

El redescubrimiento de la ecografía

Rediscovery of ultrasound

José Ricardo Navarro Vargas MD.^{1,2,*} , Job Brahayan González Rodríguez MD.³

¹ Centro de Estudios de Medicina de Urgencias, CEMU, Universidad Nacional de Colombia, Hospital Universitario Nacional de Colombia.

² Médico Anestesiólogo, Hospital Universitario Nacional de Colombia.

³ Médico General, Universidad Antonio Nariño.

Conflictos de intereses: Ninguno.

Financiación: Recursos propios.

Fecha de recepción: 18 de diciembre de 2024 / Fecha de aceptación: 20 de febrero de 2025

ABSTRACT

Over the past decade, ultrasound imaging has gained prominence in clinical practice, extending beyond radiology to become integral across a wide range of medical specialties. This review article explores the historical context, fundamental principles, and current uses of ultrasound in medicine. Advances in technology and portability have made it possible to incorporate ultrasound as an extension of the physical exam in real-time, supported by protocols like POCUS. Its low cost, safety, and practicality underscore the advantages of ultrasound as a diagnostic aid. The potential future use of ultrasound as a targeted therapeutic tool is also discussed, particularly when combined with nanotechnology for precise tissue-specific therapy. This review concludes by highlighting the importance of ultrasound as a tool to enhance diagnostic accuracy and decision-making in medical practice, advocating for its integration into the training of new generations.

Keywords: Echography, ultrasound, POCUS, FAST, E-FAST, point of care ultrasound.

RESUMEN

En la última década la ecografía como técnica de imagen ha tomado relevancia en la práctica clínica extendiéndose más allá de la radiología para ser utilizada por la mayoría de las especialidades médicas. En este artículo de revisión abordaremos el contexto histórico, sus principios de funcionamiento y sus usos actuales en medicina. La evolución tecnológica de los equipos y su portabilidad han permitido usar la ecografía como extensión del examen físico en tiempo real con protocolos como el POCUS. Su bajo costo, seguridad y practicidad han demostrado las ventajas del uso de la ecografía como ayuda diagnóstica. También, se menciona el uso del ultrasonido como posibilidad terapéutica futura combinada con la nanotecnología como terapia dirigida en tejidos específicos. Esta revisión concluye resaltando la importancia de la ecografía como una herramienta que permite mejorar la aproximación diagnóstica y la toma de decisiones en la práctica médica fomentando su aprendizaje en las nuevas generaciones.

Palabras clave: Ecografía, ultrasonido, POCUS, FAST, E-FAST, ecografía en el punto de atención.

Introducción

La ecografía es una técnica de imagen vinculada al radio-diagnóstico que en su momento era de uso exclusivo de especialistas en radiología. En 1912, se realizó el primer

experimento con ultrasonido en búsqueda del naufragio del Titanic, en la segunda guerra mundial a partir del desarrollo del SONAR, y fue solo después de la guerra que el Dr. Douglas Howry aplicó esta tecnología a la medicina. En 1974, con la llegada de la imagen en escala de grises se pudo implementar

José Ricardo Navarro Vargas

jrnavarrov@unal.edu.co

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2548-1325>

ISSN: 0716-4076



la ecografía en tiempo real[1].

Conocemos como ultrasonido los sonidos con frecuencias mayores a las audibles por el ser humano (20.000 Hz). El rango usado en medicina se sitúa entre los 3 y los 15 MHz[1].

Para efectos prácticos, el ecógrafo consta de 5 componentes importantes. El generador, que envía electricidad al equipo, el transductor que por medio del efecto piezoelectrónico es capaz de producir ondas de ultrasonido y a su vez recolectar los ecos producidos para captar dicha señal, el convertidor análogo-digital que transforma la señal en información, la memoria gráfica que convierte dicha información en imagen en una escala de 256 grises y por último el monitor que es capaz de mostrar las imágenes en tiempo real[2].

En la actualidad gracias a la tecnología, la posibilidad de adquirir equipos relativamente "portátiles y económicos"; su facilidad de uso con el entrenamiento adecuado y sobre todo la posibilidad de complementar el examen físico de una forma objetiva y sin uso de radiación ionizante han convertido la ultrasonografía en una técnica que se ha popularizado en las diferentes especialidades médicas como apoyo en la toma de decisiones y el actuar médico[3].

En los últimos años términos como el POCUS (Ecografía en el punto de atención), UAPE (Examen físico asistido por ultrasonido) o CCE (Ecocardiografía en cuidado crítico) han tomado relevancia como herramientas en el ámbito médico, siendo enfoques diferentes para la detección y hallazgos patológicos que facilitan la evaluación seriada de parámetros anatómicos y fisiológicos específicos[4].

En esta publicación se pretende mostrar la relevancia de la ecografía en la última década yendo desde los conceptos claves hasta sus aplicaciones en diferentes especialidades médicas.

Método

El siguiente artículo gira en torno a la recolección de información con respecto a la ecografía enfocada en el ámbito médico haciendo una breve descripción de la historia al igual que el funcionamiento de los dispositivos usados. También pretende mostrar el auge de la ecografía como método de apoyo en el acto médico y su uso en las diferentes especialidades dejando en claro que como técnica imagenológica no solo es de uso exclusivo de radiología.

Como recursos bibliográficos y fuentes se realizó una exhaustiva revisión en línea usando como motor de búsqueda las plataformas de PubMed, Elsevier, ScienceDirect y Google Scholar. Como descriptor de la búsqueda se usaron términos tanto en inglés como español que hicieran referencia a ecografía médica y clínica. Por último, se realizó una lectura rigurosa, resúmenes y selección de información relevante que pudiera articular la idea principal expuesta en este documento y dar una visión fresca con respecto al uso actual de la ecografía médica.

En la Figura 1, podemos observar un crecimiento exponencial en la cantidad de publicaciones relacionadas a ecografía clínica y POCUS en Colombia durante la última década. En el 2013, se estimaban alrededor de 100 publicaciones relacionadas con esta herramienta imagenológica, desde entonces la cantidad de documentos presentados a la comunidad científica ha crecido de manera sostenida duplicándose aproximadamente



Figura 1. Grafica con estimación del crecimiento de las publicaciones sobre POCUS y ecografía clínica en los últimos 10 años en PubMed. Autoría propia.

te cada 5 años. Para 2023, el valor estimado alcanza las 400 publicaciones lo que sugiere un aumento en 300%.

Este incremento refleja la aceptación y el interés en la ecografía clínica en el país impulsada por los avances tecnológicos, la educación en el tema, la capacitación del personal en salud y las nuevas evidencias que soportan su uso en el contexto clínico.

El análisis de la información se realizó teniendo en cuenta el contexto actual de la medicina incluyendo las múltiples especialidades médicas, los desarrollos tecnológicos y la facilidad del acceso a la información que tenemos hoy en día gracias al internet.

Por último, se incluyó en la búsqueda los protocolos más famosos usados a nivel intrahospitalario en la actualidad como extensión del examen físico haciendo hincapié en lo que se conoce como "medicina de precisión" con la finalidad de exponer la utilidad clínica de la ecografía en la toma de las decisiones médicas.

Desarrollo del tema

Generalidades de la ecografía

La historia de la ecografía en la medicina se remonta a inicios del siglo XX, donde inicialmente se usó como herramienta de investigación, pero, dada la baja calidad de las imágenes sus primeros desarrolladores fueron ridiculizados[5]. Durante la década de 1950 se introdujo la ecografía en el ámbito obstétrico por el doctor Ian Donald en la universidad de Glasgow en Reino Unido, siendo un avance significativo en la obtención de imágenes al igual que la evaluación de éstas y su uso como estudio complementario para un diagnóstico más preciso[6].

La máquina de ultrasonido funciona mediante la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia producidas al aplicar electricidad a un cuarzo aprovechando el efecto piezoelectrónico. Estas ondas generalmente están en los rangos entre 1 y 20 MHz que por medio del transductor que se coloca en contacto con la piel del paciente penetran los diferentes tejidos que por sus características e interacciones absorben y reflejan las ondas de ultrasonido de diferentes formas que son luego interpretadas por el equipo de ecografía[7]-[9] (Figura 2).

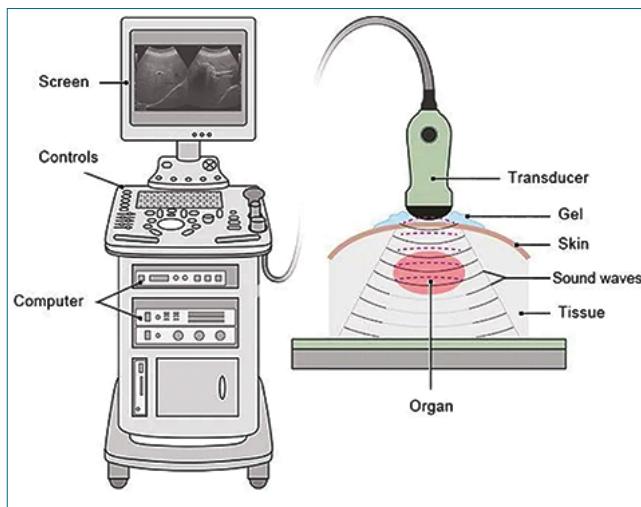


Figura 2. Esquema de equipo de ultrasonografía[10].

Para mejorar la calidad de la imagen se idearon diferentes tipos de transductores con la finalidad de enfocar las ondas de ultrasonido a diferente tipo de tejidos. Entre los transductores encontramos el sectorial que por su tamaño reducido permite la exploración entre la reja costal obteniendo por

ejemplo imágenes cardíacas. El transductor convexo tiene forma de abanico que permite explorar un área más amplia y profunda, de elección en estudios abdominales. El transductor lineal tiene forma rectangular y permite la evaluación de estructuras superficiales como lo son los músculos o los vasos superficiales. Por último, tenemos los transductores intracavitarios diseñados para introducirse en lugares específicos como la vagina o el recto para lograr imágenes más definidas[1] (Figura 3).

Escala de grises

Para identificar estructuras en la ecografía se usa la escala de grises producto de la interacción entre los tejidos con el ultrasonido. Aquellas estructuras que reflejan más los ultrasonidos son llamadas hiperecoicas, las que reflejan menos ultrasonidos son hipoeocoicas, y las que no reflejan ultrasonidos son anecoicas. Las primeras son brillantes o blancas, las segundas grises y las últimas negras. El agua es la sustancia orgánica que mejor conduce el sonido por lo cual produce una imagen anecoica (en el caso del organismo humano, los quistes que contienen líquido). Por otra parte, los tejidos muy celulares producen imágenes hipoeocoicas por su gran cantidad de agua (músculos) mientras que los tejidos fibrosos producen imágenes hiperecoicas (tendones)[11].

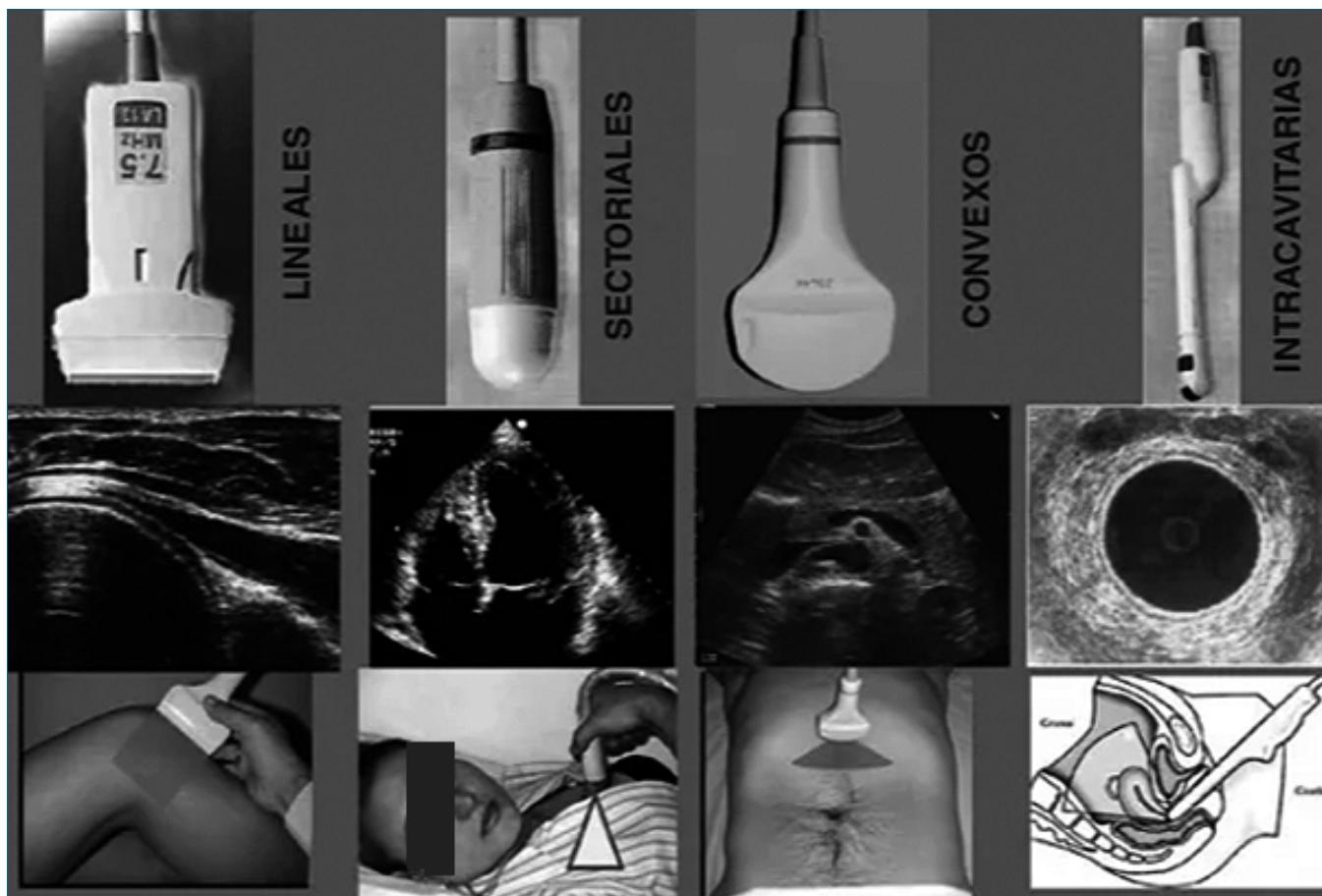


Figura 3. Transductores usados en ultrasonografía para la exploración corporal[1].

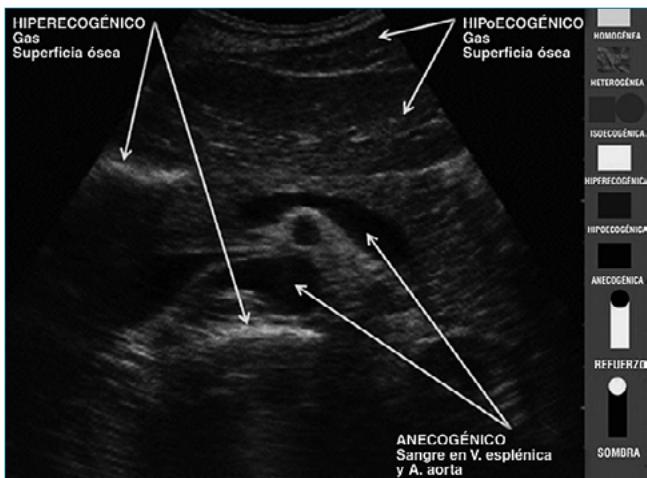


Figura 4. Lenguaje ecográfico[1].

Artefactos en la obtención de imágenes

Se denominan artefactos a las interacciones de los tejidos con el ultrasonido que generan imágenes no deseadas.

- Reverberación: Se refiere a la imagen obtenida cuando el ultrasonido rebota entre una estructura o material y el transductor de forma continua. Podemos encontrar este artefacto en la presencia de gas o metal. Este fenómeno puede producir una imagen llamada "cola de cometa" por la figura que produce al interactuar con algunos materiales.

- Imagen en espejo: Ocurre cuando el eco del ultrasonido rebota en una estructura curva como sucede en la calota craneal.
- Refuerzo posterior: Es el resultado del paso de los ecos a través de una estructura que contiene líquido en su interior (Ej. quistes) aumentando la amplitud de las ondas y generando una imagen hiperecoica en la zona posterior de la estructura (Figuras 4 y 5).

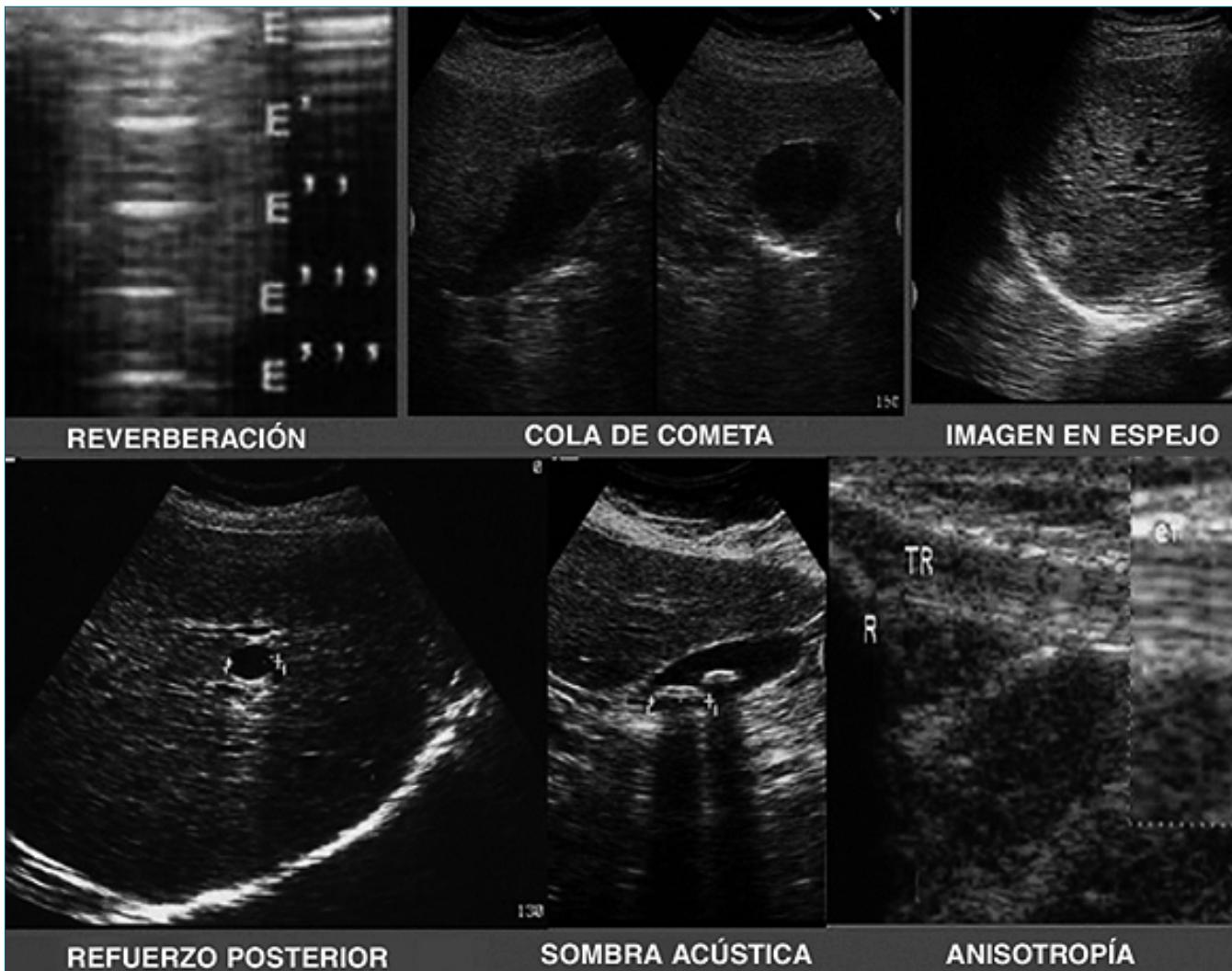


Figura 5. Artefactos ecográficos[1].

- Sombra acústica: Es la imagen hipoeocoica que aparece detrás de una estructura hiperecogénica (ej. huesos).
- Anisotropía: Una sustancia anisotrópica es aquella que muestra propiedades diferentes dependiendo de la dirección en la que se aplica el ultrasonido, por lo general los tendones, por lo cual se deben evitar abordajes oblicuos a menos de que se quieran diferenciar estructuras (grasa vs tendones)[1],[15].

La ecografía y su relación con las especialidades médicas

Durante los últimos años la ecografía ha sido utilizada en múltiples especialidades médicas dejando de ser solo una técnica de imagenología anatómica tradicional para pasar a ser parte de la actividad médica incluyendo la toma de decisiones, la aproximación diagnóstica más precisa y el uso como extensión del examen físico.

En cardiología, la utilidad de la ecocardiografía como método de la evaluación cardíaca se convirtió en pilar para evaluar la función cardíaca incluyendo las diferentes cardiopatías y valvulopatías; en gastroenterología, el uso de elastografía hepática ha demostrado eficacia en el diagnóstico de los diferentes grados de fibrosis llegando hasta 80% de sensibilidad. En ginecología, la ecografía sigue siendo la imagen de elección para la evaluación del estado fetal y el seguimiento del embarazo incluyendo imágenes que aportan información con respecto a los flujos placentarios o a las estructuras anatómicas fetales. En medicina de urgencias y en cuidado crítico la portabilidad de los equipos permite una evaluación rápida, procedimientos invasivos guiados y evaluación de parámetros dinámicos en condiciones críticas[13].

Una de las especialidades médicas que se apoya en la ecografía como herramienta para su desarrollo diario es la anestesiología. Desde la valoración del interior del estómago en inducciones anestésicas de emergencias, los procedimientos guiados por ecografía como lo son los bloqueos periféricos o los accesos vasculares que reducen la posibilidad de errores y eventos adversos, pasando por la evaluación cardiopulmonar en tiempo real incluyendo la valoración de la vía aérea para escoger el abordaje y los insumos adecuados o la anestesia neuro axial en pacientes con anatomía compleja. Por otra parte, el uso de protocolos como el POCUS (Point of care ultrasound) permiten al profesional individualizar la atención al igual que ofrecer un ejercicio médico más acertado[14]-[20].

Ventajas de la ecografía

En la última década se ha popularizado el uso de la ecografía en el ámbito médico y como lo mencionamos anteriormente se ha demostrado su utilidad en diferentes áreas de la medicina.

Entre las ventajas de la ecografía podemos destacar:

- Es inocua ya que el uso de ultrasonidos no tiene efecto nocivo sobre los tejidos del cuerpo.
- Rápida y bien tolerada.
- Económica con respecto a otras técnicas de imagen.
- Portabilidad de los equipos.
- Dinámica, ya que permite evaluación en tiempo real de estructuras anatómicas incluyendo sus movimientos, como en la ecocardiografía.
- Eco palpación como maniobra para identificación de estructuras.

- Reproducible gracias a la estandarización de protocolos.
- Realización procedimientos dirigidos o guiados por imágenes[1].

Como todo en medicina y en la vida, la ecografía también tiene ciertas desventajas que son importantes mencionar como:

- Las imágenes pueden verse distorsionadas por la presencia de gas y estructuras óseas.
- Baja especificidad puesto que identifica lesiones, pero no es capaz de realizar una diferenciación precisa.
- Explorador dependiente ya que depende de la experiencia y del entrenamiento del ecografista[1].

POCUS

El POCUS, "Point of care Ultrasonography" o ecografía en el punto de atención ha tomado relevancia en la última década ya que permite la toma, interpretación e inmediata integración de las imágenes obtenidas para direccionar el tratamiento de nuestros pacientes que no se limita a especialidades como radiología o cardiología, al contrario, abre la posibilidad de entrenar al personal en salud para su realización[21].

El POCUS, se considera una extensión del examen físico permitiendo visualización de imágenes en tiempo real del paciente que pueden enfocar la sospecha diagnóstica inicial y dirigir el tratamiento. Aun así esto no reemplaza la imagenología diagnóstica convencional[22]-[23].

Como protocolo el POCUS no incluye un estudio en específico para realizar, ya que está enfocado en la presencia de la ecografía al alcance del paciente para la toma de decisiones. Protocolos como el FAST o el E-FAST pueden usarse para la exploración del tronco dando una aproximación de la funcionalidad de sus órganos o en su defecto, alguna patología aguda subyacente.

Algunos autores le dan el nombre a la ecografía del "nuevo fonendoscopio" ya que permite enriquecer el examen físico en manos entrenadas pudiendo observar estructuras anatómicas, sonidos e imágenes dinámicas como en el caso de las imágenes cardíacas[24].

FAST Y E-FAST

El protocolo FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) es una técnica de ultrasonido usada en contexto de trauma para la evaluación rápida de pacientes con poli trauma o sospecha de lesiones internas. Evalúa la presencia de líquido libre en el abdomen, pericardio y espacio pleural identificando de forma rápida situaciones que pudieran causar inestabilidad hemodinámica y que requieran de manejo quirúrgico de urgencia[25]-[26].

El protocolo E-FAST (Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma) incluye la evaluación pulmonar para la detección de neumotórax. En el contexto de la evaluación en el punto de atención (POCUS), el E-FAST tiene una alta especificidad para detectar condiciones como hemotórax, neumotórax, hemoperitoneo o derrame pericárdico, aun así su sensibilidad es moderada por lo que debe considerarse una aproximación diagnóstica y en caso de alta sospecha se debe complementar con estudios imagenológicos adicionales[27]-[28].

UAPE

Aunque el término no es reconocido oficialmente en la literatura médica las fuentes bibliográficas consultadas mencionan que hace referencia al "examen físico asistido por ultrasonido" o Ultrasound assisted physical examination, esto haciendo referencia a la posibilidad de complementar la exploración del paciente como un "estetoscopio ultrasonográfico" para mejorar el diagnóstico más allá de lo que normalmente podemos hacer con el examen físico estándar. La integración de la ecografía al examen físico mejora notablemente la precisión diagnóstica y la toma de decisiones[4],[29].

Procedimientos guiados por ecografía

Los avances en la ecografía han permitido la visualización en tiempo real de estructuras anatómicas sin la necesidad de radiación ionizante permitiendo la posibilidad de realizar procedimientos invasivos guiados disminuyendo las complicaciones y aumentando la tasa de éxito como son los accesos vasculares[30]-[33].

Procedimientos como abordajes o accesos intraarticulares realizados por reumatología para la aplicación de medicamentos o la toma de biopsias se ven beneficiados por la ecografía para aumentar la precisión en anatomías complejas; en ginecología la ecografía se emplea para toma de biopsias de masas, aspiración de colecciones o en la sonohisterografía y en cuidado crítico hace posible la colocación de accesos venosos centrales, toracocentesis y paracentesis con la evaluación anatómica necesaria para disminuir el riesgo de errores y complicaciones [34-36].

En anestesiología, la anestesia guiada por ecografía o anestesia regional guiada por ultrasonido permite guiar la administración de anestésicos locales alrededor de nervios periféricos visualizando las estructuras adyacentes. También, aumenta la tasa de éxito del bloqueo y disminuye las complicaciones asociadas como la inyección intraneuronal. Al visualizar la anatomía en tiempo real es posible individualizar los pacientes, en especial los que presentan variaciones anatómicas o anatomía alterada[37]-[40].

Enseñanza de la ecografía a nivel mundial

Los entusiastas del POCUS han sido los encargados del inicio de la enseñanza de la ecografía en diferentes contextos clínicos incluyendo el área de urgencias. El Colegio Americano de Educación Médica en posgrado incluyó el POCUS como entrenamiento necesario en la residencia de emergencias. La literatura menciona que la forma más práctica y eficaz para aprender ecografía incluye la práctica en grupos pequeños, las video demostraciones y las sesiones de escaneo[41].

En anestesiología, se han usado métodos de enseñanza informal al lado de la cama, demostraciones estructurales por expertos, conferencias y simulaciones[12].

Gracias a la pandemia por COVID-19, se impulsó la enseñanza del POCUS destacando el uso de teleultrasonido (Telemedicina) como método viable permitiendo la enseñanza a distancia y el acceso a educación sin requerimiento de presencia física[42].

En el contexto de la educación médica se han desarrollado

currículos integrales de ultrasonido para estudiantes de medicina que incluyen tanto teoría como práctica con enfoque en la simulación en grupos pequeños supervisados. Este enfoque permite al estudiante adquirir habilidades básicas para su aplicación en la práctica clínica[43].

Discusión

Aunque el ultrasonido inició como objeto de investigación militar desde el año 1912 solo fue hasta el año 1950 cuando se inició su uso en medicina con las imágenes obstétricas[1],[5],[6]. En el transcurso de los años la ecografía ha evolucionado (Figura 6) no solo a nivel tecnológico permitiendo la portabilidad de los equipos y la calidad de las imágenes, sino a su vez, a nivel técnico lo que ha permitido desarrollar diferentes protocolos con la finalidad de evaluar diferentes parámetros que van desde la anatomía, características o funcionalidad dinámica[1],[3],[13].

Con el paso del tiempo desde su creación, la ecografía dejó de ser una técnica imagenológica de uso exclusivo de radiología como especialidad (hoy denominada especialidad de Imágenes Diagnósticas). Los servicios de Urgencias, Cuidado Crítico, Cardiología, Anestesiología entre otros, han sido beneficiados con la posibilidad de obtener imágenes en tiempo real[13]-[20].

Este recurso "en tiempo real" permite hablar de medicina de precisión, que en otras palabras incluye todos los procesos que podemos realizar como personal de salud para individualizar la atención de nuestros pacientes[44]-[46]. Con el protocolo POCUS se abrió la posibilidad de adquirir información valiosa, inmediata y específica que puede guiar las decisiones en el actuar médico incluyendo las situaciones que pudieran presentarse en el área de urgencias y en el ámbito perioperatorio[47]. Es así como la ecografía permite por medio de la exploración dinámica la posibilidad de toma de decisiones para mejorar la precisión en el diagnóstico y tratamiento de diferentes patologías. Adicional a esto en el área de la Oncología, el ultrasonido ha sido combinado con nanotecnología con la finalidad de llevar nanopartículas o nano vesículas a sitios determinados en el cuerpo y ser activadas para la liberación programada y localizada de agentes terapéuticos. Esto permite evaluar la versatilidad de la ecografía no solo como una herramienta de estudio sino

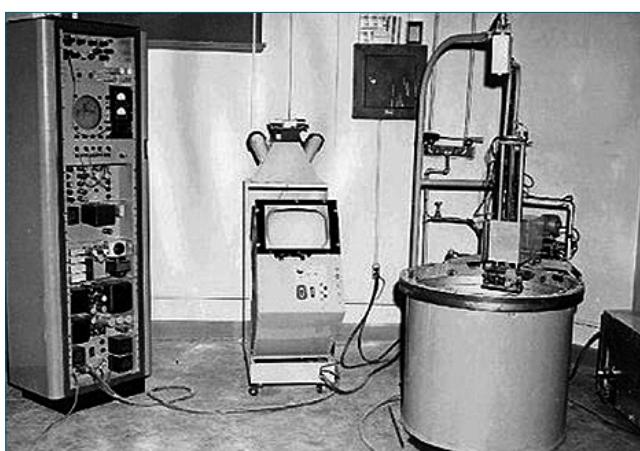


Figura 6. Sonógrafo de contacto desarrollado por Ian Donald[45].

también como una ayuda en el tratamiento de algunas patologías[48].

Aunque la ecografía se ha popularizado en la última década por su facilidad de uso en el personal entrenado, la portabilidad de los equipos, la evaluación en tiempo real y la economía de esta vs otros estudios no debemos olvidar que hay desventajas como lo son las limitantes dadas por la presencia de gas o estructuras óseas y la dependencia de la interpretación por el operador, siendo así un reto para esta técnica imagenológica. La solución a estos problemas se ha abordado con la implantación de ventanas ecográficas que permiten una visualización más eficiente, el uso de transductores específicos para determinadas zonas anatómicas al igual que protocolos que estandarizan la forma de realizar la toma de imágenes y su interpretación[1] (Figura 7).

En la búsqueda de literatura relacionada al tema de la investigación encontramos una publicación del año 2016 "La ecografía primero, por qué, ¿cómo y cuándo?" donde exponen temas similares a los de esta revisión como la historia, la practicidad de la técnica imagenológica, su versatilidad y sobre todo su importancia como apoyo en el diagnóstico de diferentes patologías como estudio de elección lo cual permite apreciar la trascendencia del tema de la ecografía planteado años atrás. En esta publicación también mencionan la importancia del entrenamiento y los requisitos mínimos para considerarse experto en ecografía por la AIUM (American Institute of Ultrasound in Medicine) que sugieren como mínimo 3 meses de práctica y la realización de no menos de 500 estudios[50].

Una de las metas con la que se planteó esta revisión es mostrar la importancia de la ecografía en el ejercicio médico actual y motivar a las nuevas generaciones a su aprendizaje e implementación en el diario vivir siendo esta una herramienta que aporta una ventaja al momento de abordar el paciente en las diferentes áreas. Esperamos ser un punto más de partida con esta publicación para contribuir al crecimiento de esta técnica imagenológica no solo ampliando su uso, sino por el contrario generando curiosidad para motivar nuevas investigaciones.

Conclusión

Hoy en día la ecografía ha tomado nuevamente relevancia, siendo esta una técnica con más de 70 años desde su inclusión



Figura 7. Ecógrafo portátil Butterfly IQ+® en uso[49].

en la medicina. En la última década los avances tecnológicos y su inclusión a diferentes especialidades ha permitido demostrar la versatilidad de la ultrasonografía en diferentes especialidades médicas apoyando la aproximación diagnóstica y la toma de decisiones en tiempo real siendo una extensión del examen físico. Es importante que las nuevas generaciones de médicos sean entrenadas desde el pregrado en el uso de la ecografía como una realidad latente en la actualidad médica. Hoy por hoy especialidades como el Cuidado Crítico, la Anestesiología y Emergencias han adoptado la ecografía como herramienta indispensable para abordar con éxito y oportunidad la valoración de sus pacientes con protocolos como el POCUS. Es de esperar que en un futuro no tan lejano todos los profesionales en salud sean capaces de usar este instrumento en su diario actuar beneficiando así no solo su actividad laboral, sino también beneficiando a sus pacientes a través de la realización de diagnósticos más precisos y procedimientos eco guiados, con lo cual necesariamente se va a disminuir el riesgo de errores y también personalizando la atención con cada paciente (medicina de precisión).

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia y a su centro de estudios de medicina de urgencias, CEMU.

Referencias

1. Díaz-Rodríguez N, Garrido-Chamorro RP, Castellano-Alarcón J. Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. Semergen. 2007;33(7):362–9. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(07\)73916-3](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(07)73916-3).
2. Díaz-Rodríguez, N., Garrido-Chamorro, R. P., & Castellano-Alarcón, J. (2007). Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico. SEMERGEN - Medicina de Familia, 33(7), 362–369. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(07\)73916-3](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(07)73916-3).
3. García de Casasola G, Casado López I, Torres-Macho J. Ecografía clínica en el proceso de toma de decisiones en medicina. Rev Clin Esp (Barc). 2020;220(1):49–56. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.04.004> PMID:31151738
4. McNay, M., & Fleming, JohnE. E. (1999). "forthee....towhom% nosounddissonantwhichtellsoftlife%" -coleridge. Ultrasound in Medicine & Biology, 25(1), 3–56. [https://doi.org/10.1016/S0301-5629\(98\)00129-X](https://doi.org/10.1016/S0301-5629(98)00129-X).
5. Varsou O. The Use of Ultrasound in Educational Settings: What Should We Consider When Implementing this Technique for Visualisation of Anatomical Structures? Adv Exp Med Biol. 2019;1156:1–11. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19385-0_1 PMID:31338774
6. Enriquez JL, Wu TS. An introduction to ultrasound equipment and knobology. Crit Care Clin. 2014 Jan;30(1):25–45. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2013.08.006> PMID:24295840
7. Lawrence JP. Physics and instrumentation of ultrasound. Crit Care Med. 2007 Aug;35(8 Suppl):S314–22. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000270241.33075.60> PMID:17667455
8. Guidelines EU. Emergency Ultrasound Guidelines. Ann Emerg Med. 2009;53(4):550–70. <https://doi.org/10.1016/j.annemerg-med.2008.12.013> PMID:19303521
9. Rios DS. (2024, March). ¿Cómo funcionan los ecógrafos? - Ingeniería, Salud y Educación - Medium. Medium; Ingeniería, Salud

- y Educación. <https://medium.com/ingeniería-salud-y-educación/la-ecografía-83fb440e4369>
10. Wang S, Hossack JA, Klibanov AL. From Anatomy to Functional and Molecular Biomarker Imaging and Therapy: Ultrasound Is Safe, Ultrafast, Portable, and Inexpensive. *Invest Radiol*. 2020 Sep;55(9):559–72. <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000675> PMID:32776766
 11. Barrington MJ, Uda Y. Did ultrasound fulfill the promise of safety in regional anesthesia? *Curr Opin Anaesthesiol*. 2018 Oct;31(5):649–55. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000000638> PMID:30004951
 12. Li L, Yong RJ, Kaye AD, Urman RD. Perioperative Point of Care Ultrasound (POCUS) for Anesthesiologists: an Overview. *Curr Pain Headache Rep*. 2020 Mar;24(5):20. <https://doi.org/10.1007/s11916-020-0847-0> PMID:32200432
 13. Coker BJ, Zimmerman JM. Why Anesthesiologists Must Incorporate Focused Cardiac Ultrasound Into Daily Practice. *Anesth Analg*. 2017 Mar;124(3):761–5. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001854> PMID:28207446
 14. Lazar AE, Gherghinescu MC. Airway Ultrasound for Anesthesia and in Intensive Care Patients-A Narrative Review of the Literature. *J Clin Med*. 2022 Oct;11(21):6327. <https://doi.org/10.3390/jcm11216327> PMID:36362555
 15. Li J, Krishna R, Zhang Y, Lam D, Vadivelu N. Ultrasound-Guided Neuraxial Anesthesia. *Curr Pain Headache Rep*. 2020 Aug;24(10):59. <https://doi.org/10.1007/s11916-020-00895-3> PMID:32812182
 16. Su, E., Dalesio, N., & Aliaksei Pustavoitau. (2018). Point-of-care ultrasound in pediatric anesthesiology and critical care medicine. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal Canadien D Anesthésie*, 65(4), 485–498. <https://doi.org/10.1007/s12630-018-1066-6>.
 17. Arumugam S, Siddaiah H, Kalagara H. HOCUS POCUS: ultrasound beyond regional anesthesia in the ambulatory setting. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2023 Dec;36(6):636–42. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000001307> PMID:37615502
 18. König IR, Fuchs O, Hansen G, von Mutius E, Kopp MV. What is precision medicine? *Eur Respir J*. 2017 Oct;50(4):1700391–1700391. <https://doi.org/10.1183/13993003.00391-2017> PMID:29051268
 19. Qin Y, Geng X, Sun Y, Zhao Y, Chai W, Wang X, et al. Ultrasound nanotheranostics: toward precision medicine. *J Control Release*. 2023 Jan;353:105–24. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.11.021> PMID:36400289
 20. Kessler D, Ng L, Tessaro M, Fischer J. Precision Medicine With Point-of-Care Ultrasound: The Future of Personalized Pediatric Emergency Care. *Pediatr Emerg Care*. 2017 Mar;33(3):206–9. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001050> PMID:28248760
 21. Poggio GA, Mariano J, Gopar LA, Ucar ME. La ecografía primero: ¿Por qué, cómo y cuándo? *Revista Argentina de Radiología / Argentinian. Rev Argent Radiol*. 2016;81(3):192–203. <https://doi.org/10.1016/j.rard.2016.06.005>.
 22. Donald I. el padre de la ecografía obstétrica. (2015, December 11). <https://franciscojaviertostado.com/2015/12/11/ian-donald-el-padre-de-la-ecografia-obstetrica/>
 23. Jameel AL. (2021, November 29). Preguntas y respuestas sobre la Butterfly iQ+ | Abdul Latif Jameel®. Abdul Latif Jameel. <https://alj.com/es/perspective/democratizar-la-atencion-sanitaria-exploracion-a-exploracion/>
 24. Díaz-Gómez JL, Mayo PH, Koenig SJ. Point-of-Care Ultrasonography. *N Engl J Med*. 2021 Oct;385(17):1593–602. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1916062> PMID:34670045
 25. Stewart DL, Elsayed Y, Fraga MV, Coley BD, Annam A, Milla SS, et al.; COMMITTEE ON FETUS AND NEWBORN AND SECTION ON RADIOLOGY; Section on Radiology Executive Committee, 2021–2022. Use of Point-of-Care Ultrasonography in the NICU for Diagnostic and Procedural Purposes. *Pediatrics*. 2022 Dec;150(6):e2022060053. <https://doi.org/10.1542/peds.2022-060053> PMID:37154781
 26. D'Andrea A, Del Giudice C, Fabiani D, Caputo A, Sabatella F, Cante L, et al. The Incremental Role of Multiorgan Point-of-Care Ultrasounds in the Emergency Setting. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan;20(3):2088–2088. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032088> PMID:36767456
 27. Calvo Cebrián A, López García-Franco A, Short Apellaniz J. Modelo Point-of-Care Ultrasound en Atención Primaria: ¿herramienta de alta resolución? *Aten Primaria*. 2018 Oct;50(8):500–8. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2017.11.007> PMID:29609871
 28. Pace, J., & Arntfield, R. (2017). Focused assessment with sonography in trauma: a review of concepts and considerations for anesthesiology. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal Canadien D Anesthésie*, 65(4), 360–370. <https://doi.org/10.1007/s12630-017-1030-x>.
 29. Manson WC, Kirksey M, Boublik J, Wu CL, Haskins SC. Focused assessment with sonography in trauma (FAST) for the regional anesthesiologist and pain specialist. *Reg Anesth Pain Med*. 2019 May;44(5):540–8. <https://doi.org/10.1136/rapm-2018-100312> PMID:30902912
 30. Thiessen ME, Riscinti M. Application of Focused Assessment with Sonography for Trauma in the Intensive Care Unit. *Clin Chest Med*. 2022 Sep;43(3):385–92. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2022.05.004> PMID:36116808
 31. Williams SR, Perera P, Gharahbaghian L. The FAST and E-FAST in 2013: trauma ultrasonography: overview, practical techniques, controversies, and new frontiers. *Crit Care Clin*. 2014 Jan;30(1):119–50. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2013.08.005> PMID:24295843
 32. Kirkpatrick JN, Grimm R, Johri AM, Kimura BJ, Kort S, Labovitz AJ, et al. Recommendations for Echocardiography Laboratories Participating in Cardiac Point of Care Cardiac Ultrasound (POCUS) and Critical Care Echocardiography Training: Report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020 Apr;33(4):409–422.e4. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.01.008> PMID:32122742
 33. Wagner M, Boughton J. PEARLS for an Ultrasound Physical and Its Routine Use as Part of the Clinical Examination. *South Med J*. 2018 Jul;111(7):389–94. <https://doi.org/10.14423/SMJ.000000000000834> PMID:29978222
 34. Núñez Ramos JA, Velasco-Malagón S. Enseñanza y uso en Colombia del ultrasonido al pie de la cama del paciente. *Acta Med Colomb*. 2023;49(1): <https://doi.org/10.36104/amc.2024.3039>.
 35. Ceballos L, Stuardo V. Focus ultrasound in emergency. *Rev Chil Anest*. 2021;50:217–38. <https://doi.org/10.25237/revchilanes-tv50n01-13>.
 36. Lungren MP, Patel MN, Racadio JM, Johnson ND. Ultrasound-guided interventions in children. *Eur J Radiol*. 2014 Sep;83(9):1582–91. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.04.021> PMID:24932844
 37. Guidelines EU. Emergency Ultrasound Guidelines. *Ann Emerg Med*. 2009;53(4):550–70. <https://doi.org/10.1016/j.annemerg-med.2008.12.013> PMID:19303521

38. Troianos CA, Hartman GS, Glas KE, Skubas NJ, Eberhardt RT, Walker JD, et al.; Councils on Intraoperative Echocardiography and Vascular Ultrasound of the American Society of Echocardiography; Society of Cardiovascular Anesthesiologists. Special articles: guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society Of Cardiovascular Anesthesiologists. *Anesth Analg*. 2012 Jan;114(1):46–72. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3182407cd8> PMID:22127816
39. Epis O, Bruschi E. Interventional ultrasound: a critical overview on ultrasound-guided injections and biopsies. *Clin Exp Rheumatol*. 2014;32(1 Suppl 80):S78–84. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24529311/> PMID:24529311
40. Morgan TA, Jha P, Feldstein VA, Shum DJ, Poder L. US-guided Interventions to Diagnose and Treat Gynecologic and First-Tri-mester Disease. *Radiographics*. 2021 Oct;41(6):E183–4. <https://doi.org/10.1148/rg.2021210077> PMID:34597231
41. Nicolaou S, Talsky A, Khashoggi K, Venu V. Ultrasound-guided interventional radiology in critical care. *Crit Care Med*. 2007 May;35(5 Suppl):S186–97. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260630.68855.DF> PMID:17446778
42. Bowness J, Taylor A. Ultrasound-Guided Regional Anaesthesia: Visualising the Nerve and Needle. *Adv Exp Med Biol*. 2020;1235:19–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37639-0_2 PMID:32488634
43. Lloyd J, Morse R, Taylor A, Phillips D, Higham H, Burckett-St Laurent D, et al. Artificial Intelligence: Innovation to Assist in the Identification of Sono-anatomy for Ultrasound-Guided Regional Anaesthesia. *Adv Exp Med Biol*. 2022;1356:117–40. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87779-8_6 PMID:35146620
44. Marhofer P, Chan VW. Ultrasound-guided regional anesthesia: current concepts and future trends. *Anesth Analg*. 2007 May;104(5):1265–9. <https://doi.org/10.1213/01.ANE.0000260614.32794.7b> PMID:17456684
45. Wiebalck A, Grau T. Ultrasound imaging techniques for regional blocks in intensive care patients. *Crit Care Med*. 2007 May;35(5 Suppl):S268–74. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260676.90475.00> PMID:17446787
46. Cartier RA 3rd, Skinner C, Laselle B. Perceived effectiveness of teaching methods for point of care ultrasound. *J Emerg Med*. 2014 Jul;47(1):86–91. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.01.027> PMID:24680098
47. Lipsitz M, Levin L, Sharma V, Herrala J, Rimawi A, Bernier D, et al. The State of Point-of-Care Teleultrasound Use for Educational Purposes: A Scoping Review. *J Ultrasound Med*. 2022 Aug;41(8):1889–906. <https://doi.org/10.1002/jum.15885> PMID:34825718
48. Recker F, Schäfer VS, Holzgreve W, Brossart P, Petzinna S. Development and implementation of a comprehensive ultrasound curriculum for medical students: the Bonn internship point-of-care-ultrasound curriculum (BI-POCUS). *Front Med (Lausanne)*. 2023 Mar;10:1072326. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1072326> PMID:37035342
49. Vargas A, Amescua-Guerra LM, Bernal MA, Pineda C, Subdirector V. Principios físicos básicos del ultrasonido, sonoanatomía del sistema musculoesquelético y artefactos ecográficos. *Acta Ortop Mex*. 2008;22(6):361–73. Available from: <https://www.medigraphic.com/pdfs/orotope/or-2008/or086e.pdf> PMID:19280837
50. Alfageme Roldán F, Mollet Sánchez J, Cerezo López E. Principios físicos y generalidades. *Actas Dermosifiliogr*. 2015 Nov;106 Suppl 1:3–9. [https://doi.org/10.1016/S0001-7310\(16\)30002-3](https://doi.org/10.1016/S0001-7310(16)30002-3) PMID:26895934