MAPEADO DE LA ELASTICIDAD DE TEJIDOS MEDIANTE UN MÉTODO RÁPIDO BASADO EN GRADIENTE DE FASE

Enrique González-Mateo, Noé Jiménez, Francisco Camarena

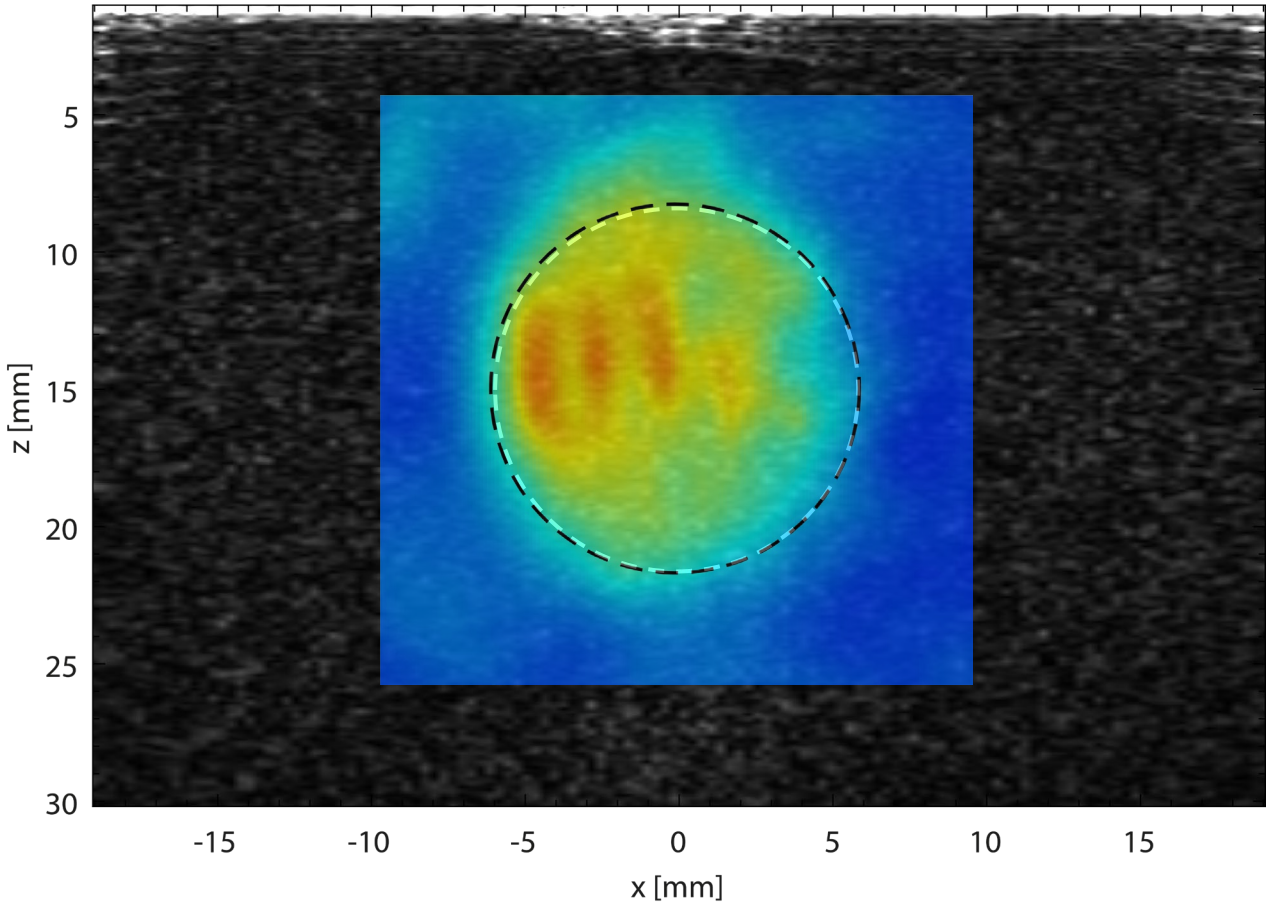
Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular, CSIC- Universitat Politècnica de València, 46022 València, Spain

Elastografía

- Mide la elasticidad de un tejido
- Información cuantitativa
- Permite evaluar regiones internas

Métodos

- Elastografía transitoria (TE)
- Elastografía shear wave (SWI)
- Elastografía MRI (MRE)



Elastografía shear wave

1 **Estrés del tejido biológico**

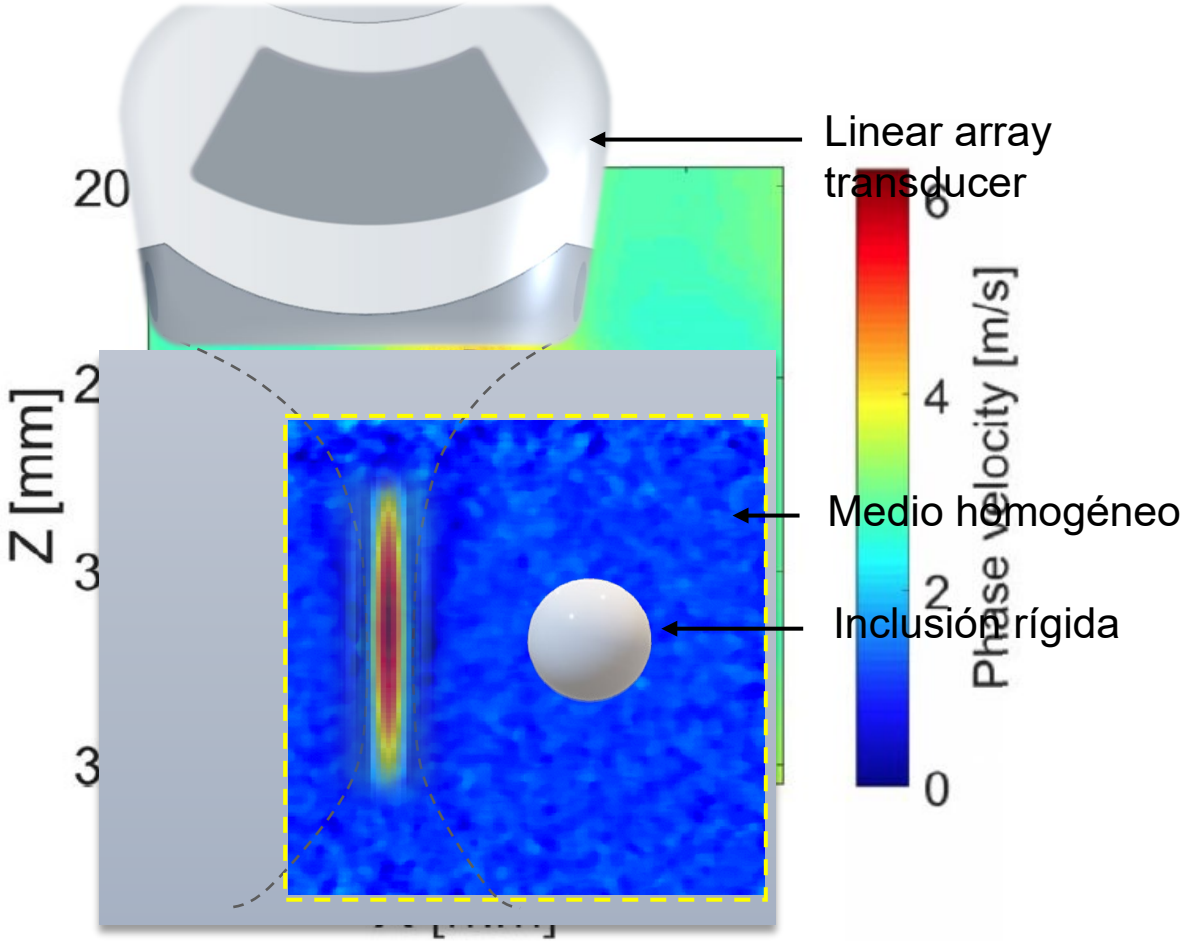
Haz focalizado cerca de la zona de interés
Onda de corte generadas por fuerza de radiación acústica (ARF)

2 **Detección de desplazamientos**

Imágenes ultrarrápidas medidas con transductor de imagen
Desplazamientos perpendiculares a la dirección del haz focalizado

3 **Reconstrucción mapa de propiedades mecánicas**

Conociendo la velocidad de fase, es posible calcular el módulo de elasticidad y reconstruir un mapa de lo elástico que es el medio.

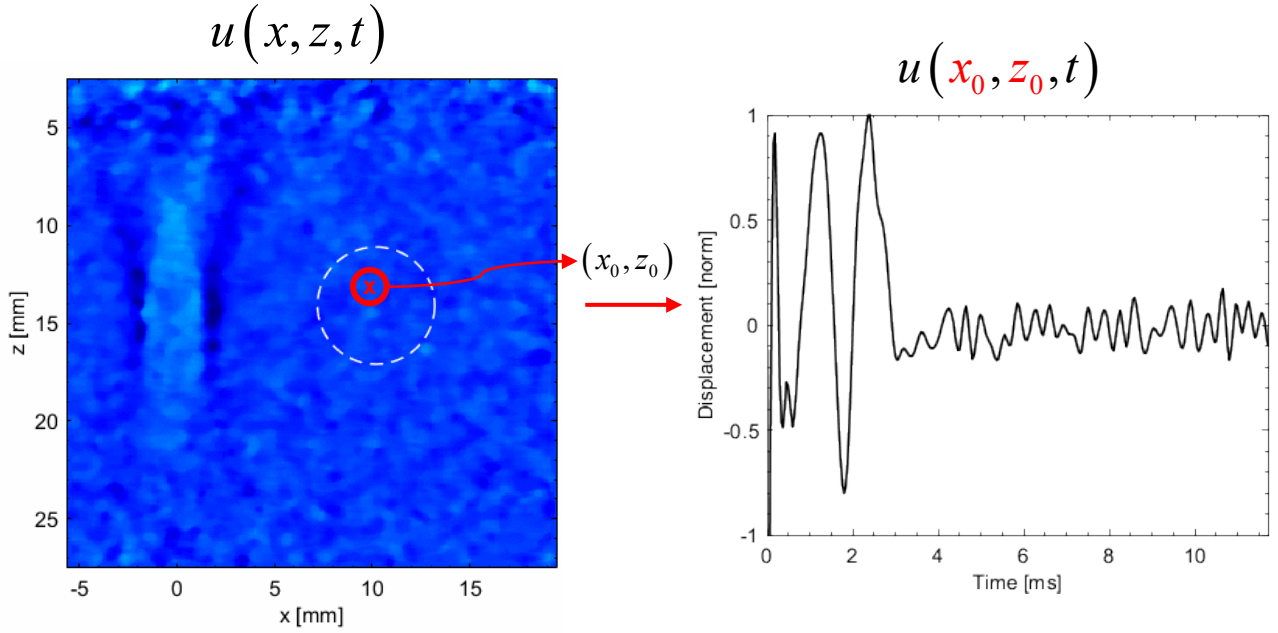


Kijanka et al. (2021) *IEEE Transactions on Medical Imaging*.

Cálculo velocidad de fase

Métodos en dominio temporal

- Cálculo de picos en las formas de desplazamiento o velocidad
- Correlación cruzada de señales temporales
- **Coste computacional bajo**
- **No información de dispersión de velocidad**



Métodos en dominio frecuencial

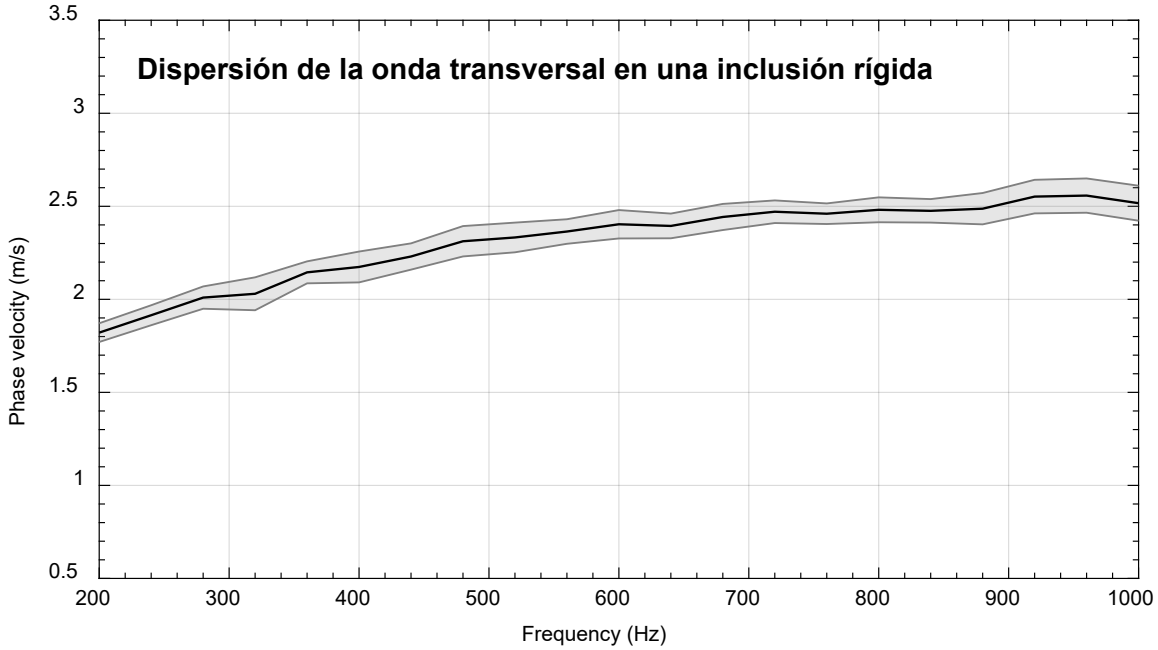
- Transformada de Fourier
- Gradiente de fase
- **Coste computacional alto**
- **Aporta información de dispersión de velocidad**

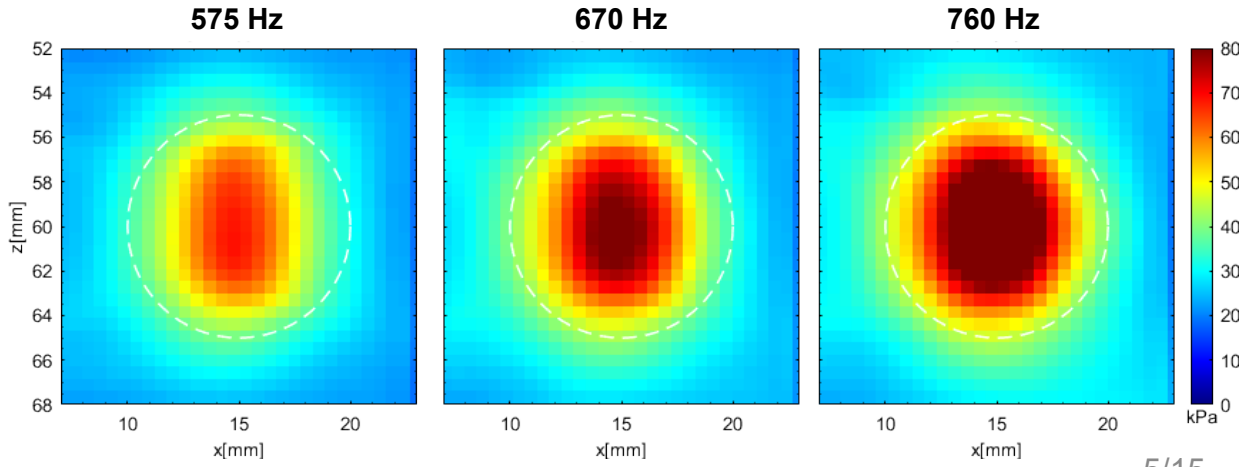
Motivación

- Tejidos blandos presentan un comportamiento **viscoelástico**
- Cambio en la velocidad de la onda con respecto a la frecuencia (dispersión)
- Métodos frecuenciales en 2D muestran un **elevado coste computacional**

Objetivos

- Desarrollar un algoritmo ultrarrápido de reconstrucción de imagen elastográfica 2D
- Método basado en dominio frecuencial mediante diferencias de gradiente de fase
- Implementación en tiempo real

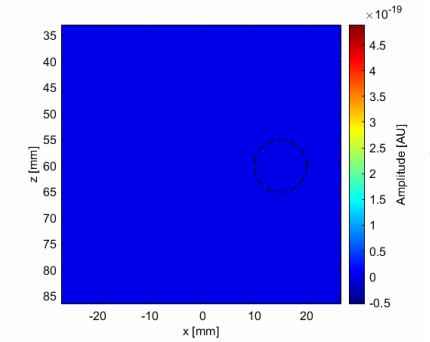




Algoritmo de reconstrucción

1 Desplazamientos en dominio temporal

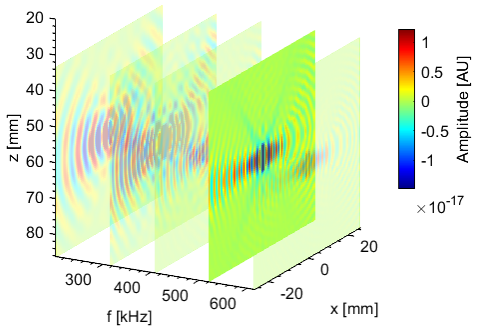
$u(x,z,t)$



$\mathfrak{F}_{1D}(t)$

2 Desplazamientos en dominio frecuencial

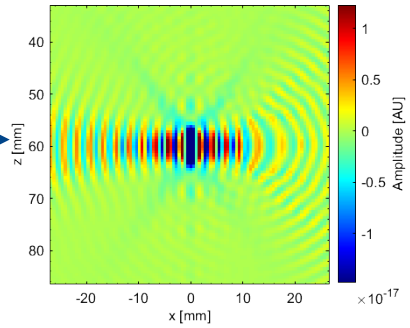
$U(x,z,f)$



f_0

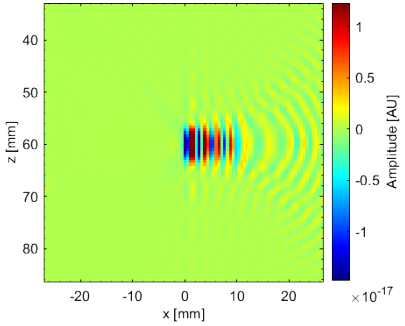
3 Datos a una frecuencia f_0

$U(x,z,f_0)$



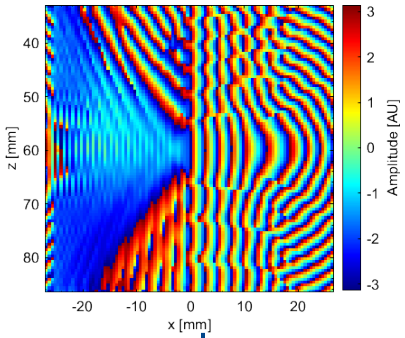
4 Datos filtrados a una frecuencia f_0

$U_{filt}(x,z,f_0)$



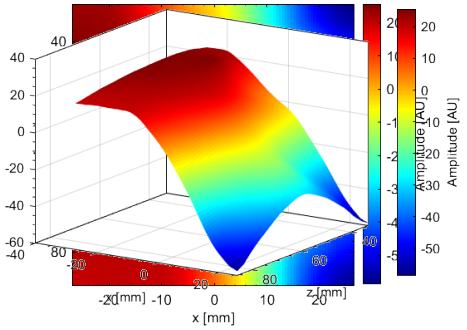
5 Calculo del mapa de fase

$\phi(x,z,f_0)$



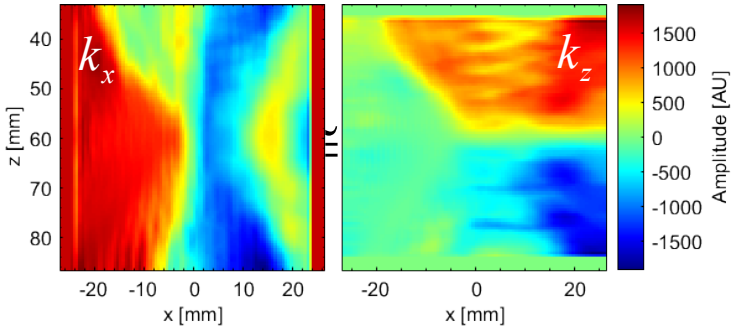
6 Desenvolver fase

$\phi_u(x,z,f_0)$



7 Calculo del número de onda en dos dimensiones

$\phi(x,z) \cong k_x x + k_z z$



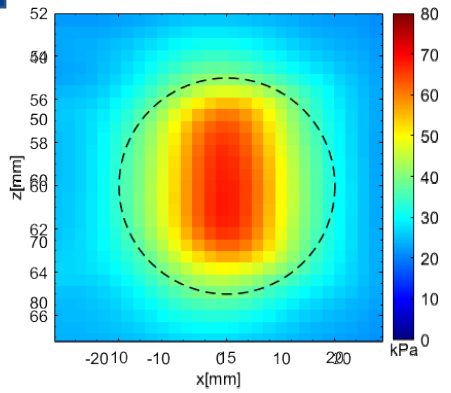
8 Cálculo de la velocidad de fase en base al número de onda dominante

$$|\boldsymbol{k}| = \sqrt{k_x^2 + k_z^2}$$

$$c_{ph}(f_0) = \frac{2\pi f_0}{|\boldsymbol{k}|}$$

$$E = 3\rho_0 c_{ph}^2$$

9 Mapa de elasticidad



Validación experimental

1 Transductor linear array

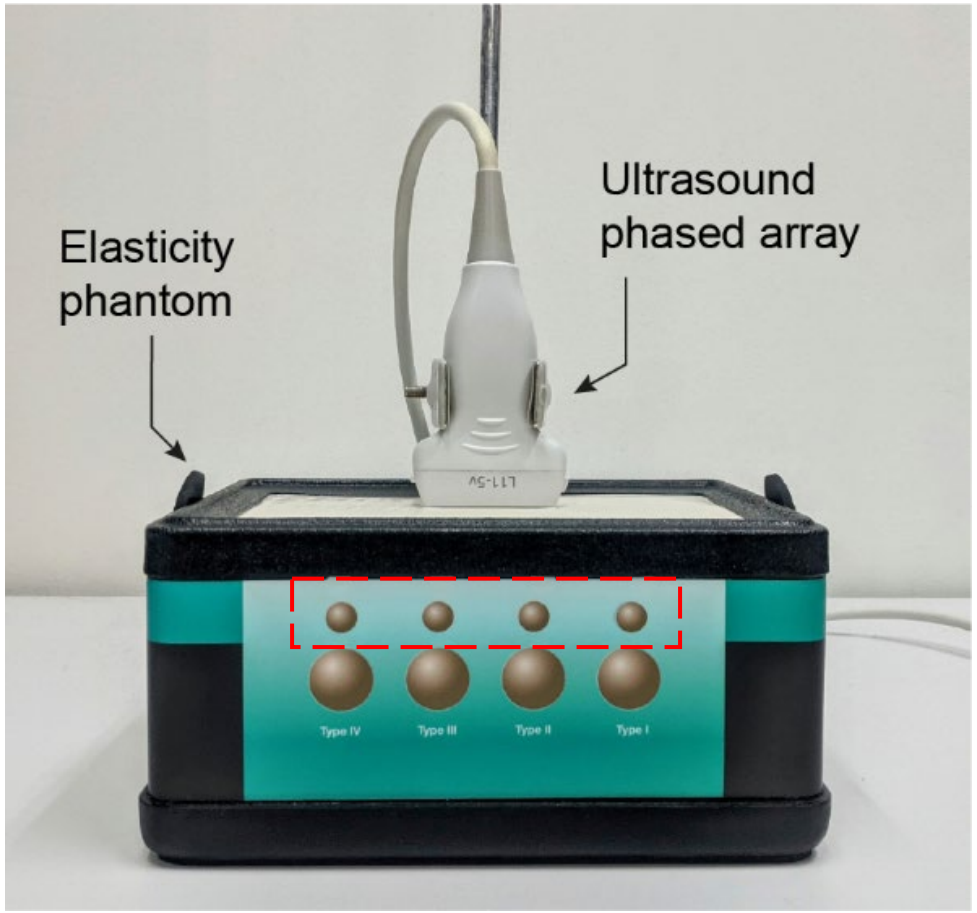
7.6 MHz. 128 elementos

- Pulso focalizado de 200 µs a 15 mm de profundidad.
- Pulsos de detección de deformación con un PRF de 10kHz

2 Phantom CIRS de elasticidad

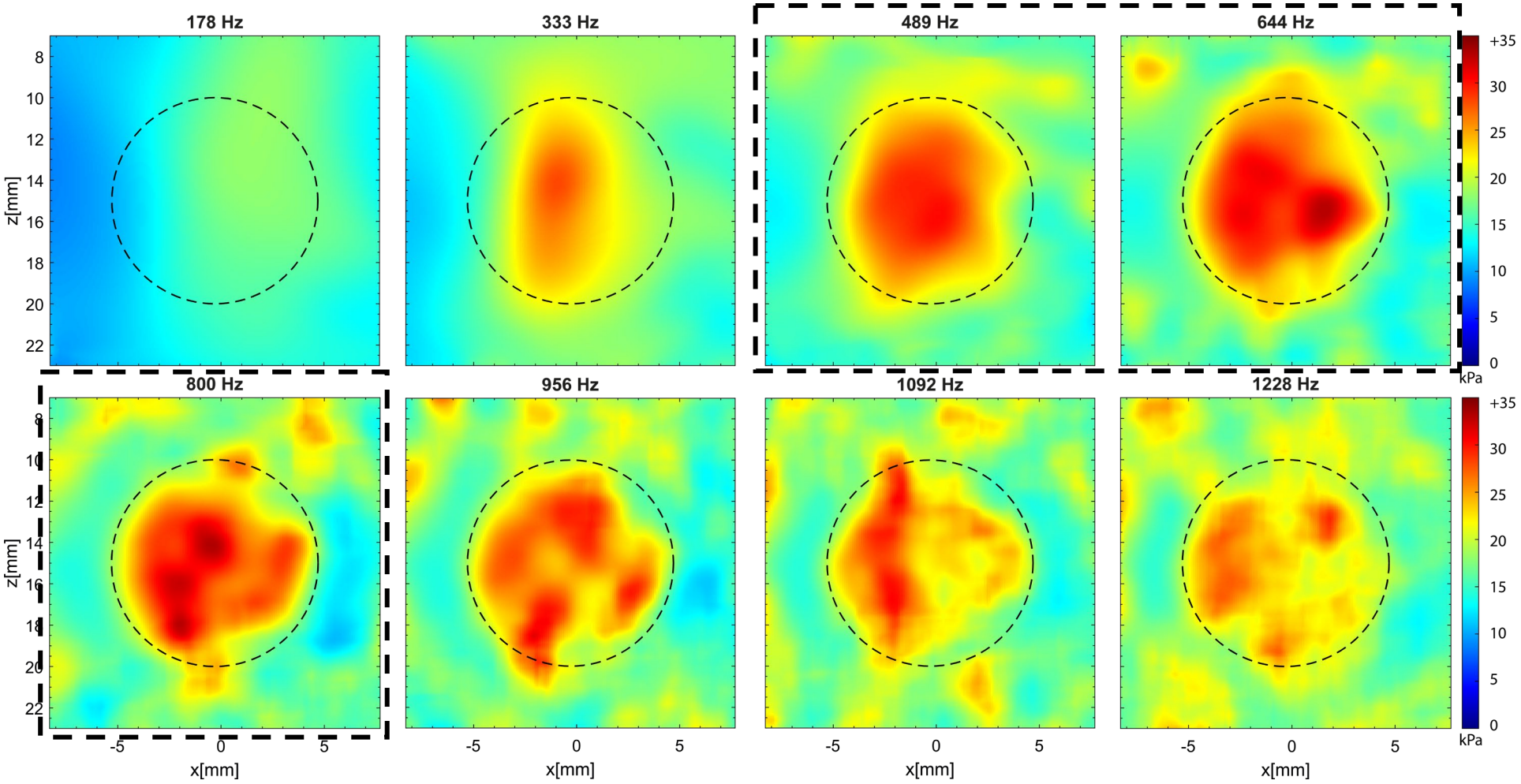
- Inclusiones esféricas de distintas elasticidades y tamaños

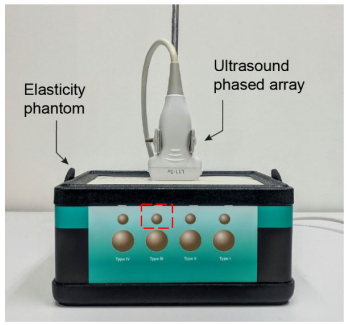
Type I	Type II	Type III	Type IV	Fondo
7 kPa	15 kPa	47 kPa	79 kPa	29 kPa



Validación experimental

Análisis espectral

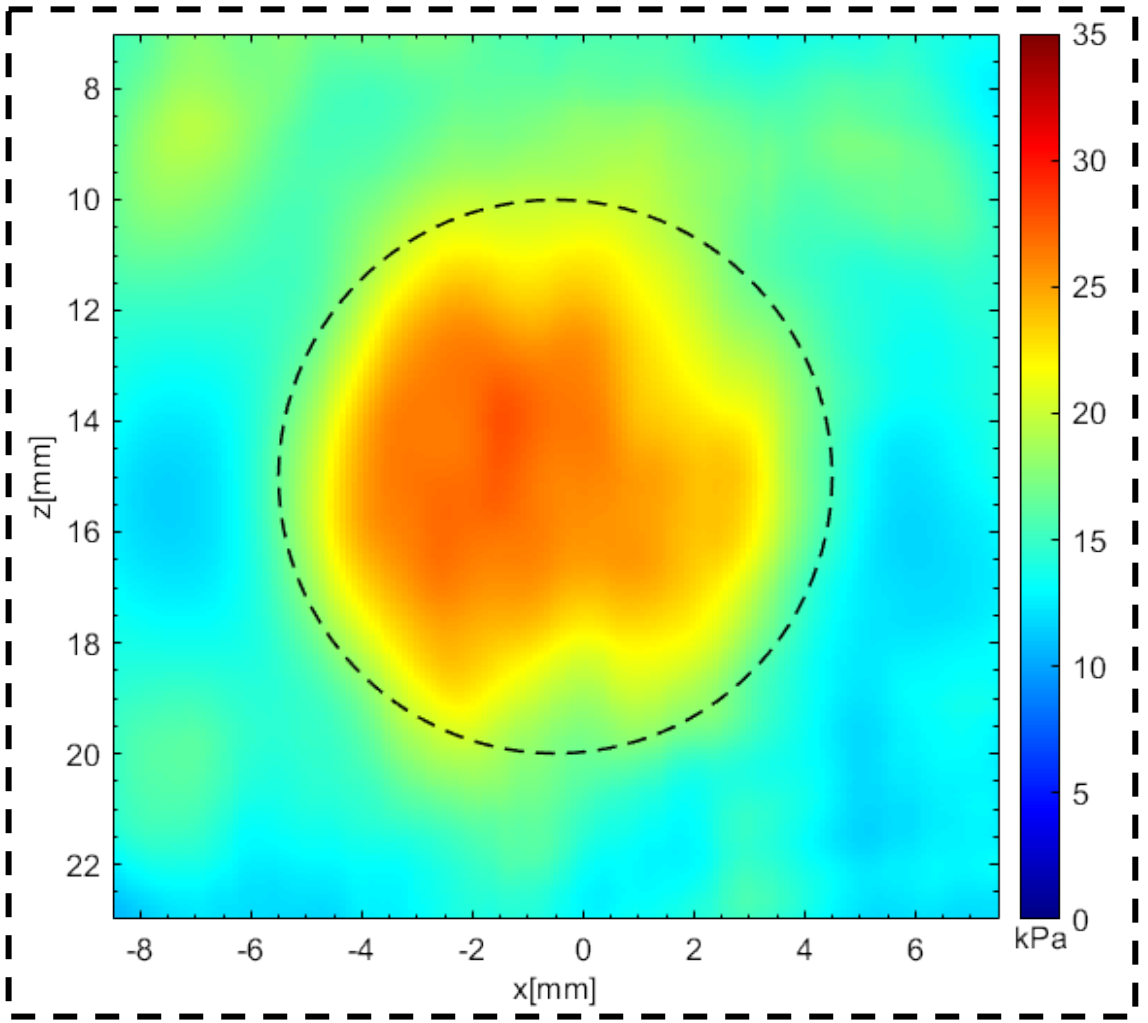




Validación experimental

Análisis espectral

- Esfera de Ø = 10 mm
- Frecuencia central 650 Hz
- Ancho de banda 500 – 800 (300) Hz



Validación experimental

Comparación de método

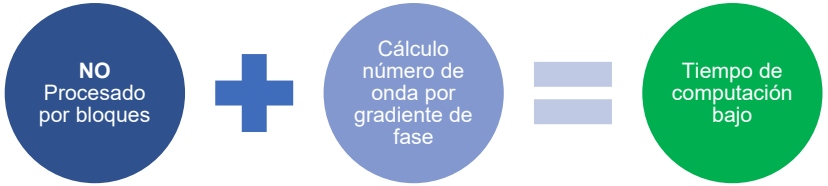
- Esfera de Ø = 10 mm
- Frecuencia central 650 Hz
- Ancho de banda 500 – 800 (300) Hz

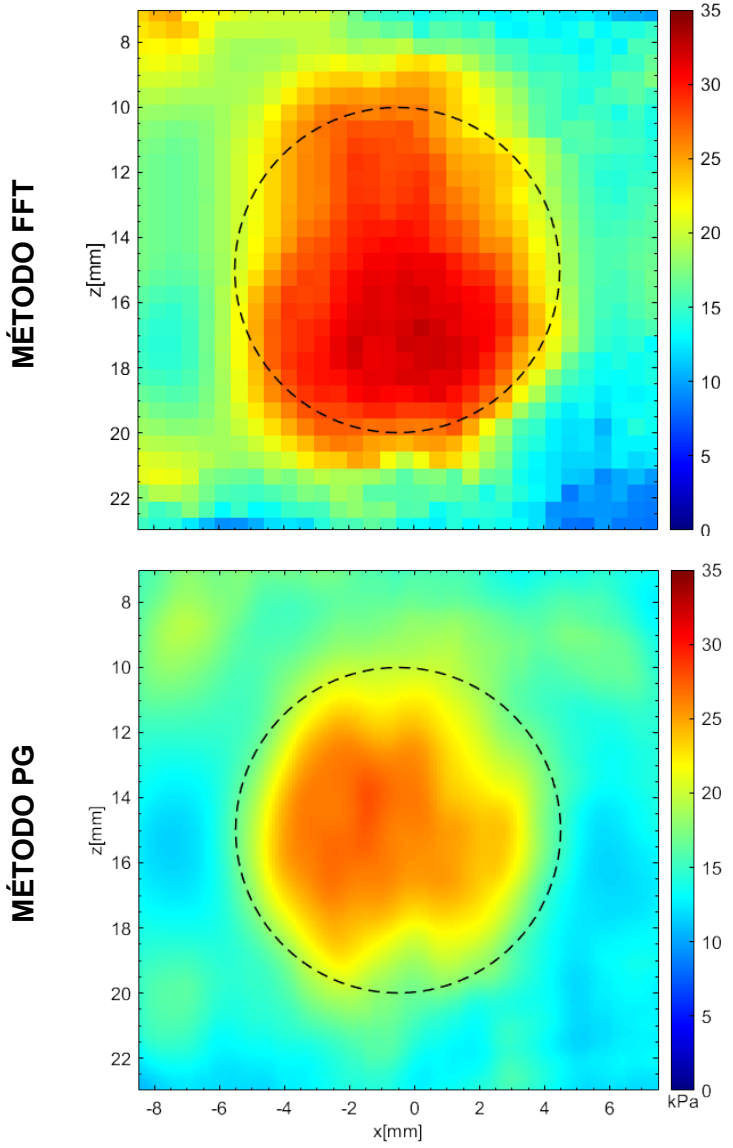
1 Método Transformada Fourier (FFT)

Kijanka et al. (2019) *IEEE Transactions on Medical Imaging*.

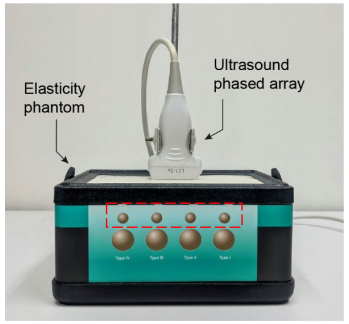


2 Método Gradiente de Fase (PG)





Phantom Elasticidad CIRS 049

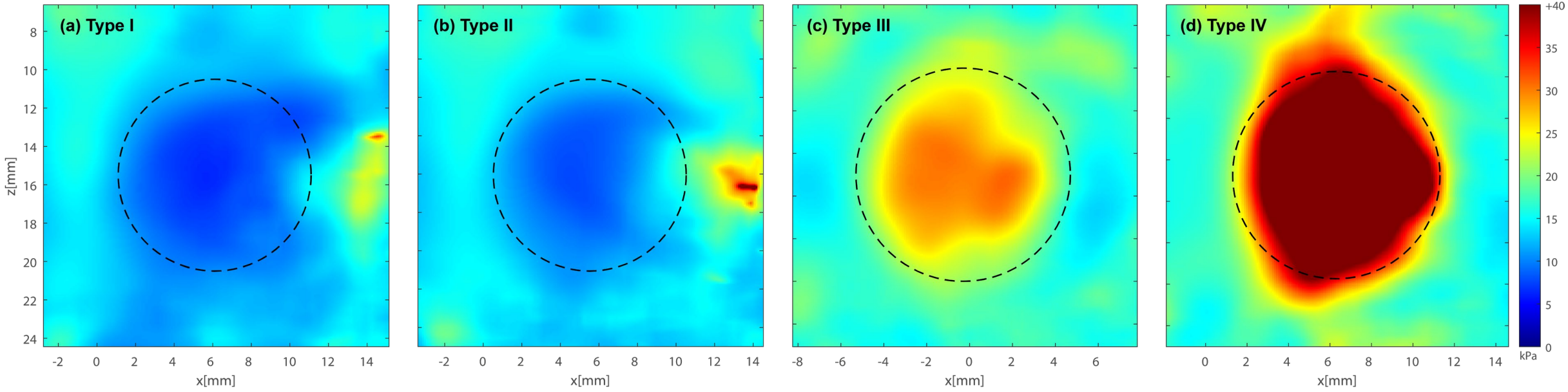


Esferas blandas (Type I y II)

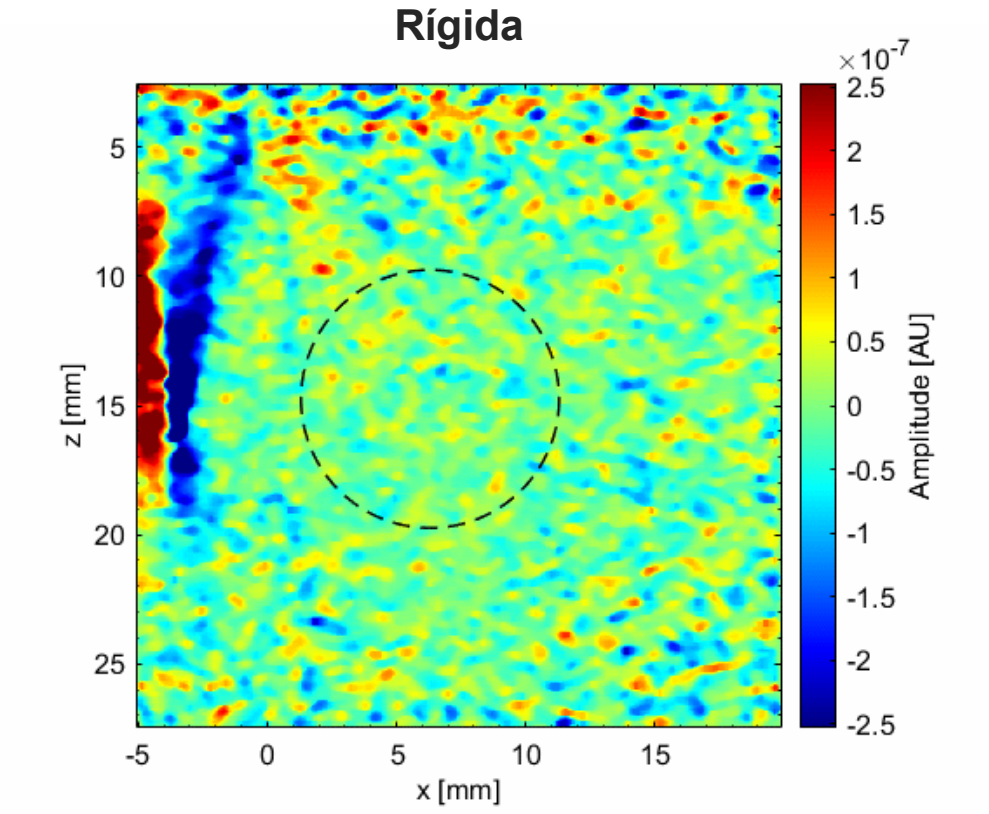
- Promedio frecuencial 300 – 500 Hz

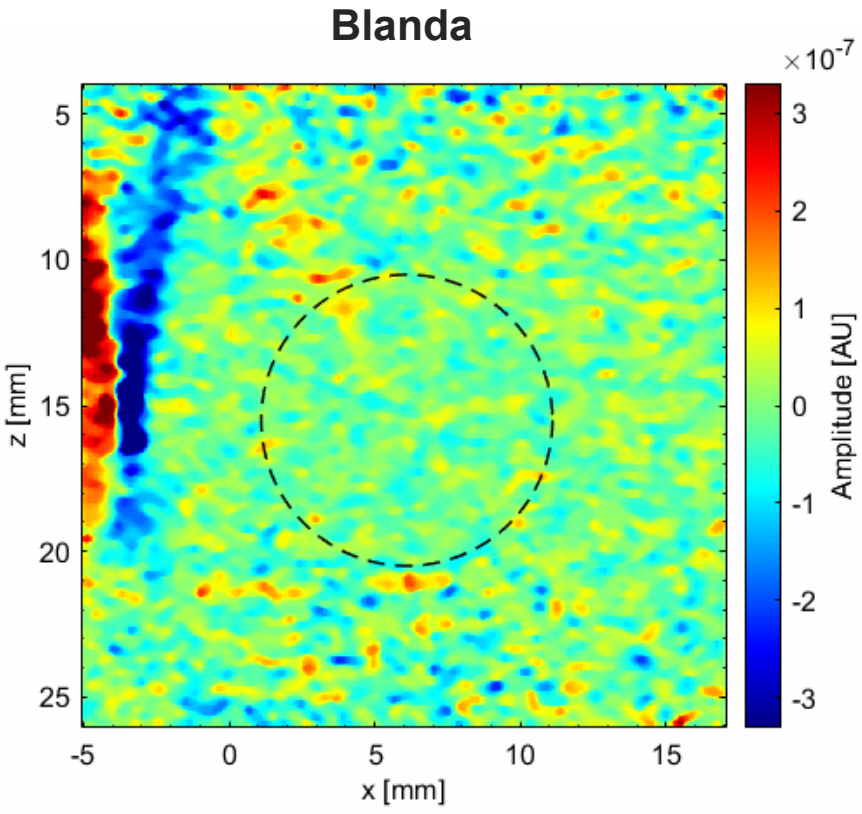
Esferas rígidas (Type III y IV)

- Promedio frecuencial 500 – 800 Hz



Limitación. Refracción en esferas blandas





Conclusiones

- Hemos propuesto un **método ultrarrápido** de reconstrucción elastográfica 2D basado en el cálculo de diferencias en el gradiente de fase
- El método ha sido **validado experimentalmente** en un phantom viscoelástico
- El método ha sido comparado con un algoritmo basado en el cálculo de transformadas de Fourier.
- Los resultados muestran una **gran mejora del tiempo computacional** sin diferencias significativas entre ambos métodos.

Líneas futuras

- **Evaluar la elasticidad en distintas direcciones** para tener en cuenta la anisotropía de los materiales.

Agradecimientos

Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular

- Noé Jiménez (Post PhD UPV)
- Francisco Camarena (Prof. UPV)

Financiación

- Generalitat Valenciana: Prometeo CIPROM/2021/003
- Equipment and Infrastructure FEDER 2021-22 IDIFEDER/2021/004
- Agència Valencia de la Innovació INNVA2/2022/11 and INNVA1/2020/92
- Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities (MICINN) under Grants No. PID2019-109175GB-C21 and No. PID2019-111436RB-C22.
- Spanish Ministry of Science, “Juan de la Cierva—Incorporación” IJC2018-037897-I



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

AGENCIA ESTATAL DE INVESTIGACIÓN

UNIÓN EUROPEA
FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL
"Una manera de hacer Europa"

GENERALITAT VALENCIANA

AVI AGÈNCIA VALENCIANA DE LA INNOVACIÓ