

dx.doi.org/10.17488/RMIB.41.1.4

E-LOCATION ID: RMIB2019-21-EE3

Análisis de cienciaometría y patentometría para determinar el panorama de conocimiento en tecnologías de innovación: Los equipos de ultrasonido terapéuticos

Scientometric and patentometric analysis to determine the knowledge landscape in innovation technologies: The therapeutic ultrasound equipments

V. Aguilar-Juárez, M. A. Sánchez-Colín, L. A. Zúñiga-Avilés

Universidad Autónoma del Estado de México

RESUMEN

En este artículo se propone un modelo de información para determinar el panorama de las tecnologías emergentes relacionadas con los equipos de terapia de ultrasonido, el cual permite la identificación de cuatro grandes categorías en el área de la investigación y el desarrollo dentro del campo, utilizando una metodología competitiva que incorpore la evaluación de publicaciones científicas y un análisis de patentes; utilizando distintas bases de datos mediante la agrupación por palabras clave y cronología. Se examinaron las bases de datos de Google Académico, Scopus, Springer, Sage Journals, ScienceDirect y Academic.edu para consultar artículos y publicaciones científicas; se encontraron alrededor de 67,000 artículos de los cuales únicamente 119 cumplen con los criterios de exclusión, en donde se analizó cómo está conformado un equipo de ultrasonido, sus distintas aplicaciones y nuevas tendencias desde un enfoque de interfaz humano computadora. Las bases de datos utilizadas para la recolección de las patentes fueron Patentscope, Google Patents, e Invenes, así como las bases de WIPO y USPTO; en las cuales se encontraron alrededor 421 patentes con relación a los equipos de ultrasonido, los países en los que se registró la patente y la forma en la que la clasifican. Finalmente, sólo 16 patentes cumplen con los criterios de exclusión. Los resultados indican que Estados Unidos es la nación con más difusión tanto en la publicación de artículos como en patentes.

PALABRAS CLAVE: transductor; terapia; ultrasonido equipos

ABSTRACT

This paper proposes an information model to determine the panorama of emerging technologies related to ultrasound equipment, which allows the identification of four main categories of research and development within the field, using a competitive methodology that incorporates the evaluation of scientific publications and a patent analysis; by using different databases by keywords clustering and years relevance. Google Scholar, Scopus, Springer, Sage Journals, ScienceDirect and Academic.edu databases were examined to consult articles and scientific publications; about 67,000 articles were found, of which only 119 met the exclusion criteria, the different parts of an ultrasound equipment, its different applications and new trends were analysed. The databases of Patentscope, Google Patents, and Invenes, as well as the bases of WIPO and USPTO were used for the recollection of patents; in which about 421 patents were found in relation to ultrasound equipment, the country in which the patent was registered and the way it is classified. Finally, only 16 patents meet the exclusion criteria. The results show USA as the country with the most diffusion rate in publishing articles and patents.

KEYWORDS: transductor; therapy; ultrasound equipments.

Correspondencia

DESTINATARIO: Dr. Luis Adrián Zúñiga Avilés
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma del Estado de México
DIRECCIÓN: Av. Instituto Literario #100, Col. Centro,
C. P. 50000, Toluca, Estado de México, México
CORREO ELECTRÓNICO: lazunigaa@uaemex.mx

Fecha de recepción:

5 de julio de 2019

Fecha de aceptación:

12 de enero de 2020

INTRODUCCIÓN

El ultrasonido (US) es una forma de energía mecánica, no de energía eléctrica y, por lo tanto, estrictamente hablando, forma parte del grupo de agentes electrofísicos. La vibración mecánica a frecuencias crecientes se conoce como energía de sonido. El campo auditivo humano normal es de una frecuencia de 16 Hz, en un rango que se aproxima a 15-20,000 Hz en adultos sanos de 20 a 65 años; en el 25% de las personas con edades entre los 65 y 75 años se presenta una pérdida natural de la capacidad auditiva, también conocida como presbiacusia, y en 80% para personas mayores de 75 años. Más allá del límite superior (20,000Hz), la vibración mecánica se conoce como ultrasonido. Las frecuencias utilizadas en la terapia suelen estar entre 1.0 y 3.0 MHz (1 MHz = 1 millón de ciclos por segundo) [1].

Una de las primeras aplicaciones del ultrasonido en medicina fue el llamado “masaje ultrasónico” introducido en Berlín en 1938. Raimar Pohlman demostró los efectos “terapéuticos” de las ondas ultrasónicas en tejidos humanos y se pasó a introducir la fisioterapia de ultrasonido como procedimiento de rutina en la práctica médica [2]. Se encuentra como una de las modalidades de tratamiento de fisioterapia con electricidad más frecuentes. De hecho, recientemente se ha demostrado que US es ahora el agente electrofísico más utilizado en todo el mundo, al ser usado al menos diariamente para el tratamiento del paciente por la mayoría de los fisioterapeutas [3]. Esta alta frecuencia de uso hace imprescindible la necesidad de modificar el equipo para que tenga una mejor usabilidad para el usuario primario; es decir, para el fisioterapeuta.

Los trastornos de aparato locomotor son una de las causas más importantes y frecuentes del ausentismo laboral y generan un costo considerable para el sistema de salud pública [4]. Los fisioterapeutas están expuestos a distintos factores de riesgo que contribuyen al desarrollo de lesiones, ya que la naturaleza de su trabajo es

repetitiva e intensa. Algunos de estos riesgos, es el uso continuo del equipo de ultrasonido terapéutico; ya que se exponen a movimientos repetitivos de muñeca. Estadísticamente, un 64,10% de los fisioterapeutas han presentado algún tipo de dolor o molestia en manos y muñecas debido a la actividad laboral; y de ellos, un 7,50% se ha ausentado del trabajo por esta razón [5].

Debido, a esta problemática, el presente artículo tiene como objetivo realizar un análisis científico y patentométrico de la evolución de los equipos de ultrasonido terapéutico, además de obtener una visión clara del panorama de diseño de dichos dispositivos.

Principios físicos

El ultrasonido tiene dos características principales que lo hacen muy adecuado para la inducción de alta energía profunda en tejidos con fines terapéuticos; la primera, es una buena penetración del haz en las frecuencias donde las longitudes de onda son del orden de milímetros, lo que permite enfocar profundamente en el tejido con márgenes agudos y un buen control sobre la deposición de energía. La segunda característica es la viabilidad técnica de construir fuentes de ultrasonido de casi cualquier tamaño y forma [6].

Los dispositivos de ultrasonido funcionan mediante el principio físico del sonido, el cual, en este contexto puede definirse como: “serie de ondas mecánicas, generalmente longitudinales, originadas por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico) y propagadas por un medio material (tejidos corporales) cuya frecuencia supera la del sonido audible por el humano: 20.000 ciclos/segundo o 20 kilohercios (20 KHz)” [7].

Algunos de los parámetros que se utilizan a menudo en US son: frecuencia, velocidad de propagación, interacción del US con los tejidos, ángulo de incidencia, atenuación, y frecuencia de repetición de pulsos. A continuación, se describe brevemente cada una de estas variables.

- **Frecuencia:** La frecuencia de una onda de US consiste en el número de ciclos o de cambios de presión que ocurren en un segundo. La frecuencia la cuantificamos en ciclos por segundo o hertz. La frecuencia está determinada por la fuente emisora del sonido y por el medio a través del cual está viajando ^[6]. Las frecuencias típicas de los US provenientes de equipos terapéuticos son de 1 y 3 MHz, aunque algunas máquinas producen frecuencias adicionales (por ejemplo, 0,75 y 1,5 MHz) y los dispositivos de ultrasonido de onda larga funcionan típicamente en un rango de 40-50,000Hz ^[1], una frecuencia mucho más baja que el ultrasonido tradicional, pero aún más allá del rango de audición humana.
- **Velocidad de propagación:** Es la velocidad en la que el sonido viaja a través de un medio, y se considera típicamente de 1.540 m/s para los tejidos blandos, y varía según el tipo y características del material por el que atraviese. Los factores que determinan la velocidad del sonido a través de una sustancia son la densidad y la compresibilidad de tal forma que los materiales con mayor densidad y menor compresibilidad transmiten el sonido a una mayor velocidad. Esta velocidad varía en cada tejido; por ejemplo, en la grasa, las ondas sonoras se mueven más lentamente; mientras que, en el aire, la velocidad de propagación es tan lenta, que las estructuras que lo contienen no pueden ser evaluadas por ultrasonido ^[7].
- **Longitud de onda:** La distancia de una compresión a la siguiente (distancia entre picos de la onda sinusal) constituye la longitud de onda (λ), y se obtiene de dividir la velocidad de propagación entre la frecuencia. El número de veces que se comprime una molécula es la frecuencia (f) y se expresa en ciclos por segundo o Hertz. En un "tejido promedio", la longitud de onda a 1 MHz sería de 1,5 mm y a 3 MHz sería de 0,5 mm ^[7].
- **Interacción con los tejidos:** Cuando la energía acústica interactúa con los tejidos corporales, las moléculas tisulares son estimuladas y la energía se transmite de una molécula a otra adyacente. La energía acústica se mueve a través de los tejidos mediante ondas longitudinales y las moléculas del medio de transmisión oscilan en la misma dirección ^[9].
- **Ángulo de incidencia:** La intensidad con la que un haz de ultrasonidos se refleja dependerá también del ángulo de incidencia o insonación, de manera similar a como lo hace la luz en un espejo. La reflexión es máxima cuando la onda sonora incide de forma perpendicular a la interfase entre dos tejidos. Si el haz ultrasónico se aleja sólo unos cuantos grados de la perpendicular, el sonido reflejado no regresará al centro de la fuente emisora y será tan sólo detectado parcialmente, o bien, no será detectado por la fuente receptora (transductor) ^[9].
- **Atenuación:** Mientras las ondas ultrasónicas se propagan a través de las diferentes interfases tisulares, la energía ultrasónica pierde potencia y su intensidad disminuye progresivamente a medida que inciden estructuras más profundas, circunstancia conocida como atenuación, y puede ser secundaria a absorción o dispersión. La absorción involucra la transformación de la energía mecánica en calor, mientras que la dispersión consiste en la desviación de la dirección de propagación de la energía. Los líquidos son considerados como no atenuadores; el hueso es un importante atenuador mediante absorción y dispersión de la energía, mientras que el aire absorbe de forma potente y dispersa la energía en todas las direcciones ^[6].
- **Frecuencia de repetición de pulsos:** La energía eléctrica que llega al transductor estimula los cristales piezoeléctricos allí contenidos y éstos

emiten pulsos de ultrasonidos, de tal forma que el transductor no emite ultrasonidos de forma continua, sino que genera grupos o ciclos de ultrasonidos a manera de pulsos [7].

Haz ultrasónico

El haz de US no es uniforme y cambia en su naturaleza con la distancia desde el transductor. El haz más cercano al cabezal de tratamiento se llama campo cercano, campo de interferencia o la zona de Frenzel. El comportamiento del haz en este campo está lejos de ser regular; la energía puede ser muchas veces mayor que el conjunto de salida en la máquina (posiblemente de 12 a 15 veces mayor) [1]. El tamaño (longitud) del campo cercano se puede calcular con el radio del cristal del transductor al cuadrado dividido entre la longitud de onda (λ). Un indicador de calidad para los aplicadores de US (transductores) es un valor atribuido al índice de no uniformidad del haz (BNR, por sus siglas en inglés). Esto da una indicación de la interferencia de campo cercano, es decir, describe numéricamente la relación de la intensidad pico y la intensidad media.

Transmisión del haz por el tejido

La transmisión del haz por los tejidos varía de la impedancia de estos. La impedancia específica de un tejido estará determinada por su densidad y elasticidad. Para la máxima transmisión de energía de un medio a otro, la impedancia de los dos medios tiene que ser lo más similar posible, en el caso del US esto en realidad no puede ser logrado [1].

La diferencia de impedancia es mayor para la interfaz de acero y de aire, dicha interfaz es la primera que el haz de US. tiene que vencer para alcanzar los tejidos. Para minimizar esta diferencia, un medio de acoplamiento adecuado tiene que ser utilizado, tal como el gel conductor. Incluso si existe un pequeño espacio de aire entre el transductor y la piel, la proporción de US que se refleja se acerca al 99,998% [1], lo que significa que no habrá una transmisión efectiva.

Además de la reflexión que se produce por las diferencias en la impedancia, también hay refracción si la onda no golpea el límite de la superficie a 90°. Esencialmente, la dirección del haz de US a través del segundo medio no será el mismo que su camino a través del medio original. El ángulo crítico para el haz de US en la interfaz de la piel parece ser alrededor de 15° [1]. Si el cabezal de tratamiento está a 15° o más con respecto al plano de la superficie de la piel, la mayoría del haz viajará a través de los tejidos dérmicos (es decir, paralelos a la superficie de la piel) y penetrará en los tejidos.

La absorción de energía de US sigue un patrón exponencial, es decir, en los tejidos superficiales se absorbe más energía que en los profundos. A medida que el haz penetra, una mayor cantidad de energía será absorbida y, por lo tanto, hay menor energía disponible para lograr efectos terapéuticos. A menudo se considera el valor medio de la profundidad del haz para representar la profundidad en los tejidos, en la cual la mitad de la energía superficial se encuentra disponible [1]. Este valor será diferente para cada tejido y para cada frecuencia.

Para que la energía haga efecto, debe de ser absorbida y debe ser considerada en las dosis aplicadas al paciente para lograr ciertos efectos. En la Tabla 1 se proporcionan las indicaciones típicas de los valores medios de profundidad para el ultrasonido terapéutico.

TABLA 1. Valores medios de la profundidad del haz en distintos tejidos [1].

Tejido	1 MHz	3 MHz
Músculo	9.0 mm	3.0 mm
Grasa	50.0 mm	16.5 mm
Tendones	6.2 mm	2.0 mm

Debido a que la transmisión de US (o penetración) no es la misma en los tejidos, hay algunos que tienen una mejor capacidad de absorción. Generalmente, los teji-

dos con un alto contenido proteico absorberán mejor el US que los tejidos con mayor porcentaje de agua y menor contenido de proteínas. Los mejores tejidos absorbentes son: ligamentos, tendones, fascias, cápsulas articulares y tejido cicatrizado.

Los efectos fisiológicos del US son casi idénticos al láser terapéutico y a las ondas pulsadas. Sin embargo, la diferencia clave es el tejido en el que es absorbido.

Partes de un equipo de ultrasonido

En general, un equipo de ultrasonido consiste en un generador de alta frecuencia, el cual está conectado a un cristal piezoeléctrico. Dicho cristal, se encuentra en el cabezal de aplicación. Una vez que se prende y comienza a pasar la corriente alterna, se genera la vibración ultrasónica la cual, se transmite al paciente.

Además, para el panel de control, debe de contar con un botón para ajustar la frecuencia, u botón de paro. En la pantalla LED, se deberá mostrar la frecuencia previamente seleccionada, el ciclo de trabajo, un temporizador o cronómetro y la intensidad de salida.



FIGURA 1. Valores medios de la profundidad del haz en distintos tejidos [1].

En este artículo se muestra un método de análisis cuantitativo y patentométrico, posteriormente se presentan los resultados, los cuales se discuten a detalle y finalmente se explican los indicadores de la información analizada en la sección de conclusiones.

MÉTODO SISTEMÁTICO DE ANÁLISIS

La metodología que se empleó para este artículo fue primero utilizar una estrategia de búsqueda y clasificación para la selección de artículos y patentes más afines al tema de estudio. Posteriormente se realizó una clasificación de los artículos y un análisis patentométrico de la información recabada conforme a aspectos como la clasificación de las patentes, un análisis de las partes del equipo, un análisis del tipo de terapia que pueden brindar, entre otros; estos aspectos se mencionan posteriormente.

Estrategia de búsqueda

Este artículo se condujo mediante una búsqueda literaria en las bases de datos de Google Académico, Scopus, Springer, Sage Journals, ScienceDirect y Academic.edu para el caso de los artículos y publicaciones científicas. Para la selección de estos se utilizaron operadores booleanos y sinónimos de las palabras que se muestran en la Tabla 2, con el fin de expandir los resultados de los motores de búsqueda.

TABLA 2. Bases de datos utilizadas para los artículos con sus entradas de búsqueda.

Base de Datos	Palabras Clave
Google Académico	ALL «ultrasound therapy»
Scopus/Sage Journals	ALL «ultrasound therapy» «ultrasound» AND «transductor» ALL «sonography transductor» ALL «ultrasound frequencies»
Springer/ScienceDirect	«ultrasound» AND «therapy» ALL «ultrasound transductor» «therapy» AND «ultrasound» OR «sonography»
Academic.edu	ALL «ultrasound therapy» AND «ultrasound devices»

Una vez que se obtuvieron los primeros resultados en cada base de datos, se utilizaron los siguientes criterios para restringir y seleccionar la información pertinente al tema.

Criterios de inclusión:

- Relacionados a las partes de un equipo de ultrasonido (consola, transductor, geles e insumos para su uso).
- Relacionado sobre las métricas para un equipo de ultrasonido (rango de frecuencias, tipo de transductor).
- Relacionado a equipo de ultrasonido enfocado a terapia.
- Relacionado a equipos de ultrasonido utilizados como terapia complementaria o estimuladores.
- Diseño de transductores.

Criterios de exclusión:

- Relacionados a equipos de ultrasonido utilizados como asistencia para estudios de imagenología.
- Relacionados a la comparación de calidad o resolución de imagen entre diferentes estudios radiológicos.
- Relacionados a la comparación entre el nivel de seguridad del paciente entre diferentes estudios radiológicos.
- Artículos anteriores al año 2005.

Se utilizaron las bases de datos de WIPO, USPTO, Patentscope, Invenes y Google Patents para el caso de las patentes, recurriendo de nuevo a entradas de búsqueda similares a las utilizadas en el caso de los artículos científicos, ver Tabla 3. Una vez obtenidos los primeros resultados de la búsqueda de estas patentes se emplearon criterios de inclusión y exclusión para poder tener un mayor enfoque de impacto tecnológico.

Criterios de inclusión:

- La patente pertenece a un equipo de ultrasonido o alguna de sus partes (consola de comando, transductor).

TABLA 3. Bases de datos utilizadas para las patentes con sus entradas de búsqueda.

Base de Datos	Palabras Clave
WIPO, USPTO	ALL «ultrasound therapy» ALL «ultrasound transductor» «ultrasound» AND «transductor»
Patentscope, Invenes	ALL «ultrasound therapy» ALL «sonography transductor»
Google Patents	«ultrasound» AND «therapy» ALL «ultrasound transductor» «therapy» AND «ultrasound» OR «sonography»

- Las frecuencias del transductor permiten su uso como herramienta de terapia.
- La patente puede estar registrada en cualquier oficina de patentes de cualquier país (por ejemplo, Alemania, China, US).

Criterios de exclusión:

- Relacionados a otros equipos médicos, que incorporen el uso del ultrasonido como herramienta de diagnóstico para alguna enfermedad.
- Relacionados a sistemas complementarios al equipo de ultrasonido (tarjetas de control de radiofrecuencia, fuentes de poder para la consola).
- Las patentes sean encontradas en más de una base de datos; se consideró sólo la patente encontrada en la primera base de datos para evitar la duplicación de información.
- Patentes anteriores al año 1988, considerando un avance lento en desarrollo y gestión administrativa en el tema de patentes.

Finalmente, para la revisión literaria, se realizó una segunda revisión analítica a los artículos recabados para rectificar la información reunida y disminuir los casos en los que se duplica información. En las patentes se revisó el título y el resumen, ya que en estos se describen las características principales de cada una.

Alrededor de 67,000 artículos y publicaciones científicas, y 421 patentes fueron identificadas en el periodo comprendido entre 1988 y 2019; de los cuales 129 artículos y 16 patentes fueron seleccionadas para este artículo, debido principalmente a los criterios de inclusión y exclusión.

Método de comparación

Para analizar los artículos recabados se elaboró una compilación de información (Figura 2) que permitió abarcar las principales características de un equipo de ultrasonido para terapia, desde el tipo de transductores utilizados hasta el tipo de terapias brindadas, para poder tener un condensado de estas características.



FIGURA 2. Marco de compilación de la información para los artículos.

Para el caso de las patentes se realizó un análisis patentométrico que en general tuvo por objetivo realizar una revisión entre las partes de cada dispositivo, y la condición de las patentes a un nivel global, contemplando desde la clasificación que tienen hasta el país de registro con el fin de obtener una visión global del desarrollo de equipos en este tema, pudiendo así obtener también una guía de información para trabajos futuros en este tema.



FIGURA 3. Enfoque de comparación para las patentes.

Para el esquema de la parte de patentes representado por la Figura 3, se efectuó un análisis que consistió en categorizar el equipo en cuanto a la clasificación que tiene asignada y el país de origen de cada patente; además, se elaboró una línea de tiempo con la fecha en la que fue otorgada la patente de cada equipo para ayudar a ilustrar la visión del desarrollo de equipos en este tema y determinar el crecimiento del registro de patentes en el periodo de años escogido, ver Figura 5.

Se tomó en cuenta la clasificación de cada patente como elemento del análisis patentométrico con el fin de obtener un panorama de la forma en que los fabricantes categorizan estos equipos; sin embargo, también se consideró el estado de la patente, mismo que se puede catalogar dentro de alguno de los siguientes apartados [129]:

- A: solicitud de patente (A1 con informe sobre el estado de la técnica, A2 sin informe)
- B: Patente de invención, ya es concedida (B1 sin examen previo, B2 con examen previo)
- C: documentos emitidos en la serie, comunicando a la oficina internacional
- U: solicitud de modelo de utilidad.

RESULTADOS

Resumen de la colección literaria y del marco

Para los artículos y publicaciones científicas se encontró información que abarca temas centrados en la conformación de un equipo de ultrasonido y el rango de frecuencias que utiliza, así como el tipo de terapia que se puede ofrecer usando como herramienta el equipo de ultrasonido.

De forma similar para el análisis patentométrico, se redujo el número de patentes que se recabaron a 15 debido principalmente a que la mayoría de los equipos contaban con componentes muy similares y a que el número de patentes que reunía ambos criterios de inclusión y exclusión fue reducido, a pesar del aparente extenso número de patentes encontradas fuera de estos criterios. Un esquema del proceso de selección para artículos y patentes se aprecia en la Figura 4.

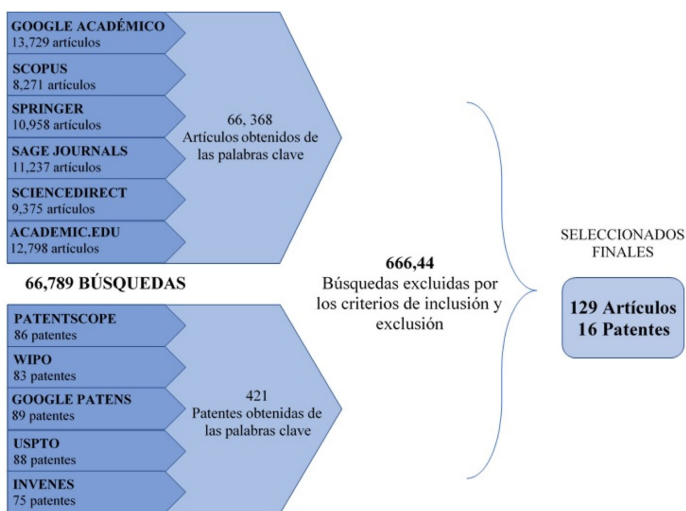


FIGURA 4. Resultados de la búsqueda literaria.

Análisis ciencia métrico

El conocimiento generado en el tema de los equipos de ultrasonido terapéuticos inició desde el año 1938; sin embargo, nuestra referencia más antigua es del año 1995 hasta llegar al año actual, ver Figura 5. El año 2002 y el año 2012 no están incluido ya que los artícu-

los de esos años no cumplían los criterios de inclusión. Sin embargo, se puede observar un incremento en el número de publicaciones en los últimos años.

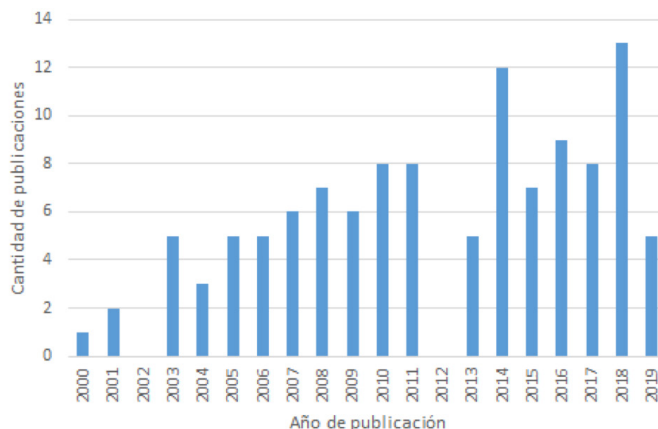


FIGURA 5. Tasa de publicación de artículos.

La distribución geográfica de los artículos publicados predomina en el continente americano: Estados Unidos de América, contando con un total de 95 publicaciones; seguido por el continente europeo, con 15 publicaciones; y, finalmente, el continente asiático con 7 artículos publicados, ver Figura 6.

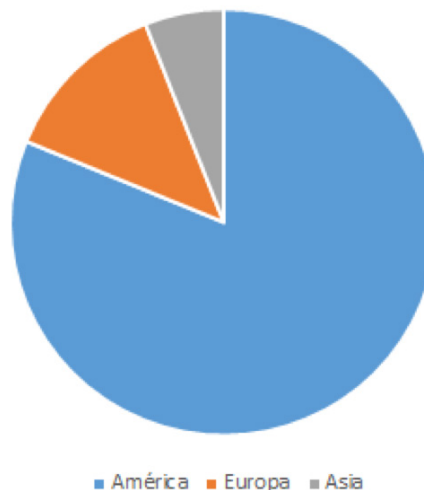


FIGURA 6. Tasa de publicación de artículos.

Las referencias del presente análisis se clasificaron en cuatro categorías, las cuáles son abordadas en la Tabla 4: características generales (A), efectividad (B), diseño

de piezas específicas (C) y futuras aplicaciones (D); dichas categorías se eligieron debido a los principales temas en los artículos.

TABLA 4. Artículos clasificados de acuerdo con su contenido.

Categoría	Número de Artículos	Porcentaje (%)
A	14	11.8644 %
B	69	58.4745 %
C	24	20.3389 %
D	11	9.3220 %
Total	128	100 %

Para entrar en las distintas categorías, los artículos deben cumplir con ciertas características:

1. Características Generales: Cualidades técnicas y parámetros que permiten el funcionamiento del equipo de ultrasonido terapéutico. Tales como: medición de las dosis terapéuticas [19] [54] [72] [110], apego a la normatividad [48] [50], seguridad clínica [82] [86], informativo [91] [105] [113] y calibración [100] [107] [119].
2. Efectividad: Estudios clínicos que comprueban su efectividad al disminuir el dolor, la inflamación, aumenta la movilidad, disminuye el tiempo de recuperación de la articulación de distintas patologías [11] [12] [15-18] [22] [24-31] [35-45] [52] [55] [56] [58-63] [65-71] [74] [77] [88] [89] [92-98] [101] [103] [106] [108] [109] [111] [112] [115] [118] [120-124].
3. Piezas específicas: Diseño o análisis de algún elemento en específico que corresponde a un dispositivo de ultrasonido; sobre todo de transductores [14] [33] [34] [46] [57] [64] [73] [75] [76] [78] [79] [81] [84] [87] [99] [116] [117] [125] [126], algoritmo de análisis [20] y protección del circuito de alta frecuencia [32] [53] [80] [102].
4. Futuras aplicaciones: innovación y nuevos enfoques [13] [14] [23] [47] [49] [51] [85] [90] [114] [127] [128].

Análisis patentométrico

En esta sección se muestra el progreso global respecto a las patentes de equipos de ultrasonido utilizados para brindar terapia -ver Figura 8-, en donde se ejemplifica la evolución de la concesión de patentes en el periodo de tiempo escogido para este análisis, el cual comprende de 1988 al 9 de mayo de 2019.

No se tomaron en cuenta las patentes de las categorías C o U, debido a que los criterios de inclusión y exclusión eliminaron patentes de estas categorías para este artículo.

TABLA 5. Listado de patentes de acuerdo con su clasificación internacional.

Clasificación Internacional (IPC)	PATENTE
A61B 10/00	US 1988/4757820 A1 [131]
A61B 17/22	EP 3 236 467 A1 [132]
A61B 17/32	US 2018/10070883 B2 [133]
A61B 5/02	US 2019/0053787 A1 [134]
A61B 8/00	EP 3 236 467 A1 [132] US 2019/0053787 A1 [134] US 2019/0076130 A1 [135] US 2003/6612988 B2 [138]
A61B 8/08	US 2019/0053787 A1 [134] US 2003/6612988 B2 [138]
A61B 8/12	US 2019/0053787 A1 [134] US 2006/7128711 B2 [137]
A61F 7/00	US 2007/7211055 B2 [139]
A61H 1/00	US 2011/8057408 B2 [140] US 1995/5460595 A1 [141] US 1995/5413550 A1 [145] US 1988/4791915 A1 [146]
A61H 23/02	US 2006/7128711 B2 [137]
A61N 7/00	EP 3 236 467 A1 [132] US 2019/0076130 A1 [135] US 2016/0008633 A1 [143] US 1997/5601526 A1 [144]
A61N 7/02	US 2019/0076130 A1 [135] WO 2018/031901 A1 [136]
B06B 1/02	US 2019/0076130 A1 [135]
B06B 1/06	US 2019/0053787 A1 [134]
A61B 10/00	US 1988/4757820 A1 [142]
A61B 17/22	EP 3 236 467 A1 [132]

Se realizó una clasificación de acuerdo a la manera en la que las patentes reciben su clasificación internacional (IPC, *International Patent Classification*); esta clasificación específica cómo estas son consideradas y las implicaciones que deben de contemplar, ver Tabla 5, ya que esta categorización varía respecto con la letra con la que empiece, siendo alguna de las siguientes ocho clases [130]:

- a. Necesidades corrientes de la vida
- b. Técnicas industriales diversas; transportes
- c. Química; metalurgia
- d. Textiles, papel
- e. Construcciones fijas
- f. Mecánica; Iluminación; Calefacción; Armamento; Voladura
- g. Física
- h. Electricidad

Las patentes se clasifican, primero, de acuerdo con la clase; después por la subclase y, por último, tomando en cuenta el grupo. Las tres clasificaciones con mayor número de patentes son:

- A61B 8/00 (A: Necesidades humanas, 61: Ciencia médica o veterinaria/higiene, B: Identificación/diagnóstico/cirugía, 8/00: diagnóstico usando ondas ultrasónicas, sónicas infrasónicas) con un número de patentes equivalente al 18% del total.
- A61H 1/00 (A: Necesidades humanas, 61: Ciencia médica o veterinaria/higiene, B: Dispositivos de terapia física, 1/00: aparatos para ejercicio pasivo/aparatos vibratorios) con el 15% del total de patentes.
- A61N 7/00 (A: Necesidades humanas, 61: Ciencia médica o veterinaria/higiene, B: Electroterapia, magnetoterapia, terapia con radiación/ultrasonido, 7/00: terapia con ultrasonido) con el 18% del total de patentes, ver figura 7.

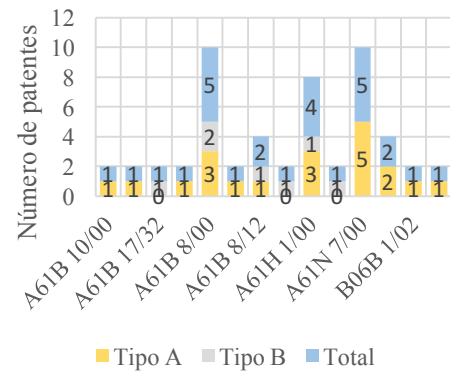


FIGURA 7. IPC de las patentes.

Anexo a esta gráfica se realizó una tabla con las patentes y su clasificación internacional (IPC), para una rápida identificación en la literatura recabada, ver Tabla 5.

En la Figura 8 se muestra cuáles son los países que tienen un mayor impacto en cuanto al número de patentes relacionadas a equipos de ultrasonido utilizados en terapia, registrados en sus oficinas de patentes. Para este artículo, la oficina con el mayor número de patentes registradas fue Estados Unidos, con 15 patentes, equivalentes al 94% del total de patentes recabadas, aun cuando se utilizaron diferentes motores de búsqueda para la captura de las licencias de patentes de reunidas. La única patente que se obtuvo fuera de este país fue registrada en Francia, en las oficinas de la Unión Europea.

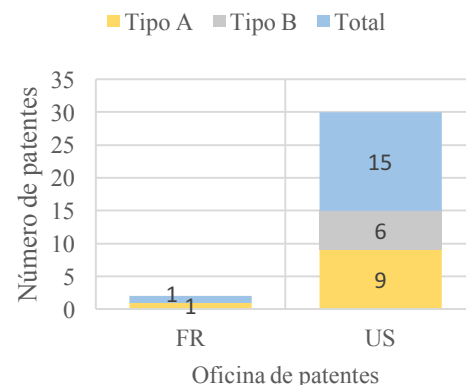


FIGURA 8. Distribución geográfica de publicación.

Finalmente, en la Figura 9 se aprecia la demanda en solicitudes de patentes para equipos que cumplieran con ambos criterios de inclusión y exclusión para este artículo.

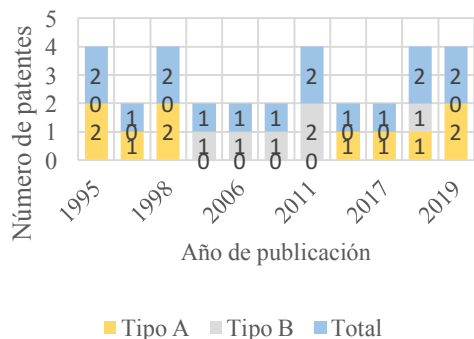


FIGURA 9. Tasa de publicación de patentes.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El crecimiento del número de publicaciones en comparación con el siglo XX, significa que la terapia ultrasónica está ganando atención, lo que impacta directamente en el desarrollo tecnológico y en la producción científica: en especial en los años recientes; ya que el 58% de publicaciones están en el periodo de la última década; tal y como se puede observar en la Tabla 4.

El desarrollo científico en el ultrasonido ha ocasionado la creación de nuevas revistas o comunicaciones científicas específicas en este tema. Dichas revistas, son del país con más publicaciones, el cual es: Estados Unidos de América, como se observa en la Figura 8; ya que en este país se encuentran conglomeradas las instituciones que investigan y analizan el ultrasonido. Además, se puede observar en la Tabla 4, que el tema predominante de las publicaciones analizadas es la efectividad que tiene la terapia ultrasónica, tanto en animales como en humanos; ya que en el pasado no se tenía certeza de que el US fuera realmente efectivo contra ciertas patologías o lesiones en el organismo; lo que ocasionó el desarrollo de estas investigaciones para obtener datos cuantitativos sobre esta terapia. Debido a estas investigaciones, se puede desprender

las categorías C y D. Dichas categorías, hablan sobre el desarrollo e innovación de piezas específicas para aumentar la efectividad del US o la modificación de la técnica de US terapéutico para otras aplicaciones; tales como el tratamiento del cáncer o la entrega de fármacos en un lugar específico.

En el caso de las patentes es notable destacar las principales categorías en que estas se clasifican para nivel internacional, siendo estas catalogadas como ciencias médicas para necesidades humanas, ya sea con equipos de identificación y diagnóstico o como dispositivos de electroterapia o terapia con ultrasonido, como se muestra en la Figura 7.

Respecto al país de procedencia de estas patentes el principal país de origen fue Estados Unidos, como se observa en la Figura 8 y de la misma manera que en el análisis cuantitativo, debido nuevamente al gran número de instituciones enfocadas a realizar estudios en el tema del ultrasonido y sus efectos en este país.

Finalmente, con ayuda de la Figura 9 se puede notar uniformidad en el número de publicaciones por año referentes al tema del ultrasonido, indicando un enfoque persistente en este tema, notando un pequeño aumento en el número de publicaciones en los últimos años; este aumento podría ser mejor apreciado de no ser por el limitado número de patentes analizadas para este artículo, el cual se realizó con prioridad en el análisis de artículos de investigación.

CONCLUSIONES

Esta investigación se realizó con base en un nuevo enfoque para definir el panorama de conocimiento tecnológico respecto al US con un modelo de datos híbridos, que combina el análisis científico y tecnológico. Muchas referencias indican que es una terapia ampliamente utilizada y con gran efectividad; sin embargo, no se encuentran estudios enfocados para el usuario primario, es decir, el fisioterapeuta.

Se concluye que existe una tasa de crecimiento de los desarrollos en sistemas de ultrasonido del 58 % en la última década, predominantemente en Estados Unidos de América, centrados en la efectividad de la terapia por ultrasonido tanto para experimentación como

para tratamiento de enfermedades en humanos y animales, también en este análisis se muestra evidencia de la tendencia en los desarrollos de equipos de ultrasonido enfocados principalmente en transductores de mayor capacidad.

REFERENCIAS

- [1] Watson, T. (2008). Ultrasound in contemporary physiotherapy practice. *Ultrasonics*, 48(4), pp.321-329. DOI: [10.1016/j.ultras.2008.02.00](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2008.02.00)
- [2] Mason, T. (2011). Therapeutic ultrasound an overview. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), pp.847-852. DOI: [10.1016/j.ultsonch.2011.01.004](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.01.004)
- [3] Schabrun, S., Walker, H. and Chipchase, L. (2008). How Accurate are Therapeutic Ultrasound Machines Hong Kong Physiotherapy Journal, 26(1), pp.39-44. DOI: [10.1016/s1013-7025\(09\)70006-5](https://doi.org/10.1016/s1013-7025(09)70006-5)
- [4] Jaen, A. (2004). Prevención de lesiones de espalda en personal sanitario en una residencia geriátrica: Ergonomía, seguridad e higiene. 3, pp.1-90.
- [5] Bustamante, E. (2016). Lesiones musculoesqueléticas presentes en fisioterapeutas, factores de riesgo y prevención. Escuela Superior de Rehabilitación (INR LGII).
- [6] Ultrasound Efficacy. (2004). *Physical Therapy*. DOI: [10.1093/ptj/84.10.982](https://doi.org/10.1093/ptj/84.10.982)
- [7] Paola Paolinelli, G. (2013). Principios físicos e indicaciones clínicas del ultrasonido doppler. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24(1), pp.139-148. DOI: [10.1016/S0716-8640\(13\)70139-1](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70139-1)
- [8] Kossoff G. Basic physics and imaging characteristics of ultrasound. *World J Surg* 2000; 24:134-42. DOI: [10.1007/s002689910026](https://doi.org/10.1007/s002689910026)
- [9] Aldrich, J. (2007). Basic physics of ultrasound imaging. *Critical Care Medicine*, 35(Suppl), pp. S131-S137. DOI: [10.1097/01.CCM.0000260624.99430.22](https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000260624.99430.22)
- [10] SoundCare plus. Instruction Manual. (2015). [ebook] Current Solutions LLC. Available at: <http://www.currentsolutionsnow.com> [Accessed 4 May 2019].
- [11] Krukowska, J., Wrona, J., Sienkiewicz, M. and Czernicki, J. A comparative analysis of analgesic efficacy of ultrasound and shock wave therapy in the treatment of patients with inflammation of the attachment of the plantar fascia in the course of calcaneal spurs. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2016; 136(9): pp.1289-1296. DOI: [10.1007/s00402-016-2503-z](https://doi.org/10.1007/s00402-016-2503-z)
- [12] Cheing, G., Chang, H. and Lo, S. A comparison of the effectiveness of extracorporeal shock wave and ultrasound therapy in the management of heel pain. *Shock Waves*. 2007; 17(3): pp.195-201. DOI: [10.1007/s00193-007-0102-1](https://doi.org/10.1007/s00193-007-0102-1)
- [13] Dedovich, N., Romanov, A. and Ulashchik, V. (2018). A Device for Phono-electrotherapy. *Biomedical Engineering*. 2018; 52(1): pp.42-45. DOI: [10.1007/s10527-018-9778-z](https://doi.org/10.1007/s10527-018-9778-z)
- [14] Hsieh, B., Kim, J., Zhu, J., Li, S., Zhang, X. and Jiang, X. A laser ultrasound transducer using carbon nanofibers-polydimethylsiloxane composite thin film. *Applied Physics Letters*. 2015; 106(2): p.021902. DOI: [10.1063/1.4905659](https://doi.org/10.1063/1.4905659)
- [15] Warden, S. A New Direction for Ultrasound Therapy in Sports Medicine. *Sports Medicine*. 2003; 33(2): pp.95-107. DOI: [10.2165/00007256-200333020-00002](https://doi.org/10.2165/00007256-200333020-00002)
- [16] Ogawa, T., Ochiai, N., Tanaka, T., Hara, Y. and Nishiura, Y. A new treatment strategy for Kienböck's disease: combination of bone marrow transfusion, low-intensity pulsed ultrasound therapy, and external fixation. *Journal of Orthopaedic Science*. 2013; 18(2): pp.230-237. DOI: [10.1007/s00776-012-0332-7](https://doi.org/10.1007/s00776-012-0332-7)
- [17] He, G., Luo, W., Zhou, X., Liu, L., Yu, M. and Ma, X. (2011). A preliminary clinical study on high-intensity focused ultrasound therapy for tubal pregnancy. *Scottish Medical Journal*. 2011; 56(4): pp.214-219. DOI: [10.1258/smj.2011.011161](https://doi.org/10.1258/smj.2011.011161)
- [18] Wood, A. and Sehgal, C. (2015). A Review of Low-Intensity Ultrasound for Cancer Therapy. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2015; 41(4): pp.905-928. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2014.11.019](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.11.019)
- [19] Li, Q., Wu, J. and Zhang, Y. A Study of Applications of Medical Piezoelectrical Ultrasonic Transducer Materials and the Transducers. *Studies in System Science*. 2014; 2: 46-53.
- [20] Lean H, Zhou Y. Acoustic Field of Phased-Array Ultrasound Transducer with the Focus/Foci Shifting. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2019. DOI: [10.1007/s40846-019-00464-z](https://doi.org/10.1007/s40846-019-00464-z)
- [21] Chung J, Barua S, Choi B, Min B, Han H, Baik E. Anti-inflammatory effect of low intensity ultrasound (LIUS) on complete Freund's adjuvant-induced arthritis synovium. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2012;20(4):314-322. DOI: [10.1016/j.joca.2012.01.005](https://doi.org/10.1016/j.joca.2012.01.005)
- [22] Baker, KG. and Robertson VJ. A Review of Therapeutic Ultrasound: Biophysical Effects. *Physical Therapy*. *Phys Ther*. 2001;81:1351-1358n. DOI: [10.1093/ptj/81.7.1351](https://doi.org/10.1093/ptj/81.7.1351)
- [24] Rocha, S. Nunes, L. and Pererira, A. Avaliação Da Potência Ultrassônica Durante Um Ano De Um Equipamento De Ultrassom Fisioterápêutico. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica. 2014.
- [25] Abrunhosa V, Mermelstein C, Costa M, Costa-Felix R. Biological response in vitro of skeletal muscle cells treated with different intensity continuous and pulsed ultrasound fields. *Journal of Physics: Conference Series*. 2011;279:012022. DOI: [10.1088/1742-6596/279/1/012022](https://doi.org/10.1088/1742-6596/279/1/012022)
- [26] Lin J, Adler R, Bracilovic A, Cooper G, Sofka C, Lutz G. Clinical Outcomes of Ultrasound-Guided Aspiration and Lavage in Calcific Tendinosis of the Shoulder. *HSS Journal*. 2006;3(1):99-105. DOI: [10.1007/s11420-006-9037-9](https://doi.org/10.1007/s11420-006-9037-9)
- [27] Larkin J, Soden D, Collins C, Tangney M, Preston J, Russell L et al. Combined electric field and ultrasound therapy as a novel anti-tumour treatment. *European Journal of Cancer*. 2005;41(9):1339-1348. DOI: [10.1016/j.ejca.2005.01.025](https://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.01.025)
- [28] Bayat M, Virdi A, Jalalifirouzkouhi R, Rezaei F. Comparison of effects of LLLT and LIPUS on fracture healing in animal models and patients: A systematic review. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2018;132:3-22. DOI: [10.1016/j.pbiomolbio.2017.07.004](https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2017.07.004)
- [29] Coradini, J., Mattjie, T., Bernardino, G., Peretti, A., Kakihata, C., Errero, T., Escher, A. and Bertolini, G. Comparison of low level laser, ultrasonic therapy and association in joint pain in Wistar rats. *Revista Brasileira de Reumatologia (English Edition)*. 2014; 54(1): pp.7-12. DOI: [10.1016/j.rbre.2013.06.003](https://doi.org/10.1016/j.rbre.2013.06.003)
- [30] Ay, S., Doğan, Ş., Evcik, D. and Başer, Ö. Comparison the efficacy of phonophoresis and ultrasound therapy in myofascial pain syndrome. *Rheumatology International*. 2010; 31(9): pp.1203-1208. DOI: [10.1007/s00296-010-1419-0](https://doi.org/10.1007/s00296-010-1419-0)
- [31] Leung, K., Lee, W., Tsui, H., Liu, P. and Cheung, W. Complex tibial fracture outcomes following treatment with low-intensity pulsed ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2003; 30(3): pp.389-395. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2003.11.008](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2003.11.008)

- [32] Choi, H. and Shung, K. Crossed SMPS MOSFET-based protection circuit for high frequency ultrasound transceivers and transducers. *BioMedical Engineering OnLine*. 2014;13(1):p.76. DOI: [10.1186/1475-925x-13-7](https://doi.org/10.1186/1475-925x-13-7)
- [33] Chen, G., Chang, H., Kuo, Y., Lin, W., Chen, W. and Tseng, W. Design and fabrication of a wide-aperture HIFU Annular Array Transducer for Treatment of Deep-Seated Tumors. *American Institute of Physics*. 2011; 2015: pp. 215-222. DOI: [10.1063/1.3607908](https://doi.org/10.1063/1.3607908)
- [34] Cristiano, J., Villamizar, R. and Cristancho, J. Diseño y Construcción de un Equipo Generador de Ondas Ultrasónicas para Fisioterapia. *Scientia et Technica*. 2009; 42: pp. 309-315.
- [35] Hsieh Y, Chen H, Yang C. Early Intervention with Therapeutic Low-Intensity Pulsed Ultrasound in Halting the Progression of Post-traumatic Osteoarthritis in a Rat Model. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2018;44(12):2637-2645. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2018.08.00](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.08.00)
- [36] Zahoor T, Mitchell R, Bhasin P, Guo Y, Paudel S, Schon L et al. Effect of Low-Intensity Pulsed Ultrasound on Joint Injury and Post-Traumatic Osteoarthritis: An Animal Study. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2018;44(1):234-242. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2017.09.014](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2017.09.014)
- [37] Loyola-Sánchez A, Richardson J, Beattie K, Otero-Fuentes C, Adachi J, MacIntyre N. Effect of Low-Intensity Pulsed Ultrasound on the Cartilage Repair in People with Mild to Moderate Knee Osteoarthritis: A Double-Blinded, Randomized, Placebo-Controlled Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2012;93(1):35-42. DOI: [10.1016/j.apmr.2011.07.196](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.07.196)
- [38] Handolin L, Kiljunen V, Arnala I, Kiuru M, Pajarinen J, Partio E et al. Effect of ultrasound therapy on bone healing of lateral malleolar fractures of the ankle joint fixed with bioabsorbable screws. *Journal of Orthopaedic Science*. 2005;10(4):391-395. DOI: [10.1007/s00776-005-0901-0](https://doi.org/10.1007/s00776-005-0901-0)
- [39] Zeng, C., Li, T., Yang, Z-h. and Deng, Y. Effectiveness of continuous and pulsed ultrasound for the management of knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2014; 22: pp.1090-1099.
- [40] Bashardoust Tajali S, Houghton P, MacDermid J, Grewal R. Effects of Low-Intensity Pulsed Ultrasound Therapy on Fracture Healing. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2012;91(4):349-367. DOI: [10.1097/phm.0b013e31822419ba](https://doi.org/10.1097/phm.0b013e31822419ba)
- [41] Schuhfried O, Vukanovic D, Kollmann C, Pieber K, Paternostro-Sluga T. Effects of Pulsed Ultrasound Therapy on Sensory Nerve Conduction Parameters and the Pain Threshold Perceptions in Humans. *PM&R*. 2016;9(8):781-786. DOI: [10.1016/j.pmrj.2016.11.009](https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.11.009)
- [42] Luo Q, Ji S, Li Z, Huang T, Fan S, Xi Q. Effects of ultrasound therapy on the synovial fluid proteome in a rabbit surgery-induced model of knee osteoarthritis. *BioMedical Engineering OnLine*. 2019;18(1). DOI: [10.1186/s12938-019-0637-2](https://doi.org/10.1186/s12938-019-0637-2)
- [43] Király, M., Varga, Z., Szanyó, F., Kiss, R., Hodosi, K. and Bender, T. (2017). Effects of underwater ultrasound therapy on pain, inflammation, hand function and quality of life in patients with rheumatoid arthritis - a randomized controlled trial. DOI: [10.1016/j.bjpt.2017.04.002](https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.04.002)
- [44] Rastogi A, Bhansali A, Ramachandran S. Efficacy and Safety of Low-Frequency, Noncontact Airborne Ultrasound Therapy (Glybetac) For Neuropathic Diabetic Foot Ulcers: A Randomized, Double-Blind, Sham-Control Study. *The International Journal of Lower Extremity Wounds*. 2019;18(1):81-88. DOI: [10.1177/1534734619832738](https://doi.org/10.1177/1534734619832738)
- [45] Loyola-Sánchez A, Richardson J, MacIntyre N. Efficacy of ultrasound therapy for the management of knee osteoarthritis: a systematic review with meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2010;18(9):1117-1126. DOI: [10.1016/j.joca.2010.06.010](https://doi.org/10.1016/j.joca.2010.06.010)
- [46] Li C, Yang Y, Guo X, Tu J, Huang P, Li F et al. Enhanced ultrasonic focusing and temperature elevation via a therapeutic ultrasonic transducer with sub-wavelength periodic structure. *Applied Physics Letters* [Internet]. 2017 [cited 19 April 2019];111(5):053701. DOI: [10.1063/1.4990772](https://doi.org/10.1063/1.4990772)
- [47] Luo W, Zhou X, Tian X, Ren X, Zheng M, Gu K et al. Enhancement of ultrasound contrast agent in High-Intensity focused ultrasound ablation. *Advances in Therapy* [Internet]. 2006 [cited 19 April 2019];23(6):861-868. DOI: [10.1007/bf02850207](https://doi.org/10.1007/bf02850207)
- [48] Shaw A, Martin E, Haller J, Ter Haar G. Equipment, measurement and dose a survey for therapeutic ultrasound. *Journal of Therapeutic Ultrasound*. 2016;4(1). DOI: [10.1186/s40349-016-0051-1](https://doi.org/10.1186/s40349-016-0051-1)
- [49] Farrelly I. Evaluation of a device combining electrostimulation and ultrasound in the treatment of non-healing chronic leg ulcers. *Wounds*. 2017;8(3).
- [50] Ferrari C, Andrade M, Adamowski J, Guirro R. Evaluation of therapeutic ultrasound equipments performance. *Ultrasonics*. 2010;50(7):704-709. DOI: [10.1016/j.ultras.2010.02.006](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2010.02.006)
- [51] Lima L, Silva Costa Junior J, Costa R, Omena T, Von Kruger M, A Pereira W. Exatidão Da Potência Acústica De Equipamentos Comerciais De Ultrassom Fisioterapêutico. *ResearchGate*. 2012.
- [52] Ye F, Xia C, Xia R. Experimental Study on Low Intensity Ultrasound and Tissue Engineering to Repair Segmental Bone Defects. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*. 2006;71(2):395-409. DOI: [10.1007/s](https://doi.org/10.1007/s)
- [53] Gutierrez M, Lopez-Haro S, Vera A, Lejia L. Experimental Verification of Modeled Thermal Distribution Produced by a Piston Source in Physiotherapy Ultrasound. *BioMed Research International*. 2016;2016:16. DOI: [10.1155/2016/5484735](https://doi.org/10.1155/2016/5484735)
- [54] Ter Haar G, Shaw A, Pye S, Ward B, Bottomley F, Nolan R et al. Guidance on Reporting Ultrasound Exposure Conditions for Bio-Effects Studies. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2011;37(2):177-183. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2010.10.021](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.10.021)
- [55] NOLTE P, STRAUSS E, ANDERSON R, WANG Z, HU L, XU Z et al. Heal rate of metatarsal fractures: A propensity-matching study of patients treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) vs. surgical and other treatments. *Elsevier*. 2016;20(13). DOI: [10.1016/j.injury.2016.09.023](https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.09.023)
- [56] Leighton R, Watson J, Giannoudis P, Papakostidis C, Harrison A. Healing of fracture nonunions treated with low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS): A systematic review and meta-analysis. *Injury*. 2019;48(7):9. DOI: [10.1016/j.injury.2017.05.016](https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.05.016)
- [57] Morrison, K., Keilman, G. and Miao, C. High intensity ultrasound transducer used in Gene Transfection. *AIP Conference Proceedings*. 2012; 288: pp. 289-292.

- [58] Dogra V, Zhang M, Bhatt S. High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU) Therapy Applications. *Ultrasound Clinics*. 2009;4(3):307-321. DOI: [10.1016/j.cult.2009.10.005](https://doi.org/10.1016/j.cult.2009.10.005)
- [59] Roussignol X, Currey C, Duparc F, Dujardin F. Indications and results for the Exogen™ ultrasound system in the management of non-union: A 59-case pilot study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2012;98(2):206-213. DOI: [10.1016/j.otsr.2011.10.011](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.10.011)
- [60] Guerino M, Santi F, Silveira R, Luciano E. Influence of Ultrasound and Physical Activity on Bone Healing. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2008;34(9):1408-1413. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2008.02.006](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.02.006)
- [61] Mirza Y, Teoh K, Golding D, Wong J, Nathdwawala Y. Is there a role for low intensity pulsed ultrasound (LIPUS) in delayed or nonunion following arthrodesis in foot and ankle surgery? *Foot and Ankle Surgery*. 2018. DOI: [10.1016/j.fas.2018.11.004](https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.11.004)
- [62] Jingushi S, Mizuno K, Matsushita T, Itoman M. Low-intensity pulsed ultrasound treatment for postoperative delayed union or nonunion of long bone fractures. *Journal of Orthopaedic Science*. 2007;12(1):35-41. DOI: [10.1007/s00776-006-1080-3](https://doi.org/10.1007/s00776-006-1080-3)
- [63] Salem K, Schmelz A. Low-intensity pulsed ultrasound shortens the treatment time in tibial distraction osteogenesis. *International Orthopaedics*. 2014;38(7):1477-1482. DOI: [10.1007/s00264-013-2254-1](https://doi.org/10.1007/s00264-013-2254-1)
- [64] Wevers M, Lafaut J, Baert L, Chilibon I. Low-frequency ultrasonic piezoceramic sandwich transducer. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2005;122(2):284-289. DOI: [10.1016/j.sna.2005.05.009](https://doi.org/10.1016/j.sna.2005.05.009)
- [65] Sai-Chuen, F., Shum, W. and Hung, L. Low-Intensity Pulsed Ultrasound on Tendon Healing: A Study of the effect of Treatment Duration and Treatment Initiation. *The American Journal of Sports Medicine*. 2008;36(9):pp. 1742-1750. DOI: [10.1177/0363546508318193](https://doi.org/10.1177/0363546508318193)
- [66] Tassinary J, Lunardelli A, Basso B, Dias H, Catarina A, Stülpe S et al. Low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) stimulates mineralization of MC3T3-E1 cells through calcium and phosphate uptake. *Ultrasonics*. 2018;84:290-295. DOI: [10.1016/j.ultras.2017.11.011](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.11.011)
- [67] Hemery X, Ohl X, Saddiki R, Barresi L, Dehoux E. Low-intensity pulsed ultrasound for non-union treatment: A 14-case series evaluation. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2011;97(1):51-57. DOI: [10.1016/j.otsr.2010.09.016](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2010.09.016)
- [68] Sekino J, Nagao M, Kato S, Sakai M, Abe K, Nakayama E et al. Low-intensity pulsed ultrasound induces cartilage matrix synthesis and reduced MMP13 expression in chondrocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2018;506(1):290-297. DOI: [10.1016/j.bbrc.2018.10.063](https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.10.063)
- [69] Nakao J, Fujii Y, Kusuyama J, Bandow K, Kakimoto K, Ohnishi T et al. Low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) inhibits LPS-induced inflammatory responses of osteoblasts through TLR4-MyD88 dissociation. *Bone*. 2014;58:17-25. DOI: [10.1016/j.bone.2013.09.018](https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.09.018)
- [70] Fu, S., Shum, W., Hung, L., Wong, M., Qin, L. and Chan, K. (2008). Low-Intensity Pulsed Ultrasound on Tendon Healing. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(9), pp.1742-1749. DOI: [10.1177/0363546508318193](https://doi.org/10.1177/0363546508318193)
- [71] Ying, Z., Lin, T. and Yan, S. (2012). Low-intensity pulsed ultrasound therapy: a potential strategy to stimulate tendon-bone junction healing. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 13(12), pp.955-963. DOI: [10.1631/jzus.b1200129](https://doi.org/10.1631/jzus.b1200129)
- [72] Alvarenga, A. and Costa-Félix, R. (2010). Metrological aspects on therapeutic ultrasound parameters: effective radiating area and non-uniformity ration. *Physics Procedia*, 3(1), pp.643-649. DOI: [10.1016/j.phpro.2010.01.081](https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.081)
- [73] Wang, T., Kobayashi, T. and Lee, C. (2015). Micromachined piezoelectric ultrasonic transducer with ultra-wide frequency bandwidth. *Applied Physics Letters*, 106(1), p.013501. DOI: [10.1063/1.4905441](https://doi.org/10.1063/1.4905441)
- [74] Mortazavi, S., Mortazavi, S. and Paknahad, M. (2016). Mode & mechanism of low intensity pulsed ultrasound (LIPUS) in fracture repair. *Ultrasonics*, 71, p.142. DOI: [10.1016/j.ultras.2016.06.006](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2016.06.006)
- [75] Iglesias, E., de Frutos, J. and Montero de Espinosa, F. (2015). Modelado de transductores ultrasónicos piezoeléctricos para fisioterapia. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 54(6), pp.231-235. DOI: [10.1016/j.bsevcv.2015.10.002](https://doi.org/10.1016/j.bsevcv.2015.10.002)
- [76] Villamizar, R., Quiroga, J. and Barajas, W. (2011). Modelo funcional para la generación y monitorización de señales piezoactuadas. XVII International Congress of Electronic, Electrical and Systems Engineering, pp.196-204
- [77] Gurkan, I., Ranganathan, A., Yang, X., Horton, W., Todman, M., Huckle, J., Pleshko, N. and Spencer, R. (2010). Modification of osteoarthritis in the guinea pig with pulsed low-intensity ultrasound treatment. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18(5), pp.724-733. DOI: [10.1016/j.joca.2010.01.006](https://doi.org/10.1016/j.joca.2010.01.006)
- [78] Sun, X., Yan, J., Li, Y. and Liu, H. (2018). Multi-frequency ultrasound transducers for medical applications: a survey. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 2(3), pp.296-312. DOI: [10.1007/s41315-018-0057-7](https://doi.org/10.1007/s41315-018-0057-7)
- [79] Ballard, J., Liu, D., Casper, A., Wan, Y., Almekkawy, M. and Ebbini, E. (2012). *American Institute of Physics*.
- [80] Canavese, G., Ancona, A., Racca, L., Canta, M., Dumontel, B., Barbaresco, F., Limongi, T. and Cauda, V. (2018). Nanoparticle-assisted ultrasound: A special focus on sonodynamic therapy against cancer. *Chemical Engineering Journal*, 340, pp.155-172. DOI: [10.1016/j.cej.2018.01.060](https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.060)
- [81] Ou-Yang, J., Zhu, B., Zhang, Y., Chen, S., Yang, X. and Wei, W. (2015). New KNN-based lead-free piezoelectric ceramic for high-frequency ultrasound transducer applications. *Applied Physics A*, 118(4), pp.1177-1181. DOI: [10.1007/s00339-015-9004-8](https://doi.org/10.1007/s00339-015-9004-8)
- [82] Miller, D., Smith, N., Bailey, M., Czarnota, G., Hynynen, K. and Makin, I. (2012). Overview of Therapeutic Ultrasound Applications and Safety Considerations. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 31(4), pp.623-634. DOI: [10.7863/jum.2012.31.4.623](https://doi.org/10.7863/jum.2012.31.4.623)
- [83] Van Kervel, S. and Thijssen, J. (1983). A calculation scheme for the optimum design of ultrasonic transducers. *Ultrasonics*, 21(3), pp.134-140. DOI: [10.1016/0041-624x\(83\)90033-1](https://doi.org/10.1016/0041-624x(83)90033-1)
- [84] Turó, A., Salazar, J., Chávez, J., Ortega, J. and García, M. (1999). Performance improvement of ultrasonic therapy equipment by modifying the classical transducer design. *IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology*, 146(2), p.107. DOI: [10.1049/ip-smt:19990029](https://doi.org/10.1049/ip-smt:19990029)
- [85] Clement, G. (2004). Perspectives in clinical uses of high-intensity focused ultrasound. *Ultrasonics*, 42(10), pp.1087-1093. DOI: [10.1016/j.ultras.2004.04.003](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2004.04.003)
- [86] Bailey, M., Khokhlova, V., Sapozhnikov, O., Kargl, S. and Crum, L. (2003). Physical mechanisms of the therapeutic effect of ultrasound (a review). *Acoustical Physics*, 49(4), pp.369-388. DOI: [10.1134/1.1591291](https://doi.org/10.1134/1.1591291)

- [87] Siu, T., Rohling, R. and Chiao, M. (2007). Power density requirement of a 4 MHz micro-ultrasonic transducer for sonodynamic therapy. *Biomedical Microdevices*, 10(1), pp.89-97. DOI: [10.1007/s10544-007-9113-z](https://doi.org/10.1007/s10544-007-9113-z)
- [88] Parsons, J., Cain, C., Abrams, G. and Fowlkes, J. (2006). Pulsed cavitation ultrasound therapy for controlled tissue homogenization. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 32(1), pp.115-129. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2005.09.005](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2005.09.005)
- [89] Guido, N., Elia, C., Liuzzo, C., Mario, C., de Terlizzi, F. and Ruggiero, G. (2009). Quantitative Ultrasound at the Phalanges in Monitoring Alendronate Therapy. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 35(1), pp.8-13. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2008.07.007](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2008.07.007)
- [90] Almquist, S., Parker, D. and Christensen, D. (2016). Rapid full-wave phase aberration correction method for transcranial high-intensity focused ultrasound therapies. *Journal of Therapeutic Ultrasound*, 4(1). DOI: [10.1186/s40349-016-0074-7](https://doi.org/10.1186/s40349-016-0074-7)
- [91] Hynynen, K. (2011). Review of Ultrasound Therapy. Harvard Medical School. IEEE Ultrasonics Symposium. pp. 1305-1313
- [92] Shanks, P., Curran, M., Fletcher, P. and Thompson, R. (2010). The effectiveness of therapeutic ultrasound for musculoskeletal conditions of the lower limb: A literature review. *The Foot*, 20(4), pp.133-139. DOI: [10.1016/j.foot.2010.09.006](https://doi.org/10.1016/j.foot.2010.09.006)
- [93] Tascioglu, F., Kuzgun, S., Armagan, O. and Ogutler, G. (2010). Short-Term Effectiveness of Ultrasound Therapy in Knee Osteoarthritis. *Journal of International Medical Research*, 38(4), pp.1233-1242. DOI: [10.1177/147323001003800404](https://doi.org/10.1177/147323001003800404)
- [94] Devrimsel, G., Metin, Y. and Serdaroglu Beyazal, M. (2018). Short-term effects of neuromuscular electrical stimulation and ultrasound therapies on muscle architecture and functional capacity in knee osteoarthritis: a randomized study. *Clinical Rehabilitation*, 33(3), pp.418-427. DOI: [10.1177/0269215518817807](https://doi.org/10.1177/0269215518817807)
- [95] Bjordal, J., Klovning, A., Ljunggren, A. and Slørdal, L. (2007). Short-term efficacy of pharmacotherapeutic interventions in osteoarthritic knee pain: A meta-analysis of randomised placebo-controlled trials. *European Journal of Pain*, 11(2), pp.125-138. DOI: [10.1016/j.ejpain.2006.02.013](https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2006.02.013)
- [96] Sharma A, Navarro J, Escabillas C, Sharma V. Sonothrombolysis in Acute Ischemic Stroke: Current Status. *Journal of Stroke Medicine*. 2018;1(1):12-18. DOI: [10.1177/2516608518773003](https://doi.org/10.1177/2516608518773003)
- [97] Gonçalves M, Silva E, Chaves T, Dach F, Speciali J, Guirro R et al. Ultrassom estático e terapia manual para tratamento da enxaqueca refratária. Relato de caso. *Revista Dor*. 2012;13(1):80-84. DOI: [10.1590/s1806-00132012000100015](https://doi.org/10.1590/s1806-00132012000100015)
- [98] Padilla F, Puts R, Vico L, Raum K. Stimulation of bone repair with ultrasound: A review of the possible mechanic effects. *Ultrasonics*. 2014;54(5):1125-1145. DOI: [10.1016/j.ultras.2014.01.004](https://doi.org/10.1016/j.ultras.2014.01.004)
- [99] Li F, Wang H, Zeng D, Fan T, Geng H, Tu J et al. Sub-wavelength ultrasonic therapy using a spherical cavity transducer with open ends. *Applied Physics Letters*. 2013;102(20):204102. DOI: [10.1063/1.4807622](https://doi.org/10.1063/1.4807622)
- [100] Kovacic, D., Curkovic, B., Magjarev, R. and Breyer, B. (2012). Testing of Medical Electrical Equipment (Case Study). University of Zagreb.
- [101] Yeğin T, Altan L, Kasapoğlu Aksoy M. The Effect of Therapeutic Ultrasound on Pain and Physical Function in Patients with Knee Osteoarthritis. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2017;43(1):187-194. DOI: [10.1016/j.ultrasmedbio.2016.08.035](https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.08.035)
- [102] Wu F. High intensity focused ultrasound: A noninvasive therapy for locally advanced pancreatic cancer. *World Journal of Gastroenterology*. 2014;20(44):16480. DOI: [10.3748/wjg.v20.i44.16480](https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i44.16480)
- [103] Zhang T, Duan Y, Chen J, Chen X. Efficacy of ultrasound-guided percutaneous lavage for rotator cuff calcific tendinopathy. *Medicine*. 2019;98(21):e15552. DOI: [10.1097/md.0000000000001555](https://doi.org/10.1097/md.0000000000001555)
- [104] Feldman D. The efficacy, safety, effectiveness, and cost-effectiveness of ultrasound and shock wave therapies for low back pain: a systematic review. *Yearbook of Sports Medicine*. 2012; 2012:56-57. DOI: [10.1016/j.yspm.2011.12.011](https://doi.org/10.1016/j.yspm.2011.12.011)
- [105] MURATORE R, HANANEL A. The Journal of Therapeutic Ultrasound: broadening knowledge in a rapidly growing field. *Journal of Therapeutic Ultrasound*. 2013;1(1). DOI: [10.1186/2050-5736-1-](https://doi.org/10.1186/2050-5736-1-)
- [106] Griffin X, Costello I, Costa M. The Role of Low Intensity Pulsed Ultrasound Therapy in the Management of Acute Fractures: A Systematic Review. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 2008;65(6):1446-1452. DOI: [10.1097/ta.0b013e318185e222](https://doi.org/10.1097/ta.0b013e318185e222)
- [107] Schabrun S, Walker H, Chipchase L. The accuracy of therapeutic ultrasound equipment: a systematic review. *Physical Therapy Reviews*. 2008;13(6):443-449. DOI: [10.1179/174328808x373989](https://doi.org/10.1179/174328808x373989)
- [108] Walsh W, Stephens P, Vizesi F, Bruce W, Huckle J, Yu Y. Effects of Low-Intensity Pulsed Ultrasound on Tendon-Bone Healing in an Intra-articular Sheep Knee Model. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2007;23(2):197-204. DOI: [10.1016/j.arthro.2006.09.003](https://doi.org/10.1016/j.arthro.2006.09.003)
- [109] Feril L, Tachibana K, Ogawa K, Yamaguchi K, Solano I, Irie Y. Therapeutic potential of low-intensity ultrasound (part 1): thermal and sonomechanical effects. *Journal of Medical Ultrasonics*. 2008;35(4):153-160. DOI: [10.1007/s10396-008-0194-y](https://doi.org/10.1007/s10396-008-0194-y)
- [110] Londeen M. Therapeutic Ultrasound: The Effectiveness Of Ultrasound And The Importance Of Parameter Settings [Master of Science]. North Dakota State University of Agriculture and Applied Science; 2013.
- [111] Xuedong Shen, Nair C, Holmberg M, Mooss A, Arouni A, Esterbrooks D. Therapeutic Ultrasound-Enhanced Thrombolysis in Patients With Acute Myocardial Infarction. *Angiology*. 2009;61(3):253-258. DOI: [10.1177/0003319709343287](https://doi.org/10.1177/0003319709343287)
- [112] Saber, A. and Saber, A. Therapeutic Ultrasound: Physiological Role, Clinical Applications and Precautions. *Journal of Surgery*. 2017;5(3-1): 61-69. DOI: [10.11648/j.js.s.2017050301.2](https://doi.org/10.11648/j.js.s.2017050301.2)
- [113] Haar, G. Review: Therapeutic Ultrasound. *European Journal of Ultrasound*. 2009; 9(3):3-9
- [114] Crum L, Bailey M, Hwang J, Khokhlova V, Sapozhnikov O. Therapeutic ultrasound: Recent trends and future perspectives. *Physics Procedia*. 2010;3(1):25-34. DOI: [10.1016/j.phpro.2010.01.005](https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.01.005)
- [115] Watanabe, Y., Arai, Y., Takenaka, N., Kobayashi, M. and Matsushita, T. (2013). Three key factors affecting treatment results of low-intensity pulsed ultrasound for delayed unions and nonunions: instability, gap size, and atrophic nonunion. *Journal of Orthopaedic Science*, 18(5), pp.803-810. DOI: [10.1007/s00776-013-0415-0](https://doi.org/10.1007/s00776-013-0415-0)

- [116] Hajati A, Latev D, Gardner D, Hajati A, Imai D, Torrey M et al. Three-dimensional micro electromechanical system piezoelectric ultrasound transducer. *Applied Physics Letters*. 2012;101(25):253101. DOI: [10.1063/1.4772469](https://doi.org/10.1063/1.4772469)
- [117] Derrick D, Carignan C, Chen W, Shujau M, Best C. Three-dimensional printable ultrasound transducer stabilization system. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018;144(5):EL392-EL398. DOI: [10.1121/1.5066350](https://doi.org/10.1121/1.5066350)
- [118] Oztas O, Turan B, Bora I, Karakaya M. Ultrasound therapy effect in carpal tunnel syndrome. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1998;79(12):1540-1544. DOI: [10.1016/s0003-9993\(98\)90416-6](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(98)90416-6)
- [119] Pye S. Ultrasound Therapy Equipment – Does it Perform? *Physiotherapy*. 1996;82(1):39-44. DOI: [10.1016/s0031-9406\(05\)66996-9](https://doi.org/10.1016/s0031-9406(05)66996-9)
- [120] Gam A, Johannsen F. Ultrasound therapy in musculoskeletal disorders: a meta-analysis. *Pain*. 1995;63(1):85-91. DOI: [10.1016/0304-3959\(95\)00018-n](https://doi.org/10.1016/0304-3959(95)00018-n)
- [121] Speed C. Therapeutic ultrasound in soft tissue lesions. *Rheumatology*. 2001;40(12):1331-1336. DOI: [10.1093/rheumatology/40.12.1331](https://doi.org/10.1093/rheumatology/40.12.1331)
- [122] Altomare M, Nascimento A, Romana-Souza B, Amadeu T, Monte-Alto-Costa A. Ultrasound accelerates healing of normal wounds but not of ischemic ones. *Wound Repair and Regeneration*. 2009;17(6):825-831. DOI: [10.1111/j.1524-475x.2009.00542.x](https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2009.00542.x)
- [123] Ebenbichler, G., Celal, B., Resch, K. and Funovics, M. Ultrasound Therapy for Calcific Tendinitis of the Shoulder. *The New England Journal of Medicine*. 2004;340(20): pp. 1533-1538.
- [124] Yadollahpour A, Mostafa, J, Samaneh, R. and Zohreh, R. Ultrasound Therapy for Wound Healing: A Review of Current Techniques and Mechanisms of Action. *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 2014; 8(5):pp.4071-4085.
- [125] Chilibon, I. Ultrasound transducer for medical therapy. Elsevier. 2007;142:pp.124-129.
- [126] Chilibon, I, Wevers, M. and Lafaut, J. Ultrasound Underwater Transducer For Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy (ESWL). *Romanian Reports in Physics*. 2005;57(4):pp.979-992.
- [127] Tang, S., Nguyen, D, Zarafshani, A and Xiang, L. X-Ray-Induced Acoustic Computed Tomography with An Ultrasound Transducer Ring-Array. *Applied Physics Letters* 110. 2017:103504; pp. 2-5. DOI: [10.1063/1.4978049](https://doi.org/10.1063/1.4978049).
- [128] Chapelon, J., Cathignol, D., Cain, C., Ebbini, E., Kluiwstra, J., Sapozhnikov, O., Fleury, G., Berriet, R., Chupin, L. and Guey, J. (2000). New piezoelectric transducers for therapeutic ultrasound. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 26(1), pp.153-159. DOI: [10.1016/s0301-5629\(99\)00120-9](https://doi.org/10.1016/s0301-5629(99)00120-9)
- [129] Moreno Francisco José, (2011). “Los tipos de documentos de patente en España, la EPO y el PCT”. Información en materia de patentes. 2019, 01 mayo. Recuperado de: https://patentes.wordpress.com/2011/07/05/los-tipos-de-documentos-de-patente-en-espana-la-epo-y-el-pct/?fbclid=IwAR1NF0IibrJl9w_5Ev_-
- [130] Anónimo (2018). “CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE PATENTES”. 2019, 01 mayo, OMPI, Sitio web: www.wipo.int/classifications/ipc
- [131] Ayao I. Ultrasound Therapy System. Estados Unidos; US 1988/4757820 A1, 1988.
- [132] Pernot, M., Vion, M. And Tanter, M. (2017). Ultrasound Imaging And Therapy Device. 3 236 467.
- [133] Barthe P, Slayton M. Systems And Method For Ultra-High Frequency Ultrasound Treatment. Estados Unidos; Us 2018/10070883 B2, 2018.
- [134] Stigall J, Saroha P. Disposable Therapeutic Ultrasound Device. Estados Unidos; Us 2019/0053787 A1, 2019.
- [135] Anshuman, B., Jung, W., Amin, N. And Butrus, T. (1988). Integrated System For Ultrasound Imaging And Therapy. Us 2019/0076130 A1.
- [136] Boer, M. And Rogers, D. (2019). Method And System For Ultrasound Induced Hyperthermia With Microwave Thermome Try Feedback. 031901 A1.
- [137] Medan Y, Ezion A. Positioning Systems And Methods For Guided Ultrasound Therapy Systems. Estados Unidos; Us 2006/7128711 B2, 2006.
- [138] Maor D, Grinfield J, Hynynen K. Ultrasound Therapy. Estados Unidos; Us 2003/6612988 B2, 2019.
- [139] Diederich C, Lotz J, Nau W, Bradford D. System And Method Providing Directional Ultrasound Therapy To Skeletal Joints. Estados Unidos; Us 2007/7211055 B2, 2007.
- [140] Cain C, Xu Z, Fowlkes J, Hall T, Roberts W. Pulsed Cavitation Ultrasound Therapy. Estados Unidos; Us 2011/8057408 B2, 2019.
- [141] Hall D, Selfridge A. Multi-Frequency Ultrasound Therapy Systems And Methods. Estados Unidos; Us 1995/5460595 A1, 1995.
- [142] Itoh A. Ultrasound Therapy System. Estados Unidos; Us 1988/4757820 A1, 1988.
- [143] Vitek, Zadicario, Vortman, Insightec Ltd. Frequency Optimization Ultrasound Equipment. Estados Unidos; Us 2016/0008633 A1, 2016.
- [144] Chapelon J, Cathignol D, Gelet A, Blanc E. Ultrasound Therapy Apparatus Delivering Ultrasound Waves Having Thermal And Cavitation Effects. Estados Unidos; Us 1997/5601526 A1, 1997.
- [145] Castel J, Topeka, Kans. Ultrasound Therapy System With Automatic Dose Control. Estados Unidos; Us 1995/5413550 A1, 1995.
- [146] Barsotti E, Hance R. Ultrasound Therapy Device. Estados Unidos; Us 1988/4791915 A1, 1988.