

# Análisis de la frecuencia de actualización de la geometría en un modelo mecanobiológico de crecimiento de placa de ateroma con interacción fluido-estructura

Patricia Hernández López<sup>1</sup>, Myriam Cilla Hernández<sup>1,2,4</sup>, Miguel Ángel Martínez Barca<sup>1,4</sup>, Estefanía Peña Baquedano<sup>1,4</sup>, Mauro Malvè<sup>1,3,4</sup>

1. Applied Mechanics and Bioengineering (AMB). Instituto de Investigación en Ingeniería en Aragón (I3A). Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain. Tel. +34 976762707, e-mail: [phernand@unizar.es](mailto:phernand@unizar.es)
2. Centro Universitario de la Defensa Zaragoza - Academia General Militar, Spain.
3. Universidad Pública de Navarra, Pamplona, Spain
4. Centro de Investigación Biomédica en Red de Bioingeniería Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN), Spain.

## MOTIVACIÓN

**Mortalidad**  
Año 2019

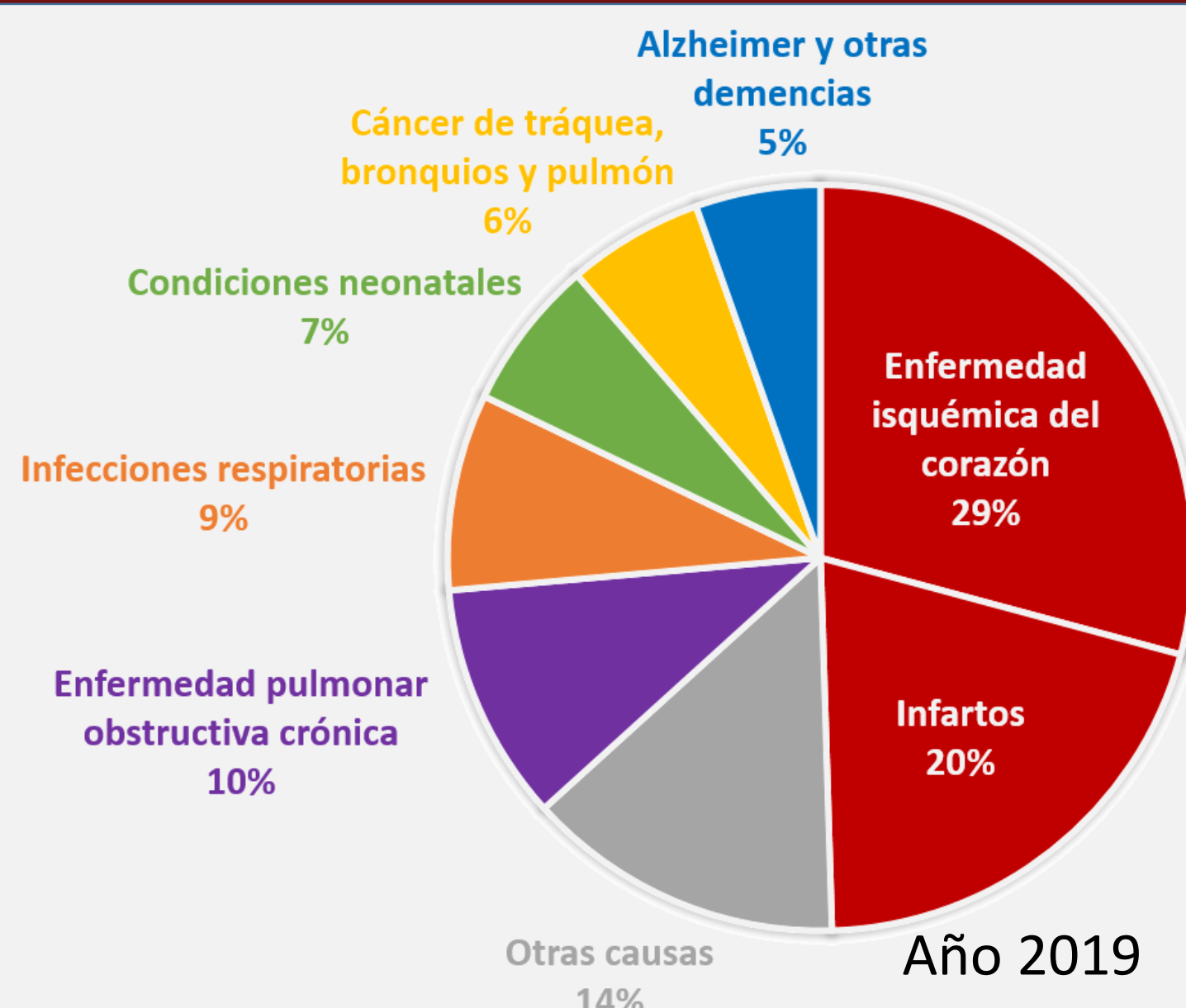
**Enfermedades cardiovasculares**  
49%

Crecimiento de placas de ateroma



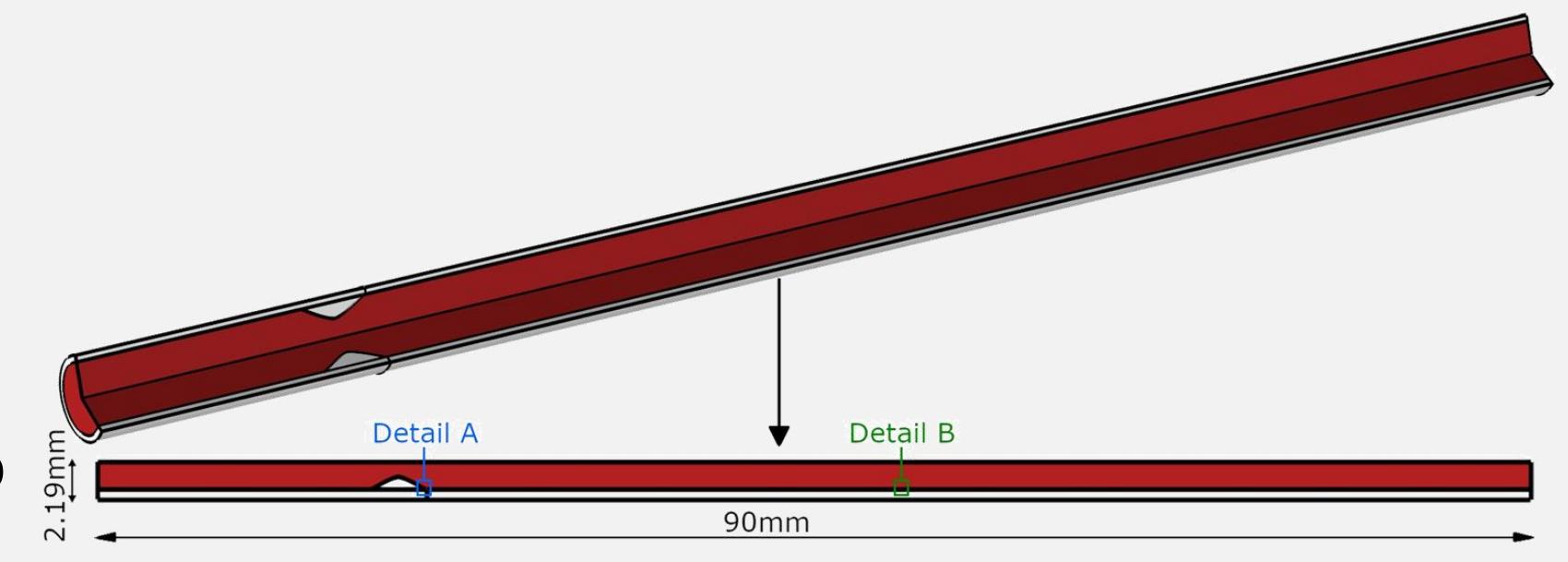
Koenig and Khuseyinova, 2007

**Consecuencias de aterosclerosis:**  
Infartos, isquemias, ictus

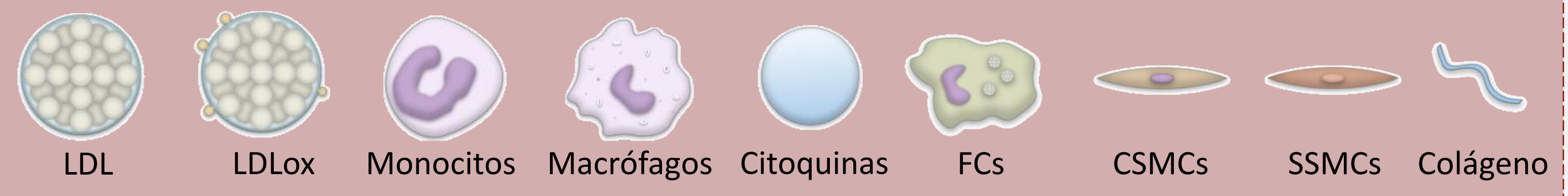


## OBJETIVO

- Modelo computacional**  
Análisis de la reparación endotelial
- Interacción fluido-estructura:**  
Placas modifican el flujo sanguíneo

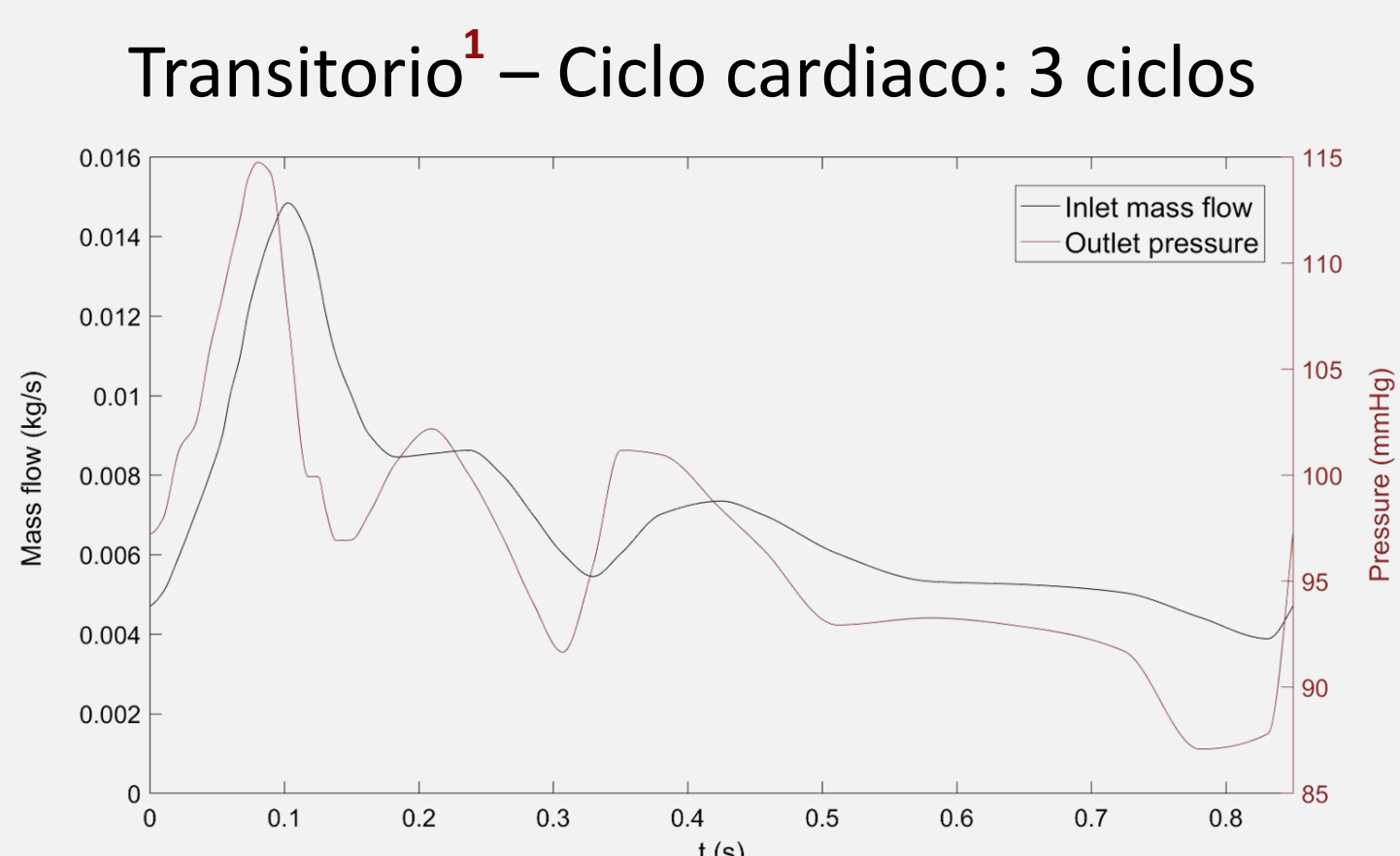


### Sustancias proceso



## MODELO MATEMÁTICO

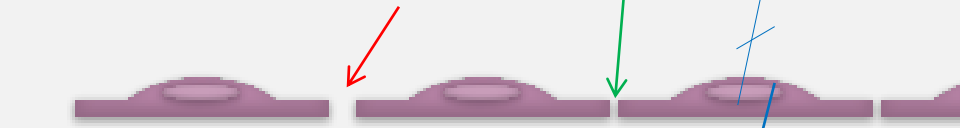
### Flujo sanguíneo



Forma células endoteliales<sup>2</sup>:  
**Estímulos hemodinámicos**  
- TAWSS  
- OSI

### Flujo de plasma

Modelo de los 3 poros<sup>3</sup>



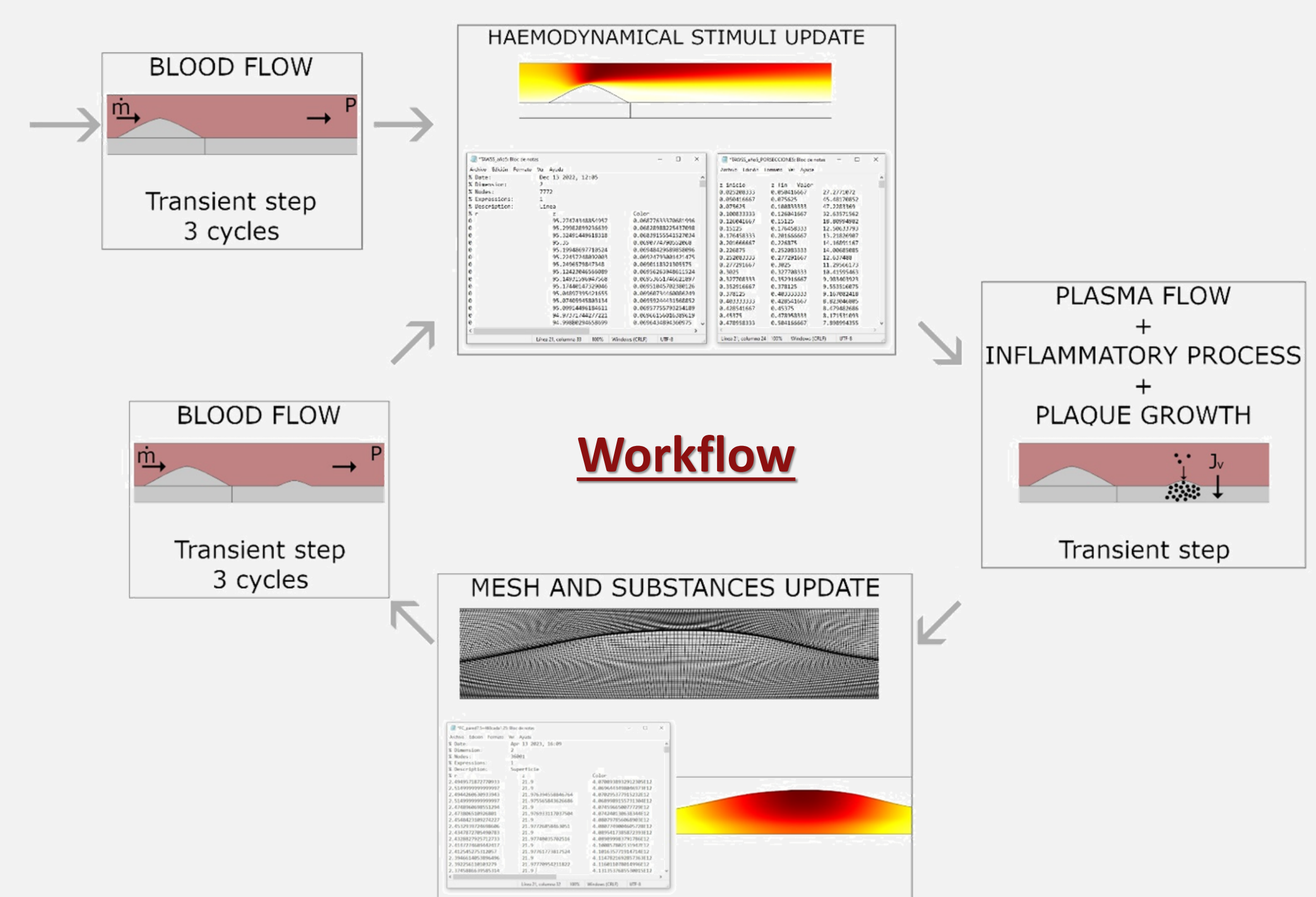
### Proceso inflamatorio<sup>4</sup>

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} + \nabla \cdot (-Dx_i \nabla x_i) + K_{lag} \cdot u_w \cdot \nabla x_i = \text{Término reactivo}$$

Temporal      Difusión      Convección      Reacciones

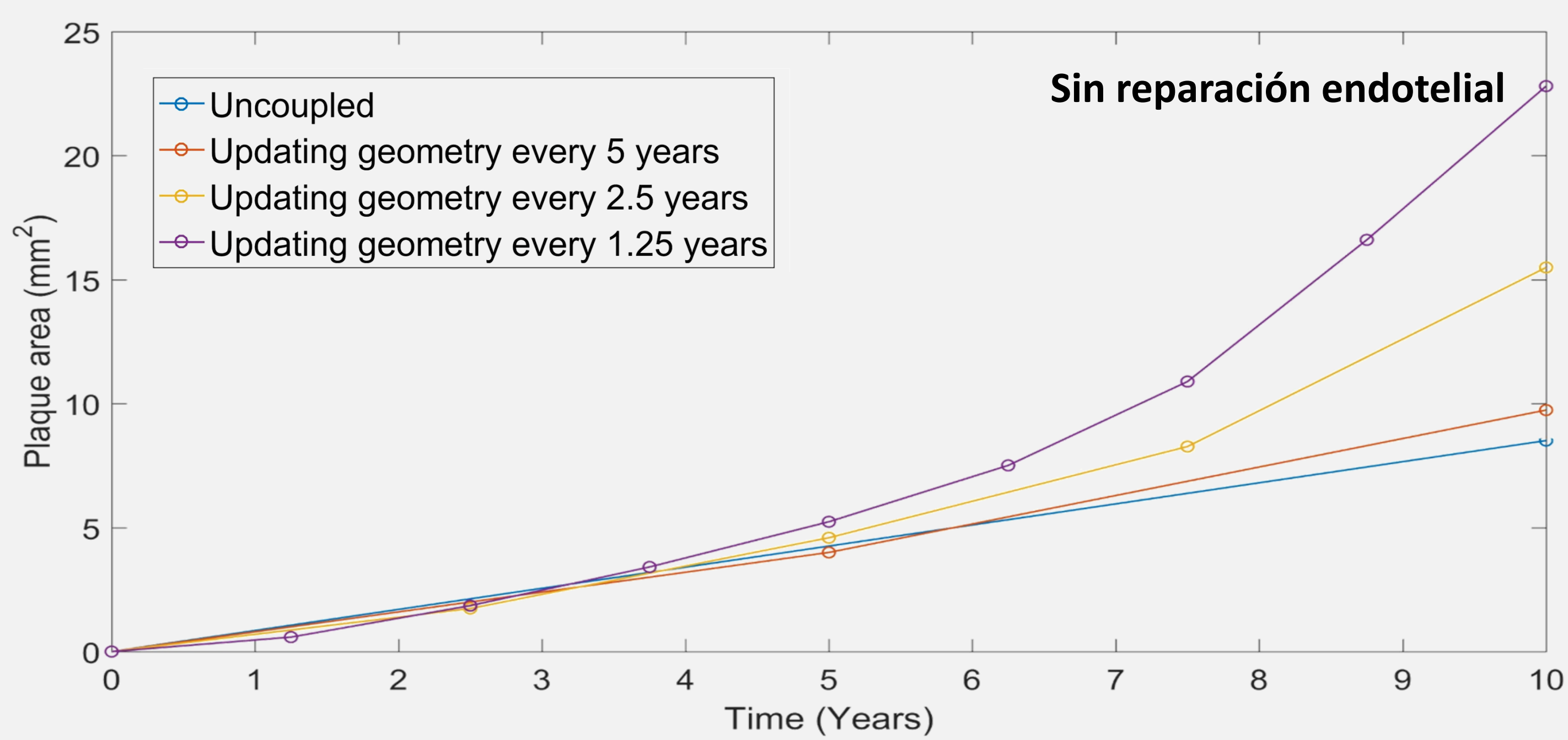
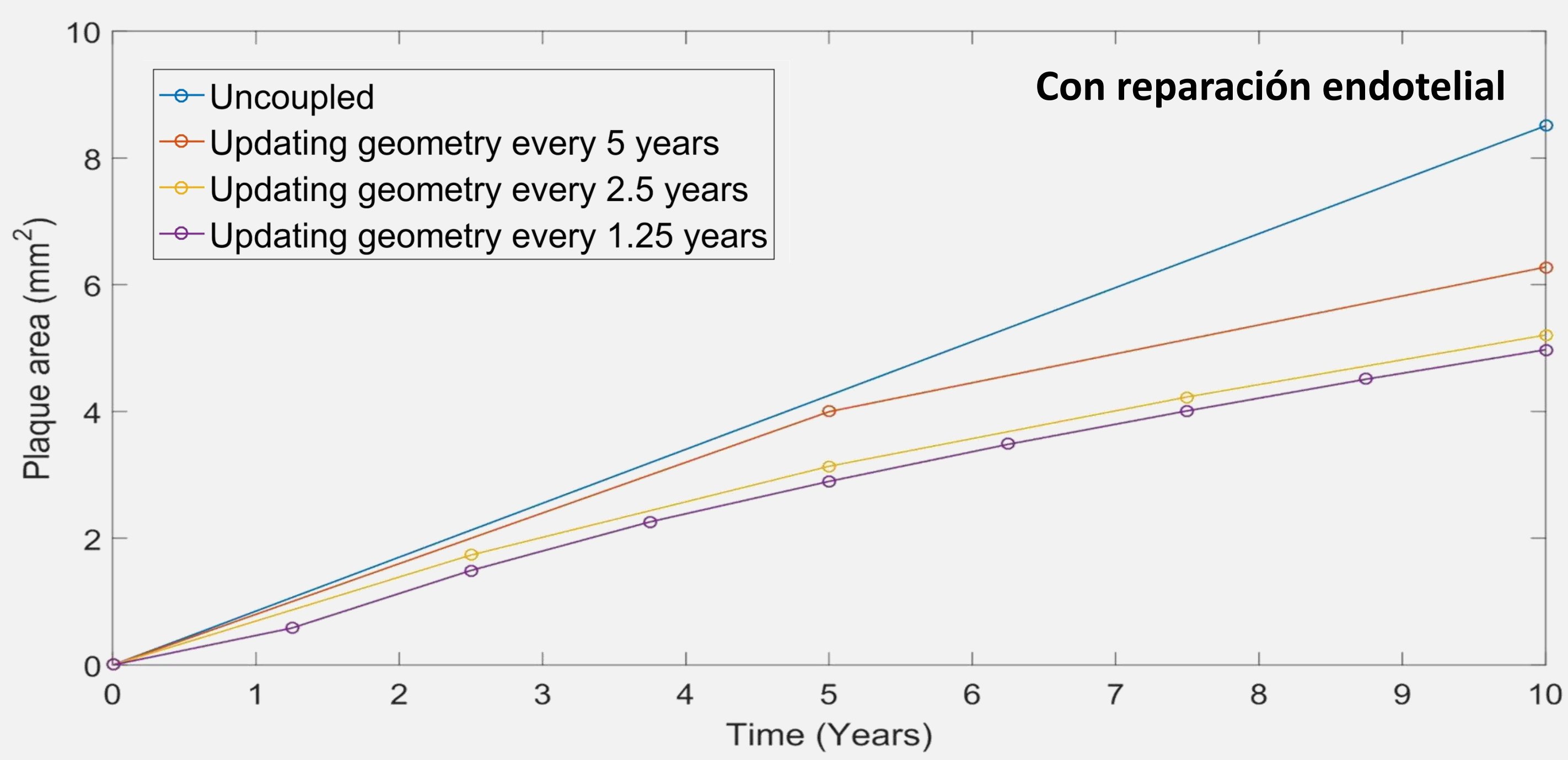
### Crecimiento

$$\nabla \cdot v = \frac{\partial \Delta C_{FC,w}}{\partial t} \cdot Vol_{FC} + \frac{\partial \Delta C_{SSMC,w}}{\partial t} \cdot Vol_{SSMC} + \frac{\partial \Delta C_{CG,w}}{\partial t} \cdot \frac{1}{\rho_{CG}}$$

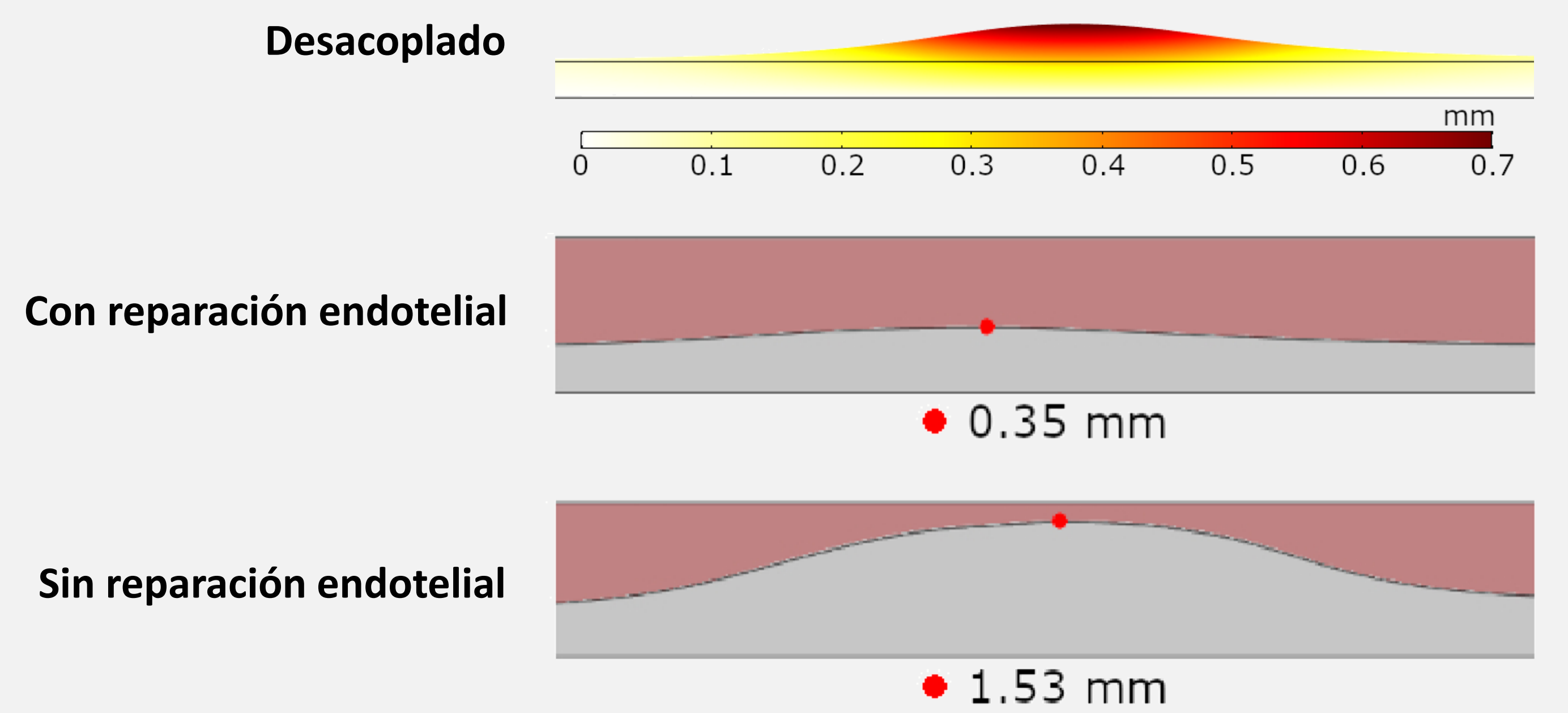


## RESULTADOS

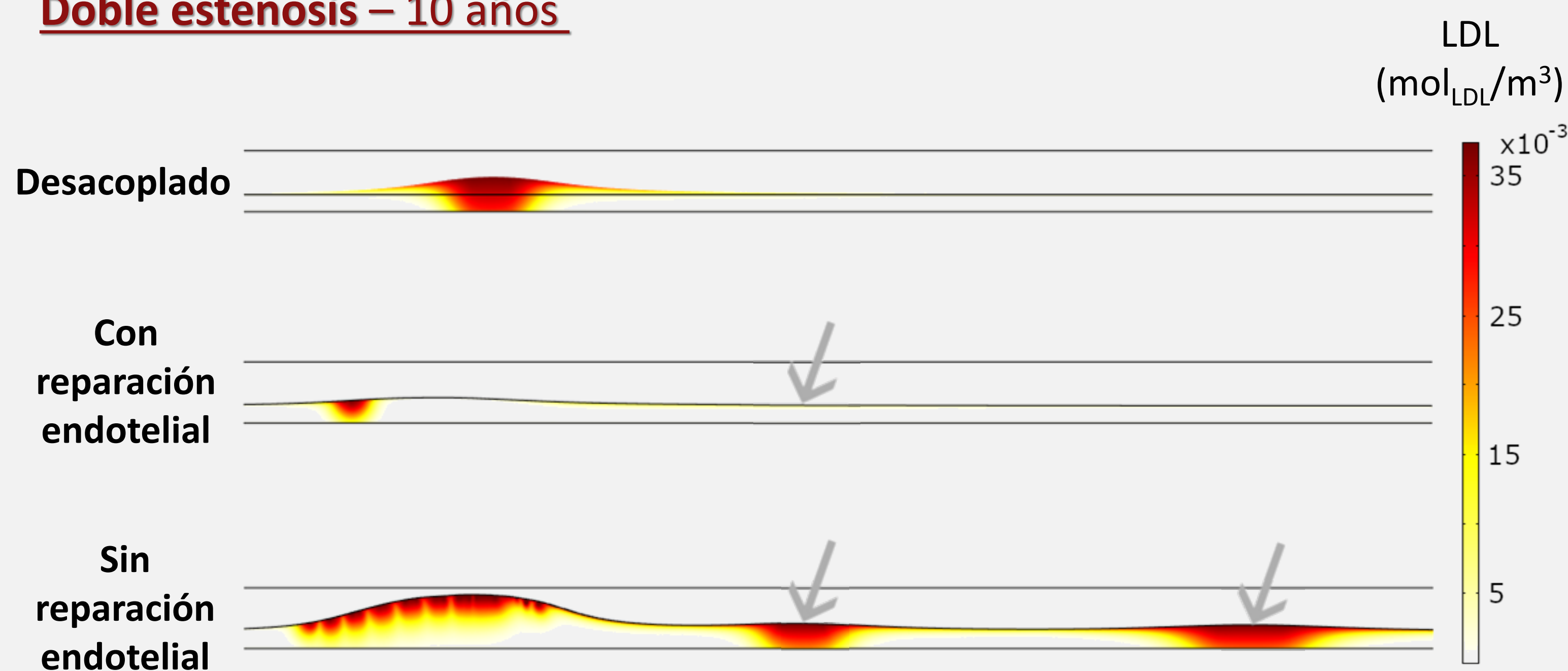
### Modelo semi-acoplado: Frecuencia de actualización



### Aumento espesor pared – 10 años



### Doble estenosis – 10 años



## CONCLUSIONES

- Interacción fluido-estructura afecta al crecimiento de las placas**
- Convergencia frecuencia de actualización:**
  - Con reparación endotelial: 2.5 años
  - Sin reparación endotelial: No se alcanza
- Resultados reales: Caso intermedio** entre los dos modelados
- Se predice el fenómeno de la **doble estenosis**

## REFERENCIAS Y AGRADECIMIENTOS

1. M. Malvè, S. Chandra, A. García, A. Menab, M.A. Martínez, E.A. Finol and M. Doblaré. Impedance-based outflow boundary conditions for human carotid haemodynamics. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 2014 Vol. 17, No. 11, 1248–1260.
  2. Levesque, M.J., Liepsch, D., Moravec, S. and Nerem, R.M. Correlation of endothelial cell shape and wall shear stress in a stenosed dog aorta. *American Heart Association Journals*, 6:220-229, 1986.
  3. Olgac, U., Kurtcoglu, V. and Poulikakos, D. Computational modeling of coupled blood-wall mass transport of LDL: effects of local wall shear stress. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*, 294(2):909-919, 2008.
  4. Cilla M., Peña E. and Martínez M.A. . Mathematical modeling of atheroma plaque formation and development in coronary arteries. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(90): 20130866, 2013.
- Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España a través del proyecto de investigación PID2019-107517RB-I00; P. Hernández-López recibió apoyo financiero a través de la beca BES-2017-080239 y del Gobierno de Aragón a través del proyecto de investigación T24-20R.