

IMAGEN MULTIMODAL: ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y OPORTUNIDADES EN EL ICTUS

LUIS ELVIRA SEGURA

luis.elvira@csic.es; Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información, CSIC;
Serrano 144, 28006 Madrid

¿QUÉ COSAS ESTÁN PASANDO EN LA IMAGEN POR ULTRASONIDOS?

- **Transductores**

- Miniaturización para ampliar la frecuencia
- Aumento progresivo del número de canales (128-256-)
- Arrays matriciales (3000 canales): **Imagen 3D**
- Nuevos principios de transducción: C-mut, P-mut (Mem's)

- **Electrónica**

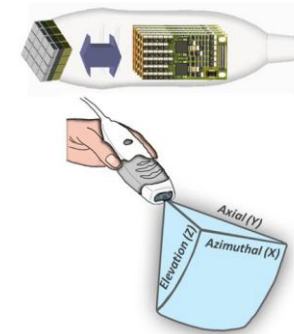
- Adaptación a altas frecuencias
- Aumento constante de la velocidad de transmisión de datos y procesamiento en paralelo (uso de GPU's y FPGA's).

- **Nuevas modalidades de imagen por ultrasonidos**

- Caracterización de tejidos
- Microscopía por localización ultrasónica
- Fotoacústica

- **Uso de contrastes** para mejora de la resolución

- **IA, robotización y fusión** con otras técnicas de imagen: PET, RM...



Nuevas modalidades de imagen por ultrasonidos

1. Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos
2. Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica
3. Imagen fotoacústica

Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Multimodalidad: más allá de la reflectividad

- Velocimetría (Doppler), elastografía
- Atenuación
- Velocidad del sonido
- Parámetros texturales: cuantificación de la reflectividad

Ultrasonidos
cuantitativos

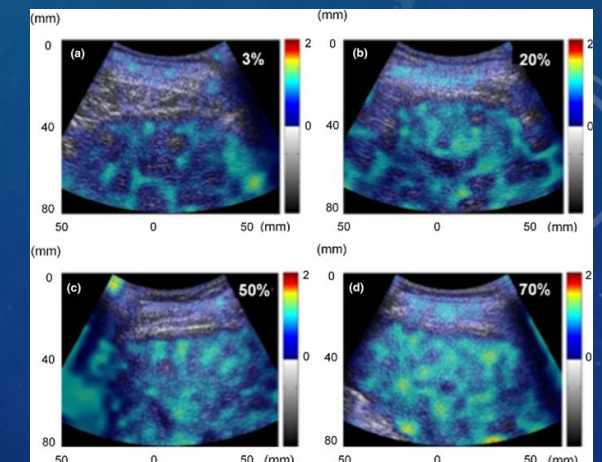
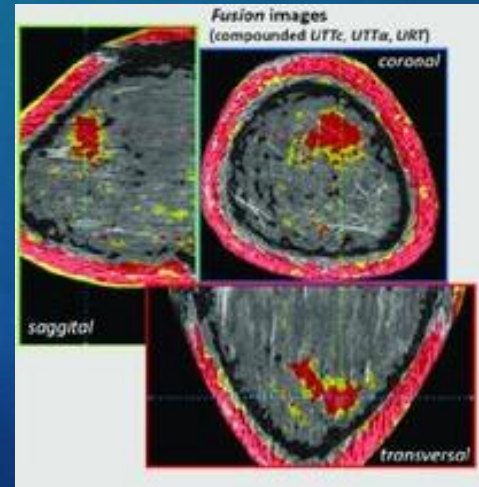
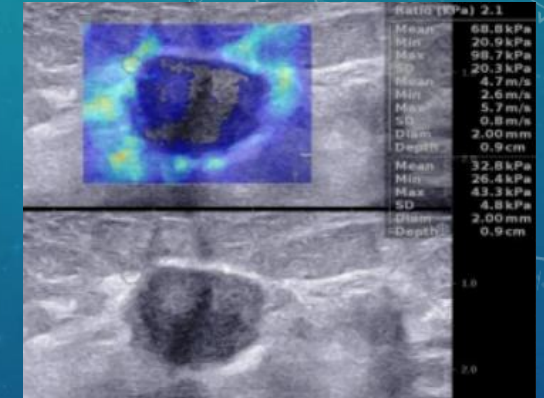
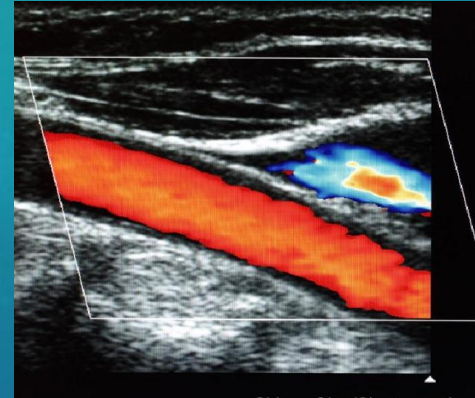


Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Multimodalidad: Más allá de la reflectividad

- Velocimetría (Doppler), elastografía
- Atenuación
- Velocidad del sonido
- Parámetros texturales: cuantificación de la reflectividad

Ultrasonidos
cuantitativos

Desafíos científicos y tecnológicos

Identificación de biomarcadores específicos

Incorporación a la instrumentación
(velocidad de procesamiento).

Penetración

Algoritmos de Inteligencia Artificial

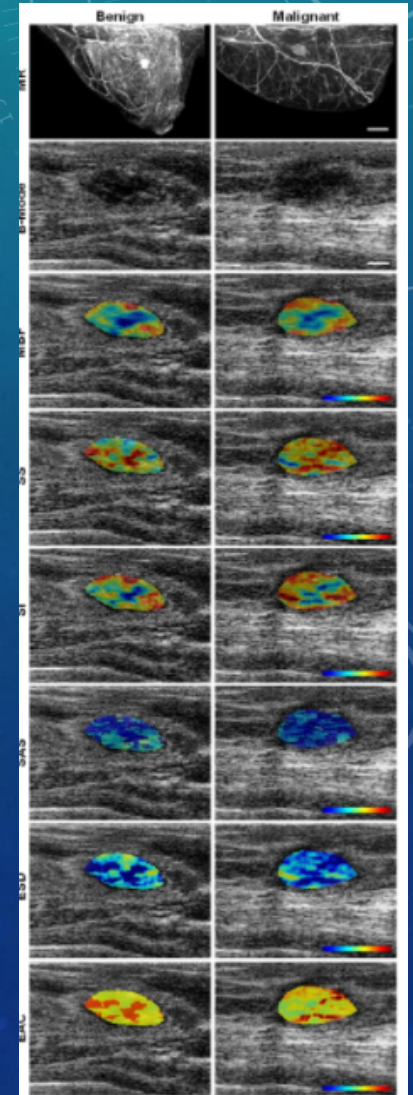


Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Exploración robotizada y tomografía

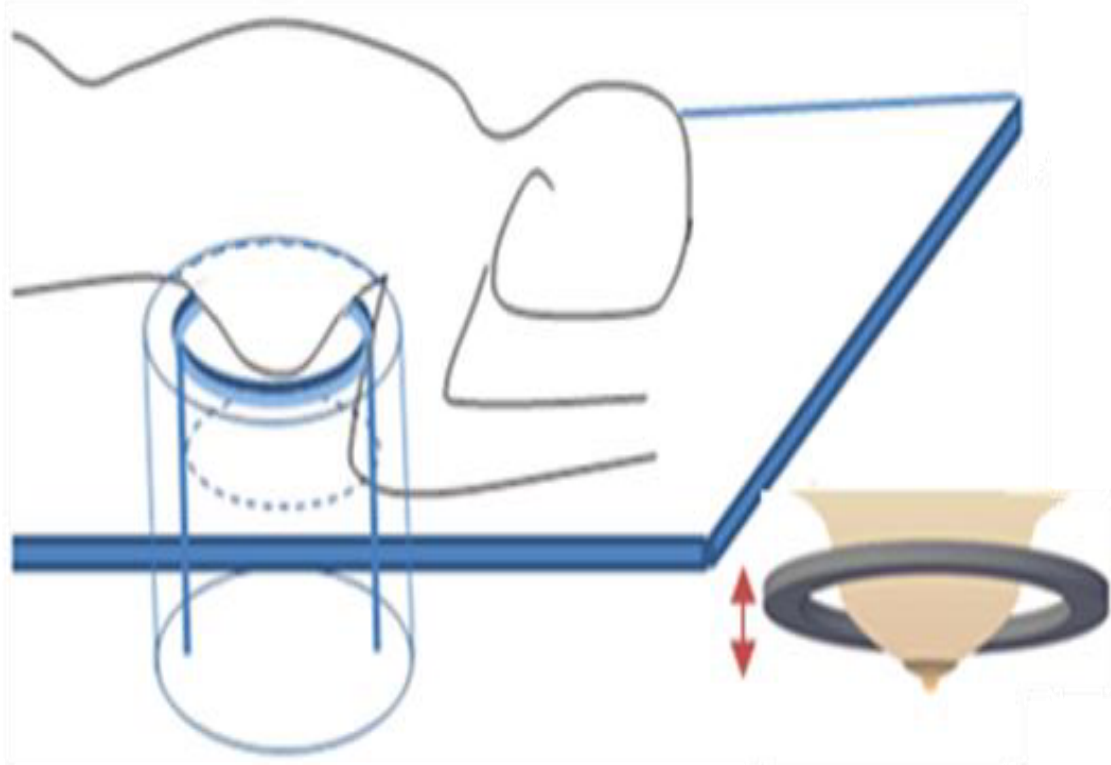


Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Automatización en la exploración y el análisis

DOI: [10.1038/s41598-020-76754-3](https://doi.org/10.1038/s41598-020-76754-3)

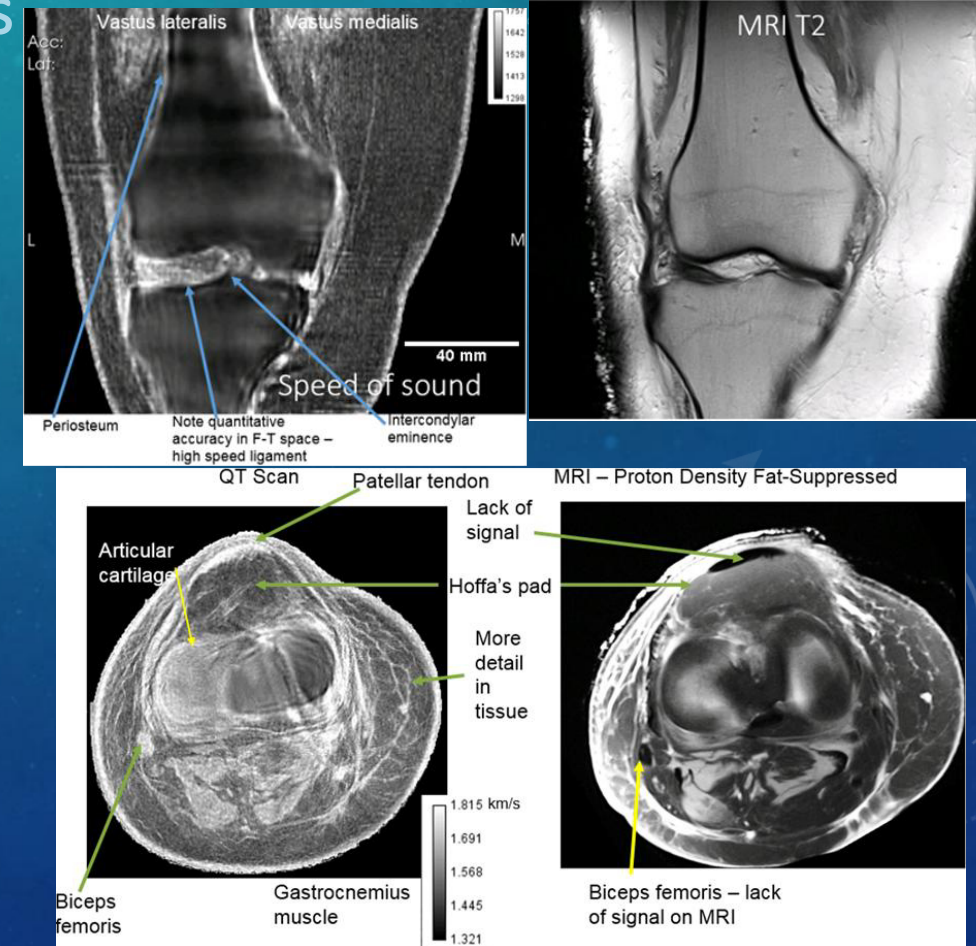
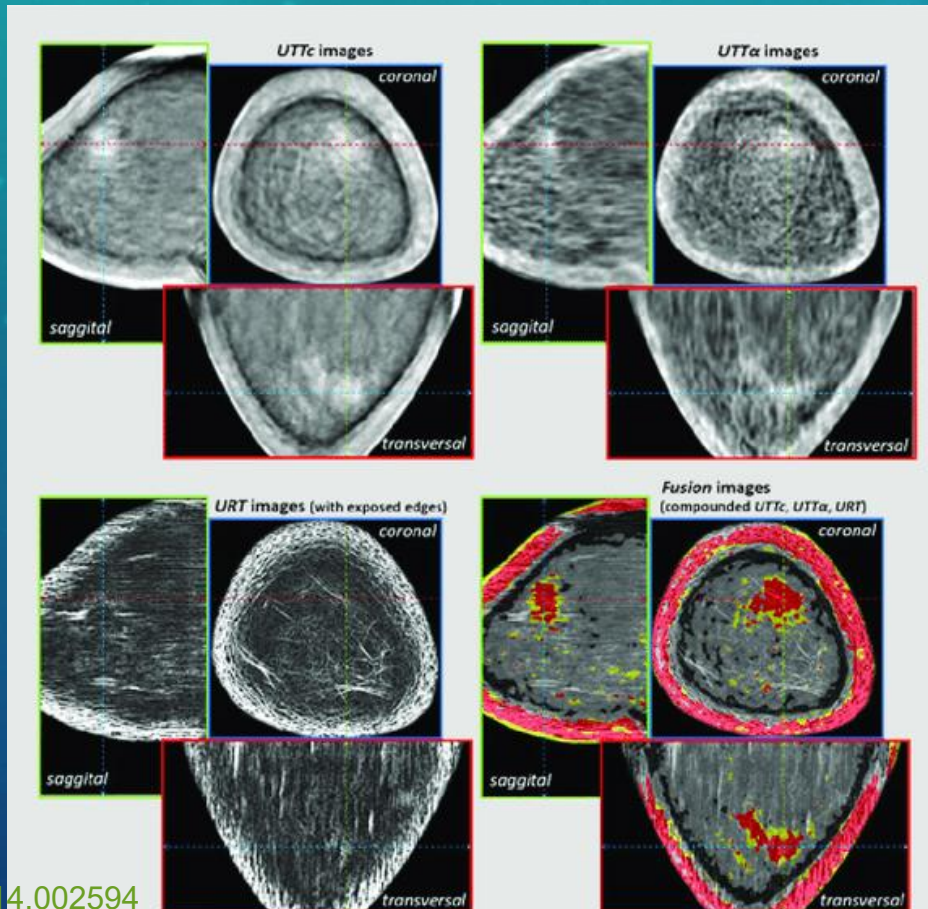
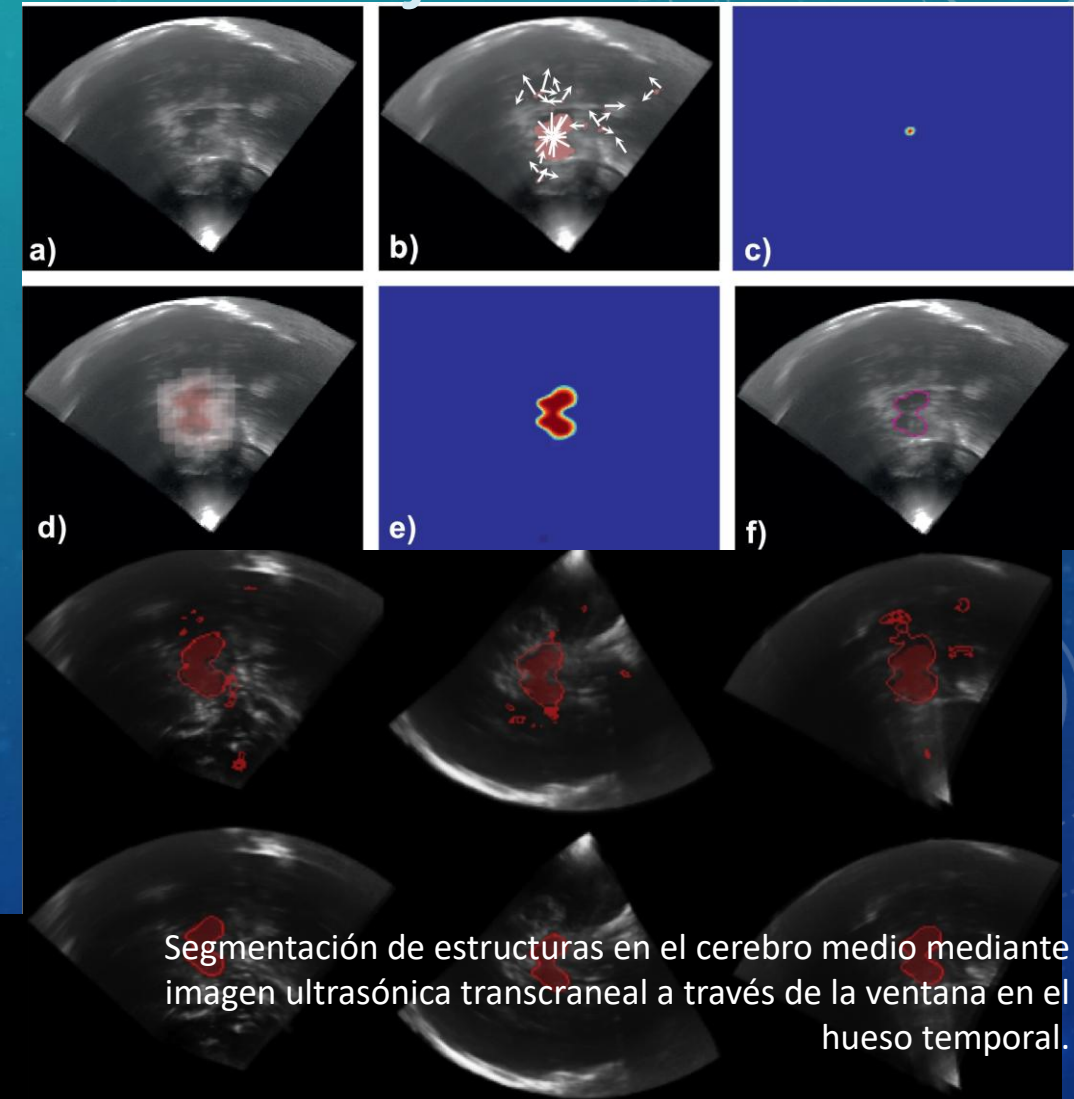


Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Procesamiento de una gran cantidad
de datos: Inteligencia Artificial

- Segmentar
- Clasificar
- Cuantificar



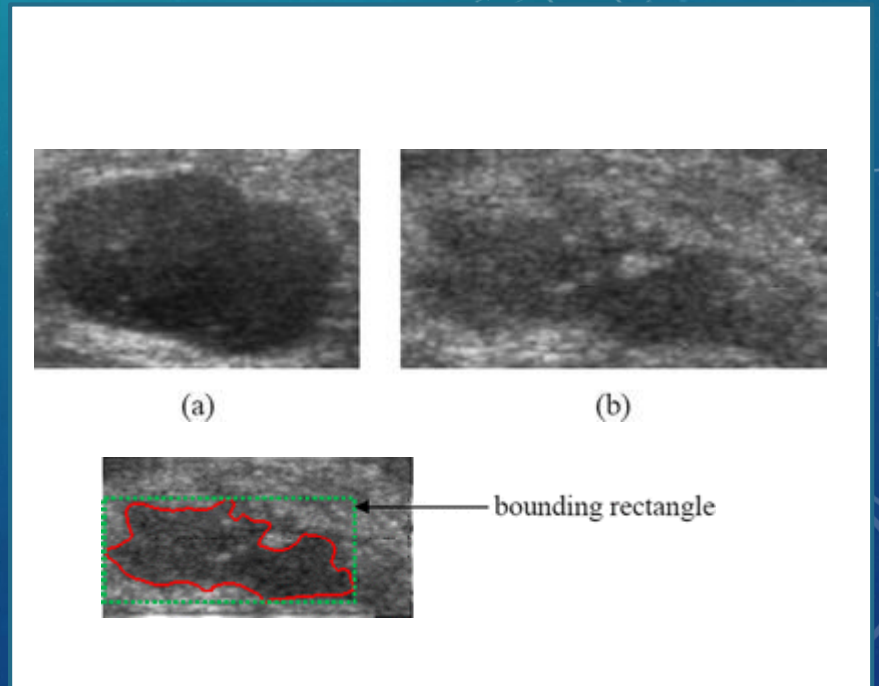
Milletari et al. Computer Vision and Image Understanding, Volume 164, 2017,
<https://doi.org/10.1016/j.cviu.2017.04.002>

Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Procesamiento de una gran cantidad
de datos: Inteligencia Artificial

- Segmentar
- Clasificar
- Cuantificar

Clasificación malignidad en lesiones de mama



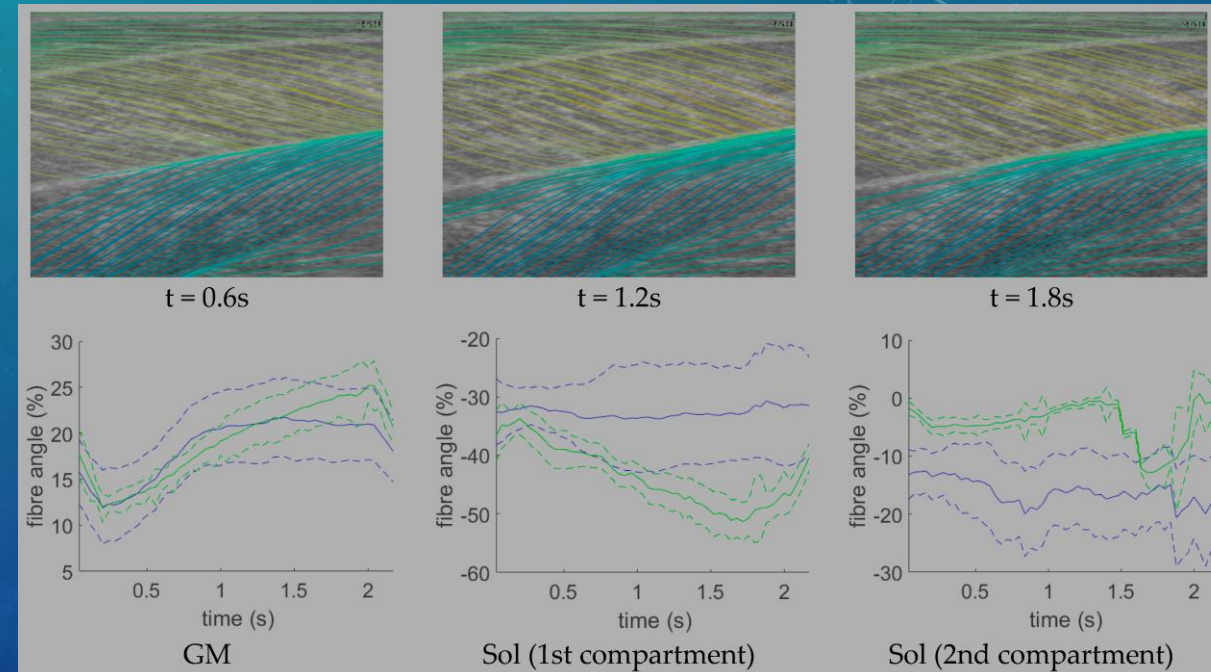
Wu, WJ., Lin, SW. & Moon, W.K. An Artificial Immune System-Based Support Vector Machine Approach for Classifying Ultrasound Breast Tumor Images. *J Digit Imaging* **28**, 576–585 (2015).

Imagen estructural: de la reflectividad a la caracterización de tejidos

Procesamiento de una gran cantidad
de datos: Inteligencia Artificial

- Segmentar
- Clasificar
- Cuantificar

Determinación de la orientación en fibras
musculares



Cunningham, R. et al. Estimating Full Regional Skeletal Muscle Fibre Orientation from B-Mode Ultrasound Images Using Convolutional, Residual, and Deconvolutional Neural Networks. *J. Imaging* **2018**, 4, 29. <https://doi.org/10.3390/jimaging4020029>

Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica

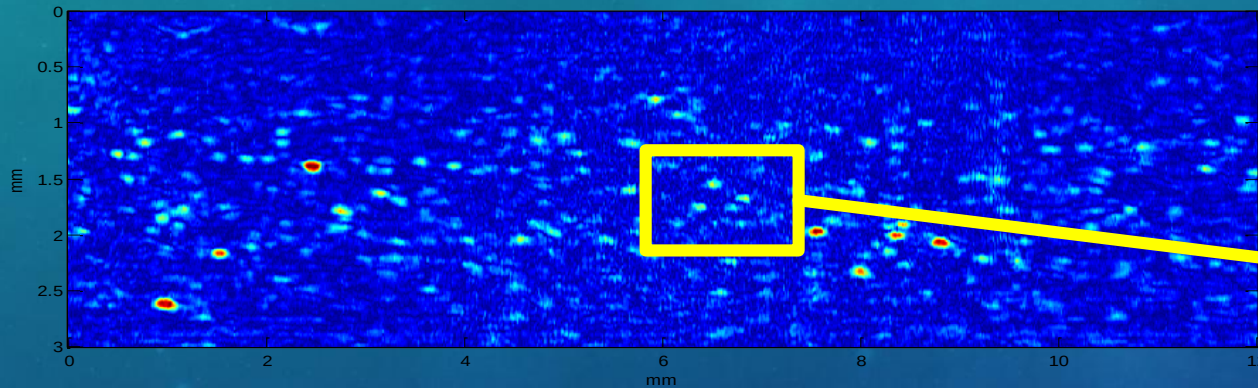
La **lucha por la mejora de la resolución** fundamentalmente se libra subiendo en frecuencia los sistemas de imagen por ultrasonido.

Más frecuencia supone menos penetración porque aumenta la atenuación con la frecuencia ¿hasta cuánto podemos compensar este efecto aumentando la amplitud de la señal emitida?

Competencia resolución /seguridad

Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica

Imagen en sub-resolución: detectando elementos menores a la longitud de onda.



Lymphocytes, 140 cells/ μ l

Imágenes in vitro, sonda monocanal de scan a 20MHz (longitud de onda: 75 μ m)

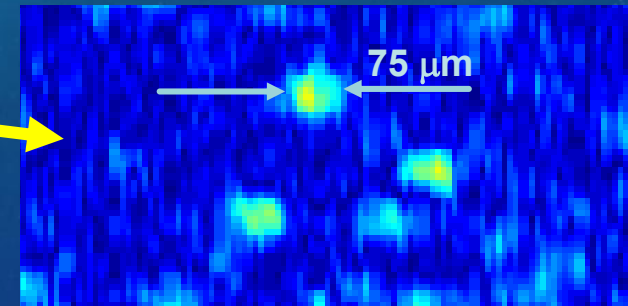
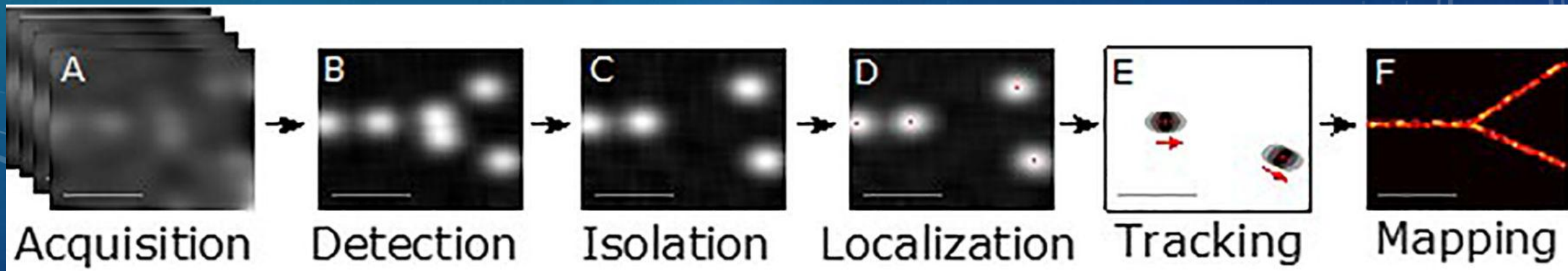


Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica

La microscopía por localización ultrasónica utiliza imágenes en sub-resolución y la convierte en una imagen de super-resolución.

Conjunto de técnicas que permiten resolver elementos **móviles** cuyo tamaño es menor de la longitud de onda. Se utiliza para imagen vascular (con contrastes / sin contrastes)

- Se sigue el punto central de diferentes reflectores (contrastes) separados entre sí. La superposición del recorrido de estos centros proporciona la imagen.
- Diferentes modalidades: detección de no lineales, desaparición (colapso) de contrastes...



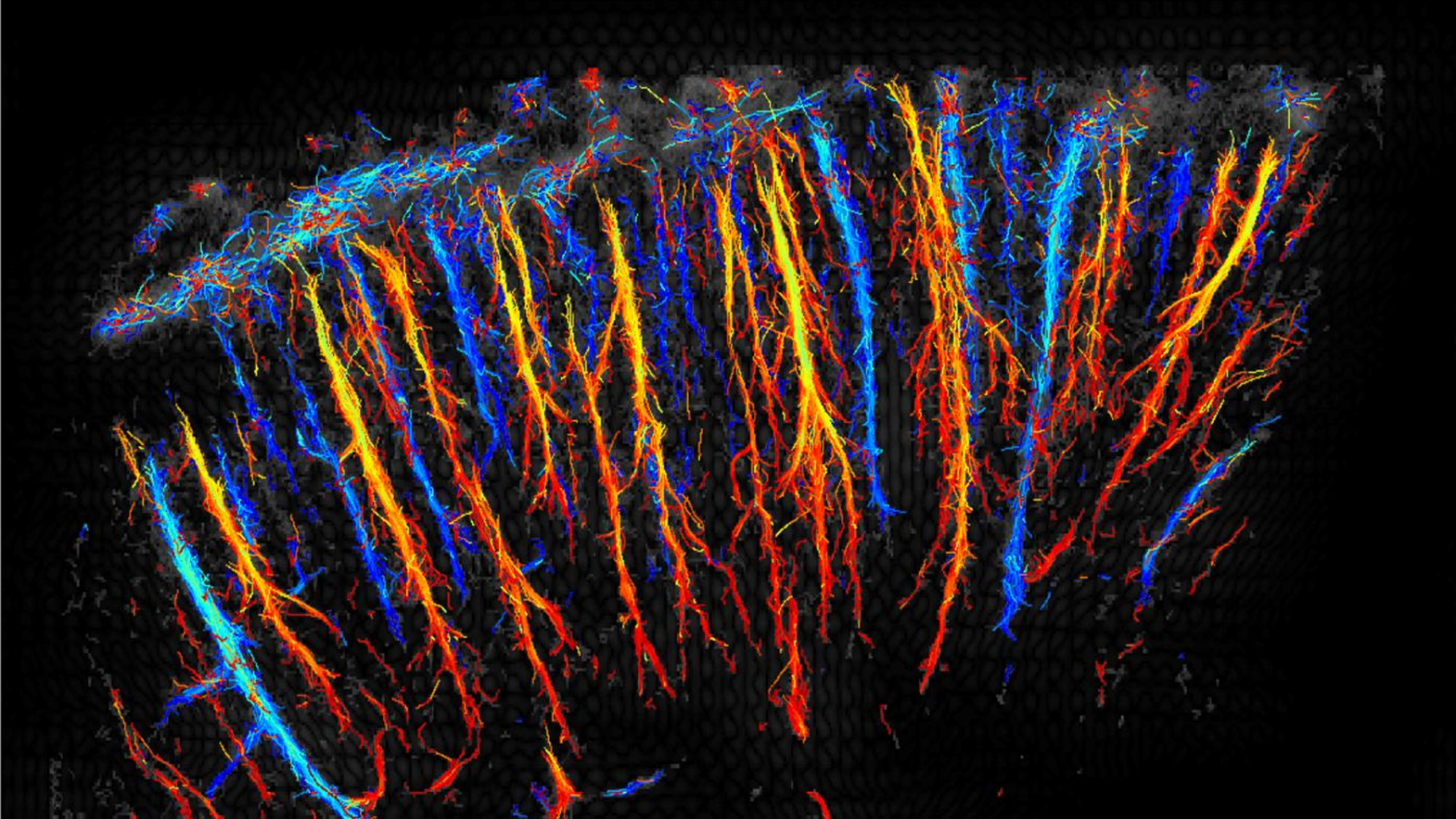


Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica

Imagen funcional

Análisis vascular en super-resolución durante la estimulación cerebral en ratones (visualización de capilares de 20micras)

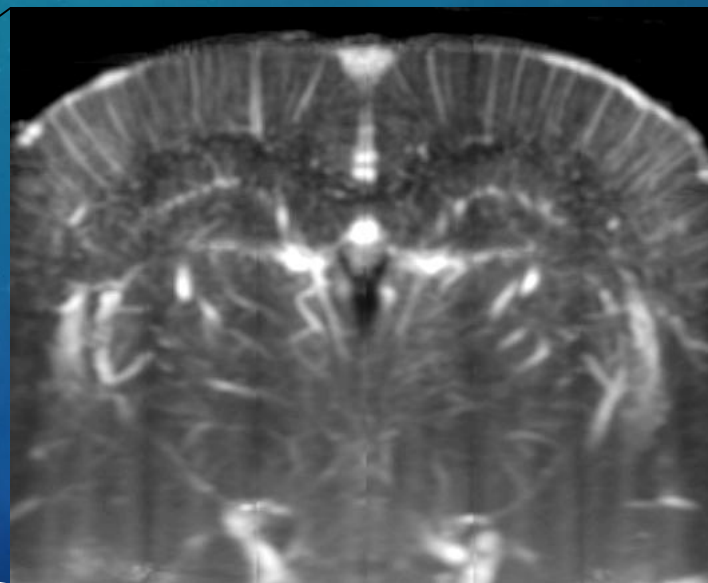


Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica



THERANOSTICS

Home | Editorial board | Author info | Submit a manuscript

► Theranostics. 2020 Jun 12;10(17):7480–7491. doi: [10.7150/thno.44233](https://doi.org/10.7150/thno.44233)

Early Ultrafast Ultrasound Imaging of Cerebral Perfusion correlates with Ischemic Stroke outcomes and responses to treatment in Mice

Vincent Hingot^{1,†}, Camille Brodin^{2,†}, Florent Lebrun^{2,5}, Baptiste Heiles¹, Audrey Chagnot², Mervé Yetim², Maxime Gauberti³, Cyrille Orset², Mickael Tanter¹, Olivier Couture¹, Thomas Deffieux^{1,†}, Denis Vivien^{2,4,†,✉}

► Author information ► Article notes ► Copyright and License information

PMCID: PMC7359089 PMID: [32685000](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32685000/)

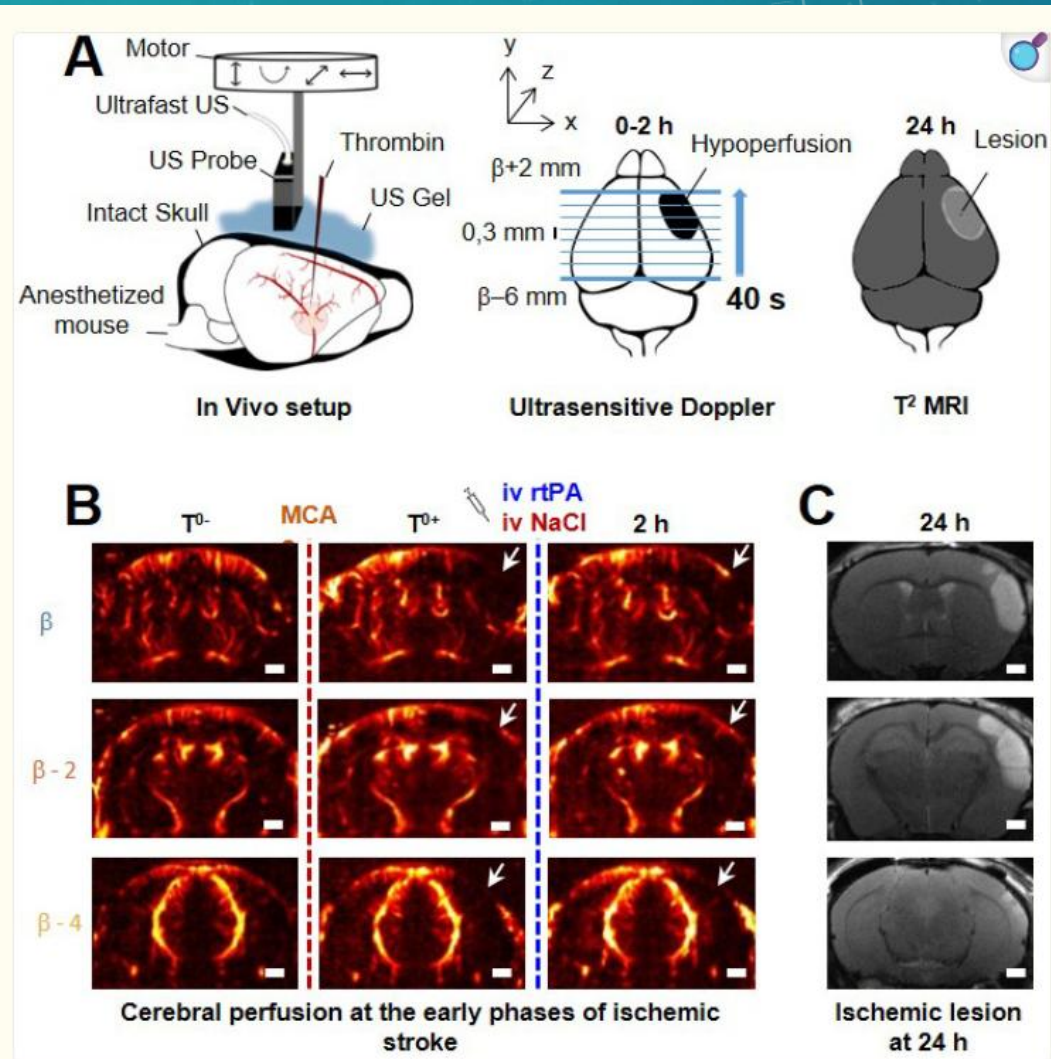


Imagen vascular: microscopía por localización ultrasónica

LETTER | Originally Published 30 October 2024 |  |  | 

Ultrasound Localization Microscopy for the Assessment of Microvascular Circulation in Ischemic Perinatal Stroke

Adrian P. Regensburger, MD  , Felix Wachter , Louise Denis, PhD , Henriette Mandelbaum, MD, Frauke Schey, Adrian Buehler, MSc, Gregor Siebenlist, MD , ... [SHOW ALL](#) ..., and Ferdinand Knieling, MD   | [AUTHOR INFO & AFFILIATIONS](#)

Stroke • Volume 55, Number 12 • <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.124.048390>

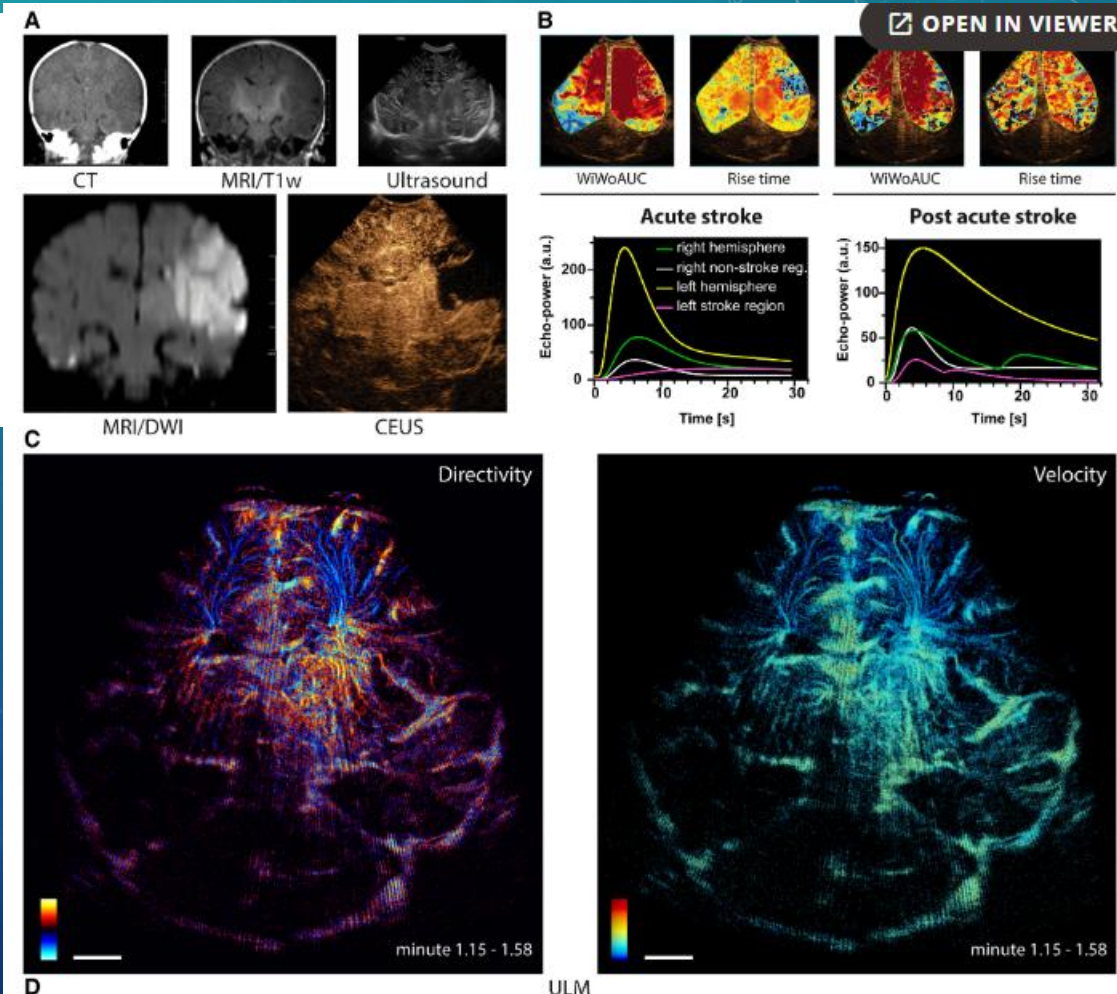
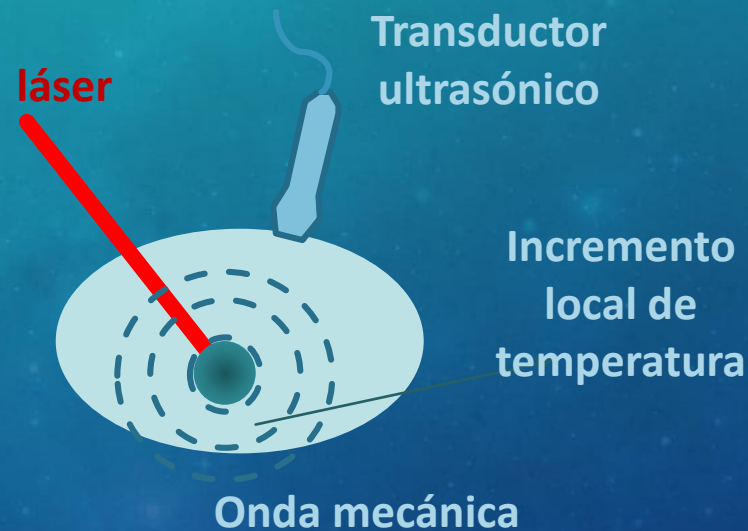
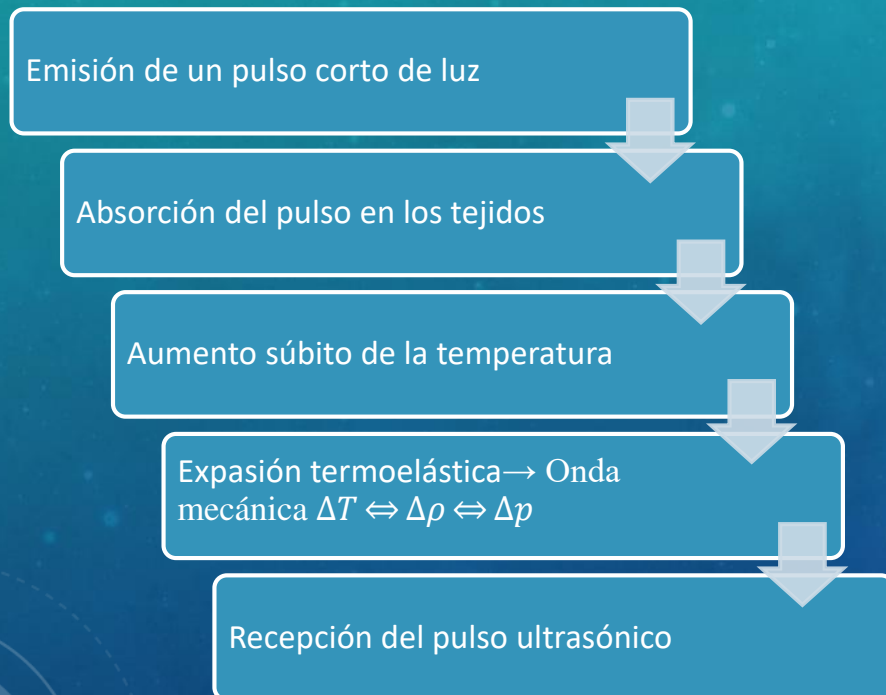


Imagen fotoacústica

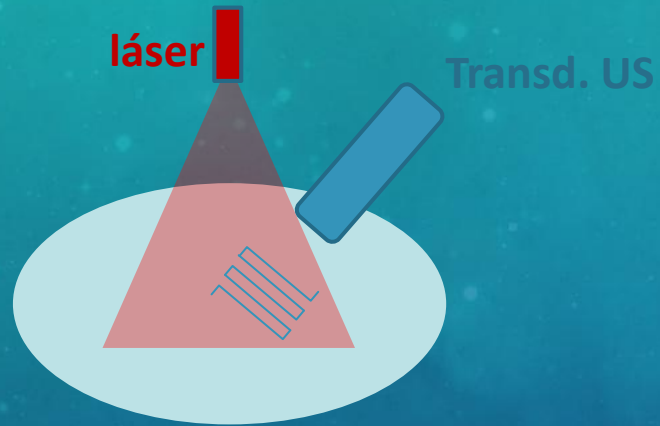
La **imagen optoacústica o fotoacústica** es una modalidad híbrida de imagen basada en una **excitación óptica** y una **recepción acústica**



Utilizando diferentes longitudes de onda es posible detectar diferentes moléculas: Absorción (λ)

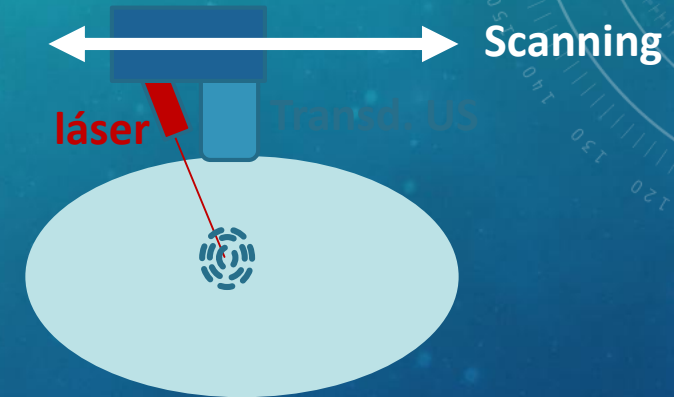
Imagen fotoacústica

PAT (Photoacoustic tomography)



- Optical wide-field illumination
- Conventional ultrasound (3-20MHz)
- Ultrasound scanning or array
- Penetration: up to several cm's
- Resolution: $\sim 100\mu\text{m}$

PAM (Photoacoustic microscopy)



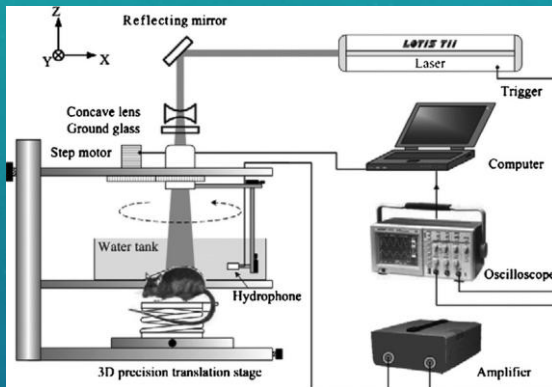
- Optical weak focusing
- High frequency ultrasound (20-200MHz)
- Ultrasound-light system scanning
- Penetration: up to several mm's
- Resolution: $5-50\mu\text{m}$

Imagen fotoacústica

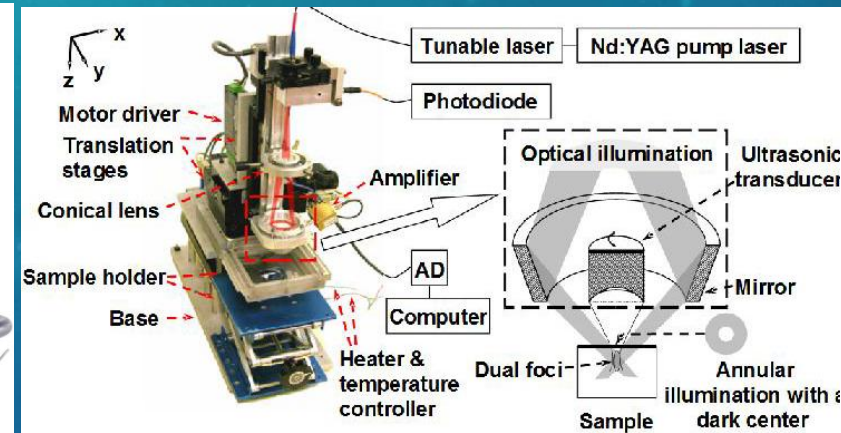
INSTRUMENTACIÓN

PAT (Photoacoustic tomography)

PAM (Photoacoustic microscopy)



Noninvasive photoacoustic imaging of the developing vasculature during early tumor growth. Yeqi Lao, Da Xing, Sihua Yang and Liangzhong Xiang, 2008 Phys. Med. Biol. 53, 4203. DOI 10.1088/0031-9155/53/15/013

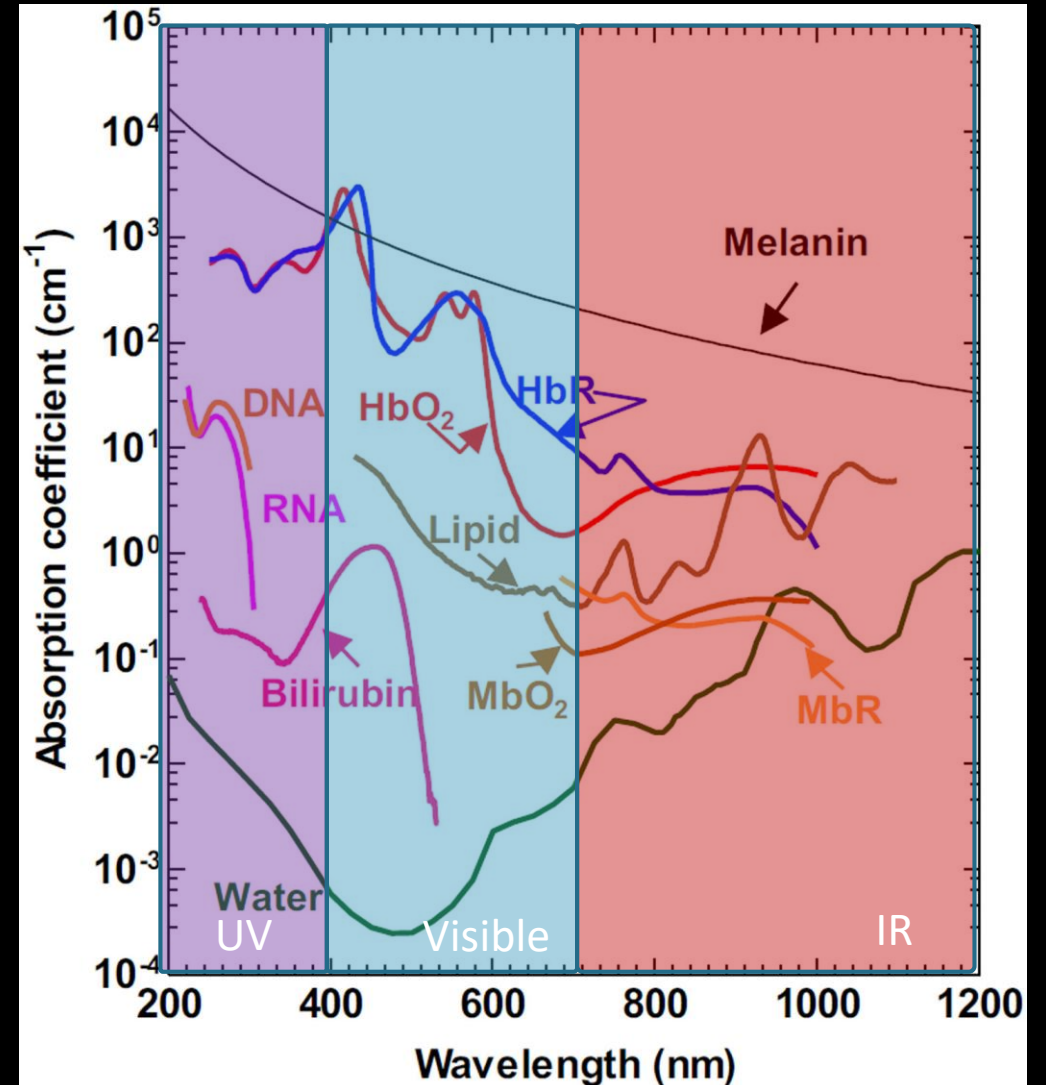
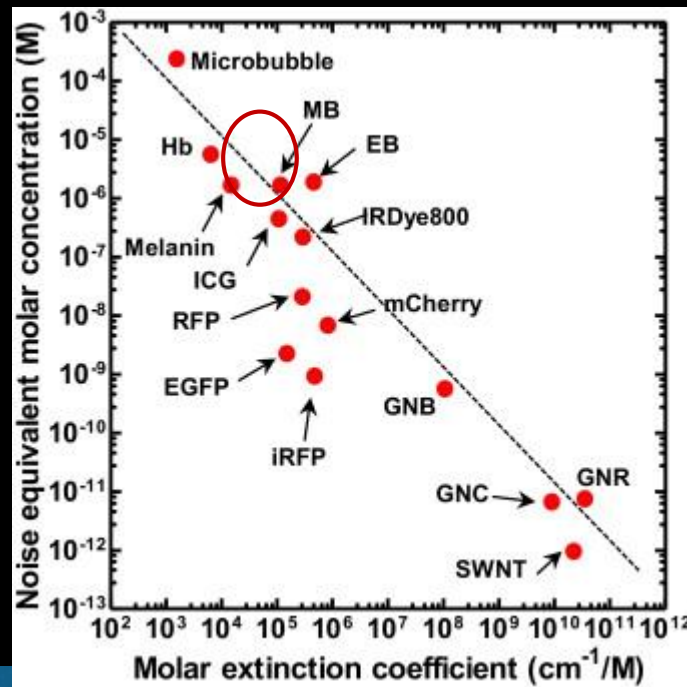


Fieramonti, Luca. Feasibility, Development and Characterization of a Photoacoustic Microscopy System for Biomedical Applications, Doctoral thesis, Politecnico de Milano-Lundt University, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/224042770>



Imagen fotoacústica

Hb Hemoglobina
 MB Azul de metileno
 EB Azul Evans
 ICG Verde indocianina
 IRDye800 IR cercano 800
 RFP prot. fluor. Roja
 mCherry prot. cereza monómera
 EGFP prot. fluor. Verde
 iRFP prot. Fluor. IR cercano
 GNB nanobaliza de oro
 GNC nanocaja de oro
 GNR nano barra de oro
 SWNT nano tubo de carbono



Junjie Yao, Lihong V. Wang, Sensitivity of photoacoustic microscopy,
 Photoacoustics, Volume 2, Issue 2, 2014, Pages 87-101,
<https://doi.org/10.1016/j.pacs.2014.04.002>.

Imagen fotoacústica

La Hemoglobina y el oxígeno en la hemoglobina

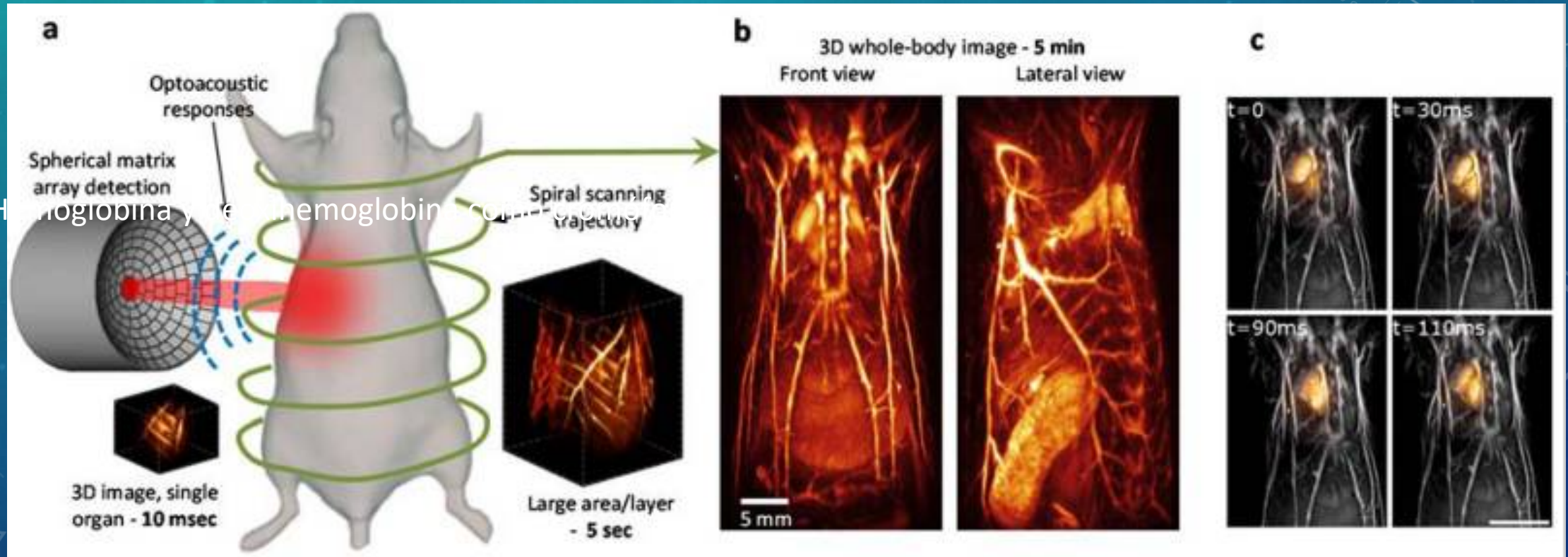


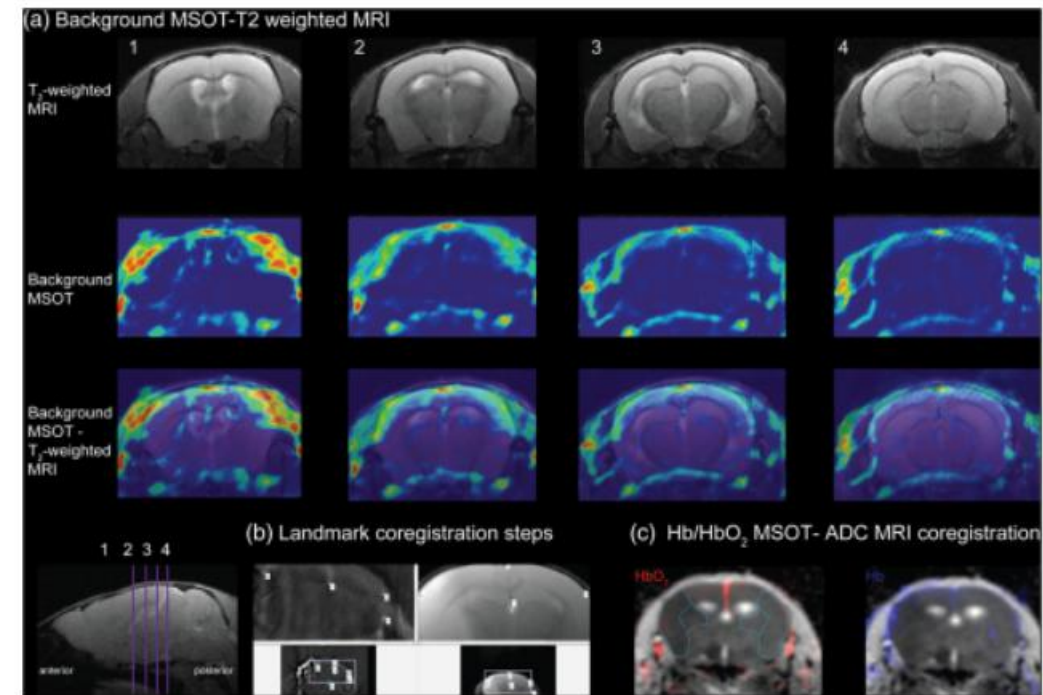
Imagen fotoacústica

28 Feb 2018 | Journal Article | [Open access](#)

Noninvasive detection of acute cerebral hypoxia and subsequent matrix-metalloproteinase activity in a mouse model of cerebral ischemia using multispectral-optoacoustic-tomography

Ruiqing Ni, Markus Vaas, Wuwei Ren, Jan Klohs | [Author Affiliations](#)

Neurophotonics, Vol. 5, Issue 1, 015005 (Feb 2018) <https://doi.org/10.1117/1.NPh.5.1.015005>



Registration procedure: (a) coregistration of cross-sectional axial background MSOT and T_2 -weighted MR images; (b) landmark coregistration; and (c) resulting coregistered MSOT image and Rols, including ischemic lesion (whole, cortex, and striatum) in the ipsilateral and nonaffected contralateral hemisphere.

Imagen fotoacústica

Cell Reports Physical Science

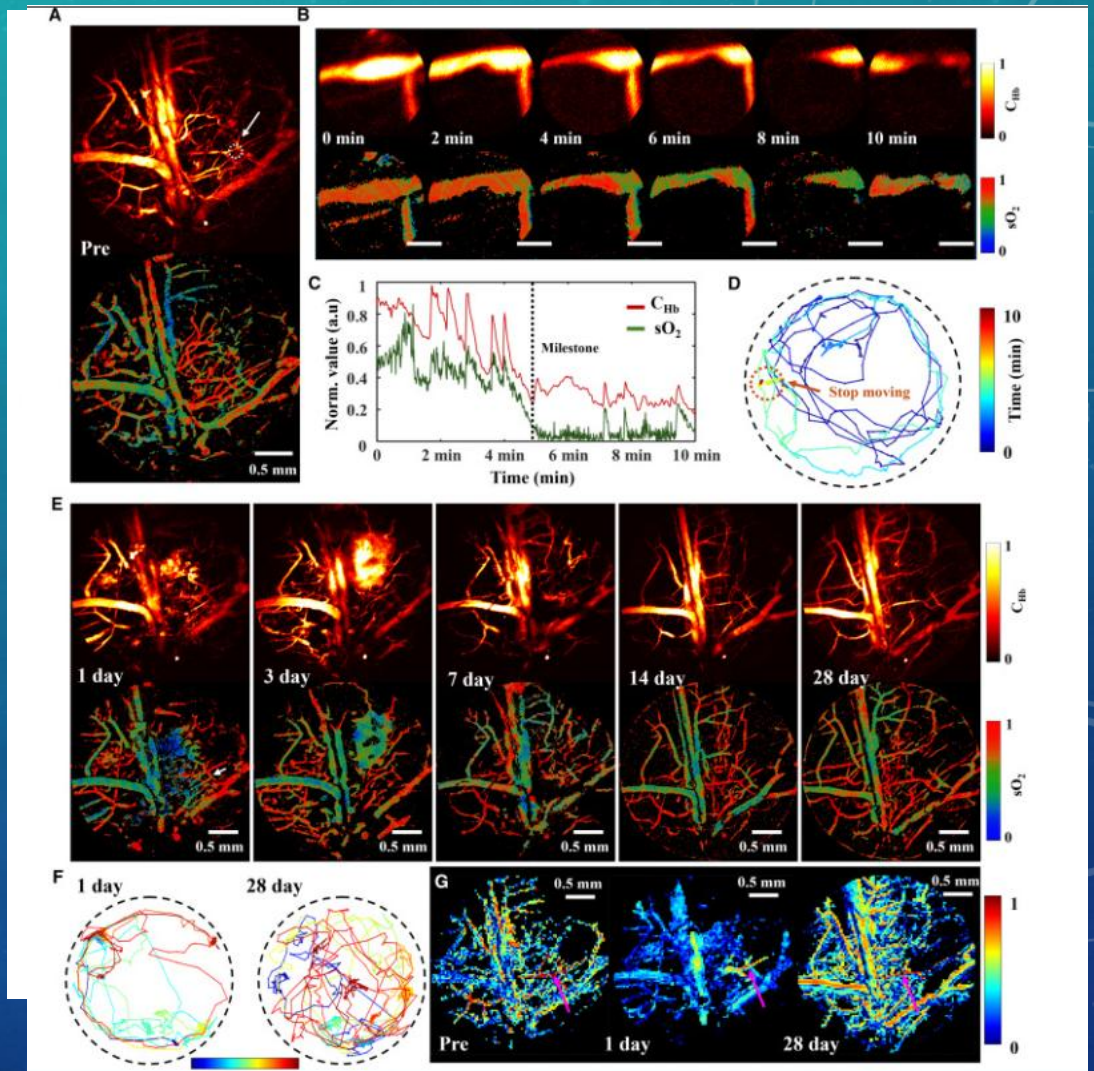


Volume 6, Issue 11, 19 November 2025, 102956

Article

Wearable photoacoustic microscopy for ultrafast stroke metabolic imaging in freely moving mice

Xiao Liang^{1,2,3,4,5}, Heng Guo^{4,5}, Linyang Li⁴, Tingting Li⁴, Baochen Li⁴, Wei Qin⁴, Yuanlong Zhao⁴, Lei Xi⁴, Zhen Yuan^{1,2,3,6}





¡MUCHAS GRACIAS!