



# Aliñamento de imaxes oftalmolóxicas usando representacións neuronais implícitas

Mateo Amado Ares

Dirección: José Rouco Maseda e Jorge Novo Buján

Directores: Jorge Novo Buján  
José Rouco Maseda

Grupo VARPA  
Departamento de Ciencias da Computación e Tecnoloxías da Información  
Universidade da Coruña



# Índice de Contidos

- 1 Introducción e Motivación
- 2 Contexto e Estado da Arte
- 3 Metodoloxía Proposta
- 4 Experimentos e Resultados
- 5 Conclusións e Traballo Futuro



# Tabla de contenidos

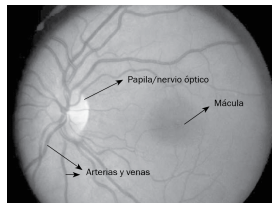
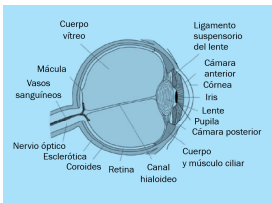
- 1 **Introdución e Motivación**
- 2 Contexto e Estado da Arte
- 3 Metodoloxía Proposta
- 4 Experimentos e Resultados
- 5 Conclusións e Traballo Futuro



# O Problema Clínico: Aliñamento de Imaxes de Retina

## Necesidade Clínica

- O aliñamento de imaxes de retina é fundamental para:
  - Rastrear a progresión de enfermidades como o glaucoma ou a retinopatía diabética.
  - Fusionar información de distintas fontes, como retinografía e OCT.
- O ollo permite a observación directa de tecido neuronal e vasos sanguíneos, clave para o diagnóstico precoz.





# O Reto do Aliñamento Manual

## O Reto

O aliñamento manual é un proceso:

- Tedioso e lento: consume tempo dos especialistas.
- Subxectivo e propenso a erros: depende do experto.
- Non escalable: inviable para grandes volumes de datos.

→ A automatización é de gran interese clínico.



Imaxe fixa, móbil, deformada e resultado superposto.



## Obxectivos do Traballo

O obxectivo principal é explorar a viabilidade das Representacións Neurais Implícitas (INRs) para o aliñamento de imaxes oftalmolóxicas.

Obxectivos específicos:

- 1 Adaptar o framework IDIR: Modificar a arquitectura orixinal, pensada para imaxes 4D-CT de pulmóns, para rexistro en 2D de retina.
- 2 Avaliar o rendemento: Comparar o método en dous conxuntos de datos:
  - FIRE: Imaxes clínicas reais, con variabilidade do mundo real.
  - RFMID: Imaxes sintéticas con transformacións coñecidas.
- 3 Analizar a os resultados: En particular se a activación SIREN ofrece vantaxes para capturar deformacións.



# Tabla de contenidos

- 1 Introducción e Motivación
- 2 Contexto e Estado da Arte
- 3 Metodoloxía Proposta
- 4 Experimentos e Resultados
- 5 Conclusións e Traballo Futuro



# Rexistro Deformable e Representacións Neurais Implícitas (INRs)

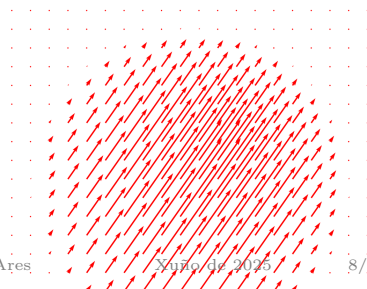
## Rexistro Deformable

O obxectivo é atopar unha transformación non ríxida,  $\mathbf{T}$ , que mapea cada coordenada  $\mathbf{x}$  da imaxe móbil á súa localización correspondente na imaxe fixa.[1]

- Esta transformación modélase como un Campo de Vectores de Deformación (DFV), que indica o desprazamento de cada punto.

- Enfoque tradicional:

Representar o DFV nunha  
gralla discreta de núcleos. Isto







## A Vantaxe de SIREN: Superando o "Sesgo Espectral"

### O Problema das Redes Estándar (con ReLU)

As redes neuronais con funcións de activación comúns como ReLU teñen un sesgo espectral: son moi boas aprendendo funcións suaves e de baixa frecuencia, pero teñen dificultades para representar detalles finos e cambios bruscos (alta frecuencia).[1, 3, 9]

"Para o rexistro de retinas, os detalles de alta frecuencia (os vasos sanguíneos) son precisamente a información máis importante que necesitamos alinear."

### A Solución: SIREN (Sinusoidal Representation Networks)

SIREN utiliza unha función de activación periódica, o seno, para superar este problema.[1, 4, 5, 10]





# Tabla de contenidos

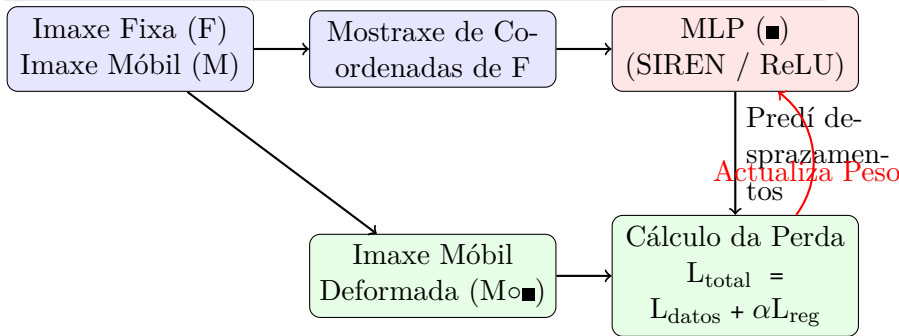
- ① Introducción e Motivación
- ② Contexto e Estado da Arte
- ③ Metodoloxía Proposta**
- ④ Experimentos e Resultados
- ⑤ Conclusións e Traballo Futuro



## Framework IDIR Adaptado e Proceso de Rexistro

### Proceso de Optimización por Par de Imaxes

A nosa metodoloxía non require un gran conxunto de datos de adestramento. En cambio, para cada par de imaxes (Fixa F, Móbil M), adestramos unha nova rede MLP dende cero.[1, 2]





## O Rol Crítico da Regularización

Por que é necesaria a regularización?

O rexistro de imaxes é un problema mal posto (ill-posed problem).[1, 3, 6] Existen moitas deformacións que poden facer que as imaxes se parezan, pero a maioría non son fisicamente realistas (e.g., pregamentos, roturas).

A regularización engade coñecemento previo físico para restrinxir o espazo de solucións posibles.

Regularizadores Utilizados:

- Hiperelástico: Modela o comportamento elástico dos tecidos. Penaliza estiramentos e compresións non realistas para preservar a área local.[1, 6]





# Tabla de contenidos

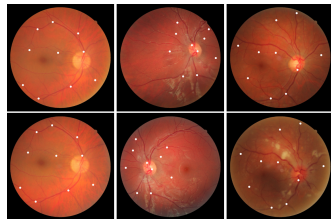
- 1 Introducción e Motivación
- 2 Contexto e Estado da Arte
- 3 Metodoloxía Proposta
- 4 Experimentos e Resultados**
- 5 Conclusións e Traballo Futuro



## Contorno Experimental: Datasets e Métricas

### Datasets de Avaliación

- FIRE [1]:
  - 134 pares de imaxes clínicas reais.
  - Inclúe variacións de iluminación, contraste, e patoloxías.
  - Baixa superposición nalgúns imaxes.
  - Proba de robustez no mundo real.
- RFMID (Sintético) [1]:
  - Xeramos pares de imaxes aplicando transformacións



figureExemplos do dataset FIRE.  
De esquerda a dereita: categorías  
S, P, A. Adaptado de. [1]



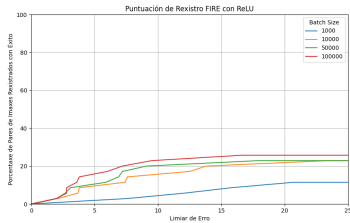
## Resultados Cuantitativos: ReLU vs. SIREN

Achado Principal: O rendemento depende da complexidade do problema

Non hai un gañador absoluto. A arquitectura óptima depende da natureza da transformación a aprender.

Método	Dataset	Dist. Media (px) ↓
MLP-ReLU	RFMID (Sinxelo)	
MLP-SIREN	RFMID (Sinxelo)	
MLP-ReLU	FIRE (Complexo)	
MLP-SIREN	FIRE (Complexo)	

tableResumo simplificado dos resultados. Datos de.[1]



Outros achados clave:



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

• O tamaño do lote (batch size)

Mateo Amado Ares

Xuño de 2025

15/21

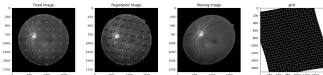


## Análise Cualitativa: Éxitos e Fracasos

Unha imaxe vale máis que mil números

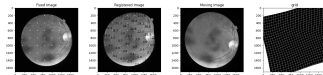
A avaliación visual é crucial para entender como e por que o método funciona ou falla.

Rexistro Exitoso (RFMiD,  
ReLU)



A superposición en modo checkerboard mostra unha continuidade perfecta dos vasos sanguíneos. A grella de deformación é suave.

Rexistro Fallido (RFMiD,  
ReLU)



Os vasos están rotos na superposición. A grella de deformación mostra pregamentos non físicos, un síntoma de sobreaxuste local.





# Tabla de contenidos

- 1 Introducción e Motivación
- 2 Contexto e Estado da Arte
- 3 Metodoloxía Proposta
- 4 Experimentos e Resultados
- 5 Conclusións e Traballo Futuro**



## Conclusións Principais

- ① Adaptación viable pero con limitacións: Demostrouse que é posible adaptar o framework IDIR para o rexistro de imaxes de retina 2D. Non obstante, o seu rendemento é moi sensible á complexidade da transformación e á calidade das imaxes.[1]
- ② Non hai unha arquitectura universalmente superior: A elección da función de activación é un compromiso.
  - ReLU é máis eficaz para transformacións sinxelas e globais (como no noso dataset sintético RFMID).
  - SIREN ten unha lixeira vantaxe en deformacións complexas e locais (dataset real FIRE), pero é máis propenso a converxer a malos mínimos locais se non se regulariza coidadosamente.[1]
- ③ Principais desafíos identificados: O rendemento do modelo degradase significativamente ante dous escenarios comúns



## Liñas de Traballo Futuro: Cara a un Enfoque Híbrido

### Diagnóstico do Problema

A nosa análise revela que o método INR é bo para o refinamento local de deformacións complexas, pero malo para atopar a correspondencia global cando os desprazamentos son grandes.[1]

### Proposta de Solución: Un Enfoque Híbrido

Propomos un sistema de dous pasos que combina o mellor de dous mundos, inspirado en traballos de vangarda como HybridRetina [1, 11, 12]:

Paso 1: Rexistro Global

Robusto

- Usar un método baseado en características para obter un alíñamento inicial

Paso 2: Refinamento Local con INR

- Usar o noso modelo IDIR-SIREN sobre as





Grazas pola vosa atención.  
Preguntas?



# Aliñamento de imaxes oftalmolóxicas usando representacións neuronais implícitas

Mateo Amado Ares

Dirección: José Rouco Maseda e Jorge Novo Buján

Directores: Jorge Novo Buján  
José Rouco Maseda

Grupo VARPA  
Departamento de Ciencias da Computación e Tecnoloxías da Información  
Universidade da Coruña