

## Monitorización continua de la función cardíaca con “parches Ecocardiográficos”: el doctor Spock ya está aquí.

### La monitorización como herramienta de atención sanitaria

La monitorización continua de diferentes variables fisiológicas del paciente ofrece información crucial e incluye una multitud de parámetros como temperatura, pulso, ECG, toma de presiones, etc, que se tomaban clásicamente a la cabecera del enfermo. Un cambio muy importante en los últimos años, favorecidos por los avances en la informática, miniaturización electrónica e inteligencia artificial, ha sido la aparición de dispositivos portátiles (*wearables*) que permiten monitorizar con éxito todo tipo de señales que pueden tener un gran impacto en el tratamiento del paciente.

La monitorización continua de parámetros fisiológicos significa un importante avance en la Medicina de precisión. La combinación de esta información a distancia con la inteligencia artificial son una revolución que está aquí para quedarse<sup>(1-3)</sup>. Dentro del campo de la cardiología el *wearable* más conocido es el reloj con capacidad de registrar el ritmo cardíaco que permite la detección de arritmias y específicamente de la fibrilación auricular mediante fotopletismografía y que nos proporciona con precisión el ritmo cardíaco junto con otras variables como la saturación de oxígeno, los estados de sueño o el ritmo respiratorio.

### Monitorización con parches ecocardiográficos

Una idea largamente perseguida que viene ahora a materializarse por el desarrollo de la informática, la electrónica y la inteligencia artificial es la posibilidad de realizar una monitorización continua con ultrasonidos de las funciones de los diferentes órganos internos. Ha habido intentos muy primitivos de utilizar ultrasonidos portátiles convencionales montando sondas de ultrasonidos sobre la piel del paciente con arneses o sistemas robóticos, pero obviamente esto implicaba la utilización de accesorios mecánicos, que dificultaban su uso sobre todo por la inestabilidad de la imagen y por la baja resolución conseguida, de tal manera que solo se han aplicado para los estudios de ecografía musculoesquelética.

Específicamente en el campo de la imagen cardíaca, la monitorización continua de parámetros ecocardiográficos como los volúmenes ventriculares o la fracción de eyección es un reto que abre toda una nueva área de investigación con unas consecuencias que a ningún cardiólogo se le escapan. Pero para que la idea sea práctica, las sondas de ecocardiografía utilizadas deberían tener unas características muy especiales, que harían que fueran mucho más parecidas a lo que entendemos como “pegatina” que a lo que entendemos como “sonda”.

Estas nuevas “**sondas pegatinas de ecocardiografía**” para monitorización continua de los parámetros de función cardíaca tendrían que cumplir los siguientes criterios y exigencias:

1. Tienen que adaptarse con precisión a la pared torácica, tal como se adapta por ejemplo una pegatina de un electrodo de un electrocardiograma.
2. No deben necesitar ser manejadas de manera robótica.
3. Deben permitir estar adheridas al tórax del paciente durante horas y días sin ninguna lesión para la piel.
4. Deben tener un sistema electrónico que permita la obtención selectiva de activación de distintos cristales ultrasónicos para obtener distintos planos de corte sin modificación de su posición.
5. La información la deben transmitir sin necesidad de uso de cables al equipo donde se van a ver las imágenes.

Estas cinco exigencias generaban tal complejidad de problemas técnicos que parecería que era una vía muerta de investigación y desarrollo. No obstante, recientemente ha habido cambios espectaculares tanto en la miniaturización como en el desarrollo de nuevos materiales de tal modo que es posible que el concepto de monitorización continua mediante **wearables ecocardiográficos** se encuentre cada vez más cercano. En ese sentido las líneas de investigación sobre parches ultrasónicos siguen dos caminos diferentes, parches rígidos y parches deformables.

## “Parches” de ultrasonidos rígidos

Estos sistemas consisten en sondas ultrasónicas rígidas miniaturizadas formadas por una capa de elementos piezoeléctricos muy delgada que se adhiere firmemente a la piel a través de un híbrido de elastómero suave y resistente y totalmente adhesivo (Figura 1). A diferencia de los geles de ultrasonido tradicionales, el hidrogel del equipo es elástico y extensible y ha sido creado por ingenieros del MIT dirigidos por Xuanhe Zhao, profesor de ingeniería mecánica e ingeniería civil y ambiental<sup>(4-5)</sup>.

La sonda-parche tiene el tamaño de un sello con una longitud de alrededor de casi 2 centímetros y un grosor de apenas 0.25 centímetros. Utiliza frecuencias de 10 MHz para la monitorización de la carótida y de 3 MHz para la monitorización del corazón obteniendo una buena definición para una profundidad de 6 cm. Es un dispositivo rígido que tiene la ventaja de que no se distorsiona al acoplarse al tórax, lo que permite que los elementos piezoeléctricos conserven su ubicación relativa y los haces ultrasónicos no se modifiquen por los movimientos de la superficie de la piel. En su versión actual, estos parches siguen necesitando una conexión por cable a un dispositivo que pueda convertir las señales en imágenes visibles.

Estos dispositivos permiten una monitorización continua de 48 horas, no solo el corazón sino de los músculos, el tracto gastrointestinal, el diafragma y los pulmones. Permiten estudiar tanto el *Doppler* como la imagen anatómica en modo M. Obviamente todavía la calidad de la imagen es limitada y el hecho que no se adapten completamente a la superficie de la piel porque su superficie no es deformable ayuda a que la calidad de la imagen sea inicialmente pobre.

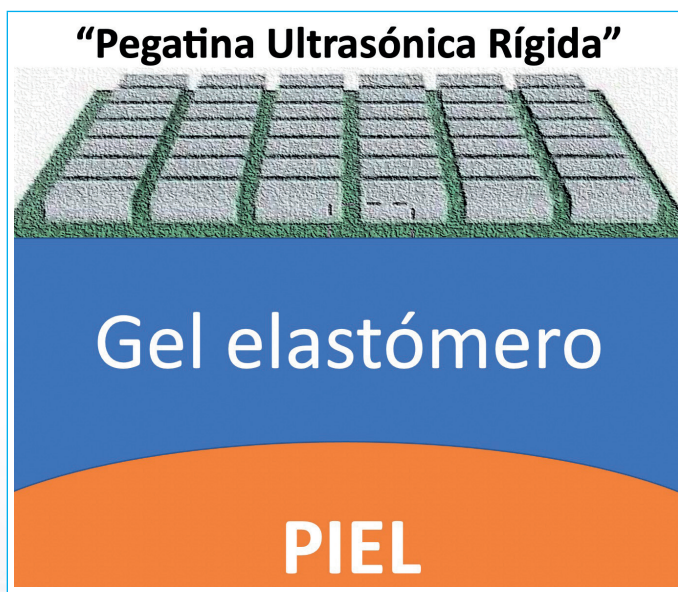


Figura 1. Sondas de monitorización rígida adheridas al tórax mediante un gel específico.

## “Parches” de ultrasonidos deformables

El concepto es diferente y electrónicamente más complejo ya que está basado en la creación de transductores ultrasónicos deformables que se puedan adaptar a las curvas del tórax y a las costillas<sup>(6)</sup> como si fuesen una “tira sanitaria”. Los primeros transductores de este tipo han sido desarrollados por Hongjie Hu en la Universidad de California San Diego, La Jolla<sup>(7-8)</sup> (Figura 2) con electrodos de metal líquido galio-indio encapsulados en un copolímero tribloque. El material resultante tiene unas características mecánicas peculiares con una flexibilidad que le permite permanecer en íntimo contacto con la piel en un área de superficie grande, lo que sin duda es una de las ventajas con respecto a los sondas en sello rígidas.

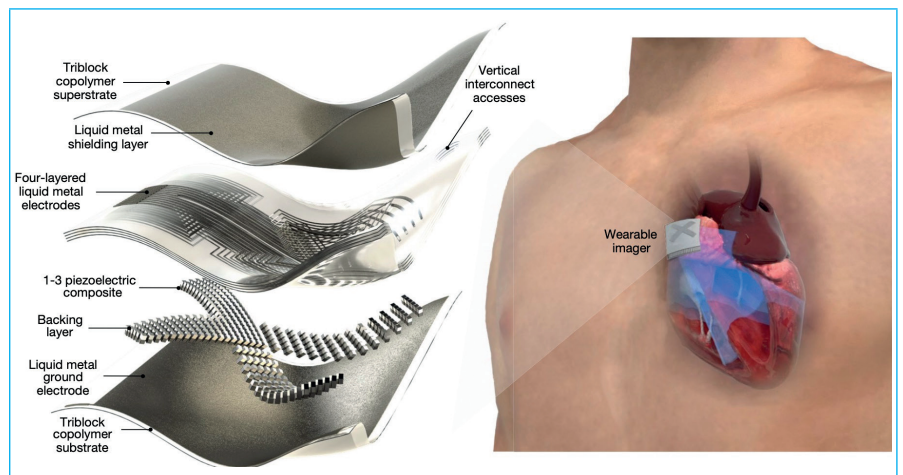


Figura 2. Sondas en pegatina flexible tomado de Wang, C. et al. *Science* 377, 517–523 (2022).

Estos transductores utilizan un sistema de cristales de 32 elementos dispuestos en cruz para que activándose una línea u otra de elementos obtengamos dos planos perpendiculares de corte sin tener que manipular el parche. La sonda permite realizar registros de ecocardiografía bidimensional en dos planos perpendiculares, ecocardiografía en modo M y *Doppler* color. Las imágenes para evaluar los volúmenes ventriculares y la fracción de eyección se programan en un sistema de inteligencia artificial con detección automática de bordes que permite un análisis automático de la función ventricular y sus cambios. Los primeros ensayos son muy prometedores y permiten incluso la utilización durante la ecocardiografía de estrés<sup>(6)</sup> lo que abre un camino nuevo a la monitorización del corazón en muy diferentes situaciones clínicas.

Cualquiera de los dos sistemas propuestos abre un nuevo mundo de investigación que puede modificar y va a modificar el uso de los ultrasonidos en el campo de la monitorización continua del corazón. Pero sin duda, la facilidad de registro de la ecografía de pulmón y su importancia para la monitorización y tratamiento de la insuficiencia cardíaca hace que probablemente, en mi opinión, sea una de las primeras aplicaciones más factibles. La monitorización de 5 ó 6 áreas pulmonares y registro de las “líneas b” de manera continua pueden sentar la base de una aplicación práctica de este nuevo y sorprendente tipo de transductores.

Sin duda podemos estar a las puertas de una nueva manera de evaluar al paciente que será más cercana a nuestro querido Doctor Spock de la nave espacial Enterprise... deseando verlo.

Miguel Ángel García Fernández<sup>1,2</sup>

Correspondencia

Miguel Ángel García Fernández  
maecocardio@gmail.com

<sup>1</sup>Presidente de la Sociedad Española de Imagen Cardíaca.

<sup>2</sup>Catedrático de Medicina. Cátedra de imagen cardíaca. Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, España.

**Citar como:** García Fernández MA. Monitorización continua de la función cardíaca con "parches Ecocardiográficos": el Dr. Spock ya está aquí. Rev Ecocardiogr Pract Otras Tec Imag Card (RETIC). 2023 Abr; 6(1): I-IV. doi: <https://doi.org/10.37615/retic.v6n1a1>.

**Cite this as:** García Fernández MA. *Continuous monitoring of the cardiac function with "Echocardiographic patches": doctor Spock is here.* Rev Ecocardiogr Pract Otras Tec Imag Card (RETIC). 2023 Abr; 6(1): I-IV. doi: <https://doi.org/10.37615/retic.v6n1a1>.

## Referencias

1. H. Kim *et al.*, Epidermal electronics. *Science* 333, 838–843 (2011). doi: <https://10.04.102/science.1206157>
2. S. Xu *et al.*, Soft Microfluidic Assemblies of Sensors, Circuits and Radios for the Skin *Science* 344, 70–74 (2014). doi: <https://doi.org/10.1126/science.1250169>
3. Yang, Y. C. Chen, L. Nicolini, P. Pasupathy, J. Sacks, S. Becky, R. Yang, *et al.*, 'Cut-and-paste' manufacture of multiparametric epidermal sensor systems, *Adv. Mater.* 27, p. 6423–6430, 2015. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201502386>
4. Wang, C. *et al.*, Continuous monitoring of deep-tissue haemodynamics with stretchable ultrasonic phased arrays. *Nat. Biomed. Eng.* 5, 749–758 2021. doi: <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00763-4>
5. Wang, C. *et al.*, Bioadhesive ultrasound for long-term continuous imaging of diverse organs. *Science* 377, 517–523 (2022). doi: <https://doi.org/10.1126/science.abo2542>
6. Pashaei, V. *et al.*, Flexible body-conformal ultrasound patches for image-guided neuromodulation. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 14, 305–318 (2020). doi: <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2019.2959439>
7. Hongjie Hu, Hao Huang, Mohan y col. A wearable cardiac ultrasound imager January 2023 *Nature* 613(7945):667-675. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05498-z>
8. Hu, H. *et al.*, Stretchable ultrasonic transducer arrays for three-dimensional imaging on complex surfaces. *Sci. Adv.* 4, eaar3979 (2018). doi: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar3979>