

## **Una nueva fórmula del ultrasonido terapéutico en fisioterapia: dosificación por unidad de volumen**

### **Dosage per unit volume as a new formula for therapeutic ultrasound in physiotherapy**

Jacobo Robles Belmont<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4353-8762>

Dana Carciumaru<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4072-5175>

José María Rodríguez Martín<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0092-2243>

<sup>1</sup>Universidad ICTEC, Departamento de Terapia Física, La Paz, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad La Paz, México.

<sup>3</sup>Universidad Pontificia de Salamanca, España.

\*Autor para la correspondencia: [robeltjacob@hotmail.com](mailto:robeltjacob@hotmail.com)

Recibido: 19/08/2021

Aceptado: 02/09/2021

Estimado editor:

Debido a las constantes controversias sobre la efectividad del ultrasonido terapéutico (UST), hemos decidido dirigirnos a usted para expresar nuestra inquietud sobre la falta de manejo de las bases fisicomatemáticas del UST para acercarse a la posible obtención de la dosificación cuantitativa, conforme a la energía depositada con una fórmula de UST para la dosificación por unidad de volumen.

El ultrasonido con fines terapéuticos se empleó por primera vez en 1939, en Berlín, cuando Raimar Pohlman expuso el manejo de esta herramienta médica en el tejido humano.<sup>(1)</sup> Su desarrollo científico y tecnológico continuó acrecentándose y hoy es ampliamente utilizado.<sup>(2)</sup> Al modificar parámetros en el tratamiento por UST como la potencia, la frecuencia y porcentaje del ciclo trabajo, los modos continuo y pulsado, hay diversos efectos posibles en el tejido.<sup>(3)</sup>

Hoy día su uso se ha extendido tanto dentro de la práctica, que ha llegado a ser indiscriminado en afecciones musculoesqueléticas; añádase a ello que la literatura sobre la estandarización de la dosis ideal para los efectos reales y la recuperación del tejido, es aun escasa.<sup>(4)</sup>

El manejo y aplicación de UST es criticado en la medicina física y fisioterapia. La primera publicación de una fórmula propuesta para la dosificación de ultrasonido terapéutico en unidad de superficie apareció en el libro de *Electroterapia en fisioterapia*, de JM Rodríguez Martín, en el 2000.<sup>(5)</sup> Los parámetros para dosificar el ultrasonido terapéutico que recomienda la Organización Mundial de la Salud(OMS) son de 0.1 a 3 W/cm<sup>2</sup> en forma pulsátil y hasta 2 W/cm<sup>2</sup> en emisión continua.<sup>(6)</sup> La energía mecánica que deposita en el tejido depende de parámetros en la aplicación como son: área real de emisión (ERA), frecuencia, potencia y ciclo de trabajo,<sup>(2)</sup> los cuales representan un factor importante al calcular la aproximación de energía depositada, sin omitir factores como el porcentaje de pulsado, frecuencia de pulsado, área de tratamiento y tiempo de aplicación, con la capacidad de modificar los resultados en la densidad de energía.

La fórmula enfocada en obtener la dosis que se administró al tejido, o bien el tiempo necesario, está presente en bibliografías con una aplicación pobre en la clínica. Actualmente, para la obtención de la energía total en Joules se calcula:

$J = W/cm^2 \cdot \text{área del aplicador} \cdot t$ , donde:  $W$  es la potencia en Watts/cm<sup>2</sup>; *área del aplicador* es el ERA en cm<sup>2</sup> y  $t$ , el tiempo en segundos. Para la obtención

de la densidad de energía en Joules por unidad de área ( $J/cm^2$ ) se calcula

como  $J/cm^2 = \frac{\text{energía total}}{\text{superficie}}$  donde: **superficie** es el área de tratamiento donde se

aplica, en cm<sup>2</sup>.<sup>(7)</sup> La superficie o área de tratamiento está fijada como dos veces

el tamaño de ERA, considerado el ideal para un correcto tratamiento. Varios autores concluyeron que no hay fórmula determinada para fijar el tiempo de tratamiento para el uso del ultrasonido terapéutico.<sup>(2,8)</sup> Dado que el tiempo esté contemplado en la propia fórmula, este se puede convertir en incógnita por regla algebraica, lo cual sí se puede determinar. La propuesta de modificar la fórmula para obtener la dosis de ultrasonido terapéutico aplicando la unidad de volumen o bien,  $J/cm^3$  ya ha sido planteada por José M Rodríguez Martín en 2017, explica que no sería suficiente debido a que los efectos que produce cambian en comparación con las capas superficiales y profundas.<sup>(9)</sup> Conforme va penetrando el haz ultrasónico, pierde potencia por fenómenos físicos de divergencia, reflexión, difracción, absorción y conversión en el calor, entendiendo que en la práctica clínica podríamos acercarnos a la profundidad de penetración, siendo útil para objetivar un efecto terapéutico.<sup>(6)</sup> Cuando el ultrasonido atraviesa el tejido blando, se pierde alrededor del 80% de la energía debido a la absorción a su paso, también, el coeficiente de atenuación depende del tipo de tejido que atraviesa, cuando el coeficiente de atenuación es alto, se pierde más energía, existiendo una mayor atenuación en el hueso en comparación con el músculo.<sup>(10)</sup> Sobre la fórmula para determinar el tiempo de tratamiento, depende de la dosis que se desee aplicar, modo pulsado y superficie de tratamiento para su obtención; aunque en la práctica clínica su uso es bajo, se puede determinar despejando la fórmula inicial una vez que se tiene el resto de los parámetros que la conforman. La fórmula para obtener el tiempo de tratamiento es:<sup>(9)</sup>

$$T = \frac{DOSIS \cdot SUPERFICIE}{POTENCIA DEL CABEZAL}$$

$$T = \frac{\frac{J}{cm^2} \cdot S(cm^2)}{\frac{W}{cm^2} \cdot ERA \cdot \%}$$

Considerando los factores mencionados con anterioridad, que complican el cálculo de la energía aprovechada, y buscando una aproximación a la dosis real, así como el comportamiento del ultrasonido de forma tridimensional dentro del tejido, se pueden considerar parámetros ya establecidos dentro de la evidencia. A frecuencias de 1 MHz se logra una profundidad de 4 cm y a frecuencias de 3 MHz, de 2 cm dentro del tejido.<sup>(10)</sup>

La fórmula en unidad de volumen que se propone es:

$$Dosis \left( J/cm^3 \right) = \frac{\text{potencia} \cdot \text{area del aplicador} \cdot \text{ciclo de trabajo} \cdot \text{tiempo}}{\text{volumen de zona de tratamiento} (cm^3)}$$

Donde: *potencia* se expresa en Watts ( $W/cm^2$ ), el *área del aplicadores ERA* (área real de emisión),<sup>(11)</sup> o *ARE* (área de radiación eficaz), se expresa en  $cm^2$ .<sup>(12)</sup> El *ciclo de trabajo* es para el factor pulsado en factor pulso y reposo o porcentaje, dependiendo del porcentaje que se trabaje, si es continua la aplicación, se multiplica por 100%. El *tiempo* es referente al lapso de aplicación en segundos, el *volumen de zona de tratamiento* se expresa en  $cm^3$  utilizando la ecuación de volumen. También se puede expresar la formula con la *intensidad espacial media de ultrasonido* (SATP) que es la potencia (W) y la potencia expresada por el ciclo de trabajo sería la intensidad promedio temporal espacial (SATA) (Average Temporal Averaged Spatial).<sup>(2)</sup> Obteniendo:

$$Dosis \left( J/cm^3 \right) = \frac{SATA \cdot \text{area del aplicador} \cdot \text{tiempo}}{\text{superficie de tratamiento} (cm^3)}$$

Para concluir, esta fórmula se puede usar para dar un valor cuantitativo y aproximado a la dosificación, así como hacer hincapié en la utilización de los parámetros del ultrasonido terapéutico para sopesar los resultados en los trabajos clínicos, y para una mejor justificación de la metodología y sus resultados. No es la solución a la controversia en torno a la técnica electroterapéutica, pero es una herramienta suficiente para iniciar un correcto manejo matemático para calcular la energía que recibió el tejido.

Enviamos un cordial saludo y agradecemos su atención.

## Referencias bibliográficas

1- Aguilar Juárez V, Sánchez Colín M, Zúñiga Avilés L. Análisis de Cienciometría y Patentometría para Determinar el Panorama de Conocimiento en Tecnologías de Innovación: Dos Equipos de Ultrasonido Terapéuticos. Revista mexicana de

ingeniería biomédica. 2020 [acceso 05/05/2021];41(1):167-84. Disponible en:

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmib/v41n1/2395-9126-rmib-41-01-167.pdf>

2-Rodríguez Grande EI, Ramírez Ramírez LC. Uso del ultrasonido terapéutico pulsado en el tratamiento de personas con osteoartritis de rodilla. Revista de la Universidad Industrial de Santander. 2015 [acceso 07/05/2021];47(3):337-48.

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3438/343842287010.pdf>

3- Aguilar-Velázquez DG, Castillo RG, López-Narváez L, Arias-Vázquez PI, Tovilla-Zárate CA. Eficacia del ultrasonido terapéutico en el dolor musculoesquelético de espalda baja: una revisión comprensiva. Rev Col Med Fis Rehab. 2017 [acceso 16/08/21];27 (2):140-52. Doi:

<http://dx.doi.org/10.28957/rcmfr.v27n2a3>

4- De Oliveira PD, de Almeida DA, Dragonetti L, Fernandes SK, Franco R. The effect of therapeutic ultrasound on fibroblast cells in vitro: the systematic review. ArchMed Deporte. 2018 [acceso 09/05/2021];35(1):50-5. Disponible en:

<http://www.revrehabilitacion.sld.cu/templates/images/Directrices%20de%20la%20Revista%20Cubana%20de%20Medicina%20Fisica%20y%20Rehabilitacion.pdf>

5- Rodríguez J. Ultrasonoterapia, propuesta de dosificación. En: Electroterapia en fisioterapia. 1ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2000. pp. 510-11.

6- Cruz Huamani JA. Tratamiento fisioterapéutico de las fracturas con ultrasonido terapéutico [tesis de licenciatura]. Lima: Universidad Inca Garcilaso de La Vega, Facultad de Tecnología Médica; 2017 [acceso 15/05/2021];

Disponible en:

<http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/3764/CRUZ%20HUAMANI%20Jhimmy%20Arturo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

7- Robertson VJ, Baker KG. Review of Therapeutic Ultrasound: Effectiveness Studies. PhysicalTherapy. 2001 [acceso 19/05/2021];81:1339-50. Disponible en:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=41BECEE8279F681EED2592CE0E417F01?doi=10.1.1.573.9232&rep=rep1&type=pdf>

8- Olsson DC, Villamil VM, Pippi N, Mazzanti A, Kanciukaitis G. Ultrasonoterapêutico na cicatrizaçãotecidual. Ciência Rural. 2008. [acceso 20/05/21];38(4):1199-207. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/pdf/331/33113630051.pdf>

- 9- Rodríguez JM. Propuesta para el perfeccionamiento de la dosificación en ultrasonoterapia: Ponencia para el IV Congreso Internacional de la Sociedad Cubana de Medicina Física y Rehabilitación [Blog en línea]. Madrid: José M. Rodríguez. Mar 2007 [acceso 20/05/2021]. Disponible en:  
[https://www.electroterapia.com/pdf/dosis\\_us.pdf](https://www.electroterapia.com/pdf/dosis_us.pdf)
- 10- Izadifar Z, Babyn P, Chapman D. Applications and Safety of Therapeutic Ultrasound: Current Trends and Future Potential. Sciforschen. 2017;3(1):1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.16966/2469-6714.117>
- 11- Rodríguez JM. Ultrasonoterapia. En: Electroterapia en fisioterapia. 3ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2013;487-527.
- 12- Cameron MH. Ultrasonido. En: Agentes físicos en rehabilitación. 5a ed. España: Elsevier; 2018. p. 172-99.

#### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.