

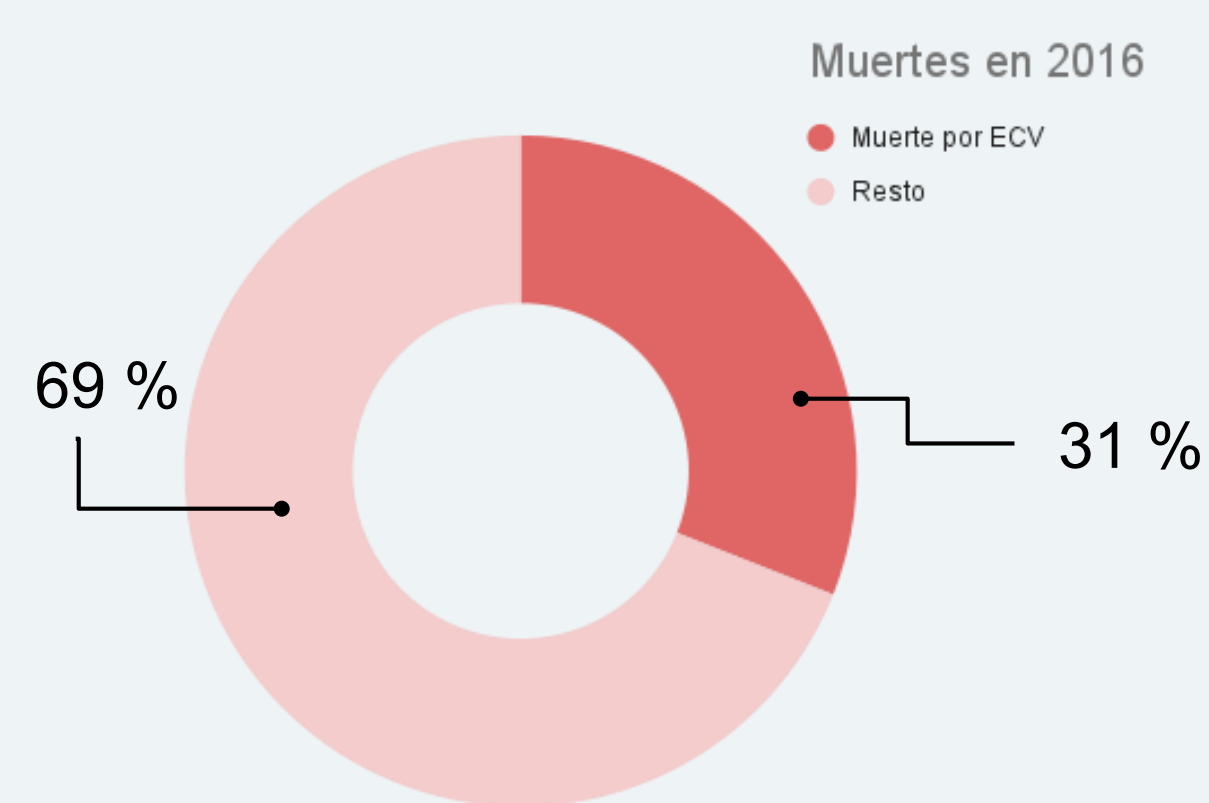
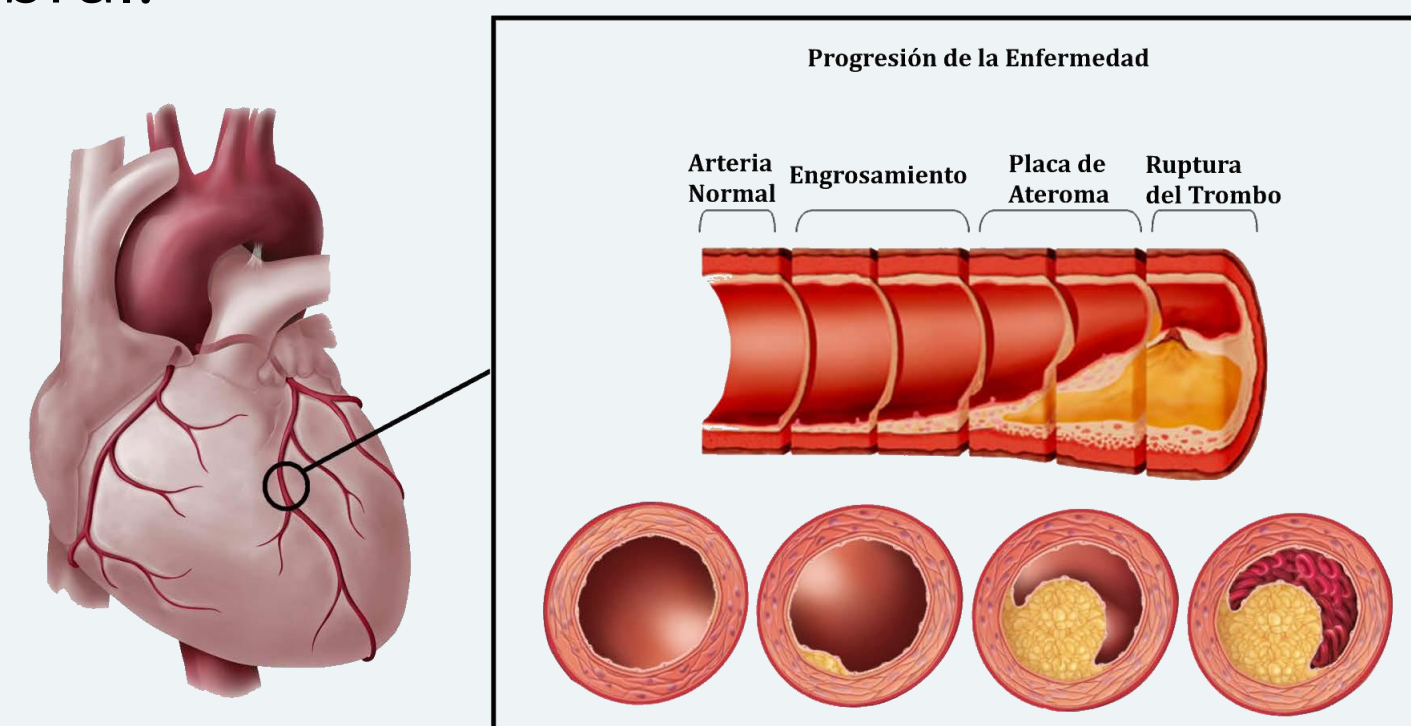
ESTIMACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA PLACA DE ATEROMA UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Introducción

La **aterosclerosis** consiste en la acumulación de células espumosas debido a un exceso de lipoproteínas LDL que han traspasado el endotelio.

El mayor riesgo de la aterosclerosis tiene lugar cuando la placa de ateroma es **vulnerable**.

Si una placa de ateroma se rompe, puede desencadenar un infarto de miocardio o un ictus cerebral.



Muertes por ECV: más de 17.9 millones de personas

Gasto: 169 billones €

Materiales y métodos

Base de datos

- Se parte de imágenes de **IVUS reales** [1]
- Se **generan nueve geometrías** con distintos grados de estenosis (40% - 80%)
- Se combinan 330 variaciones del módulo de Young del núcleo lipídico (E_{core}) y 10 variaciones del módulo de Young de la placa (E_{placa}) para conseguir una base de datos de 3300 casos por cada geometría

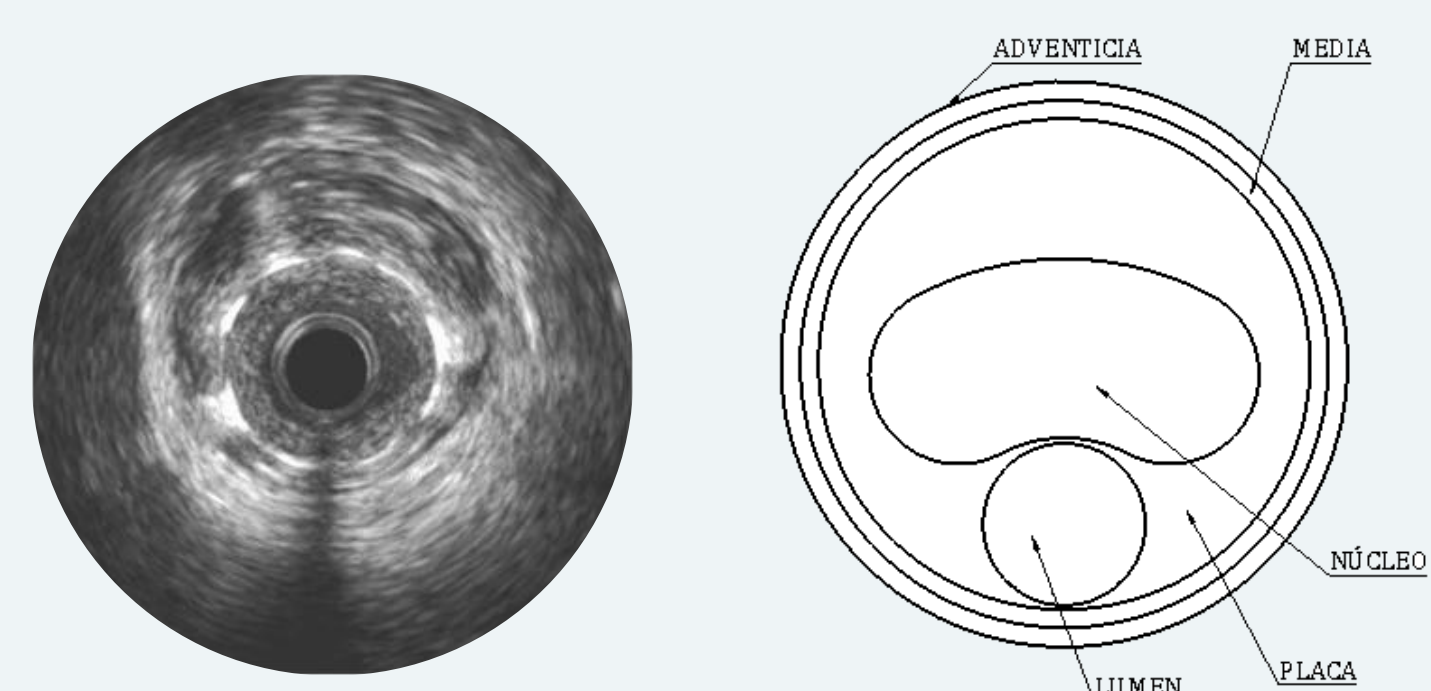
- Se utiliza el **modelo Neo-Hookeano** [2] para modelar el comportamiento del material

$$W = C_1(I_1 - 3) + D_1(J - 1)^2$$

$$C_1 = \frac{E}{6}$$

- Se ejecutan todos los casos y se obtienen los datos de interés

- Se realiza un **análisis estadístico** de las diferentes variables candidatas para conocer cuáles son las más influyentes en la respuesta

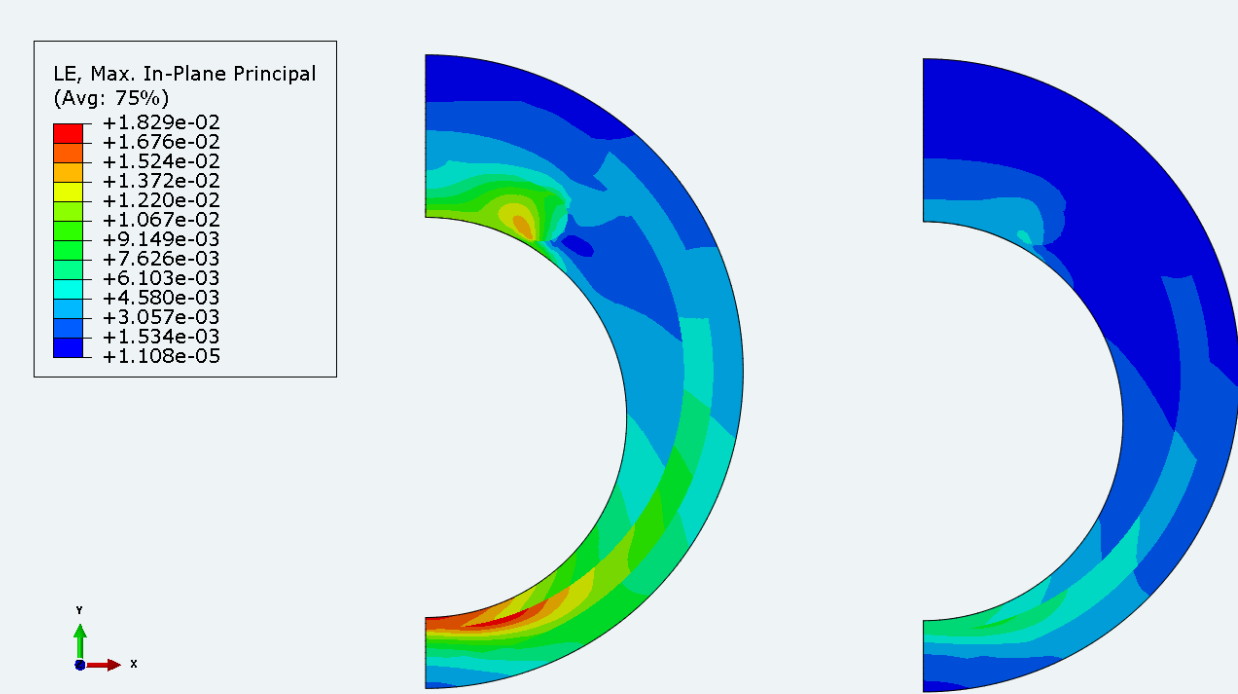


Rangos E Coronaria (kPa)

E_{core}	E_{placa}
1 - 100	390 - 1200

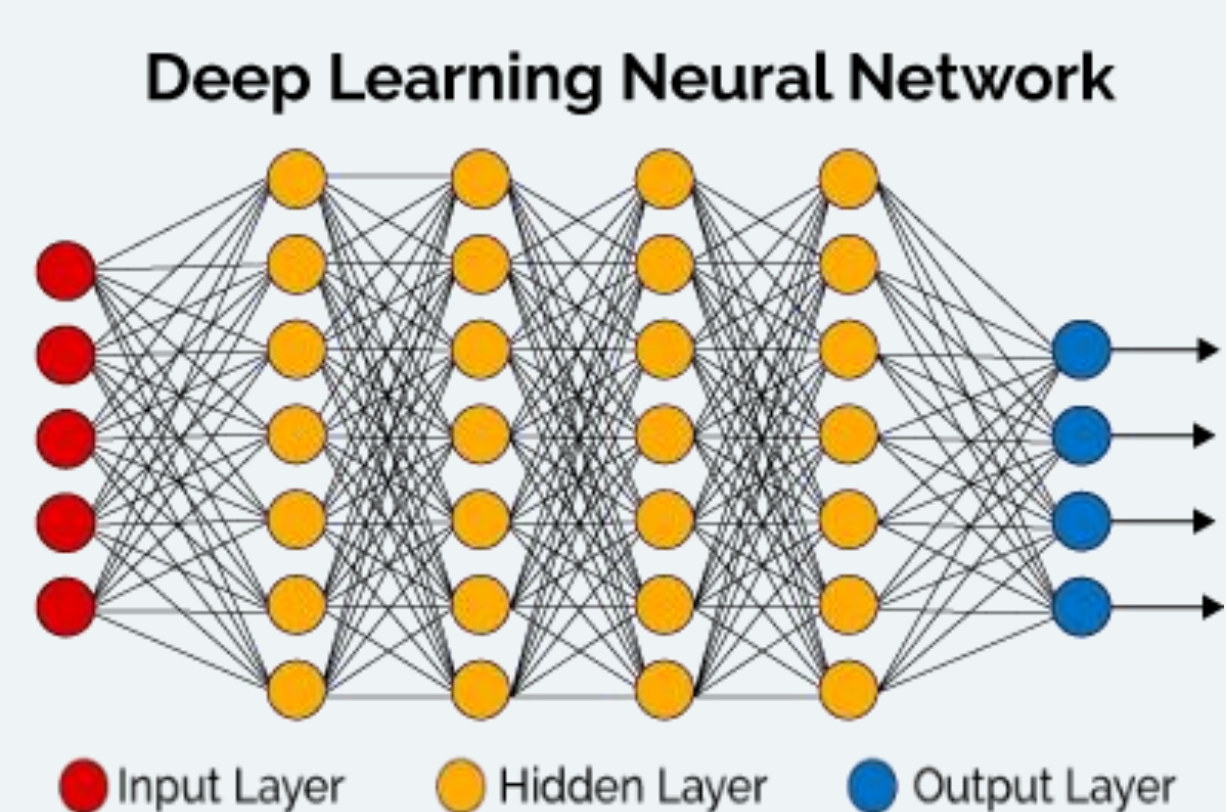
Variables candidatas

ϵ_1	ϵ_2	ϵ_{core}
ϵ_{cap}	ϵ_{theta}	SR (%)



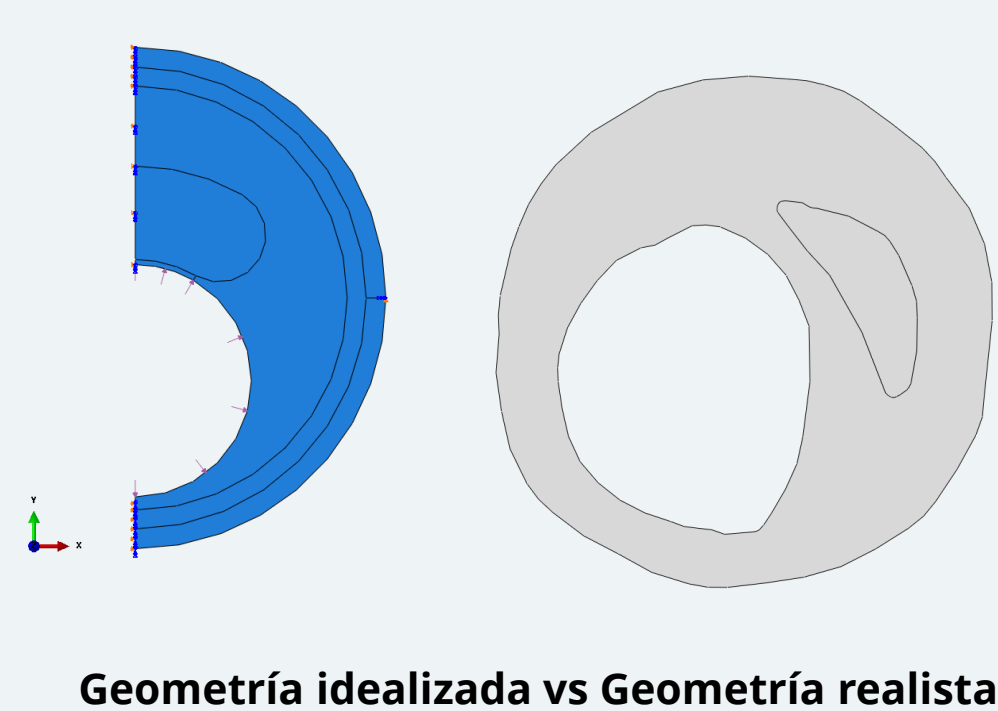
Red Neuronal Artificial (RNA)

- División de la base de datos: 80% entrenamiento y 20% testing
- Escalado máximo - mínimo de los datos
- Ajuste de hiperparámetros



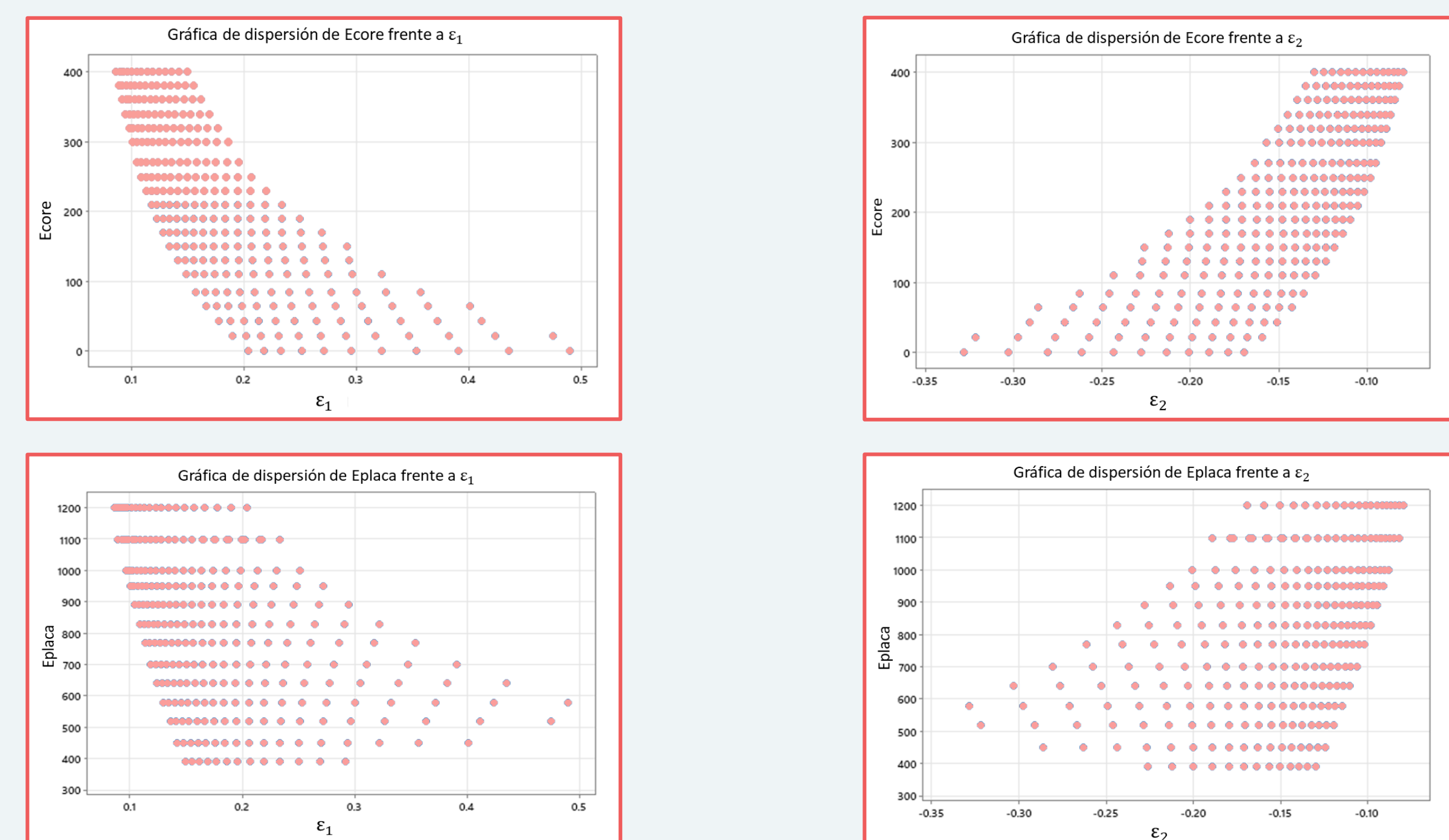
Validación

Geometrías Realistas		
Geometría	Real	
	e_{cap}	A_{core}
1	65 μm	A_{core}
2	65 μm	$\frac{1}{2} A_{core}$
3	300 μm	$\frac{1}{2} A_{core}$



Resultados

Análisis descriptivo de los datos



Influencia de las variables candidatas en la respuesta Ecore y Eplaca

- Análisis de regresión múltiple para predecir Ecore: SR (%), $\epsilon_{cap-cuad}$
- Análisis de regresión múltiple para predecir Eplaca: SR (%), $\epsilon_{core-cuad}$, $\epsilon_{cap-cuad}$
- Análisis de regresión múltiple para predecir Ecore y Eplaca simultáneamente: SR (%), $\epsilon_{core-cuad}$, $\epsilon_{cap-cuad}$

	Coef	Valor p
Constante	2540	0.000
SR (%)	-53.62	0.000
$\epsilon_{core-cuad}$	-2978	0.000
$\epsilon_{cap-cuad}$	4109	0.000
R-cuadrado (ajustado)	92.8 %	

Análisis de regresión múltiple multivariado

Búsqueda de la mejor RNA

Prueba	n° capas	n° neuronas/capa	Func. Activación	Tamaño lote	Ecore			Eplaca		
					Error medio (%)	Error máximo (%)	Error mínimo (%)	Error medio (%)	Error máximo (%)	Error mínimo (%)
Prueba 1	4	50, 25, 10, 2	ReLU	16	100	100	100	3.5	5.96	0.11
Prueba 2.a	4	50, 25, 10, 2	Elu	16	1561	25246	1.13	4.85	14.14	0.23
Prueba 2.b	4	50, 25, 10, 2	Selu	16	1672	25465	0.7539	6.95	18.11	0.084
Prueba 2.c	4	50, 25, 10, 2	Softplus	16	1578	25952	1.98	4.3	10.57	0.199
Prueba 3	8	250,150,100,50,40,30,10,2	Softplus	16	55.747	275.8	0.131	2.9	59.12	0.07
Prueba 4	8	250,150,100,50,40,30,10,2	Softplus	8	15.428	99.99	0.788	1.08	3.4	0.15
Prueba 5	8	250,150,100,50,40,30,10,2	Softplus	8	141.18	3546	0.68	11.8	24.28	0.975
Prueba 6	8	250,150,100,50,40,30,10,2	Softplus	8	10.26	151.08	0.0035	0.196	1.38	0.00015

Validación de la RNA con geometrías reales

Geom	Predicción		Real		Geom	Predicción		Real	
	Ecore	Eplaca	Ecore	Eplaca		Ecore	Eplaca	Ecore	Eplaca
1	2.19E-2	840	11.1	601	1	11.2	677	11.1	601
2	46.26	851	11.1	601	2	88.96	717.34	11.1	601
3	1.32E-5	1246	11.1	601	3	0	1246	11.1	601

Conclusiones y Limitaciones

Conclusiones

- Variables geométricas utilizadas son importantes pero no suficientes
- Cuando el núcleo es blando, la predicción es más pobre
- Es posible desarrollar una RNA que prediga con errores asumibles si las geometrías son similares

Limitaciones

- No se ha contado con mapas de deformaciones de IVUS reales
- Simplificación 2D del modelo
- Comportamiento Neo-Hookeano

Referencias

[1] LE FLOCH, S., OHAYON, J., TRACQUI, P., FINET, G., GHARIB, A.M., MAURICE, R.L., CLOUTIER, G. and PETTIGREW, R.I. Vulnerable Atherosclerotic Plaque Elasticity Reconstruction Based on a Segmentation-Driven Optimization Procedure Using Strain Measurements: Theoretical Framework. *IEEE Trans Med Imaging*. 2009, 28(7), 1126-37. Available from: doi: 10.1109/TMI.2009.2012852.

[2] HOLZAPFEL GA, GASSER TC and OGDEN RW. A new constitutive framework for arterial wall mechanics and a comparative study of material models. 6, s.l.: *Journal of Elasticity*, 61(1):1-48, 2000.

