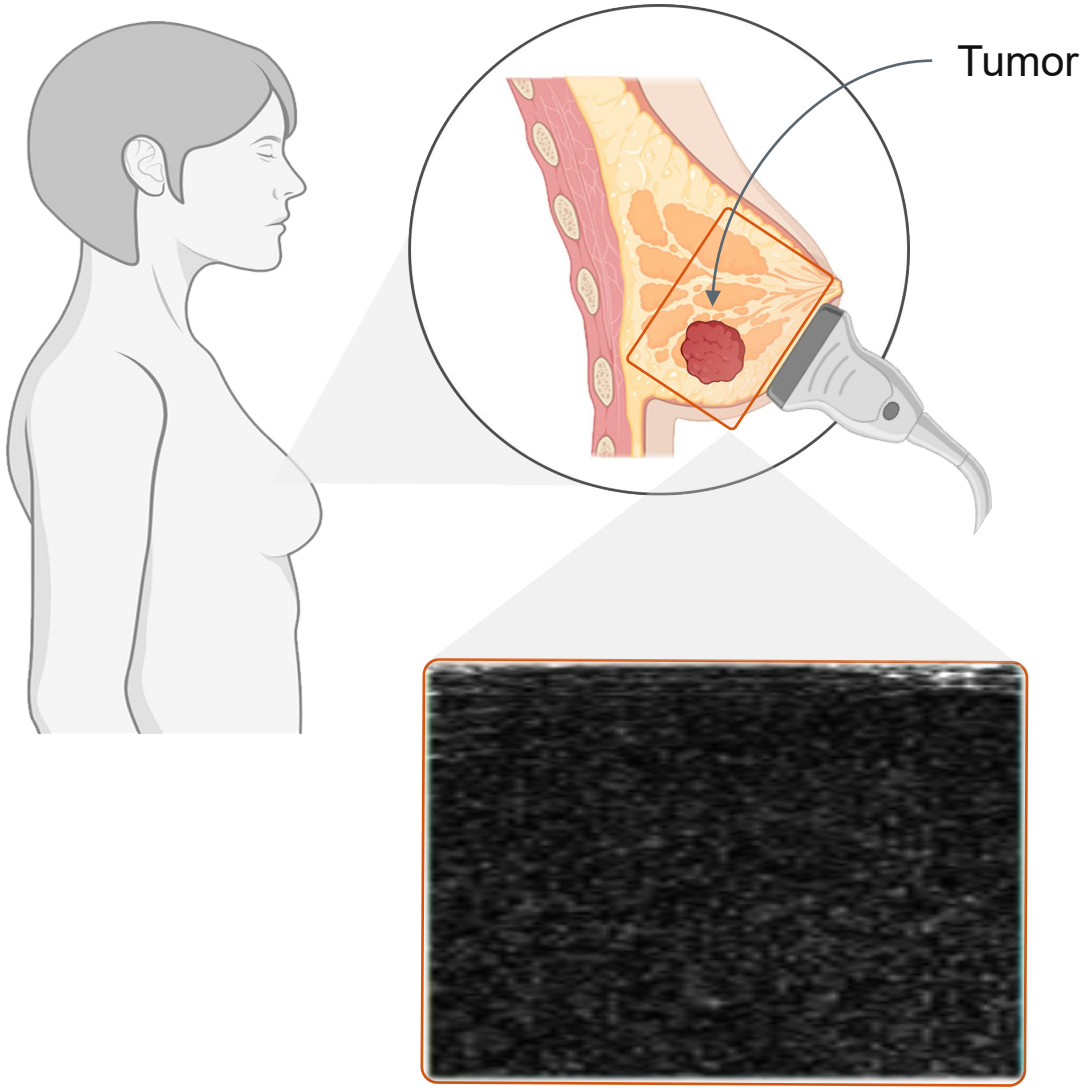
Improving SNR and Bandwidth of Shear-Wave Displacements Via Modulated Force Excitation

Enrique Gonzalez-Mateo, Francisco Camarena, Noé Jiménez

Universitat Politècnica de València / CSIC, Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M), València, Spain

TECNIACÚSTICA CUENCA 2023

Introducción



A Elastografía

- Evaluar la elasticidad de un tejido blando
- Imagen funcional
- Información cuantitativa
- Permite evaluar regiones internas

B Métodos de elastografía

- Palpación
- Elastografía MRI (MRE)
- Elastografía transitoria (TE)
- Elastografía por ondas de cizalla (SWI)

Introducción

Elastografía

1 **Estrés del tejido biológico**

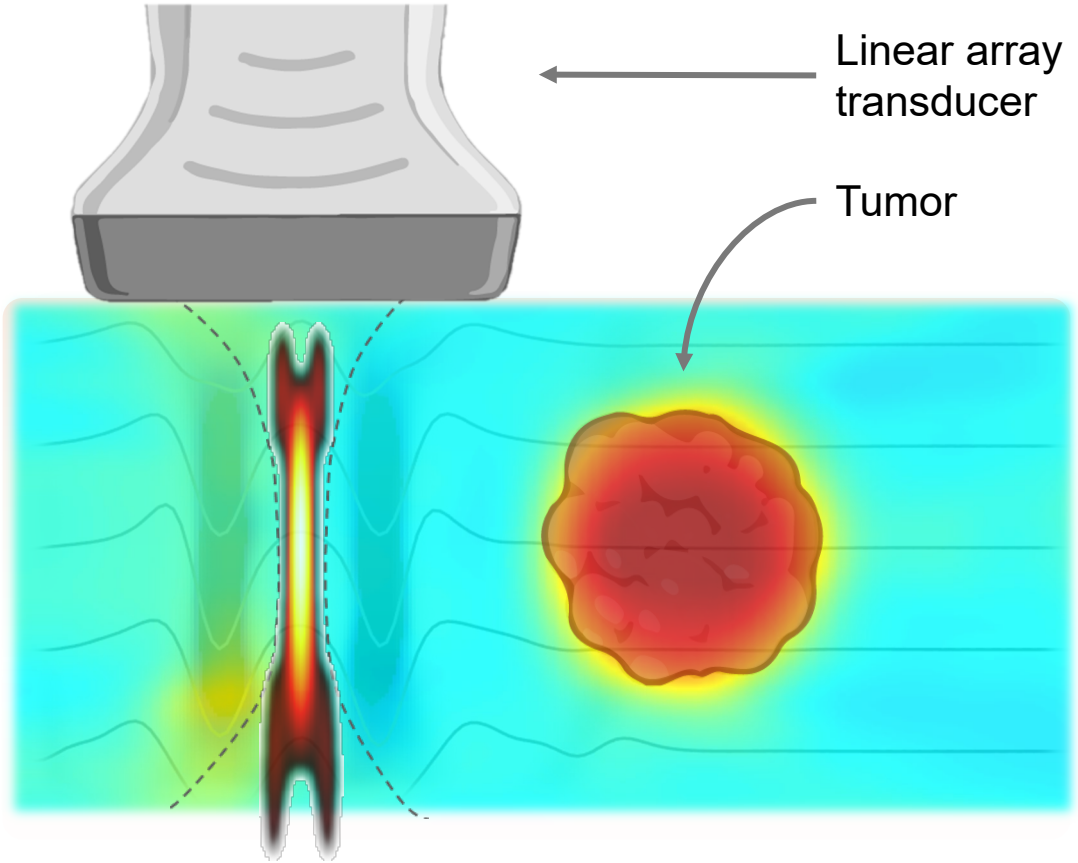
Haz focalizado cerca de la zona de interés
Crear ondas de cizalla generadas por **fuerza acústica de radiación**

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 reconstruir un mapa elástico.



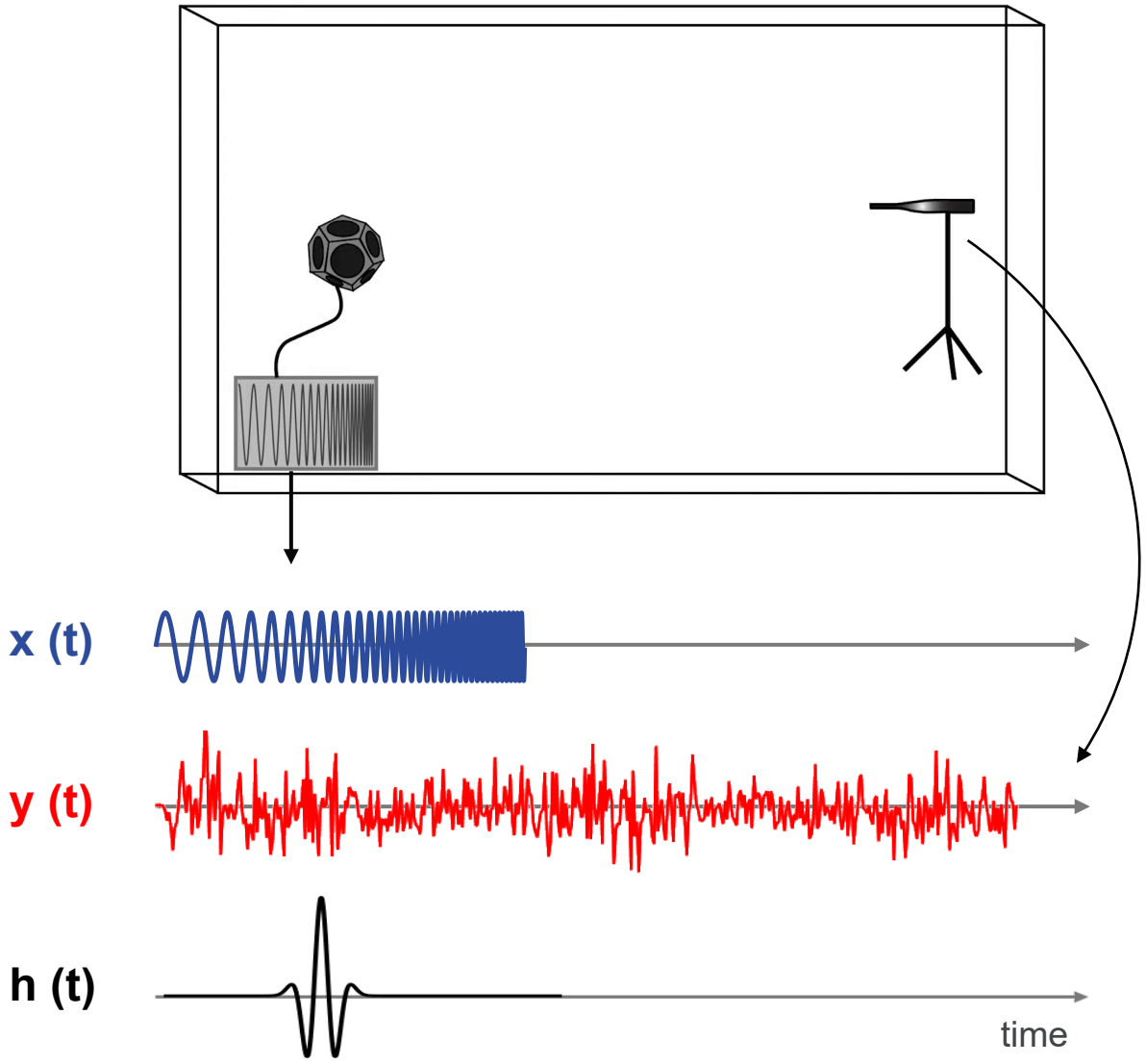
Introducción

Compresión de pulso

- Mejora de relación señal a ruido (**SNR**)
- Pulso transmitido **modulado** mediante excitación codificada
  - Barrido en frecuencia (sine-sweep)
  - Secuencias pseudoaleatorias (MLS)
- **Correlación** del pulso enviado con el pulso transmitido
- **Aplicaciones:** radar, ecografía, caracterización salas

Motivación y objetivo

- Mejorar la **SNR** de desplazamientos en tejidos blandos
- Aplicar **modulaciones AM a pulsos de ARF** para utilizar técnicas de compresión de pulso



Métodos

Fuerza acústica de radiación (ARF)

Convencional

- Pulsos focalizados cortos (500-1000 µs)

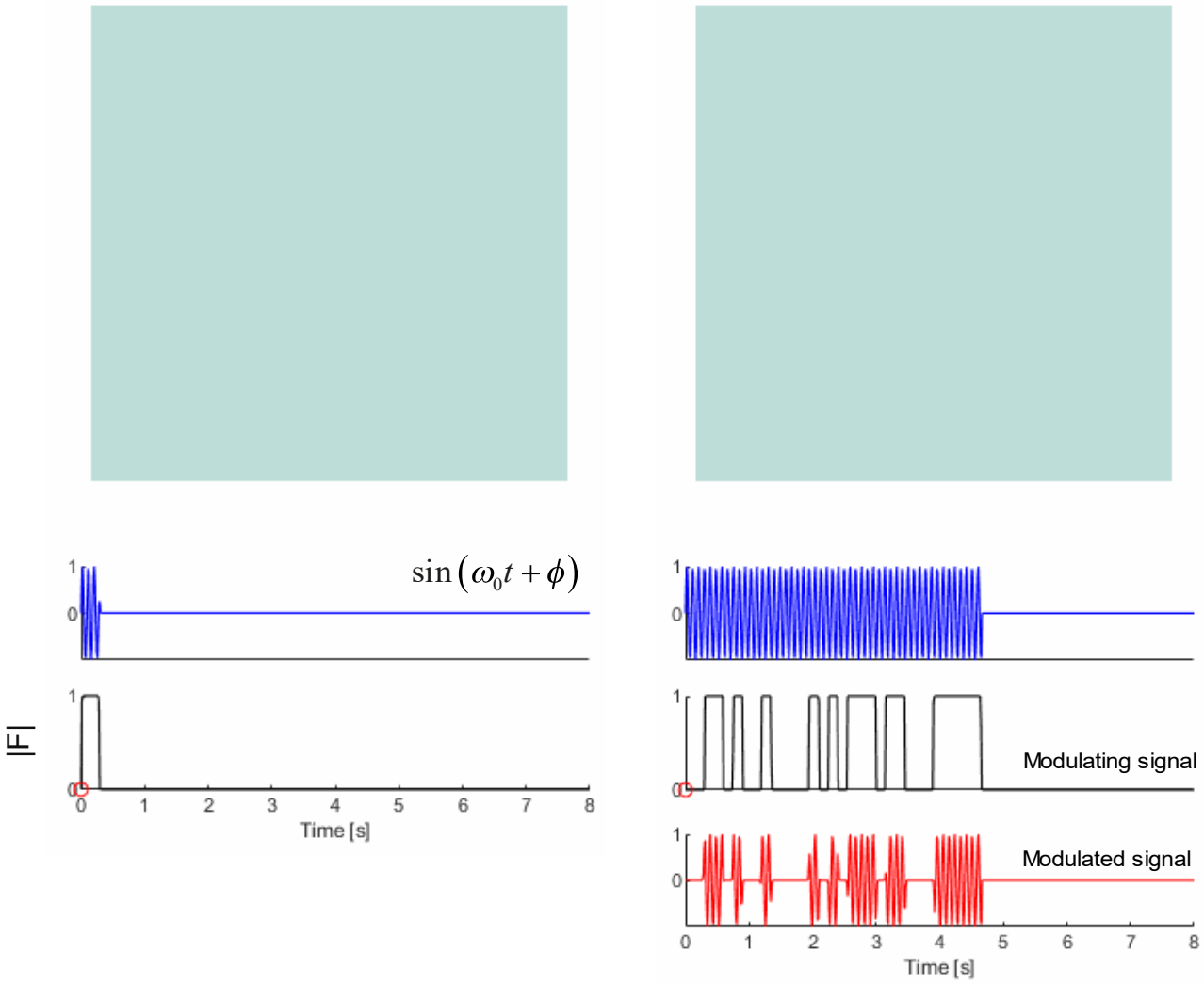
Maximum Length Sequence (MLS)

- Secuencias binarias pseudoaleatorias
- Longitud $2^N - 1$
- **Espectro plano** excepto CC en 0 Hz

- Modulación en **amplitud** (AM) con MLS
- Pulsos largos
- Permite **reducir** la amplitud del pulso enviado

Convencional

Propuesto (MLS)



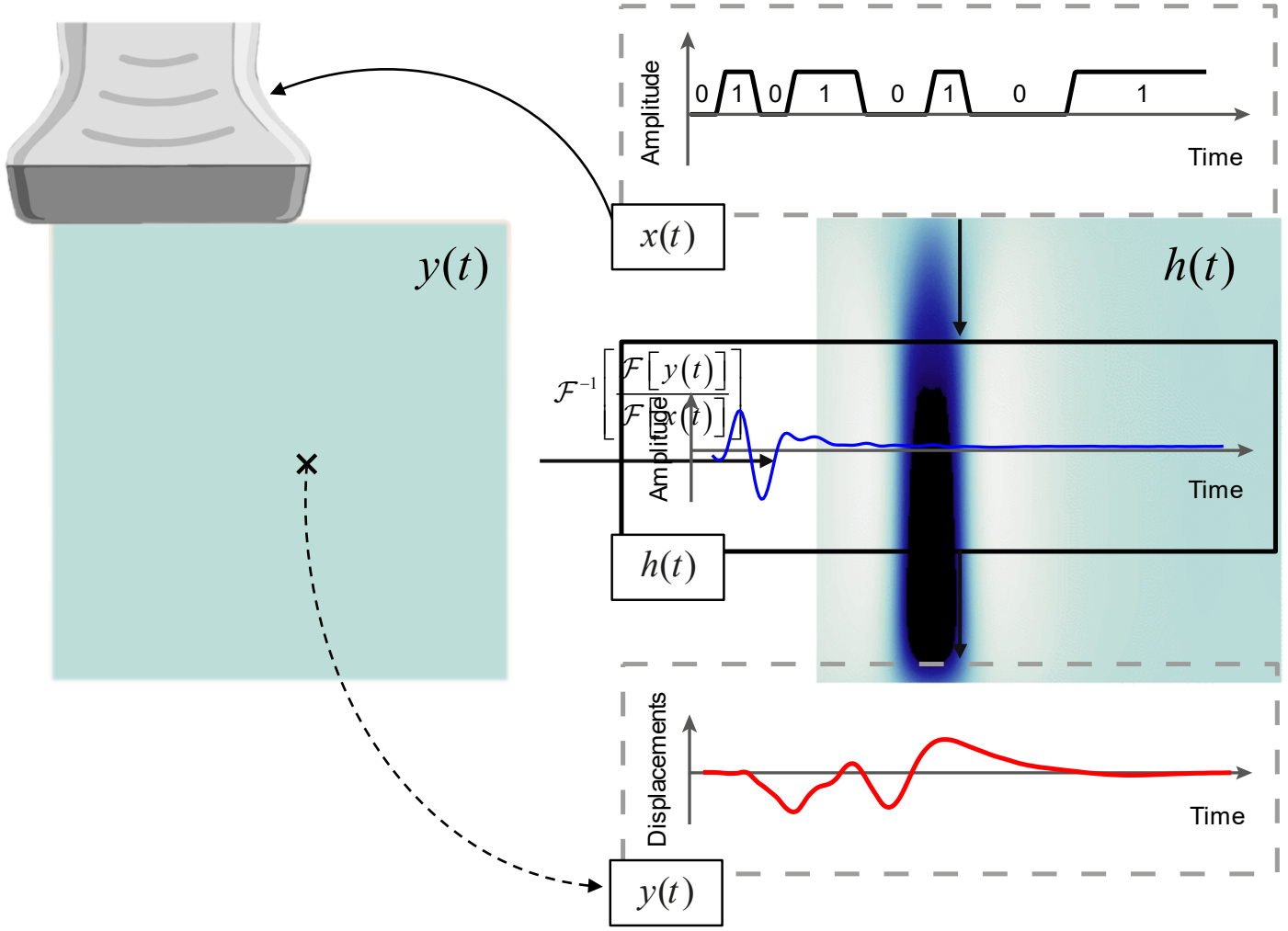
Métodos

Cálculo de la respuesta al impulso

- Sistema lineal invariante (LTI)
- **Correlación** de la forma de onda de fuerza acústica con el pulso de desplazamientos recibido
- **Ventaja** MLS: espectro plano

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

$$h(t) = \mathcal{F}^{-1}\left[\frac{\mathcal{F}[y(t)]}{\mathcal{F}[x(t)]}\right]$$

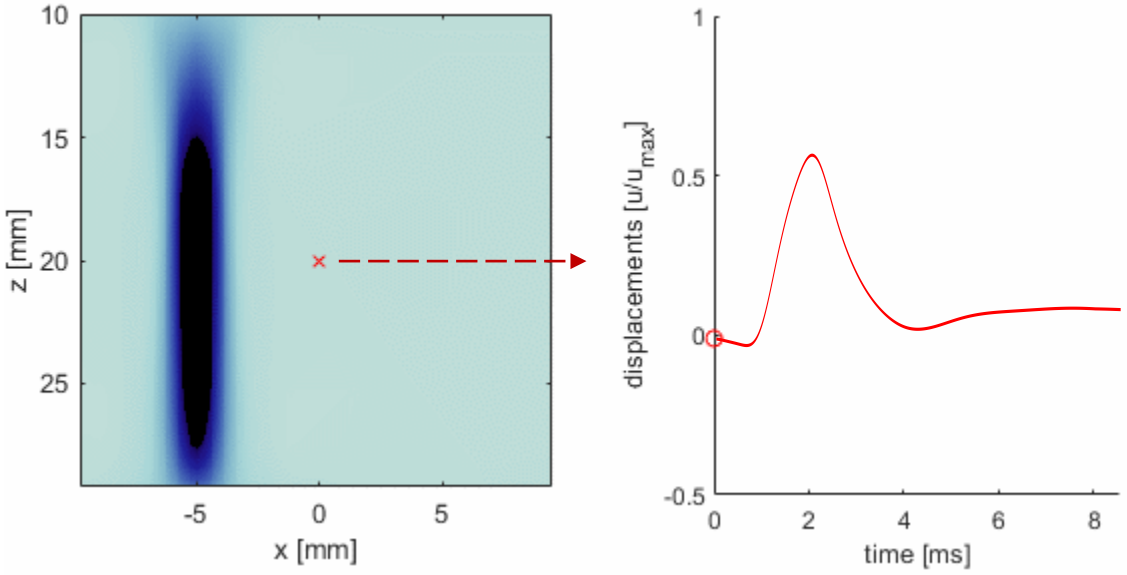


Resultados de simulación

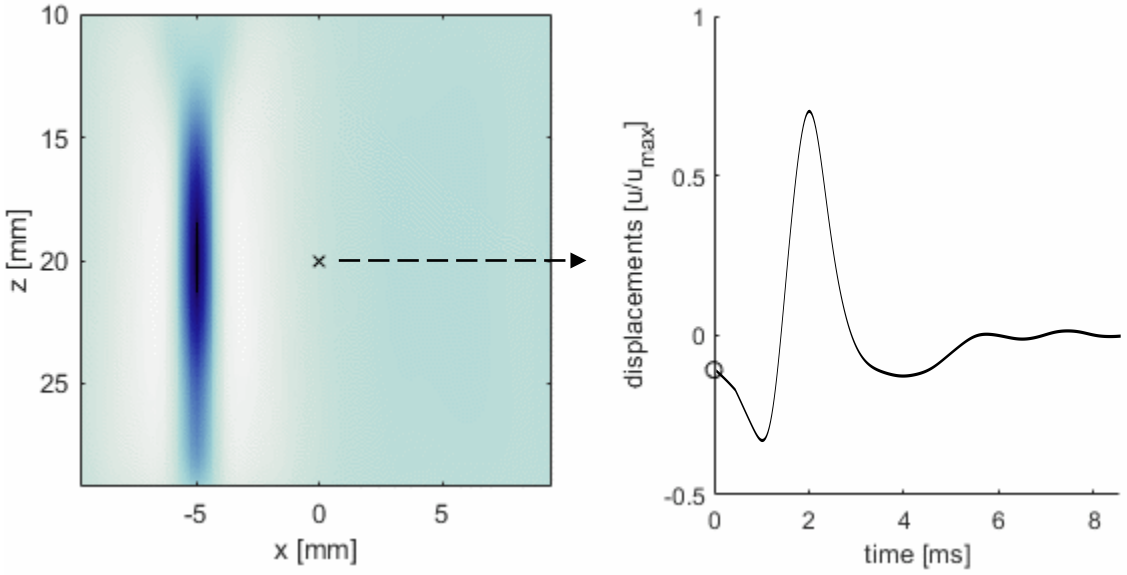
Convencional vs MLS

- Validación del método mediante **simulaciones pseudoespectrales**
- Pulsos de ARF **convencionales** y con modulación **MLS**

Convencional



MLS



Resultados de simulación

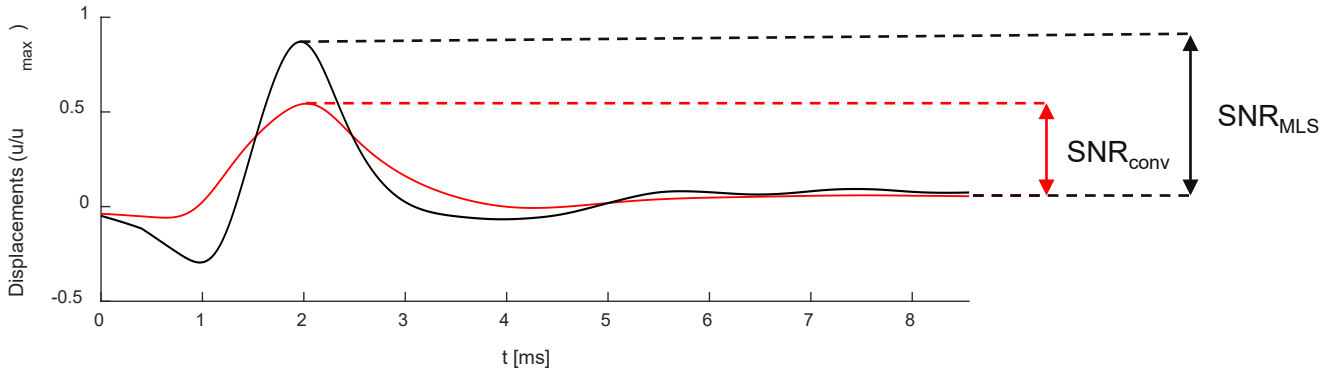
Convencional vs MLS

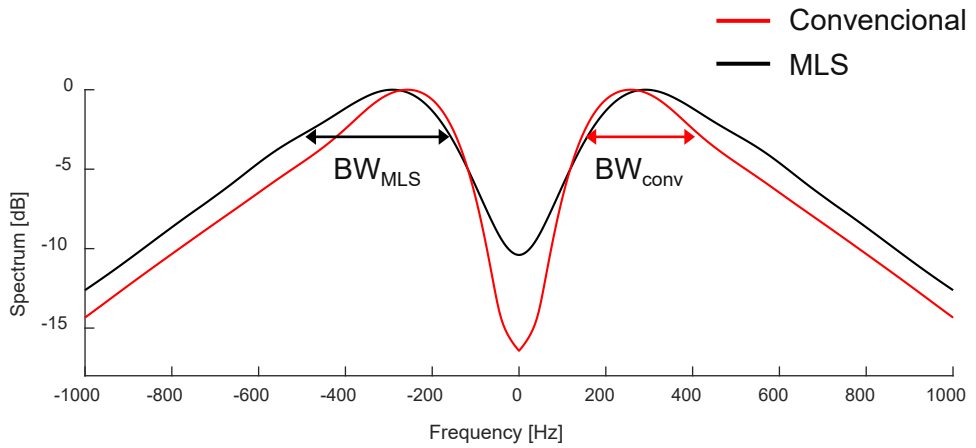
- Compresión de pulso
- **Mejora de la relación** señal a ruido

$$SNR = 10\log_{10}\left(P_s / P_N\right)$$

  - SNR_{conv} = 8.1 dB
  - SNR_{MLS} = 16.5 dB

- **Mayor ancho** de banda a -3dB
  - BW_{conv} = 240 Hz
  - BW_{MLS} = 357 Hz

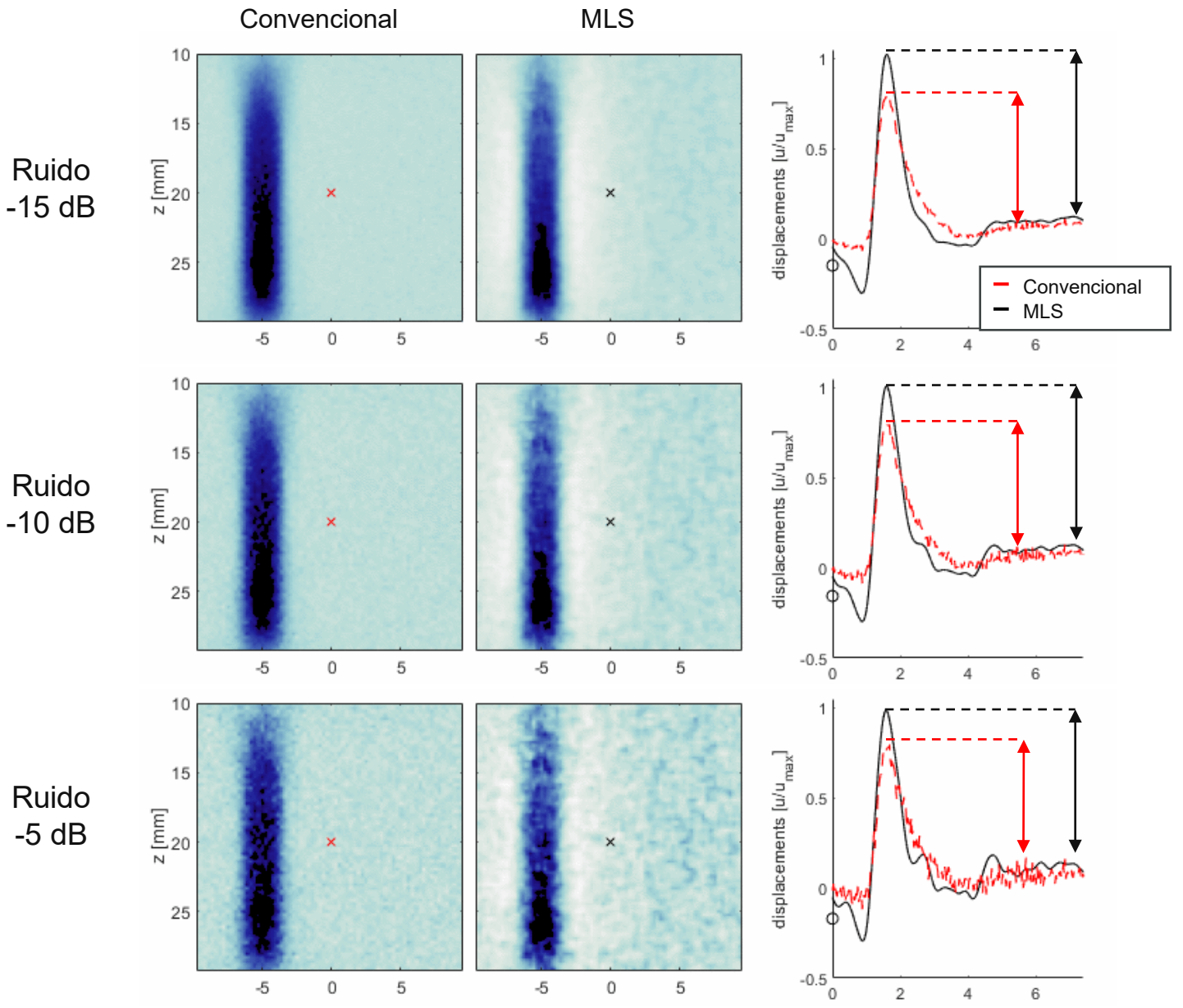




Resultados de simulación

Mejora de relación señal a ruido

- Pulso de ARF modulado con una MLS de grado **N = 6**
- **Ruido gaussiano** artificial añadido
  - Desde -20 hasta 0 dB



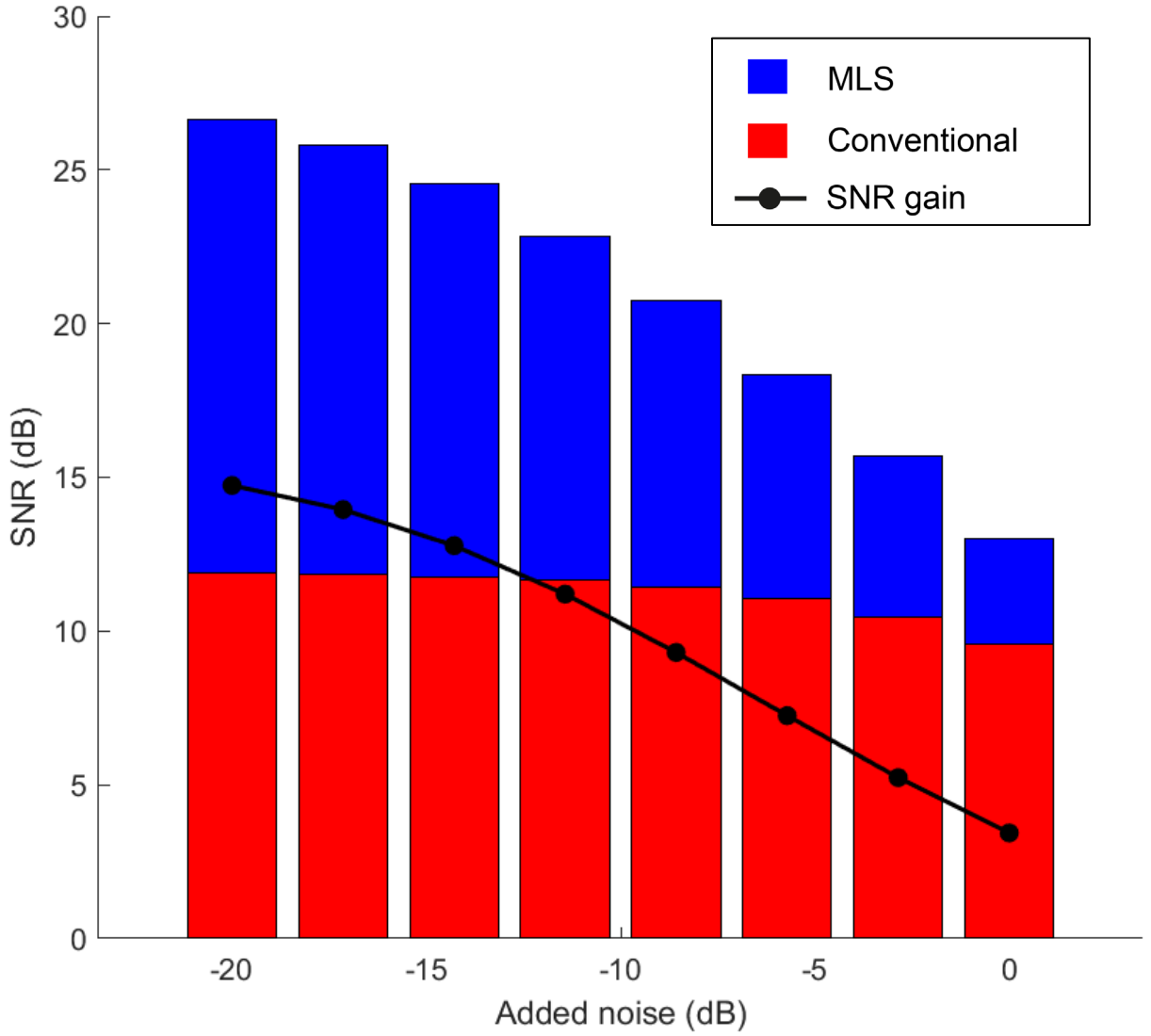
Resultados de simulación

Mejora de relación señal a ruido

- Pulso de ARF modulado con una MLS de grado **N = 6**
- **Ruido gaussiano** artificial añadido
  - Desde 0 hasta 20 dB

$$SNR_{gain} = SNR_{MLS} - SNR_{convencional}$$

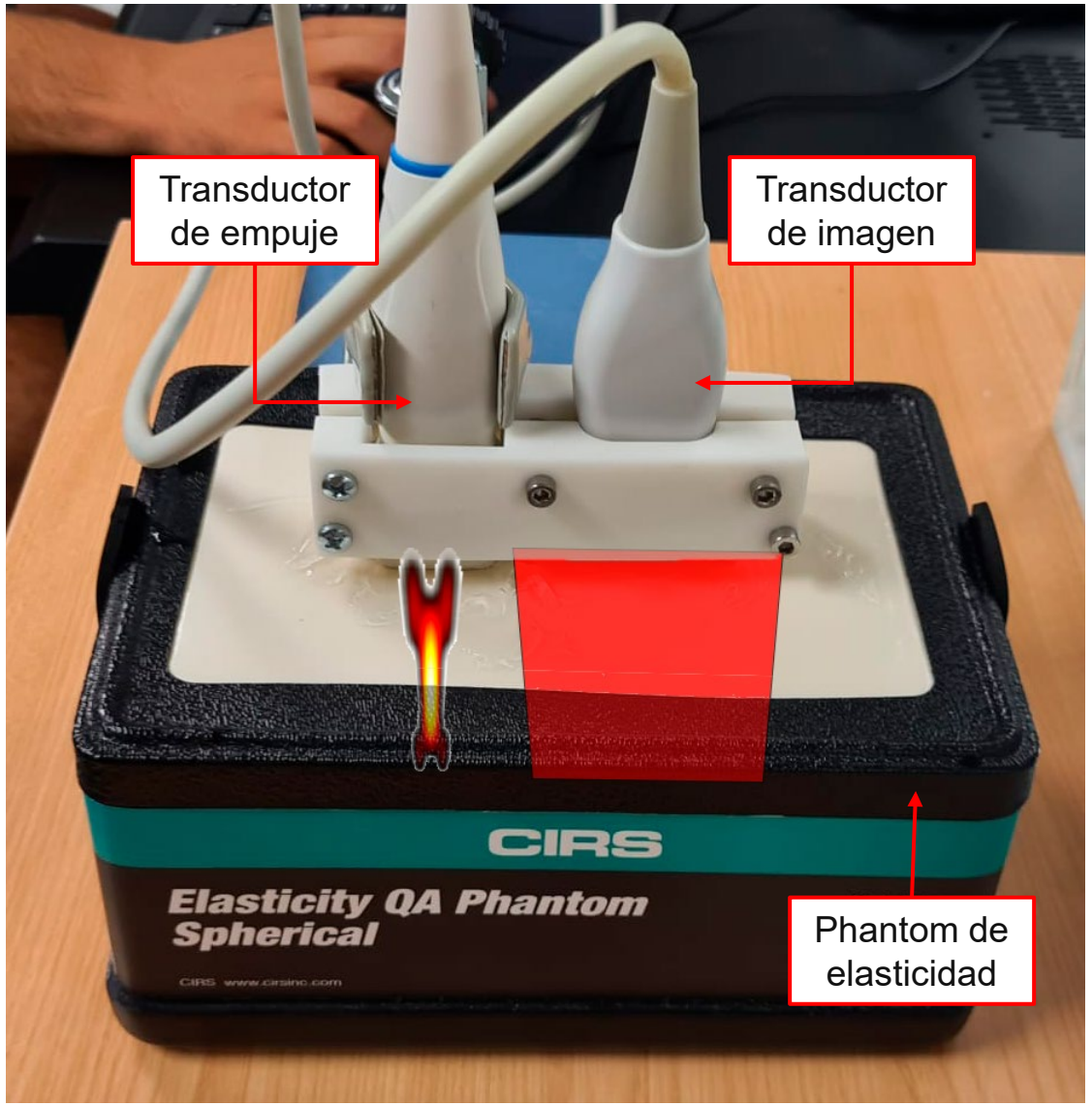
- **Ganancia positiva**
- Mayor relación señal a ruido con MLS



Resultados experimentales

Validación experimental

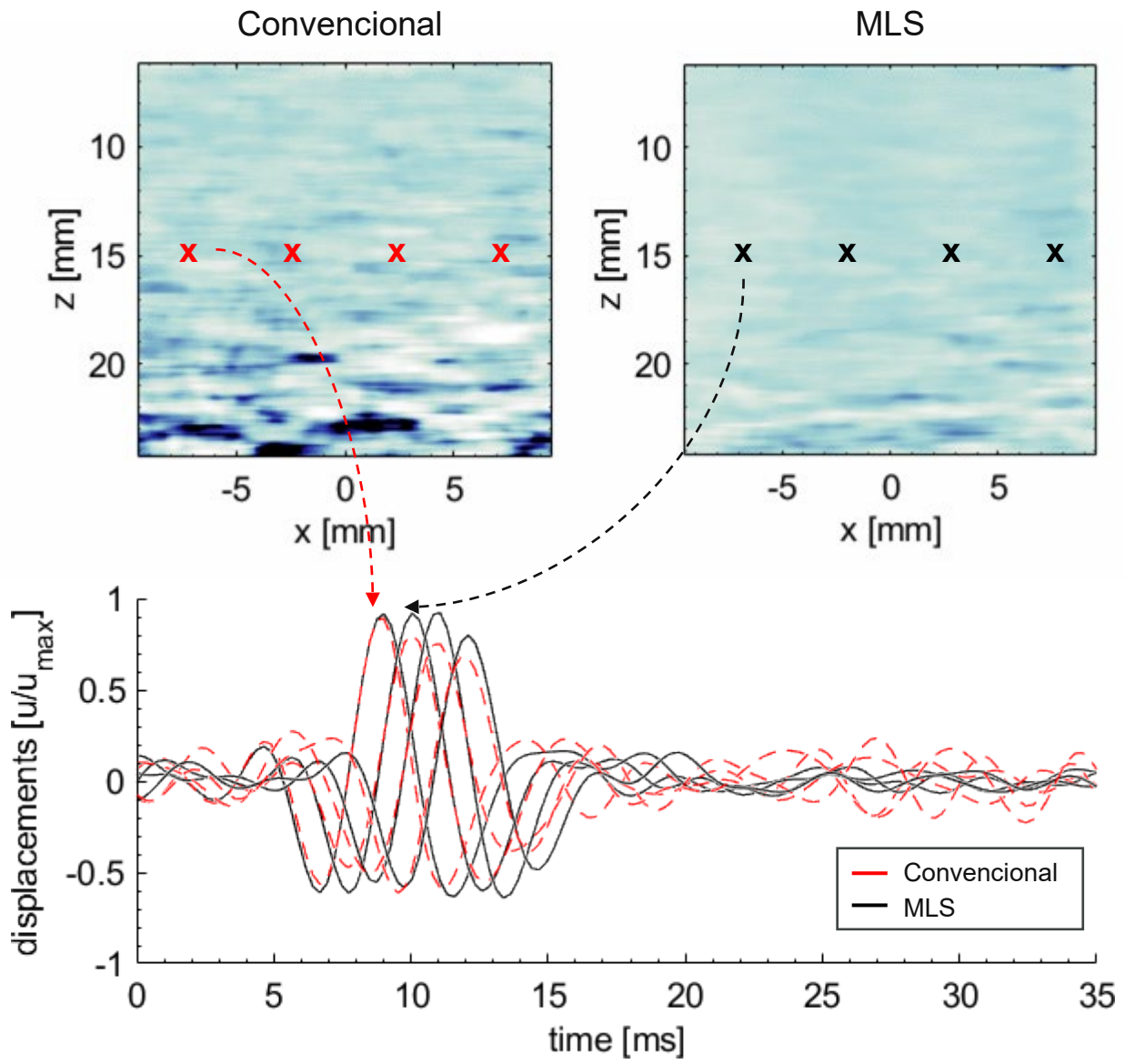
- Ecógrafo Vantange
  - Verasonics 256 (módulo de potencia)
  - Verasonics 64
- Phantom elasticidad
  - Elasticity Phantom CIRS
  - Área de evaluación homogénea (25 kPa)
- Transductor de empuje
  - Line array 64 elementos (2.7 MHz)
  - Pulso focalizado a 15 mm
- Transductor de imagen
  - Line array 128 elementos (7.6 MHz)
  - PRF 10 kHz captura imagen B-Mode



Resultados experimentales

Validación experimental

$x\ (mm)$	-2	-7	-7	2
$SNR_{MLS}\ (dB)$	18.9	19.4	18.5	18.1
$SNR_{conv}\ (dB)$	8.6	8.2	7.1	5.2
$SNR_{gain}\ (dB)$	10.3	11.3	11.4	12.8



Conclusiones

Compresión de pulso de ondas de cizalla

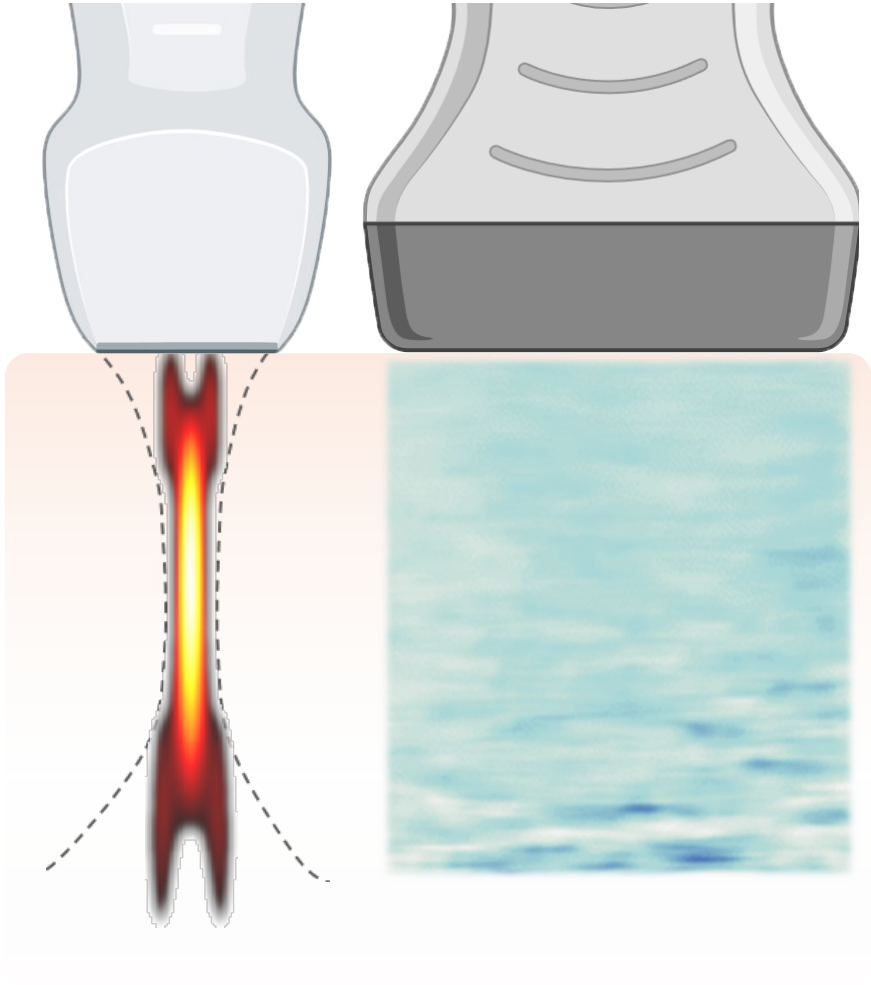
- Validación con resultados de simulación y experimentales
- Mejora significativa de la relación señal a ruido

¿Por qué usar compresión de pulso en elastografía?

- Posibilidad de reducir el índice mecánico
- Usar elastografía shear-wave en tejidos sensibles
- Validación experimental en curso: **elastografía en pulmón**

Trabajo futuro

- Aumentar la SNR en función del grado de la MLS
- ¿Existe mejora al reconstruir imágenes elastográficas con este tipo de técnicas?



Agradecimientos

i3M (Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular)

- Josep Rodríguez
- Noé Jiménez
- Francisco Camarena

Fundings

- “Proyectos I+D+i 2019, Spain’’ (PID2019-111436RB-C22).
- “Juan de la Cierva – Incorporación” (IJC2018-037897-I)
- Prometeo CIPROM/2021/003
- Equipamiento e Infraestructuras FEDER 2021-22 IDIFEDER/2021/004
- Agència Valencia de la Innovació INNVA2/2022/11



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