mundial había servido en el ejército, conociendo allí la tecnología del SONAR e intuyendo su potencial para detectar patología en el interior del cuerpo humano¹² (figura 12).



Figura 12. Retrato de Ian Donald. https://en.wikipedia.org/wiki/Ian_Donald

Ante el desinterés por la ecografía de la mayoría de los radiólogos, más centrados en esa época en el uso de los rayos X, fue Donald el que en 1958 publicó en la revista «The Lancet» la primera serie de casos demostrando la enorme utilidad diagnóstica de la ecografía¹³. Aunque las imágenes nos parecerían actualmente de baja calidad, el impacto de su publicación fue de gran magnitud. Era posible examinar de forma inocua el interior del paciente, incluso a los fetos dentro del útero materno. A Donald le debemos también la utilización del diámetro biparietal fetal para estimar la edad gestacional, puesto que esta medida la podía determinar con facilidad, pese a las limitaciones de su equipo.

Desde la publicación de Donald, el uso de la ecografía se extendió como la pólvora, sucediéndose desde entonces incontables publicaciones que continúan mostrando las bondades de esta técnica de imagen, fundamental en la Medicina actual, y que sigue mejorando poco a poco.

CONCLUSIONES

La ecografía tal como la conocemos, ha sido posible gracias a una sucesión de avances científicos a lo largo de siglos.

Conocer la historia y los fundamentos físicos y tecnológicos de la ecografía, nos permite dar valor, entender mejor, y aumentar el rendimiento de una de las herramientas diagnósticas más útiles en Medicina.

BIBLIOGRAFÍA

1. Treaty of Versailles. https://en.wikisource.org/wiki/Treaty_of_Versailles
2. Firestone FA. The Supersonic Reflectoscope, an Instrument for Inspecting the Interior of Solid Parts by Means of Sound Waves. The Journal of the Acoustical Society of America. 1946; 17(3): 287-299. doi:10.1121/1.1916330
3. Ludwig GD, Struthers FW. Considerations underlying the use of ultrasound to detect gallstones and foreign bodies in tissue. Naval Medical Research Institute Reports. 1949; Project #004 001(Report No. 4). https://books.google.es/books/about/Considerations_Underlying_the_Use_of_Ult.html?id=afhUAAAAYAAJ&redir_esc=y
4. Ludwig GD. The Velocity of Sound through Tissues and the Acoustic Impedance of Tissues. The Journal of the Acoustical Society of America. 1950; 22(6): 862-866. doi:10.1121/1.1906706
5. Wild JJ, Reid JM. Application of Echo-Ranging Techniques to the Determination of Structure of Biological Tissues. Science. 1952; 115(2983): 226-230. doi:10.1126/science.115.2983.226
6. Reid JM. John Reid, an oral history conducted in 1999 by Frederick Nebeker. Published online 1999. Accessed October 7, 2023. https://ethw.org/Oral-History:John_M_Reid#About_the_Interview
7. Holmes JH, Howry DH, Posakony GJ, Cushman CR. The ultrasonic visualization of soft tissue structures in the human body. Trans Am Clin Climatol Assoc. 1954; 66: 208-225.
8. Howry DH, Bliss WR. Ultrasonic visualization of soft tissue structures of the body. J Lab Clin Med. 1952; 40(4): 579-592.
9. Howry DH, Stott DA, Bliss WR. The ultrasonic visualization of carcinoma of the breast and other soft-tissue structures. Cancer. 1954; 7(2): 354-358. doi:10.1002/1097-0142(195403)7:2<354::AID-CNCR2820070220>3.0.CO;2-9
10. Koch EB. In the Image of Science? Negotiating the Development of Diagnostic Ultrasound in the Cultures of Surgery and Radiology. Technology and Culture. 1993; 34(4): 858. doi:10.2307/3106418.
11. Edler I, Hertz CH. The Use of Ultrasonic Reflectoscope for the Continuous Recording of the Movements of Heart Walls. Clin Physiol Funct Imaging. 2004; 24(3): 118-136. doi:10.1111/j.1475-097X.2004.00539.x
12. Merton DA. Diagnostic Medical Ultrasound Technology. Journal of Diagnostic Medical Sonography. 1997; 13(5_suppl): 10S-23S. doi:10.1177/875647939701300i503
13. Donald I, Macvicar J, Brown TG. INVESTIGATION OF ABDOMINAL MASSES BY PULSED ULTRASOUND. The Lancet. 1958; 271(7032): 1188-1195. doi:10.1016/S0140-6736(58)91905-6.

David Llanos



david.llanos@salud.madrid.org