

Reconstrucción morfológica de células neuronales usando ondas acústicas generadas mediante el acoplamiento termodinámico de ondas electromagnéticas

Raquel Isabel Martínez López

Laboratorio de Ingeniería Mecánica (LIM), Universidad de A Coruña

Sensing, Imaging, Control and Actuation Laboratory (SICA-Lab), Northeastern University, Boston

Trabajo de Fin de Grado – Ingeniería Mecánica

7 de julio de 2023

- **1. Motivación**
 - Obtención de imágenes de células neuronales
 - Introducción
 - Estado del arte
 - Contribución al estado del arte

- **2. Metodología**

- **3. Configuración de experimentos**

- **4. Resultados**

- **5. Conclusiones y trabajo futuro**

- **Obtención de imágenes de células neuronales**



Magnetoencefalografía

Electroencefalografía

Resonancia magnética

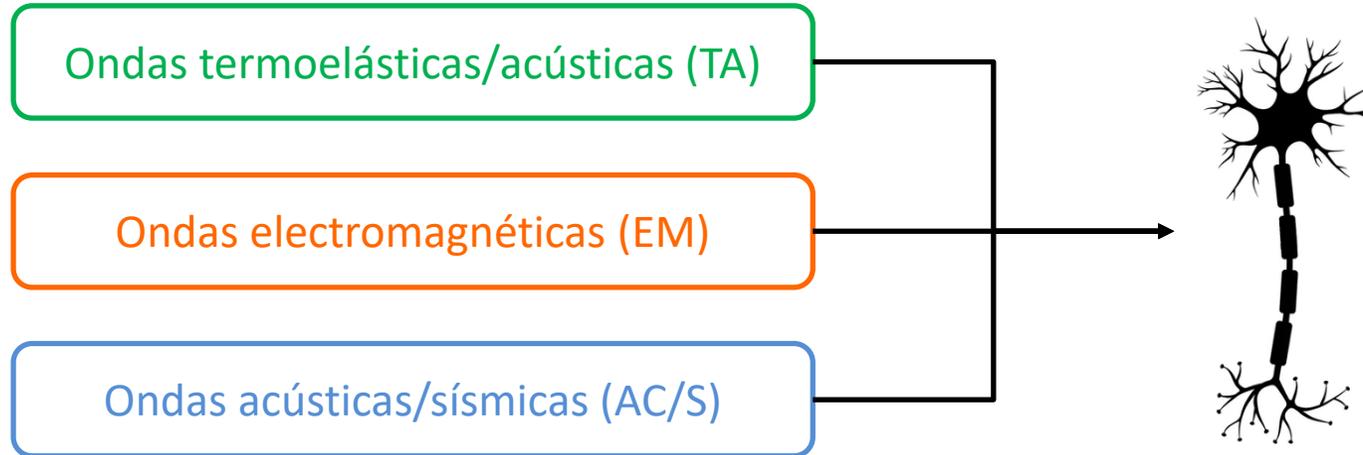
¿Por qué imágenes de neuronas?

- Mapear el circuito neuronal
- Estudiar la evolución de enfermedades neuronales
- Mejorar la comprensión del cerebro

Ventajas

- Método no invasivo
- Rápido
- Región amplia del estudio

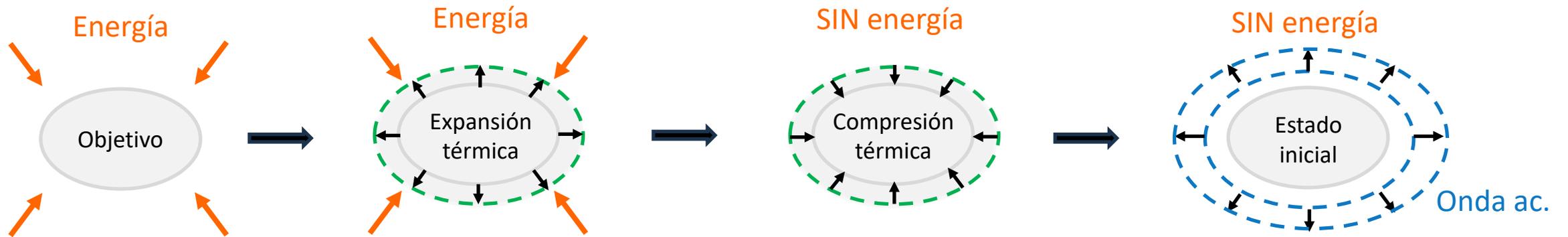
- **Introducción**



Objetivos

1. ¿Es viable emplear este método?
2. ¿Cómo afectan los parámetros del método a la claridad de los resultados?

- **Introducción**

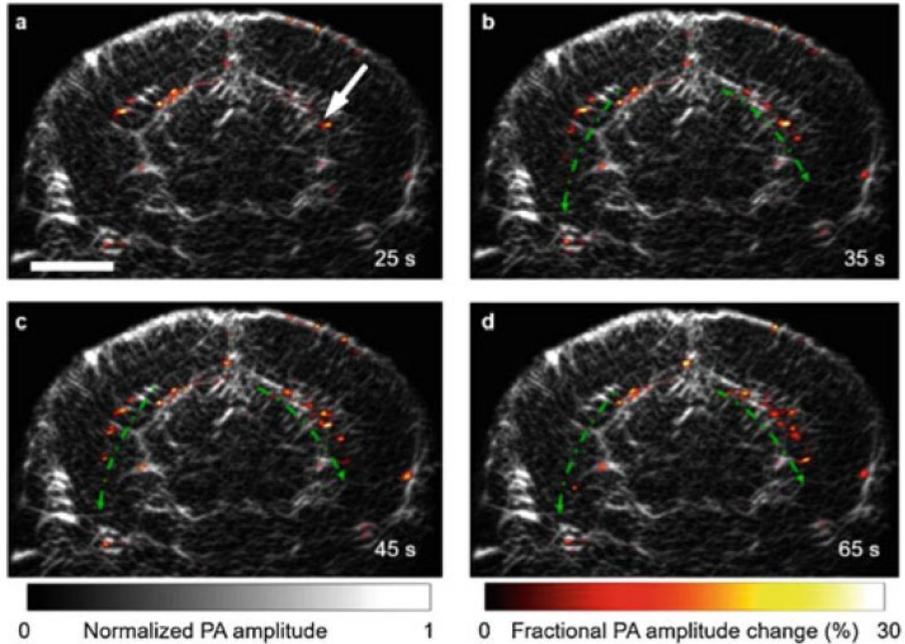


Ondas EM

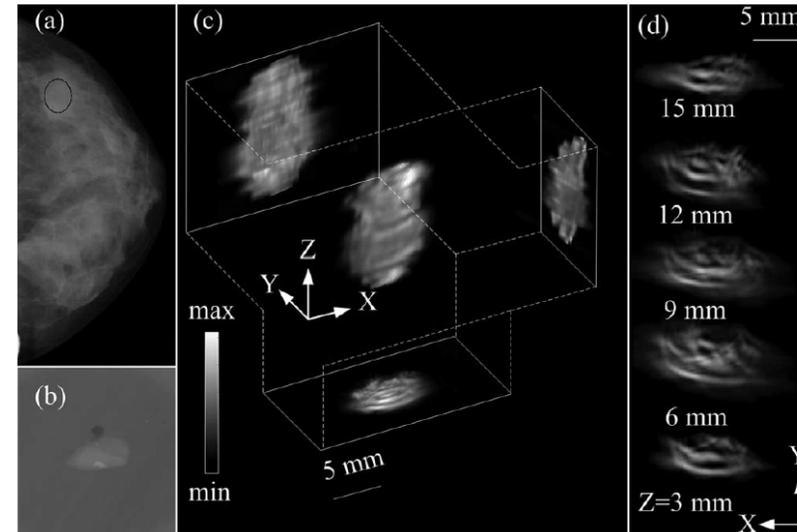
Ondas TA

Ondas AC/S

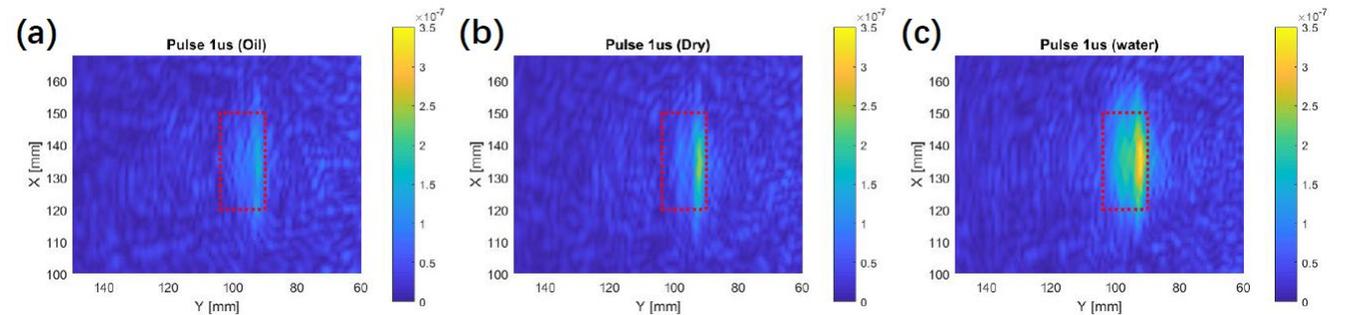
- Estado del arte



Monitorización de epilepsia con tomografía fotoacústica [1]



Reconstrucción de un tumor de cáncer de mama [2]



Generación de imágenes de arena utilizando el acoplamiento de ondas TA, EM y AC/S [3]

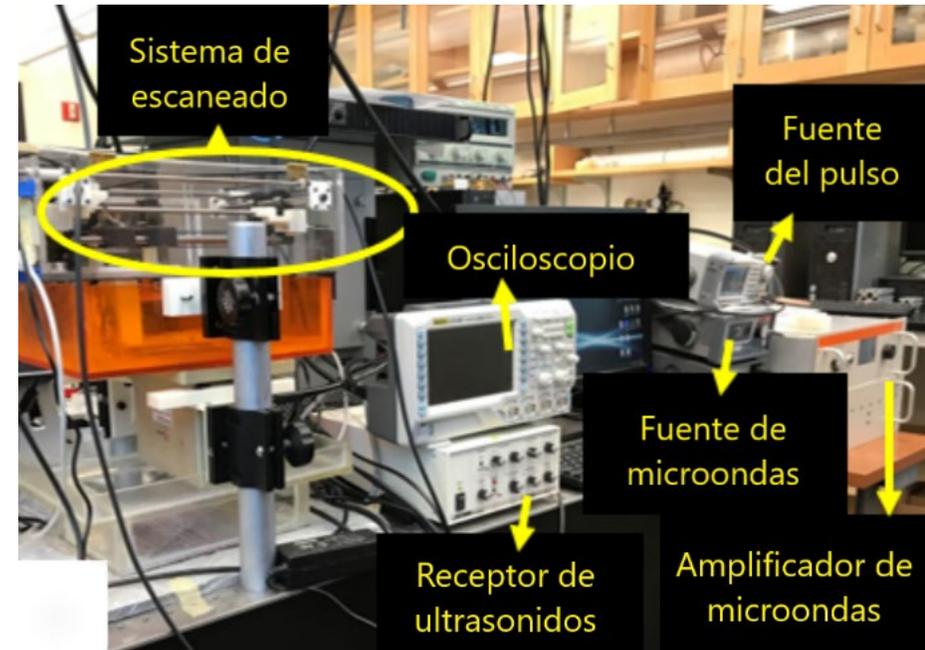
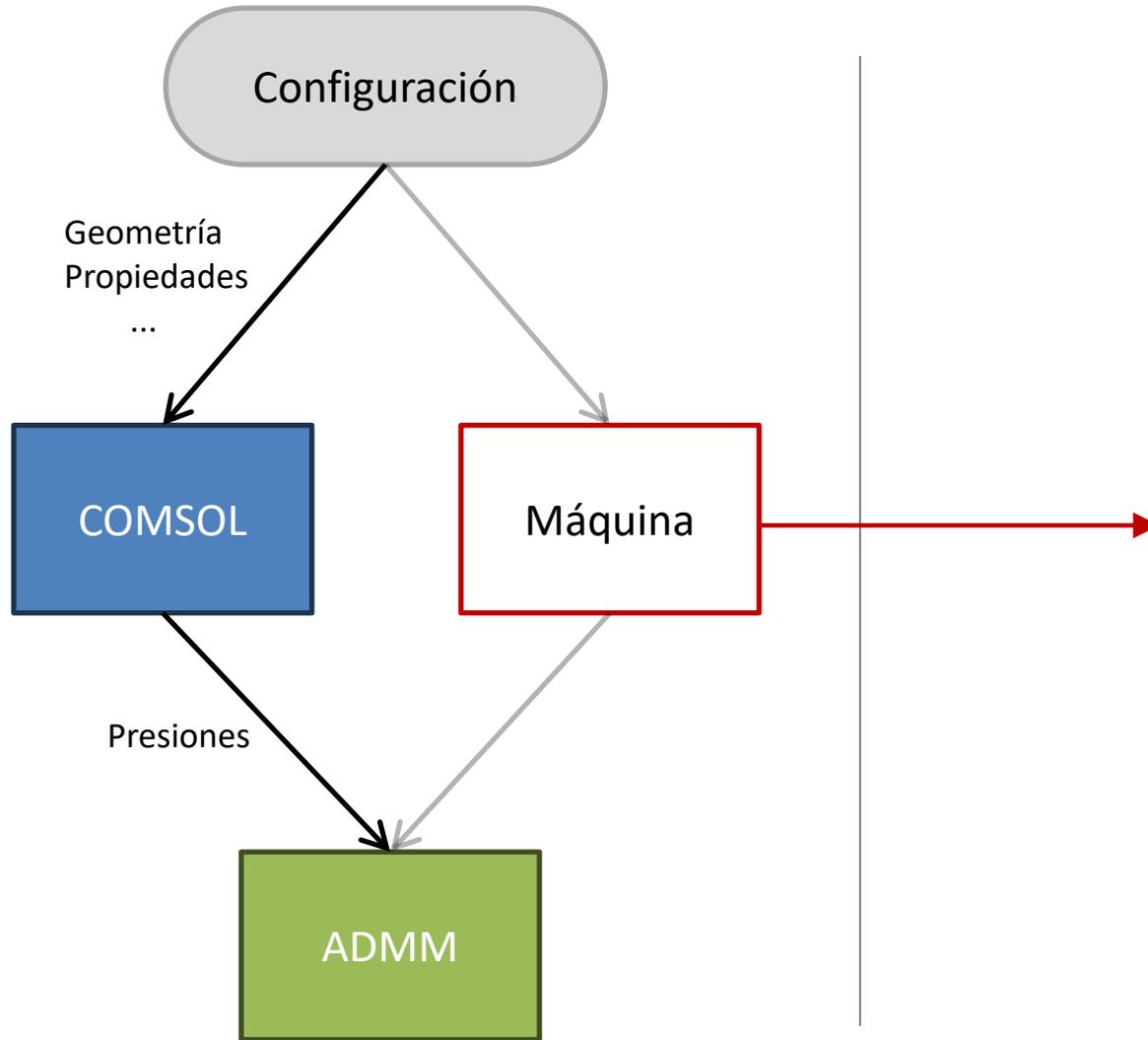
[1] Li 2020
[2] Ji 2012
[3] Liu 2022

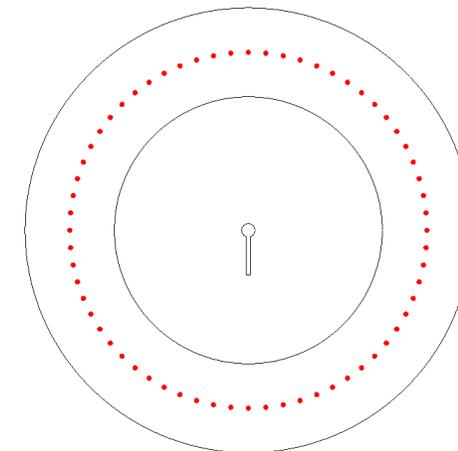
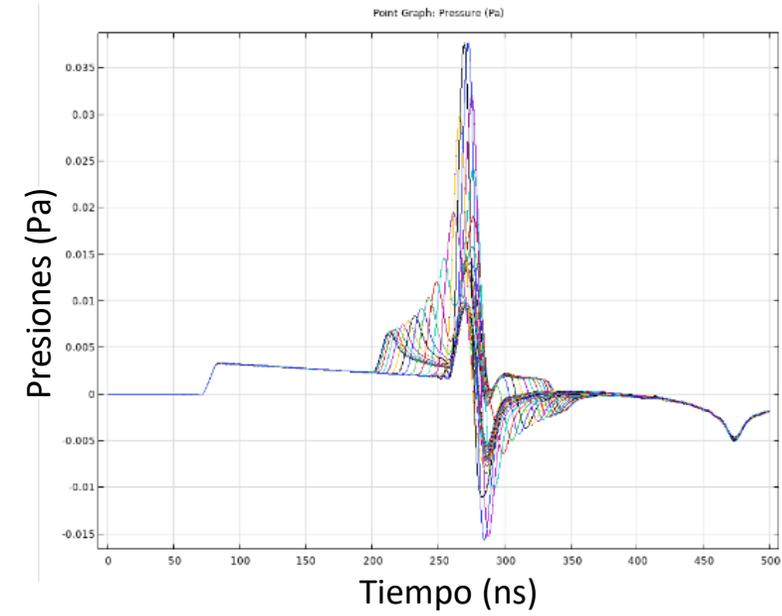
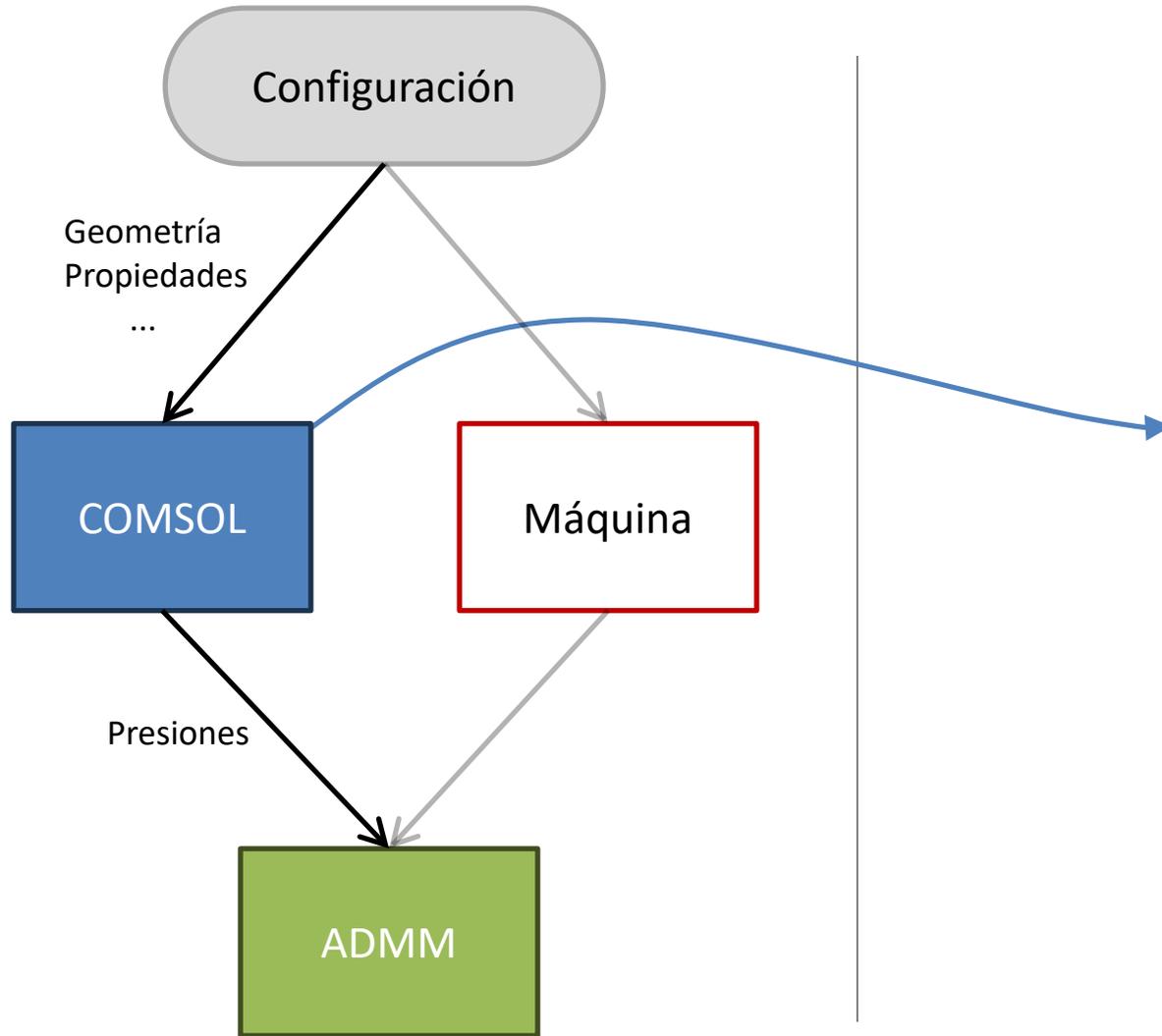
- **Contribución al estado del arte**

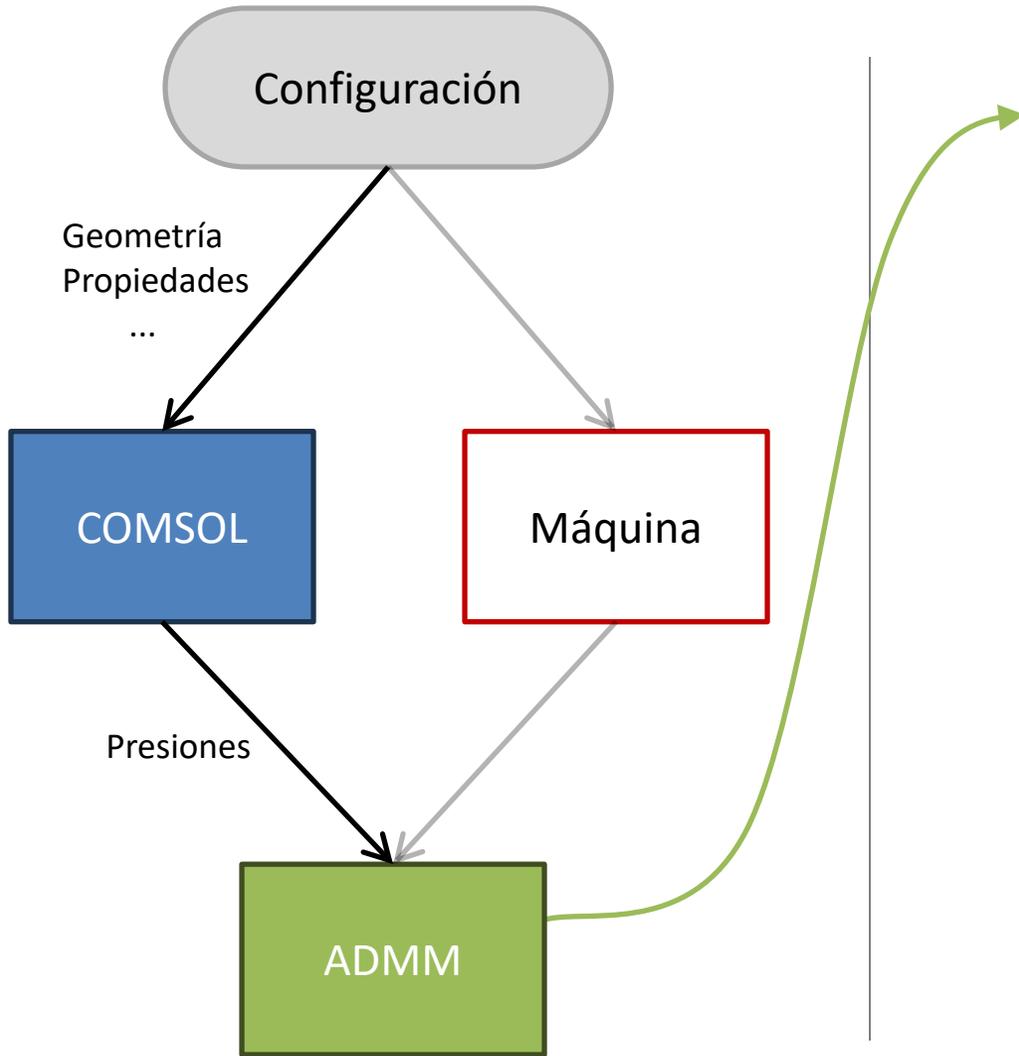
1. Uso de la termoacústica (+ EM) para generar imágenes neuronales.

2. Consideración de las tensiones de cortadura del material.

- Hasta ahora: método aplicado sólo a entornos líquidos (sin tensiones cortantes).





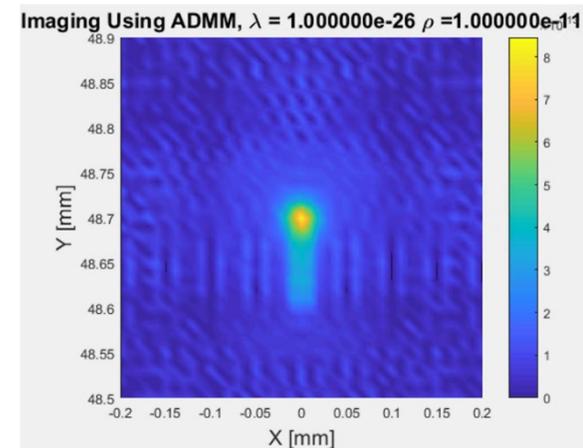


**Alternating
Direction
Method of
Multipliers**

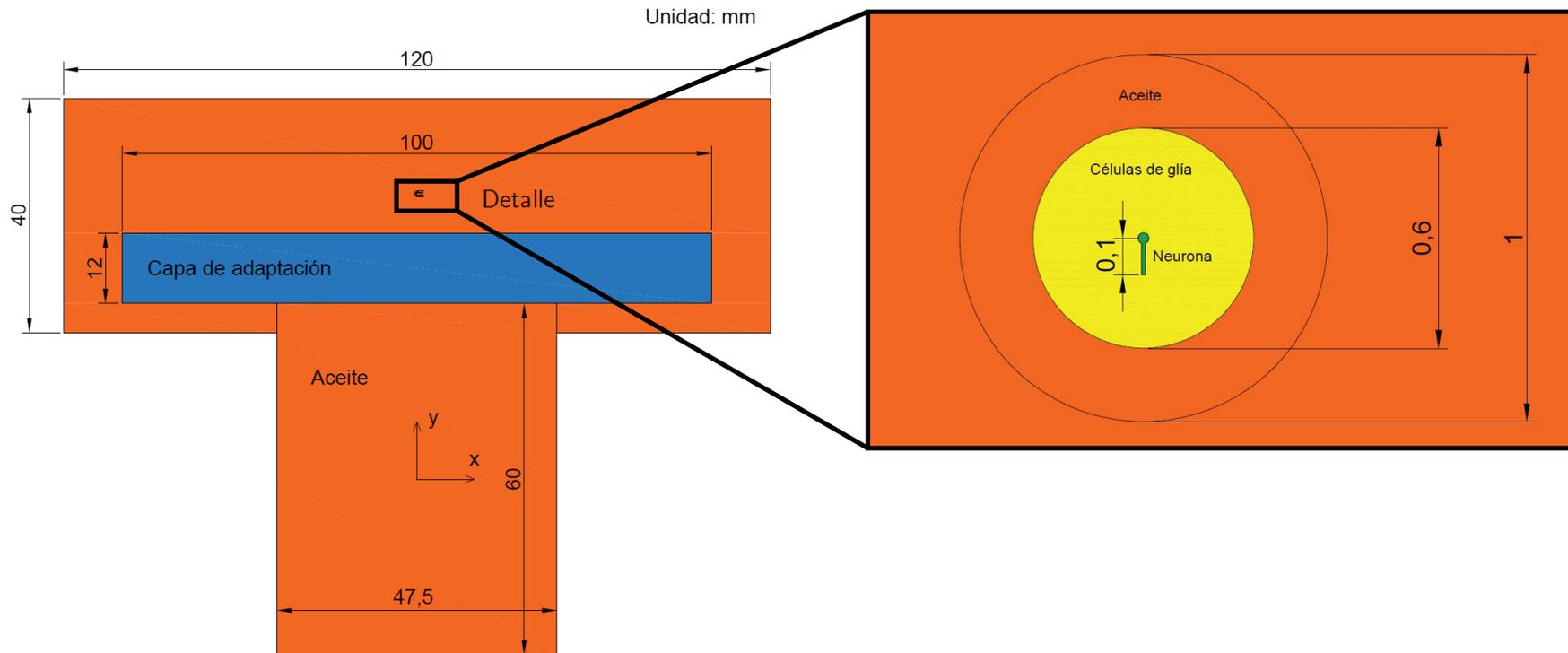
Solución de la ecuación de Helmholtz $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \chi(\mathbf{r}'_1) \\ \chi(\mathbf{r}'_2) \\ \vdots \\ \chi(\mathbf{r}'_{N_p}) \end{bmatrix}$$

χ : variables de contraste



Se bombardea el objetivo con un pulso EM



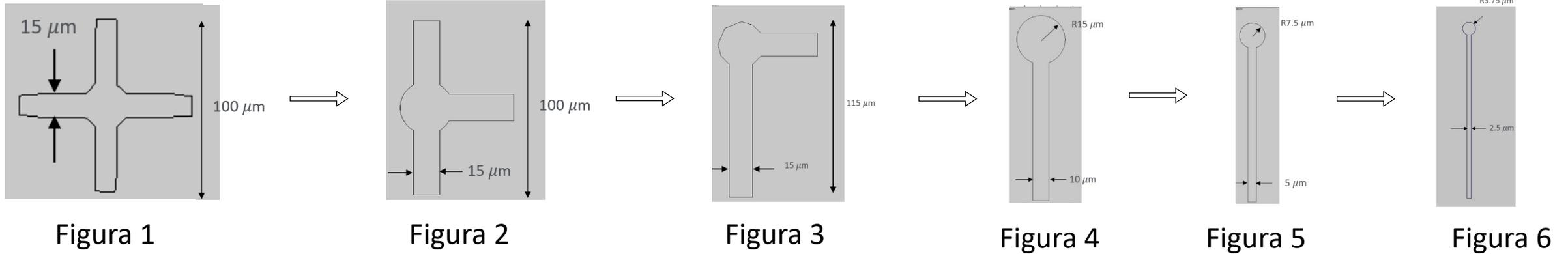
Geometría objetivo

Duración pulso EM

Propiedades físicas

Parámetros ADMM

- Plan inicial

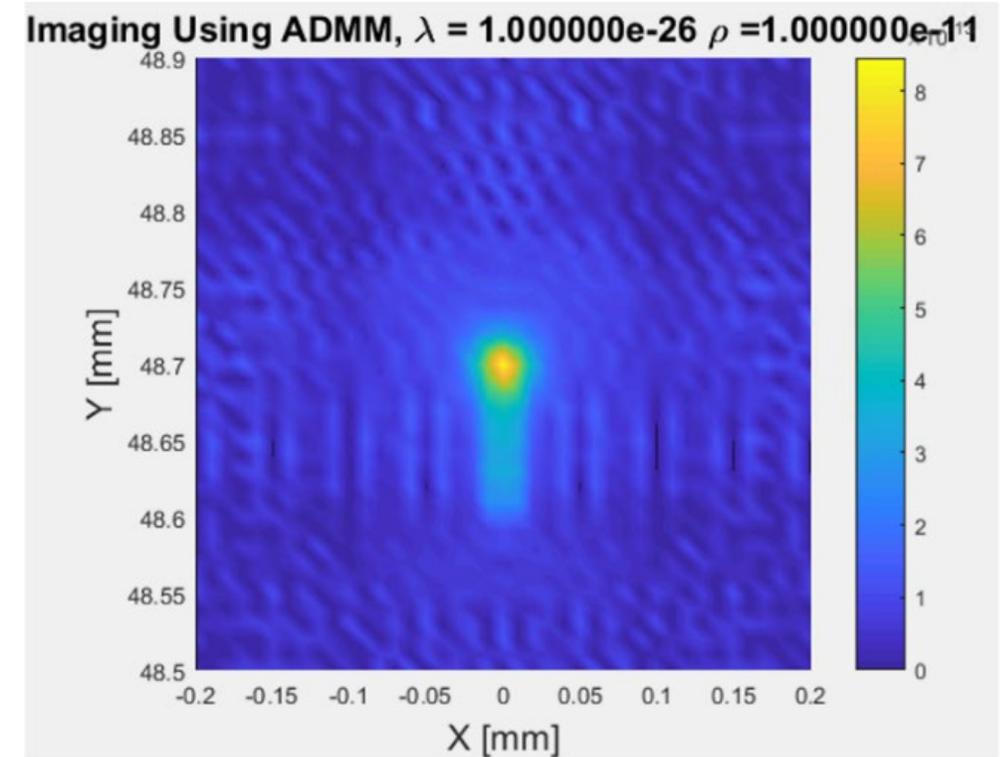
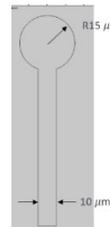


Estudio	Pulso	Geometría	Propiedades
Estudio 1	10 ns	Figura 1	Tumor y tejido
Estudio 2	10 ns	Figura 2	Tumor y tejido
Estudio 3	10 ns	Figura 3	Tumor y tejido
Estudio 4	10 ns	Figura 4	Tumor y tejido
Estudio 5	10 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 6	10 ns	Figura 6	Tumor y tejido
Estudio 7	8 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 8	10 ns	Figura 4	Materia gris y materia blanca

- Conductividad eléctrica
- Conductividad térmica
- Densidad
- Capacidad calorífica a presión cte
- Coefficiente de expansión térmica
- ...

- Viabilidad del método**

Estudio	Pulso	Geometría	Propiedades
Estudio 1	10 ns	Figura 1	Tumor y tejido
Estudio 2	10 ns	Figura 2	Tumor y tejido
Estudio 3	10 ns	Figura 3	Tumor y tejido
Estudio 4	10 ns	Figura 4	Tumor y tejido
Estudio 5	10 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 6	10 ns	Figura 6	Tumor y tejido
Estudio 7	8 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 8	10 ns	Figura 4	Materia gris y materia blanca



Estudio 4

¿Por qué es viable?

1. Misma geometría
2. Mismas dimensiones

- Efecto de la geometría

Estudio	Pulso	Geometría	Propiedades
Estudio 1	10 ns	Figura 1	Tumor y tejido
Estudio 2	10 ns	Figura 2	Tumor y tejido
Estudio 3	10 ns	Figura 3	Tumor y tejido
Estudio 4	10 ns	Figura 4	Tumor y tejido
Estudio 5	10 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 6	10 ns	Figura 6	Tumor y tejido
Estudio 7	8 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 8	10 ns	Figura 4	Materia gris y materia blanca

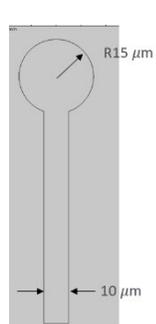


Figura 4

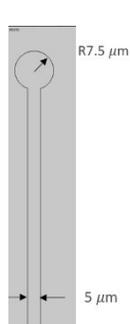


Figura 5

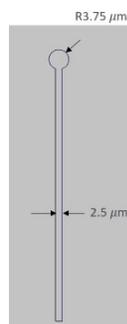
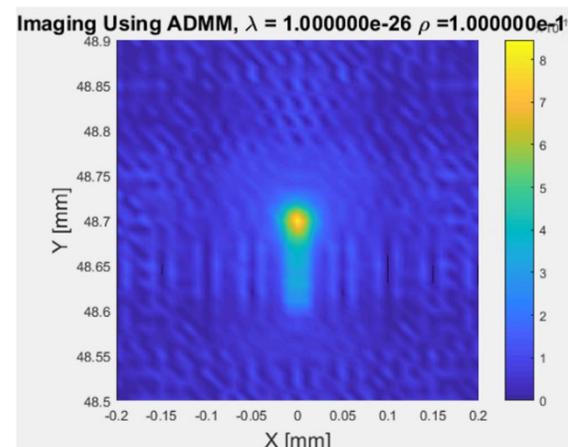
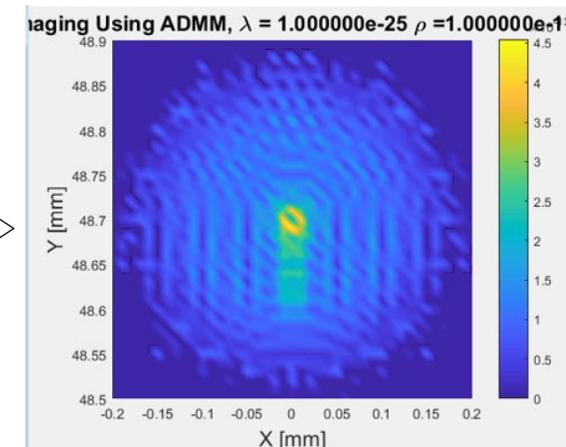


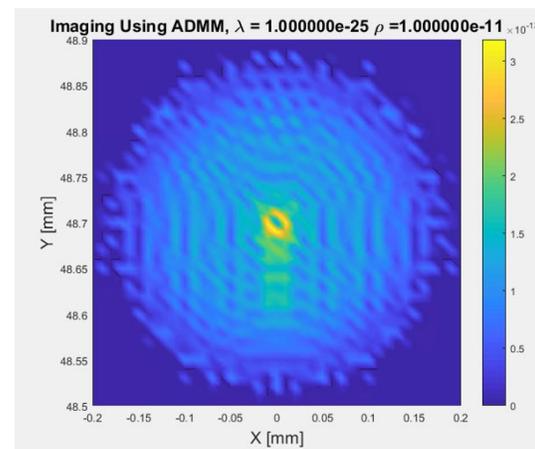
Figura 6



Estudio 4



Estudio 5

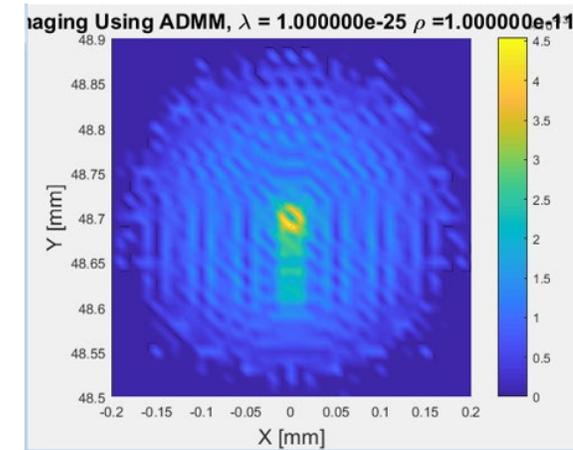
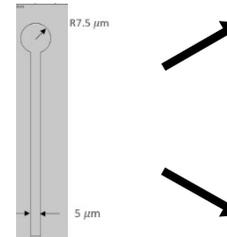


Estudio 6

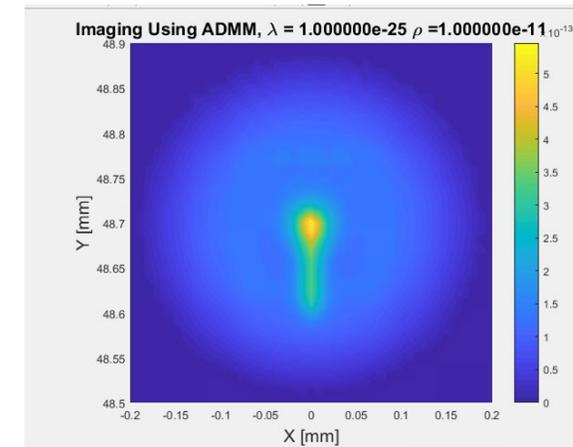
A menores dimensiones,
menor definición

- Efecto del pulso EM

Estudio	Pulso	Geometría	Propiedades
Estudio 1	10 ns	Figura 1	Tumor y tejido
Estudio 2	10 ns	Figura 2	Tumor y tejido
Estudio 3	10 ns	Figura 3	Tumor y tejido
Estudio 4	10 ns	Figura 4	Tumor y tejido
Estudio 5	10 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 6	10 ns	Figura 6	Tumor y tejido
Estudio 7	8 ns	Tumor y tejido	
Estudio 8	10 ns	Figura 4	Materia gris y materia blanca



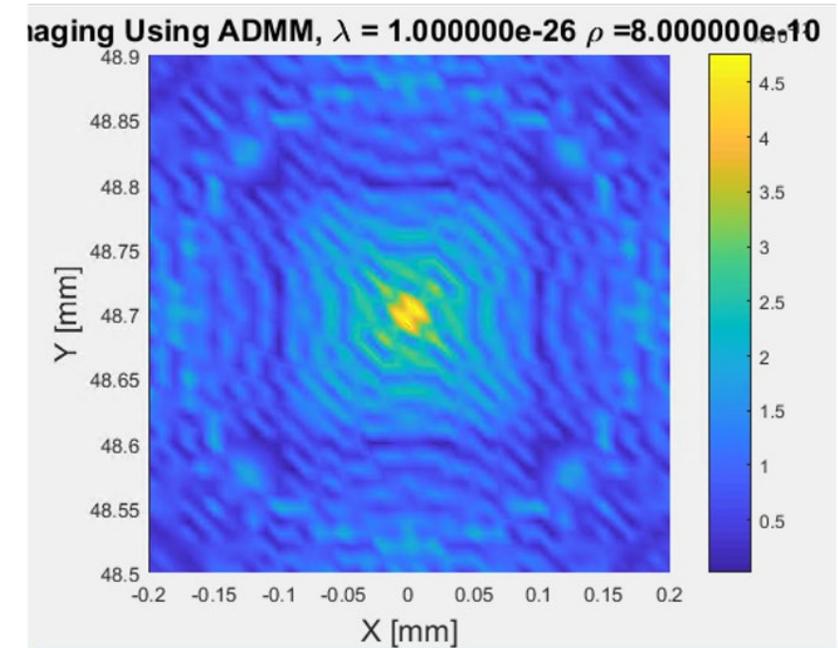
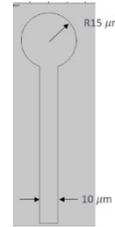
Estudio 5



Estudio 7

- Actualización de las propiedades

Estudio	Pulso	Geometría	Propiedades
Estudio 1	10 ns	Figura 1	Tumor y tejido
Estudio 2	10 ns	Figura 2	Tumor y tejido
Estudio 3	10 ns	Figura 3	Tumor y tejido
Estudio 4	10 ns	Figura 4	Tumor y tejido
Estudio 5	10 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 6	10 ns	Figura 6	Tumor y tejido
Estudio 7	8 ns	Figura 5	Tumor y tejido
Estudio 8	10 ns	Figura 4	Materia gris y materia blanca



Estudio 8

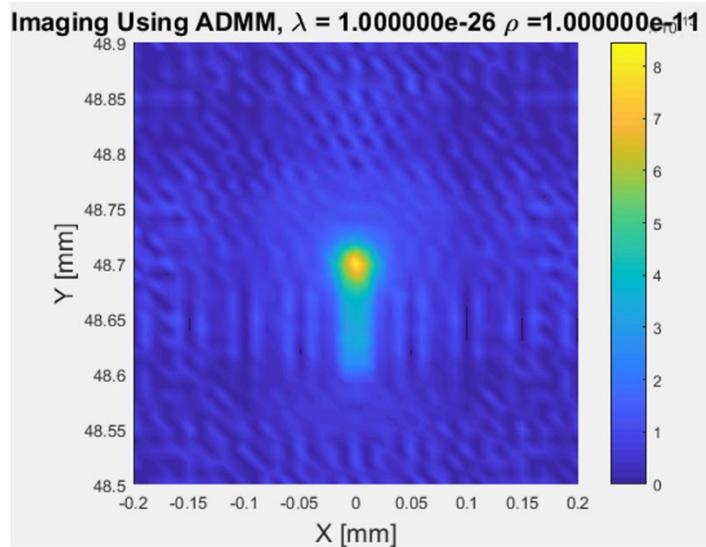
Conclusiones intermedias

Las propiedades influyen en la generación de las imágenes.

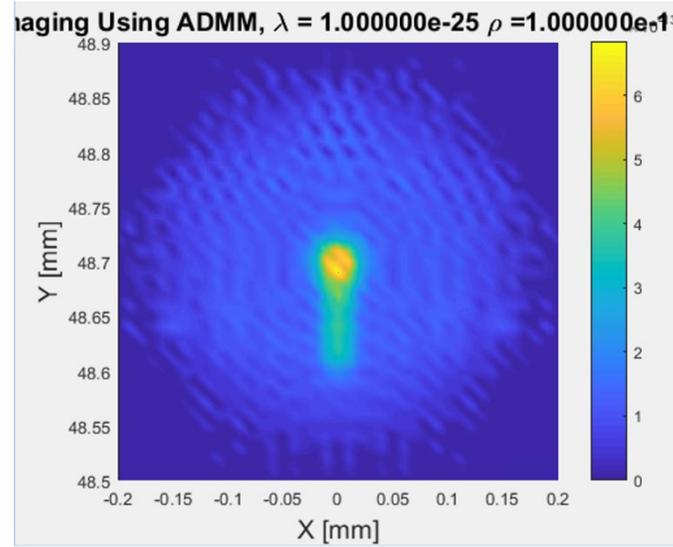
¿Una única propiedad?

¿Varias propiedades?

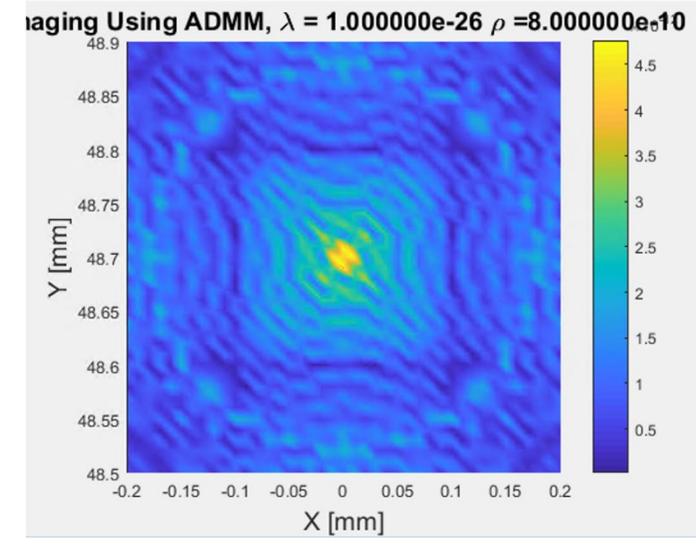
- Efecto de las propiedades



Estudio 4



Nuevo estudio 4



Nuevo estudio 5

Mismo resultado actualizando:

- Permitividad relativa
- Densidad
- Capacidad calorífica a presión cte

Actualización de:

- Velocidad de onda de presión
- Velocidad de onda de corte

Actualización de:

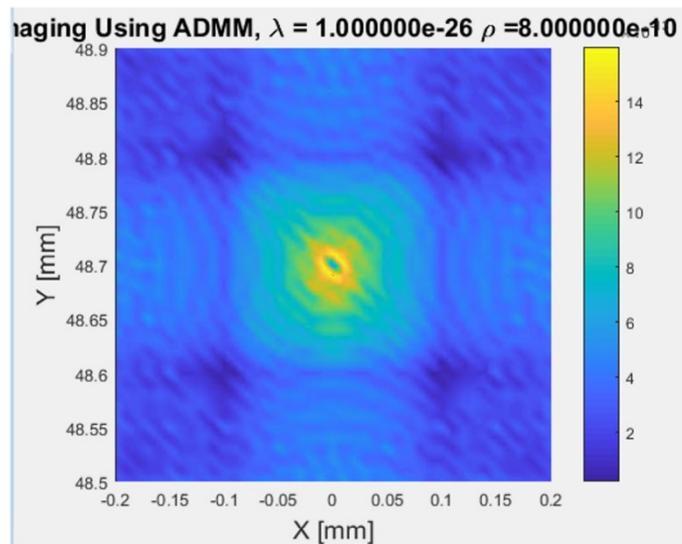
- Conductividad eléctrica

Mismo resultado actualizando:

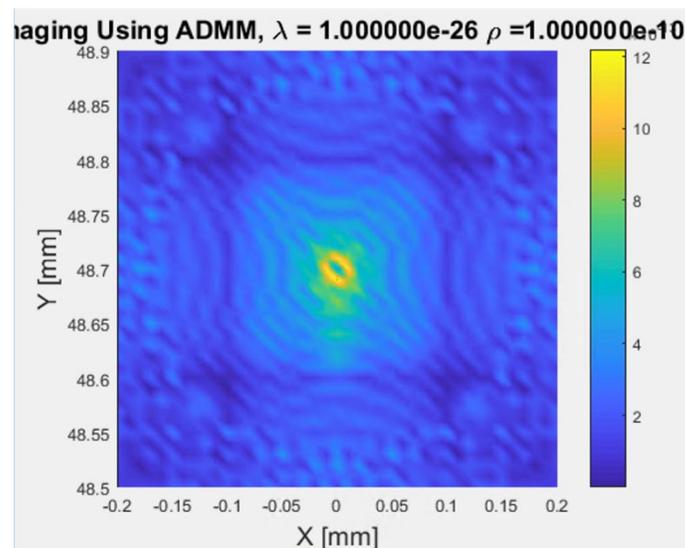
- Conductividad térmica

- Efecto de la conductividad eléctrica

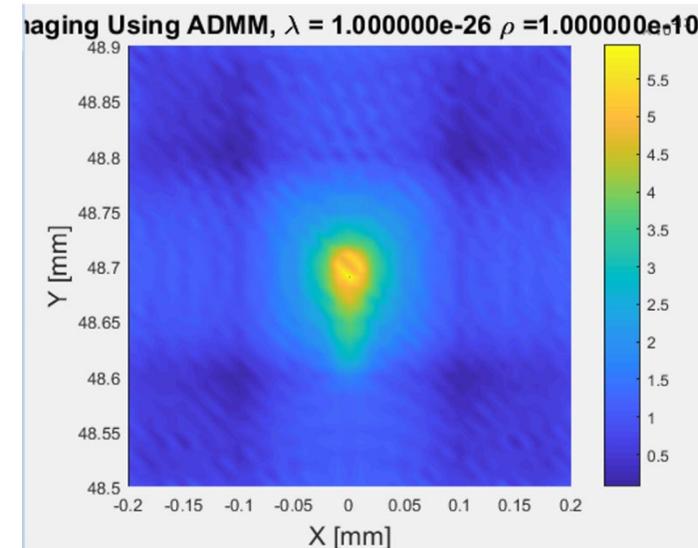
Propiedad	Unidades	Tumor	Tejido	Materia gris	Materia blanca
Conductividad eléctrica (σ)	S/m	2.45	0.11	3	1.8



Nuevo estudio 6
 $\sigma_{\text{neurona}} : 2,6 \text{ S/m}$
 $\sigma_{\text{células de glía}} : 0,8 \text{ S/m}$



Nuevo estudio 7
 $\sigma_{\text{neurona}} : 2,6 \text{ S/m}$
 $\sigma_{\text{células de glía}} : 0,4 \text{ S/m}$

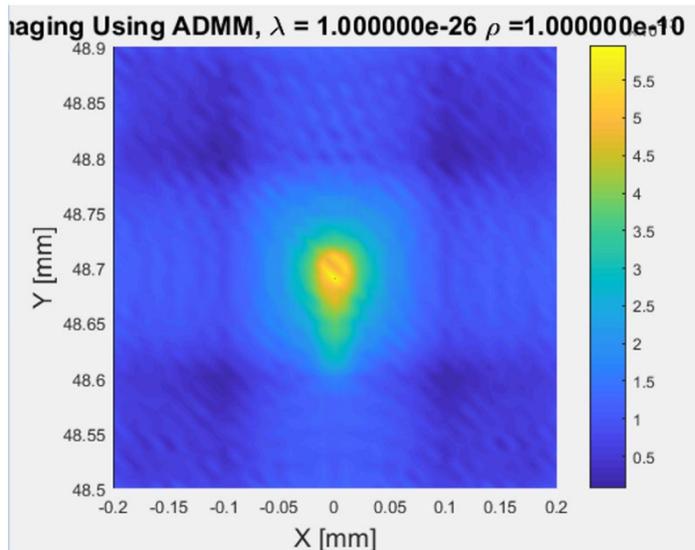


Nuevo estudio 8
 $\sigma_{\text{neurona}} : 2,6 \text{ S/m}$
 $\sigma_{\text{células de glía}} : 0,2 \text{ S/m}$

Diferencia = conductividad eléctrica de la neurona – conductividad eléctrica de las células de glía

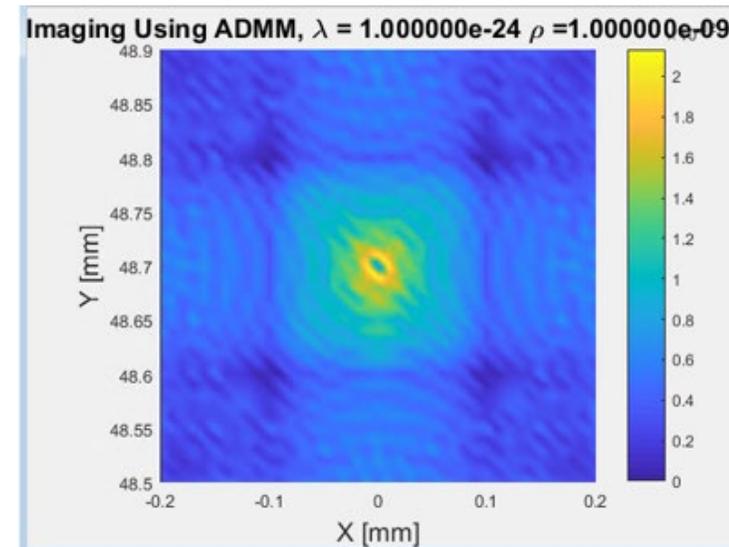
- Efecto de la conductividad eléctrica

Propiedad	Unidades	Tumor	Tejido	Materia gris	Materia blanca
Conductividad eléctrica (σ)	S/m	2.45	0.11	3	1.8



Nuevo estudio 8
 σ_{neurona} : 2,6 S/m
 $\sigma_{\text{células de glía}}$: 0,2 S/m

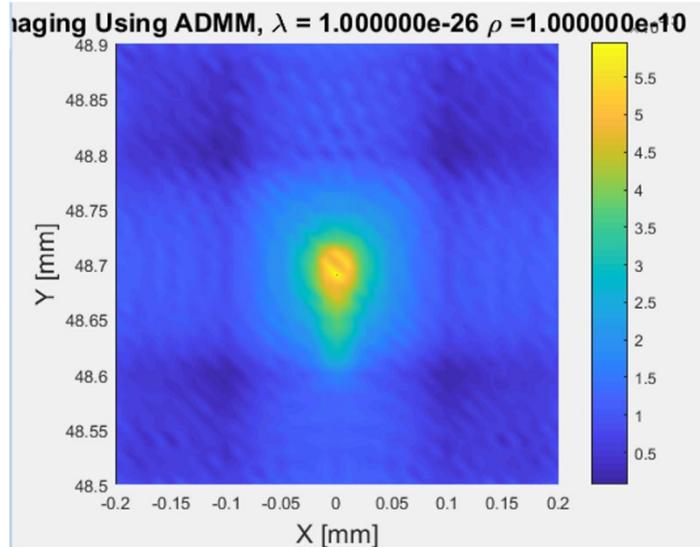
- Diferencia: 2,4



Nuevo estudio 9
 σ_{neurona} : 3,4 S/m
 $\sigma_{\text{células de glía}}$: 1 S/m

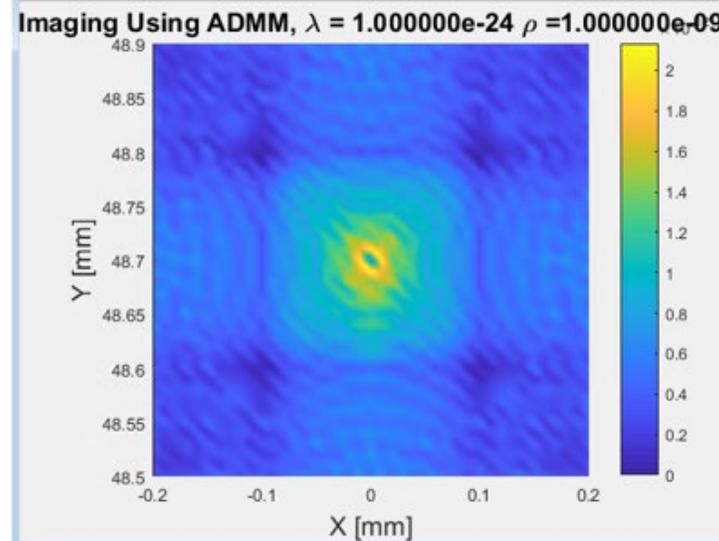
- Diferencia: 2,4

- Efecto de la conductividad eléctrica



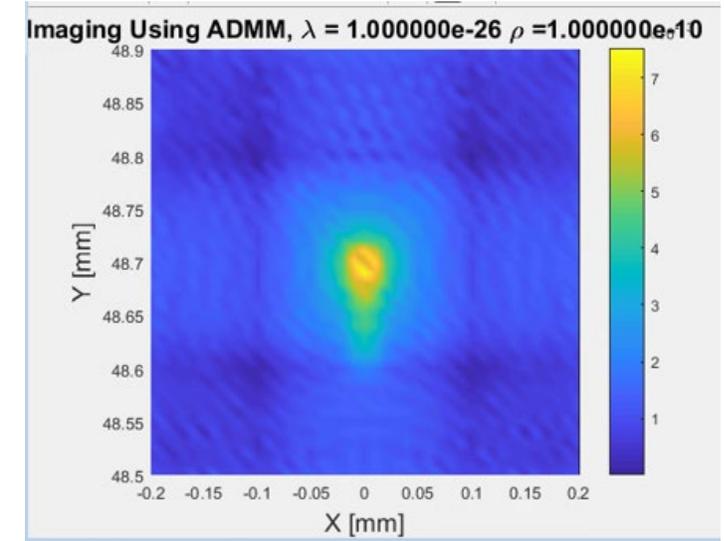
Nuevo estudio 8
 $\sigma_{\text{neurona}}: 2,6 \text{ S/m}$
 $\sigma_{\text{células de glía}}: 0,2 \text{ S/m}$

- Ratio: 13



Nuevo estudio 9
 $\sigma_{\text{neurona}}: 3,4 \text{ S/m}$
 $\sigma_{\text{células de glía}}: 1 \text{ S/m}$

- Ratio: 3,4



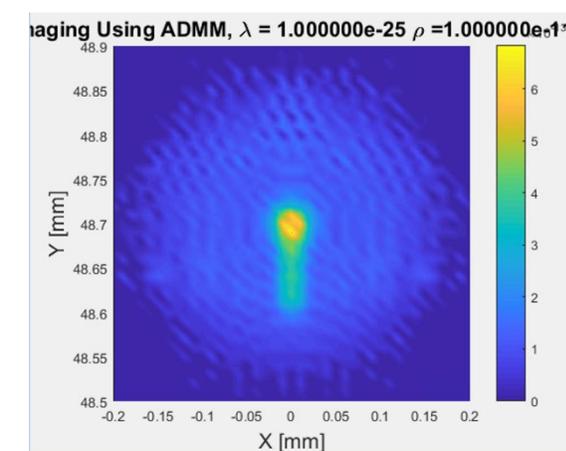
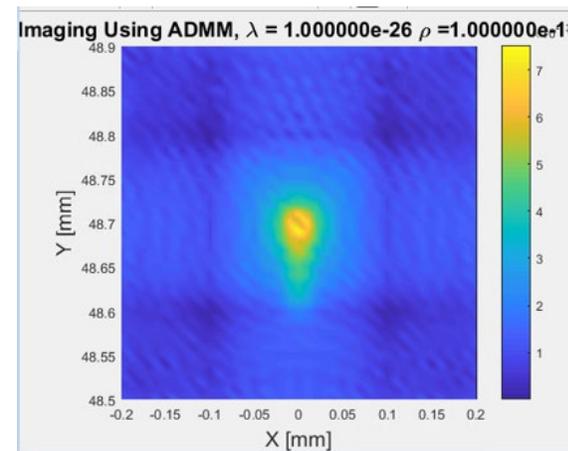
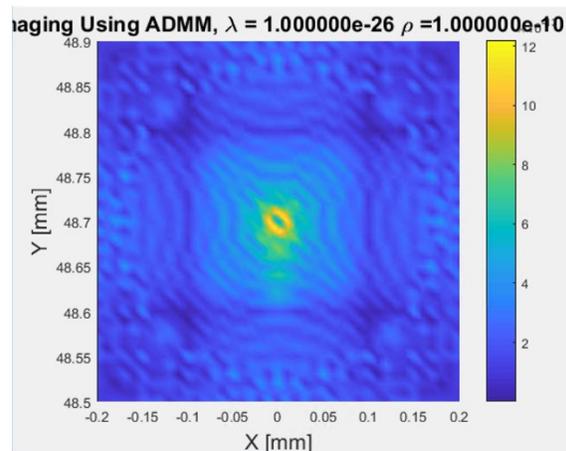
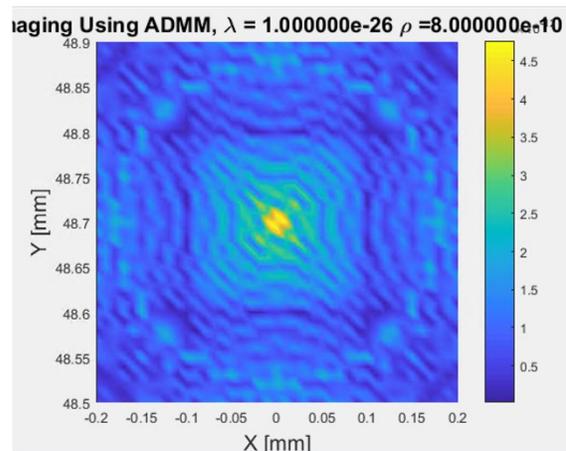
Nuevo estudio 10
 $\sigma_{\text{neurona}}: 3 \text{ S/m}$
 $\sigma_{\text{células de glía}}: 0,23 \text{ S/m}$

- Ratio: 13

$$\text{Ratio} = \frac{\text{conductividad eléctrica de la neurona}}{\text{conductividad eléctrica de las células de glía}}$$

- Efecto de la conductividad eléctrica

Propiedad	Unidades	Tumor	Tejido	Materia gris	Materia blanca
Conductividad eléctrica (σ)	S/m	2.45	0.11	3	1.8



Estudio 8

$\sigma_{neurona}$: 3 S/m
 $\sigma_{células\ de\ glía}$: 1,8 S/m

- Ratio: 1,67

Nuevo estudio 7

$\sigma_{neurona}$: 2,6 S/m
 $\sigma_{células\ de\ glía}$: 0,4 S/m

- Ratio: 6,5

Nuevo estudio 8

$\sigma_{neurona}$: 2,6 S/m
 $\sigma_{células\ de\ glía}$: 0,2 S/m

- Ratio: 13

Nuevo estudio 4

$\sigma_{neurona}$: 2,45 S/m
 $\sigma_{células\ de\ glía}$: 0,11 S/m

- Ratio: 22,27

$$\text{Ratio} = \frac{\text{conductividad eléctrica de la neurona}}{\text{conductividad eléctrica de las células de glía}}$$

A mayor ratio, mayor contraste

- **Conclusiones**

1. Es **posible** utilizar un acoplamiento de ondas TA, EM y AC/S para reconstruir imágenes de neuronas.
2. Las dimensiones del objetivo y la duración del pulso están **directamente relacionados**.
3. El ratio de las conductividades eléctricas de los materiales **afecta**.

- **Trabajo futuro**

- Aplicar varias ondas EM desde varias direcciones (en 2D y 3D).
- Experimentos reales.

Reconstrucción morfológica de células neuronales usando ondas acústicas generadas mediante el acoplamiento termodinámico de ondas electromagnéticas

Raquel Isabel Martínez López

Laboratorio de Ingeniería Mecánica (LIM), Universidad de A Coruña

Sensing, Imaging, Control and Actuation Laboratory (SICA-Lab), Northeastern University, Boston

Trabajo de Fin de Grado – Ingeniería Mecánica
7 de julio de 2023