

# Estimación Personalizada No Invasiva de Hemoglobina mediante Vision Transformers

## Colaboración: Argentina-Italia

Brenda Carolina Martínez<sup>1</sup> · Giovanni Dimauro<sup>2</sup> · Nunzia Lomonte<sup>2</sup> · Alicia Mon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Matanza - UNLaM

<sup>2</sup> Università degli Studi di Bari Aldo Moro

### RESUMEN

Sistema innovador para la estimación no invasiva de hemoglobina a partir de imágenes de la conjuntiva palpebral, utilizando Vision Transformers (ViT) con doble ajuste fino para personalización individual. Desarrollado en colaboración UNLaM-Bari en el marco del Proyecto TNE-DeSK (NextGenerationEU). Resultados:  $R^2=0.94$  · Precisión=98% · MAE=0.25 g/dL · Sensibilidad=100%.

### CONTEXTO

La anemia afecta a más de 1.000 millones de personas en el mundo (OMS, 2024). El diagnóstico tradicional requiere análisis de sangre invasivos, costosos e impracticables para monitoreo frecuente, especialmente en pacientes con enfermedades hematológicas crónicas (leucemia, coagulopatías).

Este proyecto se desarrolla en el marco del Proyecto TNE-DeSK (Developing Shared Knowledge), financiado por el programa NextGenerationEU de la Comisión Europea. Lidera la Universidad de Bari "Aldo Moro", con colaboración de estudiantes de Ingeniería Informática de UNLaM realizando estancias de investigación en Italia.

La conjuntiva palpebral fue seleccionada como región diagnóstica por su alta vascularización y menor interferencia de factores externos (pigmentación de piel, actividad manual), siendo la más confiable entre las regiones estudiadas.

### DATASET CLÍNICO

Instituto Tumori "Giovanni Paolo II" de Bari · Servicio de Hematología · Mayo 2023 - Agosto 2024

436

imágenes de conjuntiva

109

pacientes hematológicos

5.69

mediciones promedio/paciente

IA Médica

Colaboración Internacional

Oncohematología

### LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

#### Dispositivo de Captura

Carcasa 3D · Lente Macro 25X · LED 5mm

#### Segmentación U-Net

ROI conjuntiva · Eliminación de artefactos

#### ViT Fase 1

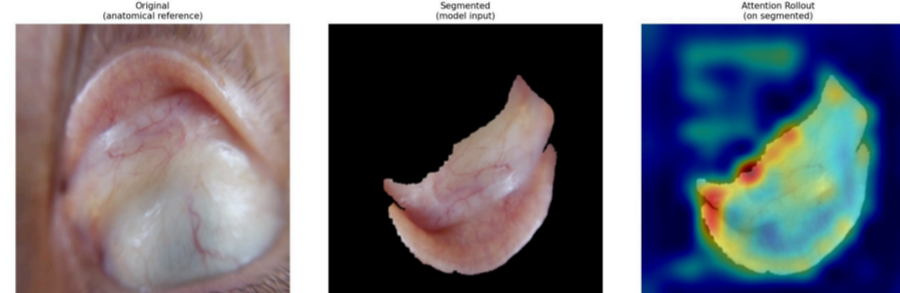
Modelo general (leave-one-out)

#### ViT Fase 2

Personalización por paciente

#### Estimación Hb

Resultado g/dL



XAI Explainability Image - seg\_20230519\_095556 · Predicted Hb: 8.42 g/dL · True Hb: 8.80 g/dL · Error: 0.38 g/dL

### INNOVACIÓN CENTRAL: DOBLE AJUSTE FINO (DUAL FINE-TUNING)

**Fase 1** – ViT-Base-Patch16-224 entrenado con todos los pacientes excepto uno. Aprende patrones generales de hemoglobina en conjuntiva.

**Fase 2** – El modelo se re-entrena con las imágenes propias del paciente excluido, adaptándose a su fisiología individual (color base, densidad vascular, etc.).

- Dispositivo:** Carcasa impresa en 3D para smartphone con óptica macro e iluminación LED estandarizada.
- Segmentación:** Red U-Net para extracción automática de la región conjuntival, eliminando pestañas, sclera y piel circundante.
- Validación:** Estrategia leave-one-out a dos niveles sobre todos los pacientes disponibles.

### RESULTADOS OBTENIDOS

0.94

$R^2$  – Coef. Determinación

98%

Accuracy clasificación

100%

Sensibilidad (0 FN)

0.25

MAE (g/dL)

0.44

RMSE (g/dL)

0.96

PPV · NPV = 1.0

### COMPARACIÓN FRENTE A OTROS ESTUDIOS

Enfoque	$R^2$	Accuracy	MAE (g/dL)
Literatura previa (rango)	0.44-0.91	69-85%	>1.0
Propuesta (Dual Fine-Tuning)	0.94	98%	0.25

La sensibilidad del 100% garantiza cero falsos negativos: ningún caso de anemia sin detectar. Clínicamente crítico en screening. MAE de 0.25 g/dL comparable a la variabilidad natural de laboratorio (2-5%).

### FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

#### GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIS · UNLAM

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas. Colabora mediante la formación de estudiantes avanzados de Ingeniería Informática en proyectos de investigación internacional.

- Formación especializada en **Vision Transformers** y arquitecturas de deep learning – estado del arte en visión por computadora.
- Estancia de investigación** en la Universidad de Bari: experiencia directa en un laboratorio internacional de alto nivel.
- Colaboración con **médicos especialistas clínicos** del Instituto Tumori, incorporando requerimientos reales del ámbito sanitario.
- Desarrollo de habilidades en **redacción científica** en inglés para publicaciones en revistas internacionales de alto impacto.
- Desarrollo de **Proyecto Final de Ingeniería Informática** (2026) y base para futuras tesis doctorales.
- Apertura de líneas de cooperación: intercambios estudiantiles, proyectos conjuntos y **posibles programas de doble titulación** en IA aplicada.

#### PROYECTO TNE-DESK · NEXTGENERATIONEU

Financiado por la Comisión Europea. Fortalece lazos académicos UNLaM-Bari y genera resultados científicos publicados en congresos nacionales e internacionales.