



Ultrasonido robótico. Una innovación tecnológica en la ciencia médica. Revisión Narrativa

Dra. Dalila Morles¹.

¹Departamento Imagenología, Hospital Universitario Dr. Alfredo Van Grieken, Coro, Estado Falcón, Venezuela.

RESUMEN

En las últimas cinco décadas se ha podido apreciar la evolución, crecimiento e influencia que han tenido las tecnologías, particularmente en el área de los diagnósticos por imagen, tal como ocurre con la ultrasonografía robótica. Esta revisión tiene como objetivo proporcionar información relevante sobre los avances tecnológicos relacionados con la ultrasonografía robótica, así como las experiencias en su aplicación y ventajas en el ámbito sanitario, donde diversos investigadores concluyen que estamos ante la presencia de una técnica innovadora, eficaz, segura para el paciente, no invasiva, que incrementa la precisión en el diagnóstico. También optimiza el tiempo requerido, reduce el estrés del especialista que lo opera y se puede realizar a distancia. Además, su implementación resulta muy beneficiosa en la atención médica del paciente y debería de expandirse su disponibilidad en todo el territorio nacional.

Palabras clave: Ultrasonografía robótica, Evolución, Tecnologías, Innovador.

Robotic ultrasound. A technological innovation in medical science. Narrative Review.

ABSTRACT:

Over the past five decades, we have seen the evolution, growth, and influence of technologies, particularly in the field of diagnostic imaging, such as robotic ultrasound. This review aims to provide relevant information on technological advances related to robotic ultrasound, as well as experiences with its application and advantages in the healthcare field. Several researchers conclude that this is an innovative, effective, safe, noninvasive technique that increases diagnostic accuracy. It also optimizes the time required, reduces stress for the operating specialist, and can be performed remotely. Furthermore, its implementation is highly beneficial for patient care, and its availability should be expanded nationwide.

Keywords: Robotic ultrasound, Evolution, Technologies, Innovative.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos 50 años se ha podido apreciar la evolución, crecimiento e influencia que han tenido las tecnologías, sobretudo en el sector de la salud, que ha mostrado un constante desarrollo hasta la actualidad, ya que la necesidad de realizar diagnósticos cada día más certeros ha provocado la evolución de diferentes dispositivos y/o equipos médicos. Este desarrollo

ha beneficiado tanto a pacientes como a médicos, aunque se debe aclarar que sirve para apoyar y mejorar las capacidades del galeno y aumentar el progreso en la asistencia del paciente en el proceso salud-enfermedad, y no para reemplazarlo (1, 2).

Así mismo, se considera que la innovación en la asistencia sanitaria debe seguir en constante evolución a medida que la tecnología y los recursos sean accesibles, lo cual a pesar de

Forma de citar este artículo: Morles D. Ultrasonido robótico. Una innovación tecnológica en la ciencia médica. Revisión Narrativa. Rev Venez Ultrason Med. 2024; NS4(2-3): 81-87. DOI: 10.57097/REVUM.2024.4.2-3.4

Dirección para correspondencia: Dra. Dalila Morles, dalilamorles28@gmail.com

resultar beneficioso ha generado incógnitas, dudas, miedos y resistencias en los usuarios (3, 4).

De manera análoga, en el marco de la transformación y el progreso que la medicina ha experimentado, se destaca el ámbito de los diagnósticos por imágenes, que ha dado un avance significativo en la búsqueda de mejorar no solo la exactitud de los diagnósticos, sino también de los procedimientos guiados. Esto ha dado paso a la incorporación de la robótica, la cual ha tenido un desarrollo acelerado y prodigioso, y que nunca se había imaginado que en estos paradigmas científicos, se integraran, de alguna manera, mecanismos tan avanzados que pudieran ofrecer asistencia a quienes la requieren (5, 6).

Siguiendo el mismo orden de ideas, la historia de la robótica se remonta a los autómatas de la antigua Grecia, pero últimamente se han creado máquinas para imitar acciones humanas con el fin de realizar un trabajo en lugar de entretener y divertir, considerando así a un robot como un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para mover materiales, piezas, herramientas u otros dispositivos especializados a través de varios movimientos programados para el desempeño de una variedad de tareas (7, 8).

Ahora bien, los sistemas robóticos en el ámbito de la medicina se pueden clasificar en dos grandes áreas. La primera, incluye aquellos destinados a asistir al médico, abarcando las tecnologías empleadas en procedimientos quirúrgicos, terapias, diagnóstico de imagen y exploración, siendo un ejemplo el ultrasonido robótico. En la segunda se encuentran aquellos sistemas relacionados a asistir a los pacientes, que se dividen a su vez en dos grupos: el primero son sistemas robóticos de rehabilitación, que comprende el uso de herramientas mecatrónicas para terapia clínica en la rehabilitación neuromotora y entrenamiento; y, en segundo lugar, tecnologías de asistencia

como robots y dispositivos destinados a mejorar la capacidad de independencia de los pacientes, fundamentalmente adultos mayores (9).

Desde el punto de vista del ultrasonido robótico, diversos investigadores han explorado tres enfoques principales para enfrentar este reto técnico. Uno es la imagenología robótica independiente, que no requiere un operador humano, otro es la ecografía operada a distancia o teleecografía, y el tercero es la cooperación entre humanos y robots con una persona físicamente presente, todo con la finalidad de desafiar esos paradigmas técnicos y marcar un hito en la mejora de la calidad de atención mediante la tecnología (10).

Entre los antecedentes más relevantes se destaca el trabajo de Brem y cols. (11). Ellos emplearon dispositivos de ultrasonido mamario automatizado tridimensional, en conjunto con mamografía de cribado para mejorar la detección de cáncer de mama, observaron un aumento del 26,7 % en la sensibilidad comparado con la mamografía sola, siendo la aplicación actual más común de la ecografía autónoma, aunque a menudo requiere ecografía convencional de seguimiento.

Arbeille y cols. (12), en su investigación hacen referencia que la teleecografía robótica es un método ventajoso, que puede ser utilizado tanto en centros especializados como en áreas remotas o de difícil acceso e inclusive en vehículos de emergencia, siendo este un procedimiento que permite un diagnóstico fiable sin necesidad de trasladar al paciente en ciertas condiciones especiales.

Por su parte, Krupa y cols. (13) presentaron un sistema robotizado de teleecografía con un modo de visibilidad asistida que permite mantener automáticamente varias restricciones visuales y garantizan una intersección entre el plano de

imagen de ultrasonido y el órgano de interés, lo que facilita el diagnóstico del médico experto, ya que este sistema autónomo muestra un enfoque de control multitarea, con 4 grados de libertad y proporciona imágenes bidimensionales, concluyendo que las tareas de asistencia de visibilidad son muy eficientes y efectivas.

Filip y cols. (14), se basan en un sistema de ultrasonido robótico autónomo para imágenes médicas con un alto nivel de autonomía que proporciona imágenes tridimensionales, deduciendo que este sistema podría mejorar sustancialmente la adquisición autónoma de ecografías y aumentar la confianza diagnóstica de los médicos.

Pratima y cols. (15), realizaron una evaluación preliminar de un sistema robótico guiado por ultrasonido para intervención percutánea, donde las intervenciones asistidas por robot han demostrado una precisión mejorada.

Desde el punto de vista estrictamente técnico y de ingeniería, el equipo robótico para realizar el ultrasonido consta de un brazo robotizado (Figura 1 flecha azul), sobre el que se instala uno de los dos transductores con que cuenta el equipo (Figura 1 flecha roja) y una consola de operación médica (Figura 1 flecha amarilla), que es manipulada por el ecografista (Figura 1 flecha naranja) y que posee los controles sobre el equipo ecográfico (16).

Para su óptimo funcionamiento, el equipo necesita una conexión a internet estable sobre 20 Mbps, un técnico (Figura 1 flecha naranja) que ubique al paciente (Figura 1 flecha negra), sobre la camilla o área donde se va a realizar la exploración (Figura 1 flecha púrpura) y asista al médico especialista, quien interactúa mediante cámara, parlantes y micrófonos incorporados al equipo y un médico especialista, que realice el examen a distancia (16).

En ese sentido, la implementación de sistemas robóticos o telerobóticos permite ofrecer

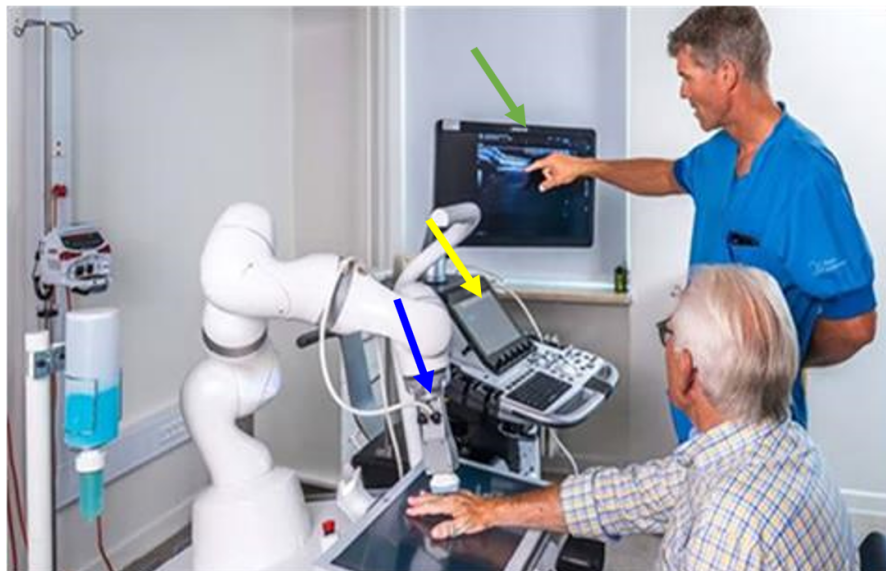


Figura 1. Aspectos técnicos del ultrasonido robótico. 1.1 Flecha azul: brazo robotizado. 1.2 Flecha amarilla: Consola con controles de ultrasonido. 1.3 Flecha roja: transductor lineal del equipo ultrasonográfico. 1.4 Flecha verde: monitor a través del cual se visualiza la imagen al realizar el ultrasonido. 1.5 Flecha naranja: Técnico operacional quien manipula la consola e instruye al paciente. 1.6 Flecha negra: Paciente sobre el cual se realiza el ultrasonido robótico. 1.7 Flecha púrpura: área de exploración donde se va a ubicar al paciente para realizar el estudio. Fotografía obtenida de <https://www.diagnotecmed.cl/index.php/ecografiarobotica.html>.

diagnóstico por ultrasonido en áreas donde no hay radiólogo o ecografista local disponible y el médico puede controlar de forma remota la posición de la sonda en un paciente para producir imágenes ecográficas que son inmediatamente visibles (5, 17).

Las imágenes obtenidas por el dispositivo suelen ser de alta calidad y su implementación suele ser ventajosa porque permite administrar mejor el tiempo, realizar evaluaciones y diagnósticos a mayor velocidad, proporcionando resultados más precisos mediante el uso de la inteligencia artificial y posibilitando tratamientos rápidos y adaptados a cada caso (18).

Además, esta técnica ha llevado a diversas especialidades en todos los países del mundo a adoptarla de manera autónoma por todas las ventajas antes mencionadas (19).

La autonomía de las imágenes generadas por estos sistemas puede clasificarse en varios niveles. El nivel 0, indica ausencia de autonomía, como por ejemplo los sistemas teleoperados o dispositivos protésicos; nivel 1, con asistencia robótica, donde el autómatas guía al humano durante una tarea mientras mantiene un control continuo; nivel 2, que se refiere a la autonomía de la tarea, la cual implica que el robot proporciona control discreto en lugar de continuo sobre una tarea específica; nivel 3, autonomía condicional, señala que el sistema es capaz de generar diferentes estrategias de tarea pero depende de la selección o aprobación humana; nivel 4, alta autonomía, la cual sugiere que el dispositivo es capaz de tomar decisiones médicas pero solo cuando es supervisado por un médico calificado; nivel 5, autonomía máxima, que certifica que el robot puede realizar todo el procedimiento sin intervención humana alguna (20).

En esta misma línea de pensamiento, un sistema autónomo tiene que contar con un brazo efector final que sostenga y manipule sondas, además de un sistema de control y seguimiento que oriente la sonda en el espacio. Este es capaz de proporcionar datos de localización para obtener imágenes bidimensionales o como reformateo multiplanares a partir de volúmenes de ultrasonido tridimensionales, el cual se realiza a través de dispositivos de seguimiento óptico que requieren una línea de visión desde una cámara hasta el efector final, los electromagnéticos, que permiten un seguimiento sin línea de visión, pero están sujetos a interferencias de metales y otras fuentes electromagnéticas, y los sistemas mecánicos codificados pasivos que utilizan ecuaciones cinemáticas para determinar la posición del efector final (10).

Desde otra perspectiva, la teleoperación permite la asistencia a distancia durante un procedimiento de ultrasonido. El sistema cuenta con un centro remoto donde una interfaz tipo joystick controla el robot y puede incorporar dispositivos hepáticos para ofrecer estímulos de fuerza al operador. Esta retroalimentación que permite al operador percibir la fuerza aplicada por la sonda, lo cual es crucial para evitar una presión excesiva durante el procedimiento y cuando se excede una fuerza preestablecida, se activan luces de advertencia y se producen vibraciones para alertar al operador. También cuenta con un centro local en la ubicación del paciente donde se encuentra el robot equipado con la sonda de ultrasonido, que realiza el examen en el paciente (10).

La gran cantidad de funciones en estos sistemas puede generar una sobrecarga de información en la persona que opera a distancia lo que podría provocar movimientos que excedan la tolerancia del robot o del paciente, es allí donde los sistemas de cooperación humano-robot permiten un control compartido, ya que algunos grados de

libertad serán controlados por el operador y otros por el autómata aliviando así su carga (10).

La innovación internacional en un campo competitivo y en rápida evolución, requiere que la comunidad esté dispuesta a cambiar la comodidad del procedimiento por la oportunidad de mejorar los resultados (3).

En América Latina, al presentar la robótica, es importante afirmar que esas tecnologías tienen 10 años de desarrollo e investigación, pero se necesitan científicos más especializados para iniciar centros de innovación con el fin de crear nuevas tecnologías para aplicaciones quirúrgicas, imagenológicas y de rehabilitación (3). En ese mismo sentido, la ecografía robótica aún se encuentra en una fase inicial de desarrollo e implementación, pero está avanzando rápidamente. Aunque la tecnología existe y se está utilizando en algunos centros médicos de diversos países de América Latina, su adopción generalizada se ve limitada por factores como el costo y la necesidad de capacitación especializada. Sin embargo, se están realizando esfuerzos para superar estos obstáculos y expandir el acceso a esta tecnología, especialmente en áreas como la cirugía y la rehabilitación (3).

En la actualidad, a nivel nacional, en la ciudad de Caracas, Venezuela, específicamente en la unidad de estudios mastológicos del Hospital de Clínicas Caracas, se encuentra un sistema de ultrasonido robótica, guiado por computadora (Figura 2, flecha roja), a través del cual se están desarrollando estudios mamarios, que proporciona una exploración detallada del tejido mediante un traductor lineal (Figura 2 flecha amarilla), siendo útil en casos en los que la mamografía convencional puede tener dificultades para proporcionar imágenes claras y detalladas. Además, no precisa radiación, ni inyecciones de contraste o de

radiofármacos. Tampoco requiere que la mama sea comprimida para aportar excelentes imágenes. Es equipo de alta tecnología tiene capacidad para ver a través del tejido mamario denso que presentan muchas mujeres, también es efectivo en quienes tienen implantes mamarios (21).



Figura 2. Equipo de ultrasonido robótico guiado por computadora 2.1 Flecha roja: computador o consola a través del cual se guía el estudio. 2.2: Flecha amarilla: Transductor a través del cual se realiza la exploración directa al tejido mamario. 2.3 Flecha azul: brazo robótico que sostiene al transductor. Fotografía obtenida de redes sociales de unidad de estudios mastológicos del Hospital de Clínicas Caracas a través de redes sociales <https://www.instagram.com/clinicacaracas>.

CONCLUSIONES

La ultrasonografía robótica resulta ser extremadamente valiosa para respaldar el cuidado de los pacientes y gestionar patologías mediante un diagnóstico, pronóstico y tratamiento de categoría superior. Esto se debe a que se trata de una tecnología no invasiva que no requiere

intervención, permitiendo visualizar a los médicos, en tiempo real, órganos, tejidos y estructuras internas, además de garantizar la comparabilidad de los datos y realizar exploraciones de salud sin la necesidad de que el personal médico esté presente en el lugar (22, 23), lo que constituye un método seguro y eficaz que disminuye el riesgo de errores. Además, proporciona soluciones innovadoras que elevan la calidad del cuidado y optimizan los procedimientos médicos, generando también ventajas al administrar mejor el tiempo del galeno que lo opere y disminuir el nivel de estrés (23, 24). Por este motivo, debería haber un mayor esfuerzo en las políticas públicas del país para adquirir estos equipos y así ampliar su disponibilidad en todo el territorio nacional, permitiendo que los pacientes tengan acceso a este servicio.

CONFLICTO DE INTERES: no se declaran conflictos de interés por la autora.

REFERENCIAS

1. Salamá G. POCUS (Ultrasound Point of Care). Recurso para la evaluación al pie de la cama del paciente. Editorial. Rev Venez Ultrason Med. 2022; NS2(2): 65-66. DOI: 10.57097/REVUM.2022.2.2.7
2. Larrondo Pons E, Cervantes Montero G, Sánchez Roca A. Impacto de la mecatrónica en la medicina. MEDISAN [Internet]. 11 de abril de 2018 [citado 4 de diciembre de 2024];22(4). Disponible en: <https://medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/2059>
3. Cornejo J, Cornejo Aguilar JA, Perales Villarroel JP. International innovations in medical robotics to improve the patient management in peru: innovaciones internacionales en robótica médica para mejorar el manejo del paciente en Perú. Rev.Fac.Med.Hum [Internet]. 2019Oct.10 [consultado 4 de diciembre de 2024];19(4):1. Disponible en: <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/RFMH/article/view/2349>
4. Fernández M, Rodríguez N, Paz A. Cambios tecnológicos y el futuro de la humanidad: LA ROBÓTICA Y EL FUTURO MERCADO LABORAL [Internet]. 2015 [Consultado 23 de noviembre 2024]. Disponible en: https://www.kimglobal.com/documents/Articulos/OB_Robotica.pdf
5. Kassamali R, Ladak B. The role of robotics in interventional radiology: current status. Quantitative imaging in medicine and surgery [Internet]. 2015. [Consultado 23 de noviembre 2024]; 5(3):340. Disponible en: <https://nubix.cloud/radiologia/el-papel-de-la-robotica-en-la-radiologia-intervencionista-estado-actual>.
6. Chancay Merchán MY, Tóala Zambrano MM, Ortiz Hernández MM, Mero Lino EA. La robótica y sus avances en la medicina. JTI [Internet]. 1 de julio de 2022 [citado 4 de diciembre de 2025];1(1):75-82. Disponible en: <https://revistas.unesum.edu.ec/JTI/index.php/JTI/article/view/8>
7. Ewing DR, Pigazzi A, Wang Y, Ballantyne GH. Robots in the operating room--the history. Semin Laparosc Surg. 2004 Jun;11(2):63-71. DOI: 10.1177/107155170401100202
8. Schoellnast H, Solomon SB. Imágenes de terapias intervencionistas en oncología: guía por imágenes, robótica y sistemas de fusión. En: Dupuy DE, Fong Y, McMullen WN. eds. Terapia del cáncer guiada por imágenes: un enfoque multidisciplinario. Nueva York: Springer; 1(1)277291.
9. Zhijun L, Yang Ch, Burde E. Una descripción general de los sistemas y aplicaciones de robótica biomédica y biomecatrónica. [Internet]. China. [Consultado 16 de octubre 2024]. 2016;46(7):1-6. https://www.researchgate.net/publication/303778978_An_Overview_of_Biomedical_Robotics_and_Bio-Mechatronics_Systems_and_Applications
10. Swerdlow D, Cleary K, Wilson E, Azizi-Koutenaei B, Monfaredi R. Robotic Arm-Assisted Sonography: Review of Technical Developments and Potential Clinical Applications. Am J Roentgenol. 2017;208(4). DOI: <https://doi.org/10.2214/AJR.16.16780>.
11. Brem RF, Tabár L, Duffy SW, Inciardi MF, Guingrich JA, Hashimoto BE, Lander MR, Lapidus RL, Peterson MK, Rapelyea JA, Roux S, Schilling KJ, Shah BA, Torrente J, Wynn RT, Miller DP. Assessing improvement in detection of breast cancer with three-dimensional automated breast US in women with dense breast tissue: the Somolnsight Study. Radiology. 2015 Mar;274(3):663-73. DOI: 10.1148/radiol.14132832
12. Arbeille P, Capri A, Ayoub J, Kieffer V, Georgescu M, Poisson G. Use of a robotic arm to perform remote abdominal telesonography. Am J Roentgenol. 2007 Apr;188(4):317-22. DOI: 10.2214/AJR.05.0469
13. Krupa A., Folio D., Novales C., Vieyres P., and Li T., "Robotized tele-echography: An assisting visibility tool to support expert diagnostic," IEEE Systems Journal, vol.

- 10, no. 3, pp. 974–983, September 2016. DOI:10.1109/jsyst.2014.2314773
14. Filip S, Christoff H, Jakub S, Sarthak M. RobUSt – An Autonomous Robotic Ultrasound System for Medical Imaging. [Internet]. Netherlands. [Consultado 20 de octubre 2024]. 2021. https://www.researchgate.net/publication/351291902_RobUSt_-_An_Autonomous_Robotic_Ultrasound_System_for_Medical_Imaging
15. Pratima M, Aayush A, Niravkumar A. Preliminary Evaluation of an Ultrasound-Guided Robotic System for Autonomous Percutaneous Intervention. [Internet]. India. [Consultado 24 de octubre 2024]. 2024. Disponible en <https://arxiv.org/pdf/2410.10299>
16. Ecografía Robótica. [Internet]. s.f [Consultado 24 de noviembre 2024]. Disponible en <https://www.diagnotecmed.cl/images/2022/08/Ecografia-robotica-diagnotecmed.pdf>
17. Schlüter M, Gerlach S, Fürweger C, Schlaefer A. Analysis and optimization of the robot setup for robotic-ultrasound-guided radiation therapy. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. Epub 2019;14(8):1379-1387. DOI: 10.1007/s11548-019-02009-w.
18. ARTHUR | El robot para ecografías automatizadas. [Internet]. 2023 [Consultado 24 de noviembre 2024]. <https://www.kuka.com/es-es/sectores/base-de-datos-de-soluciones/2023/10/robot-para-la-artritis-ropca>
19. Díaz N, Garrido R, Castellano J. Metodología y técnicas. *Ecografía: principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico*. Semergen. 2007;33(7):362-69. DOI: 10.1016/S1138-3593(07)73916-3.
20. Kang S, Jingwei L, Xiaoqi R, Yingxiang H, Guanglong D, Wei Z, et al. A fully autonomous robotic ultrasound system for thyroid scanning. *Nat Commun*. 2024;15(4004). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48421>.
21. Clinicaracas. El ultrasonido robótico de la Unidad de Estudios Mastológicos del Hospital de Clínicas Caracas. [Instagram]. 13 de octubre de 2023. [Consultado 24 de noviembre 2024]. Disponible en <https://www.instagram.com/clinicaracas>.
22. Ternero J. Revisión bibliográfica sobre la ecografía clínica en el ámbito domiciliario. Universidad Internacional de Andalucía. [Internet]. 2019 [Consultado 24 de noviembre 2024]. Disponible en <https://dspace.unia.es/bitstream/handle>
23. Equipo editorial de MedImaging. Sistemas robóticos de ultrasonido podrían ayudar a los médicos durante cirugías. [Internet] 2024. [Consultado 24 de noviembre 2024]. Disponible en: <https://www.medimaging.es/ultrasonido/articles/294801502>
24. Un paso adelante en la medicina: el robot lbr med y su impacto en la obtención de imágenes por ultrasonidos. [Internet]. 2023. [Consultado 04 de diciembre 2024]. Disponible en: <https://www.eurobots.es>

Recibido: 26 de noviembre de 2024
Aprobado: 30 de noviembre de 2025