

Clasificación automática de Edema Macular Diabético empleando algoritmos de deep learning

Dr. Ulises Olivares Pinto

uolivares@unam.mx

Escuela Nacional de Estudios Superiores
Unidad Juriquilla

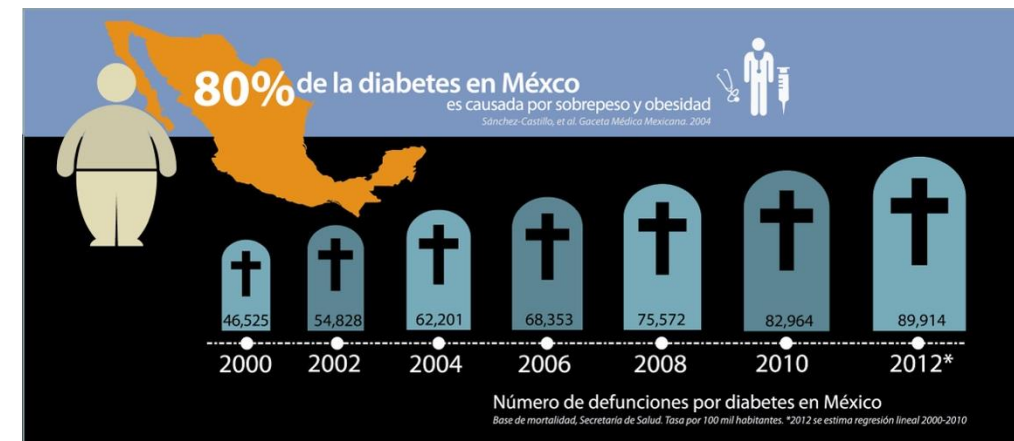
Universidad Nacional Autónoma de
México

1. Introducción – Diabetes y pérdida de visión

Las enfermedades crónico-degenerativas representan una de las principales causas de muerte a nivel mundial, en México existe una alta prevalencia de estas enfermedades, entre ellas se encuentran:

1. Diabetes
2. Hipertensión
3. Cáncer

La diabetes presenta una alta prevalencia en la población mexicana (Figueroa-Lara et al., 2016).



1. Introducción – Diabetes y pérdida de la vista

Uno de los efectos a largo plazo de la diabetes es el deterioro total o parcial de la vista. Es la causa principal de patologías tales como:

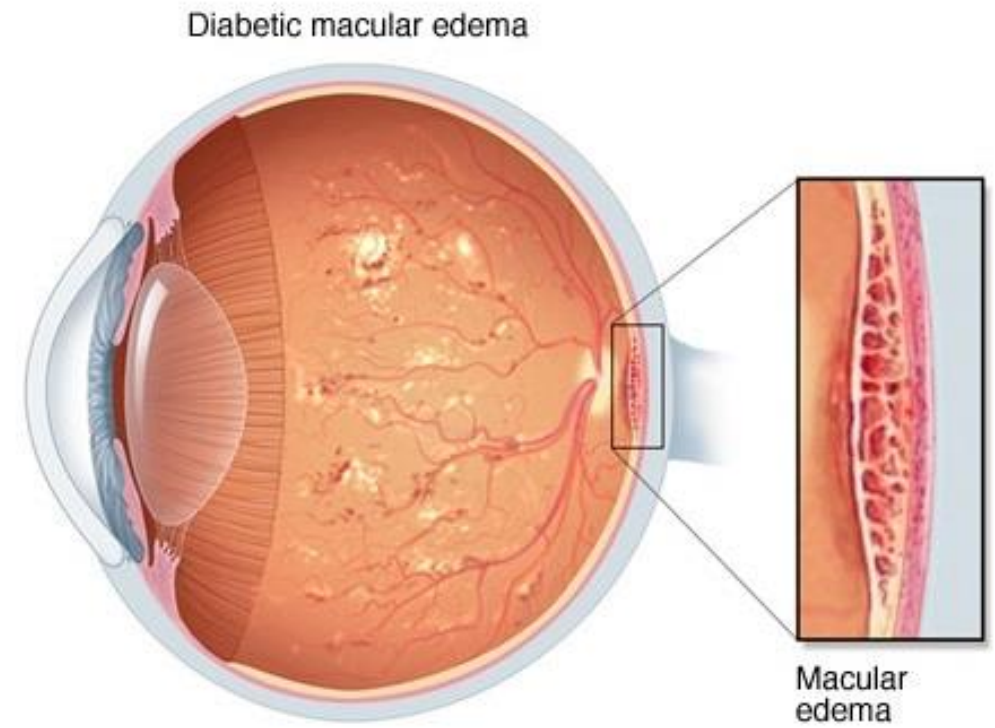
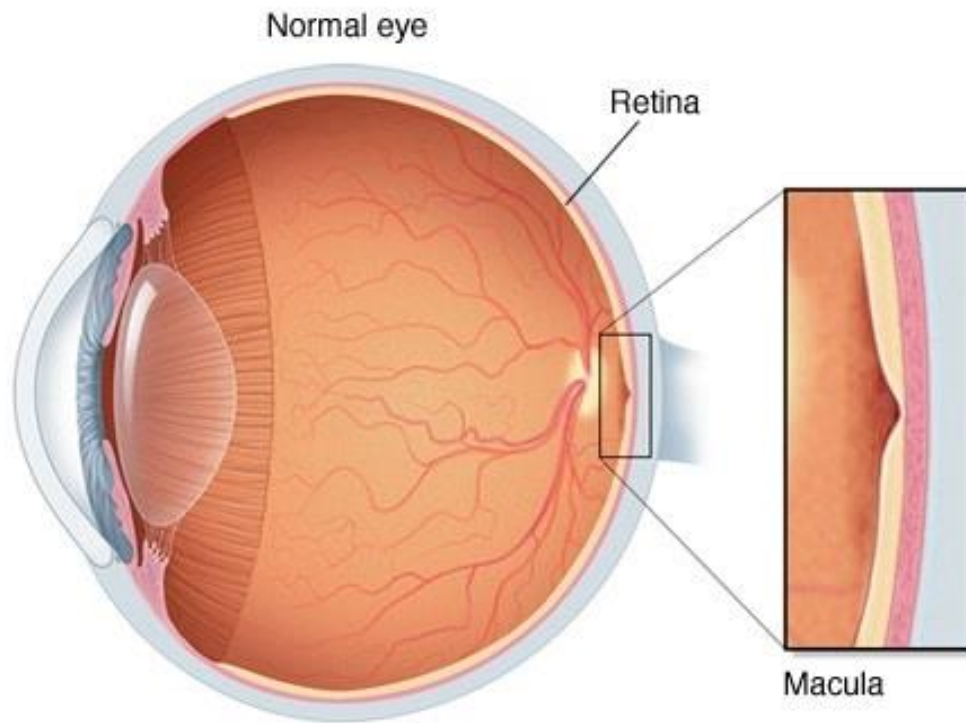
- Retinopatía Diabética
- Edema Macular Diabético
- Glaucoma

Estas patologías son una de las principales causas de ceguera prevenible a nivel mundial (Ixcamey & Palma, 2021) .



Fuente: <https://www.nih.gov/>

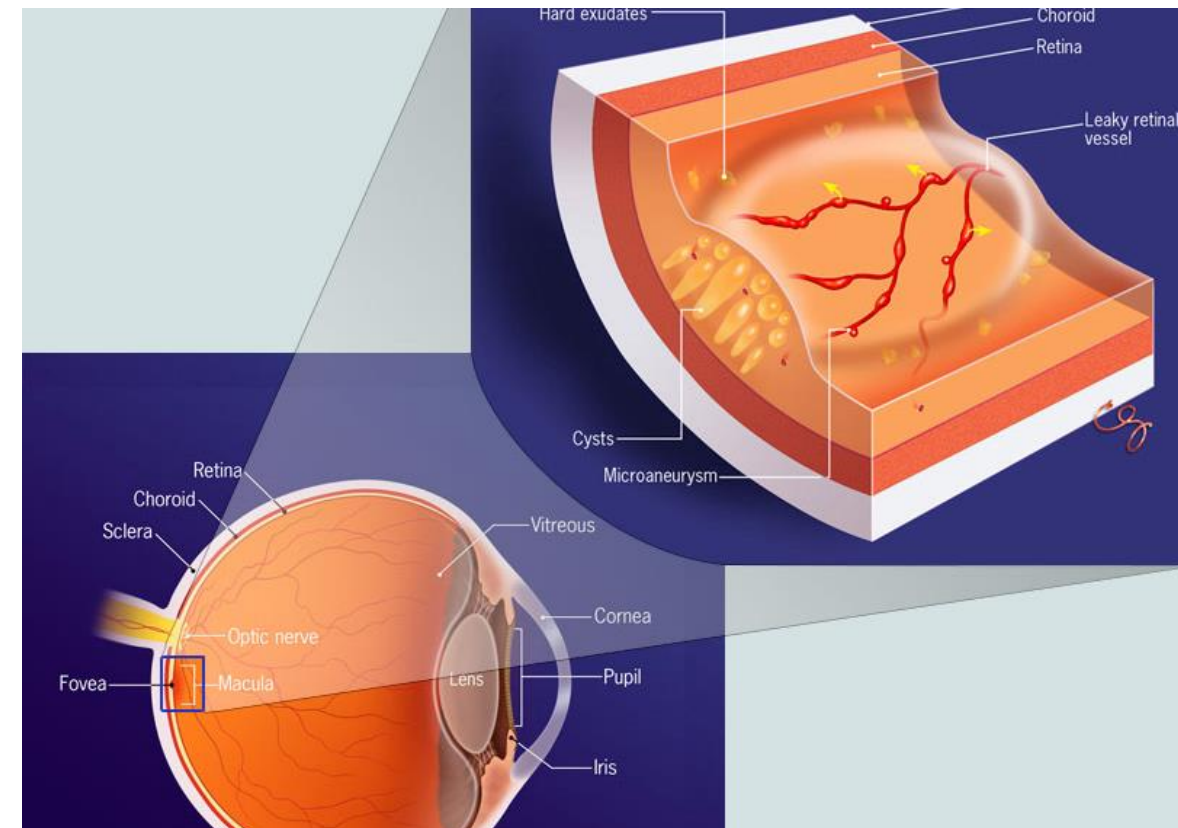
1. Introducción



1. Introducción – Antecedentes

Anomalías

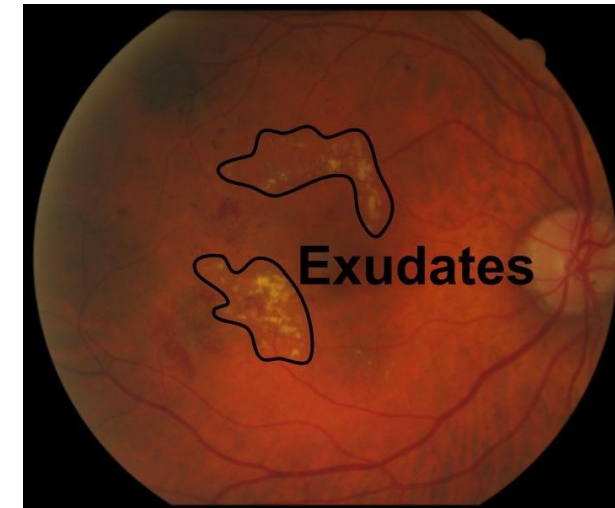
- Quistes
- Exudados
- Microaneurismas
- Engrosamiento
- Desorganización de capas retinianas.
- Presencia de fluido



1. Introducción – Diagnóstico – Fondo de ojo

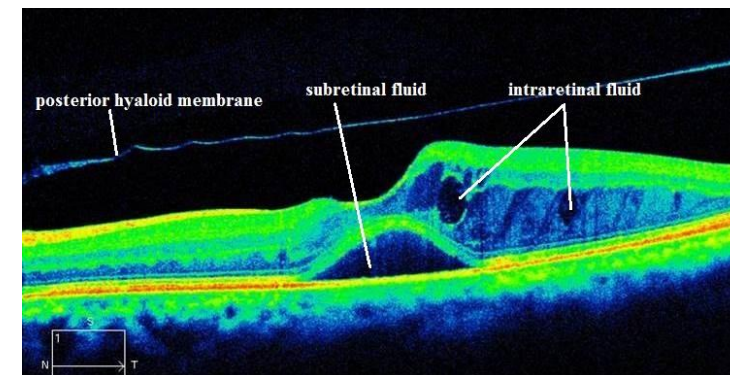
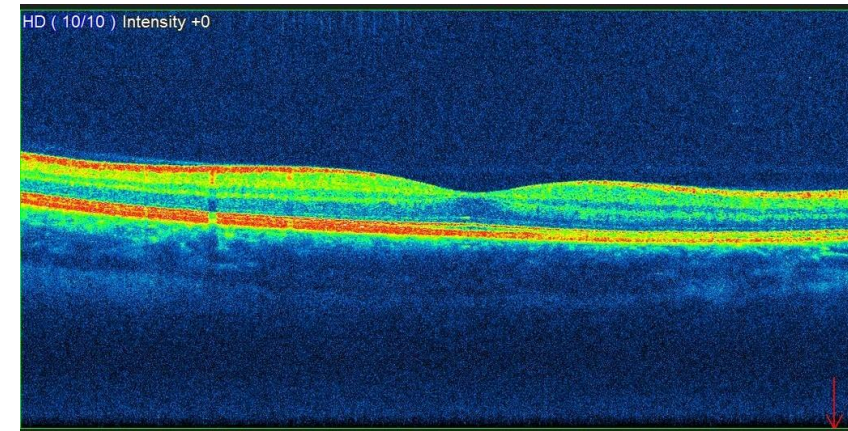


Fuente: <https://www.nih.gov/>

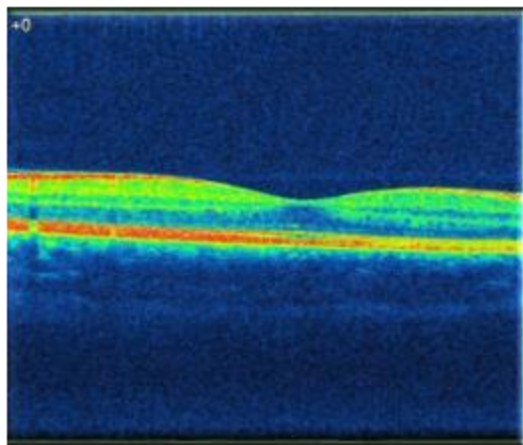


1. Introducción – Diagnóstico – OCT

Tomografía de Coherencia Óptica (OCT)



1. Introducción – Diagnóstico



Tomografía de coherencia óptica

OCT

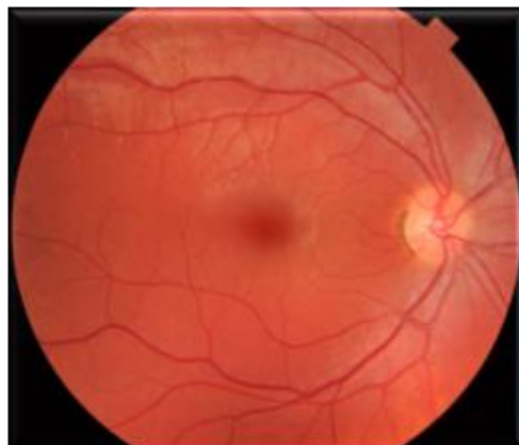


Imagen a color

Fondo de Ojo



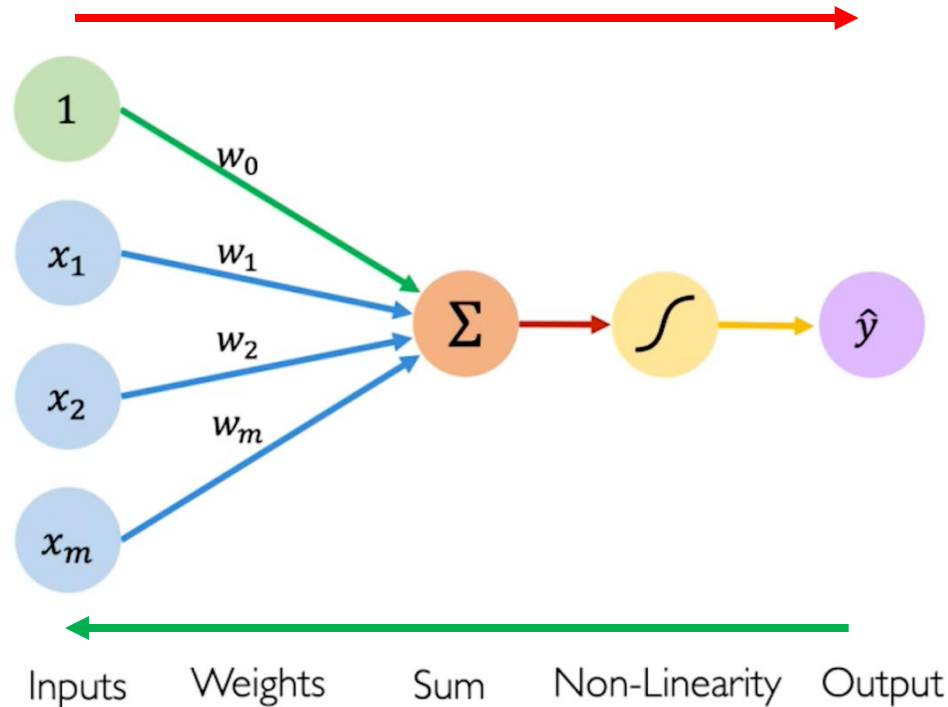
Antecedentes

Expediente clínico

1. Introducción – Deep learning

¿Es posible construir un algoritmo computacional capaz de realizar la detección de Edema Macular

Diabético (EMD)?

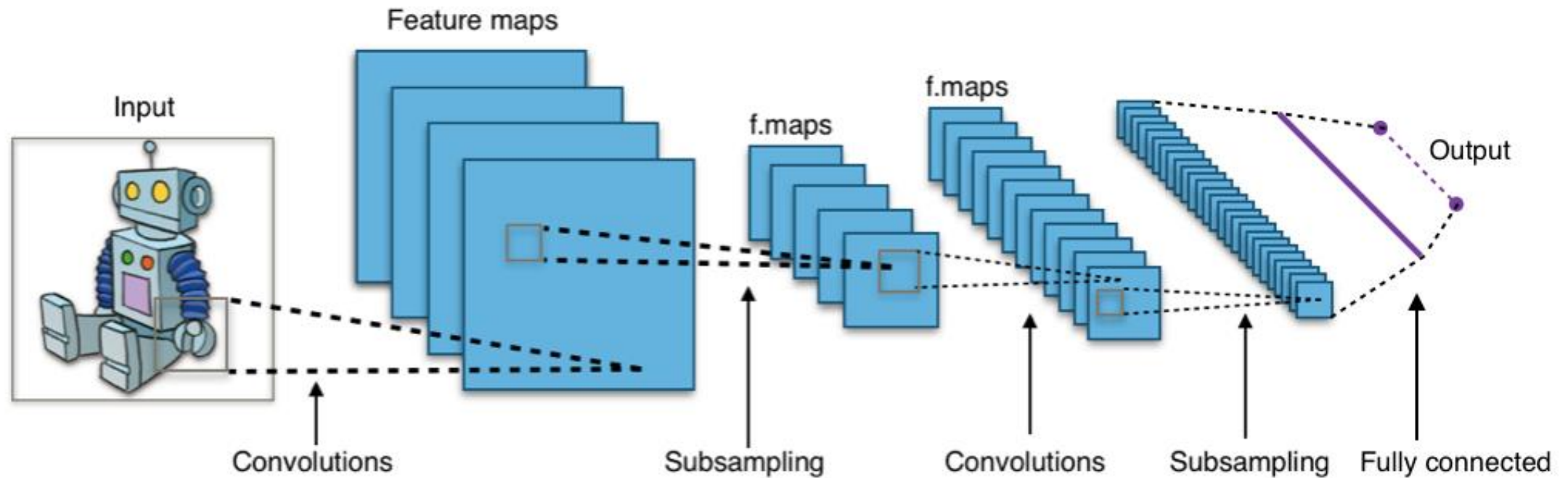


$$\hat{y} = g \left(w_0 + \sum_{i=1}^m x_i w_i \right)$$

$$\hat{y} = g (w_0 + \mathbf{X}^T \mathbf{W})$$

$$\text{where: } \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \text{ and } \mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}$$

1. Introducción – Deep learning - CNN



1. Introducción - Planteamiento del problema



Los métodos de diagnóstico oftálmico convencionales dependen en gran medida de **equipo especializado**, y de la experiencia y del **conocimiento de los profesionales de la salud**. Sin embargo, existen regiones en donde el **acceso al sistema de salud especializado es difícil**.

Más de **32** mil personas por oftalmólogo, en algunos estados este número se eleva a más de **130** mil personas.

Fuentes:

Comité Mexicano de Oftalmología. (s.f.). Inicio. Recuperado de <https://cmoftalmologia.org/>
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Población total en México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

1. Introducción – Objetivo



Automatizar la clasificación de imágenes de tomografía de coherencia óptica a través del uso de algoritmos de aprendizaje profundo, con la finalidad de realizar la identificación de **edema macular diabético**.

2. Trabajos relacionados



LICENCIATURA EN
ECNOLOGIA
ENES J

Medical Image Analysis 16 (2012) 216–226



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Medical Image Analysis

journal homepage: www.elsevier.com/locate/media



Exudate-based diabetic macular edema detection in fundus images using publicly available datasets

Luca Giancardo^{a,b,*}, Fabrice Meriaudeau^a, Thomas P. Karnowski^b, Yaqin Li^c, Seema Garg^d, Kenneth W. Tobin Jr.^e, Edward Chaum^c

^aIC2H, University of Burgundy, 12 rue de la fonderie, 71200 Le Creusot, France
^bImaging Signals and Machine Learning Group, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA
^cUniversity of Tennessee, Hamilton Eye Institute, 930 Madison Avenue, Memphis, TN 38163, USA
^dDepartment of Ophthalmology, University of North Carolina, 1828 Martin Luther King Jr. Blvd, Chapel Hill, NC 27514, USA
^eMeasurement Science and Systems Engineering Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA

Computer Methods and Programs in Biomedicine 163 (2018) 47–63



Contents lists available at ScienceDirect

Computer Methods and Programs in Biomedicine

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cmpb



Automatic macular edema identification and characterization using OCT images

Gabriela Samagaio^a, Aida Estévez^d, Joaquim de Moura^{a,b}, Jorge Novo^{a,b,*}, María Isabel Fernández^{c,d,e}, Marcos Ortega^{a,b}

^aDepartment of Computing, University of A Coruña, A Coruña, Spain
^bCTIC-Research Center of Information and Communication Technologies, University of A Coruña, A Coruña, Spain
^cInstituto Ophthalmológico Gómez-Ulla, Santiago de Compostela, Spain
^dDepartment of Ophthalmology, Complejo Hospitalario, Universitario de Santiago, Santiago de Compostela, Spain
^eUniversity of Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain

Original research article



European Journal of Ophthalmology

An optical coherence tomography-based grading of diabetic maculopathy proposed by an international expert panel: The European School for Advanced Studies in Ophthalmology classification

European Journal of Ophthalmology 2020, Vol. 30(1) 8–18
© The Author(s) 2019

Article reuse guidelines: sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/1120672119880394
journals.sagepub.com/home/ejo



Giacomo Panozzo¹, Maria Vittoria Cicinelli², Albert J Augustin³, Maurizio Battaglia Parodi², José Cunha-Vaz⁴, Giuseppe Guarnaccia⁵, Laurent Kodjikian⁶, Lee Merrill Jampol⁷, Anselm Jünemann⁸, Paolo Lanzetta⁹, Anat Löwenstein¹⁰, Edoardo Midena¹¹, Rafael Navarro¹², Giuseppe Querques¹³, Federico Ricci¹³, Ursula Schmidt-Erfurth¹⁴, Rufino Martins da Silva¹⁵, Sobha Sivaprasad¹⁶, Monica Varano¹⁷, Gianni Virgili¹⁸ and Francesco Bandello²

Hindawi
Complexity
Volume 2020, Article ID 5801870, 11 pages
<https://doi.org/10.1155/2020/5801870>



Research Article
Exudate Detection for Diabetic Retinopathy Using Pretrained Convolutional Neural Networks

Muhammad Mateen,¹ Junhao Wen²,¹ Nasrullah Nasrullah,² Song Sun,¹ and Shaukat Hayat³

¹School of Big Data & Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 401331, China
²Department of Software Engineering, Foundation University, Islamabad, 44000, Pakistan
³School of Information and Software Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054, China



Beyond Performance Metrics

Automatic Deep Learning Retinal OCT Analysis Reproduces Clinical Trial Outcome

Jessica Loo, MEng,¹ Traci E. Clemons, PhD,² Emily Y. Chew, MD,³ Martin Friedlander, MD, PhD,^{4,5} Glenn J. Jaffe, MD,⁶ Sina Farsiu, PhD^{1,6}

www.nature.com/scientificreports

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Deep Learning Fundus Image Analysis for Diabetic Retinopathy and Macular Edema Grading

Jaakko Sahlsten¹, Joel Jaskari¹, Jyri Kivinen¹, Lauri Turunen², Esa Jaanio², Kustaa Hietala³ & Kimmo Kaski¹

Received: 13 March 2019
Accepted: 10 July 2019
Published online: 24 July 2019

2. Trabajos relacionados

Arquitecturas

Resnet
(He et al, 2016)

Minimal CNN
(Olivares et. al, 2023)

AlexNet
(Krizhevsky, A et al., 2012)

OCTNET
(Sunija et al, 2021)

OpticNet-71
(Kamran et al. 2019)

Xception
(Xception, 2017)

2. Métodos – Datos – OCT



LICENCIATURA EN
ECNOLOGIA
ENES J

The screenshot shows the top section of a Cell journal article page. The header includes the Cell logo and navigation links: Log in, Register, Subscribe, Claim, a search icon, and a menu icon. Below the header, the article title 'Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning' is prominently displayed. To the right of the title are icons for PDF, Figures, Save, Share, Reprints, and Request. The authors listed are Daniel S. Kermany, Michael Goldbaum, Wenjia Cai, M. Anthony Lewis, Huimin Xia, and Kang Zhang. The article is identified as a Resource in Volume 172, Issue 5, February 22, 2018. A PlumX Metrics logo is visible in the bottom right corner of the article preview. The background of the article preview features a diagram of a neural network architecture with labels like 'IMAGENET', 'NEWLY INITIALIZED WEIGHTS', and '1000 Categories'.

Cell Log in Register Subscribe Claim 🔍 ☰

RESOURCE | VOLUME 172, ISSUE 5, P1122-1131.E9, FEBRUARY 22, 2018

PDF [4 MB] Figures Save Share Reprints Request

Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning

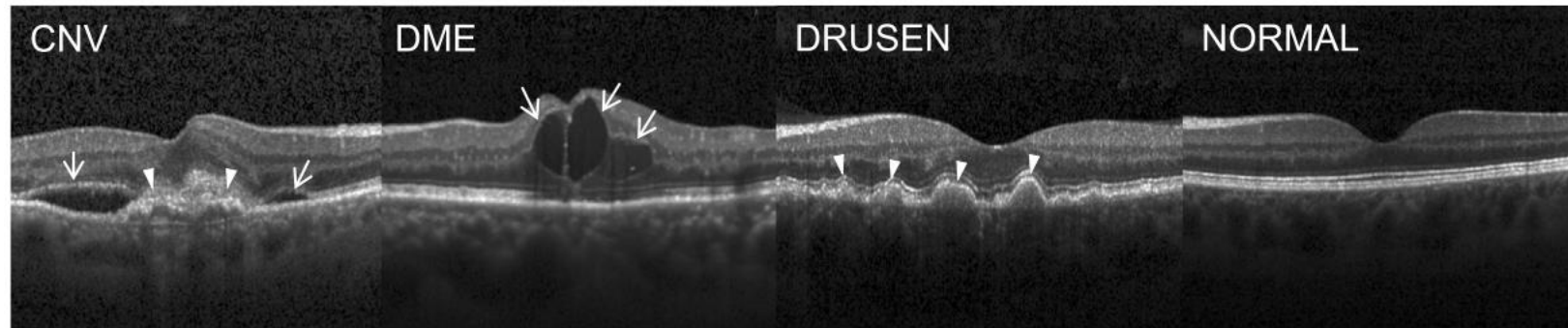
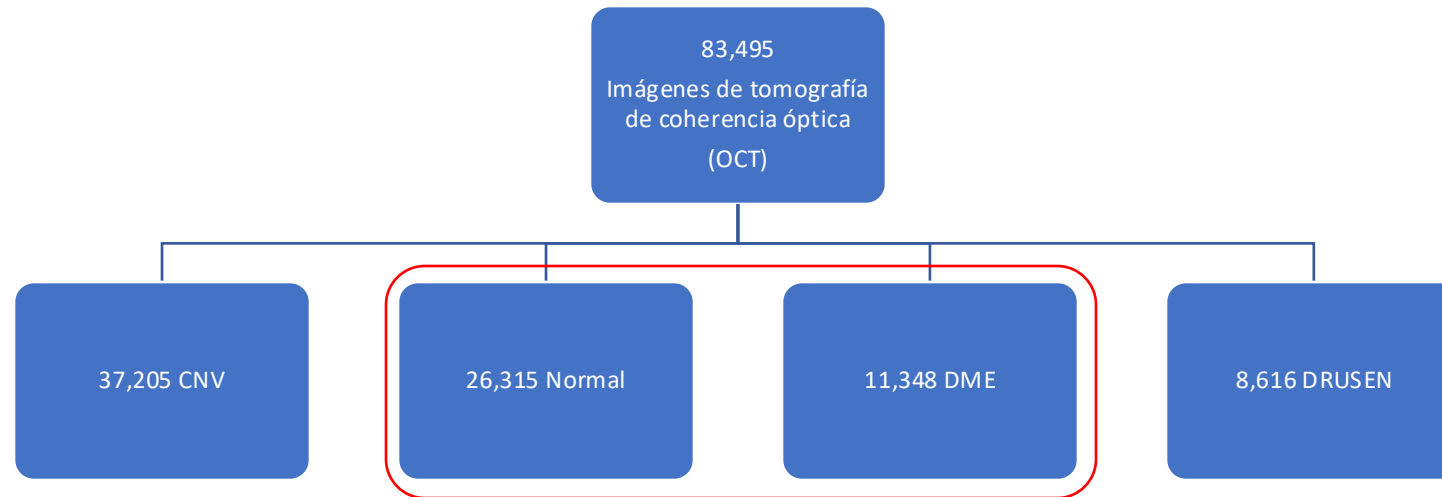
Daniel S. Kermany ¹⁴ • Michael Goldbaum ¹⁴ • Wenjia Cai ¹⁴ • ... M. Anthony Lewis • Huimin Xia • Kang Zhang ¹⁵ • [Show all authors](#) • [Show footnotes](#)

[Open Archive](#) • DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010> • Check for updates

IMAGENET
NEWLY INITIALIZED WEIGHTS
1000 Categories
OUT

PlumX Metrics

2. Métodos – Datos de entrenamiento – OCT



2. Métodos – Modelo CNN mínima - OCT



Hiperparámetros

Optimizador:
ADAM

Tasa de
aprendizaje:
0.003

Número de
imágenes:
83,495

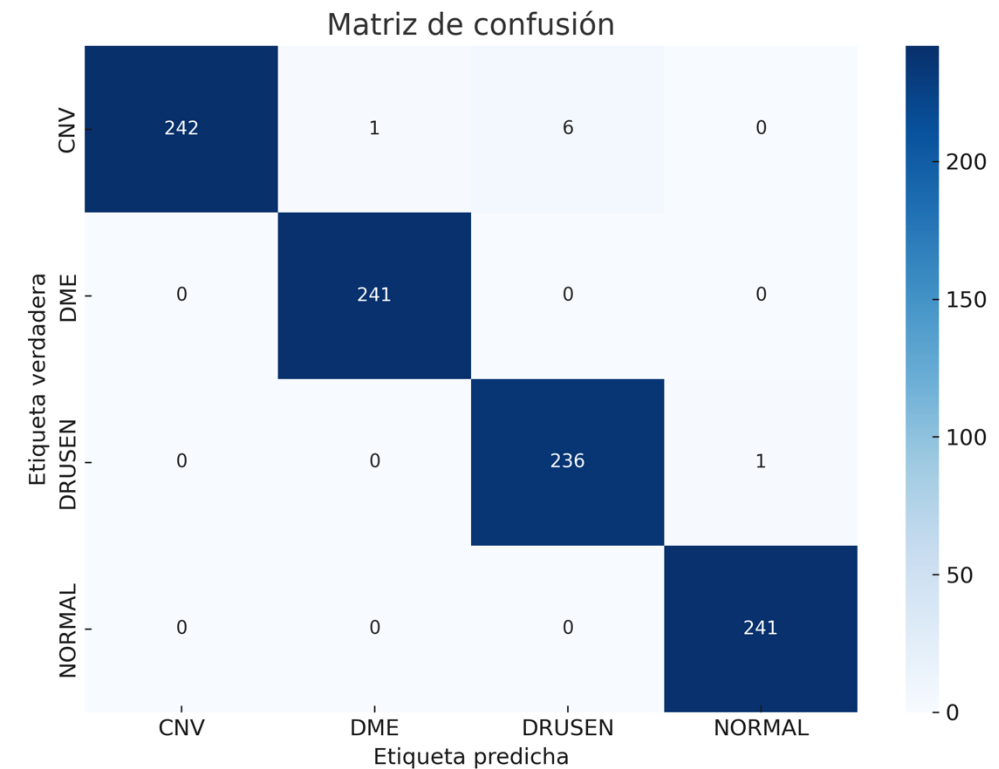
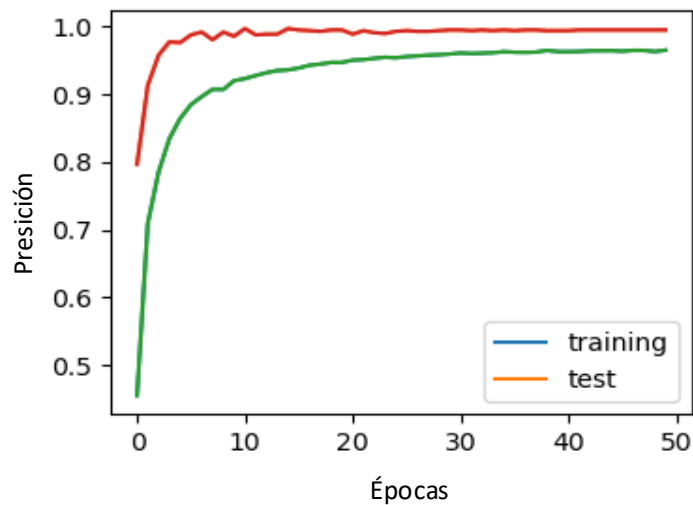
Modelo
preentrenado:
No

Épocas de
entrenamiento:
50

3. Resultados – EDM – CNN mínima – OCT



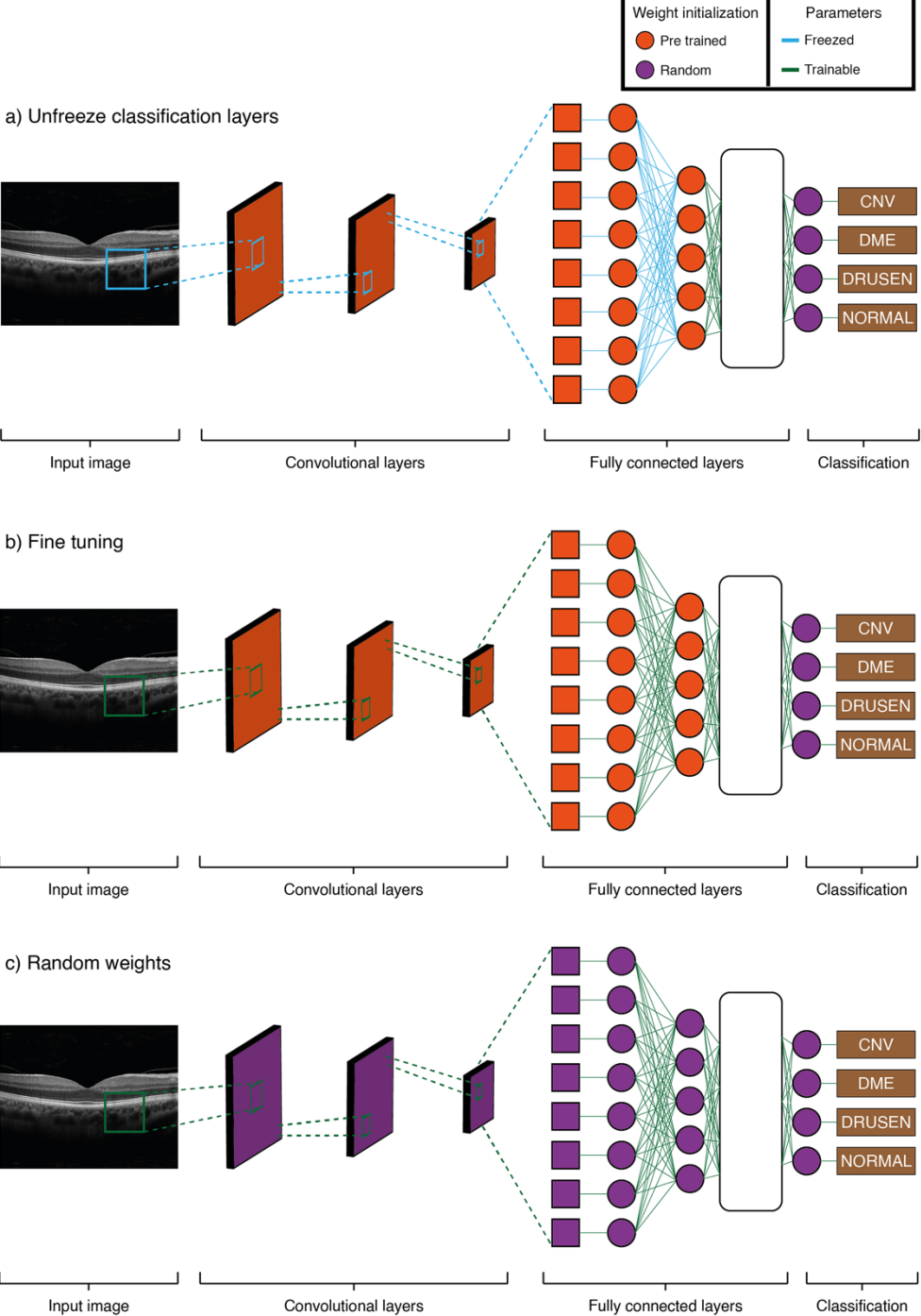
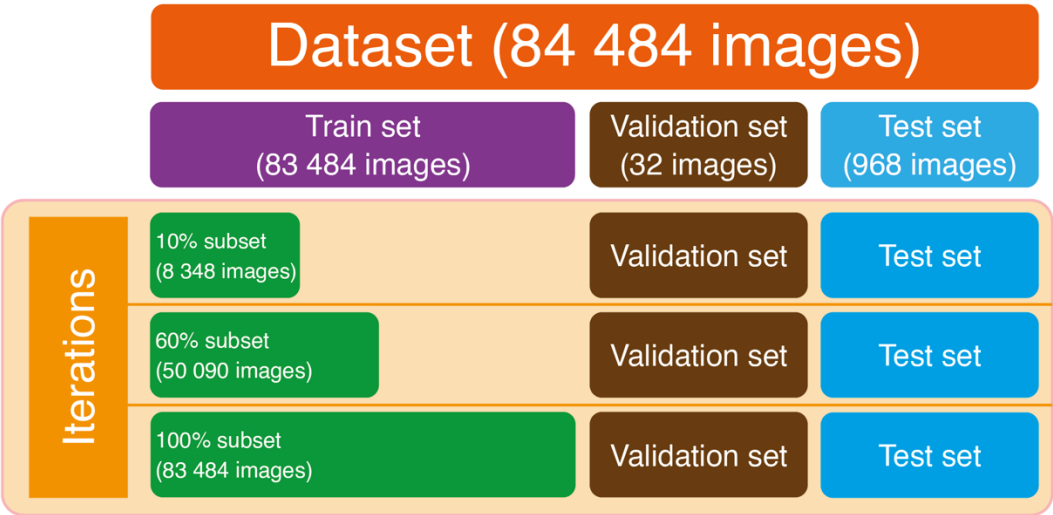
```
135/135 [=====] - 37s 272ms/step - loss: 0.1016 - accuracy: 0.9664 - val_loss: 0.0326 - val_accuracy: 0.9938
Epoch 40/50
135/135 [=====] - 37s 272ms/step - loss: 0.1081 - accuracy: 0.9629 - val_loss: 0.0332 - val_accuracy: 0.9938
Epoch 41/50
135/135 [=====] - 37s 272ms/step - loss: 0.1045 - accuracy: 0.9629 - val_loss: 0.0306 - val_accuracy: 0.9938
Epoch 42/50
135/135 [=====] - 37s 273ms/step - loss: 0.1054 - accuracy: 0.9636 - val_loss: 0.0321 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 43/50
135/135 [=====] - 37s 272ms/step - loss: 0.1045 - accuracy: 0.9644 - val_loss: 0.0327 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 44/50
135/135 [=====] - 37s 272ms/step - loss: 0.1031 - accuracy: 0.9644 - val_loss: 0.0308 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 45/50
135/135 [=====] - 37s 274ms/step - loss: 0.0995 - accuracy: 0.9660 - val_loss: 0.0332 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 46/50
135/135 [=====] - 37s 273ms/step - loss: 0.1043 - accuracy: 0.9628 - val_loss: 0.0314 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 47/50
135/135 [=====] - 37s 272ms/step - loss: 0.1028 - accuracy: 0.9651 - val_loss: 0.0321 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 48/50
135/135 [=====] - 37s 276ms/step - loss: 0.1066 - accuracy: 0.9627 - val_loss: 0.0297 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 49/50
135/135 [=====] - 37s 275ms/step - loss: 0.1043 - accuracy: 0.9612 - val_loss: 0.0323 - val_accuracy: 0.9948
Epoch 50/50
135/135 [=====] - 37s 274ms/step - loss: 0.1012 - accuracy: 0.9658 - val_loss: 0.0330 - val_accuracy: 0.9948
```



4. Aprendizaje y volumen de datos – Metodología - OCT

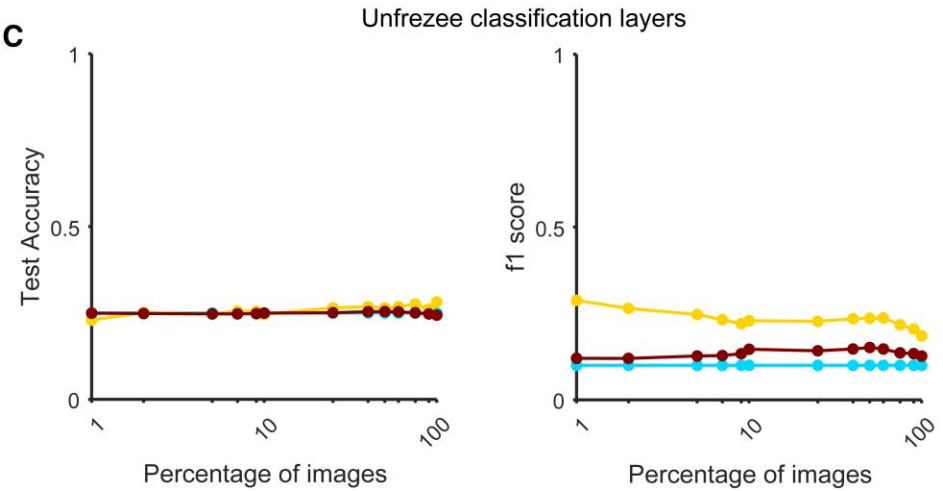
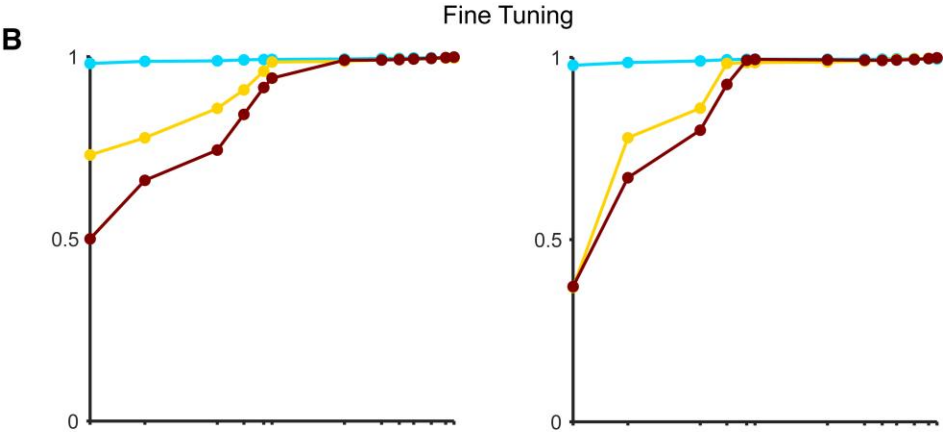
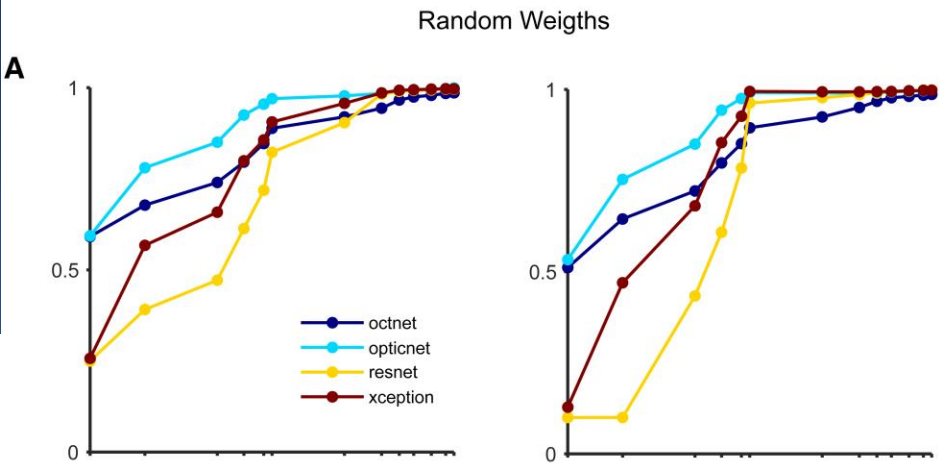
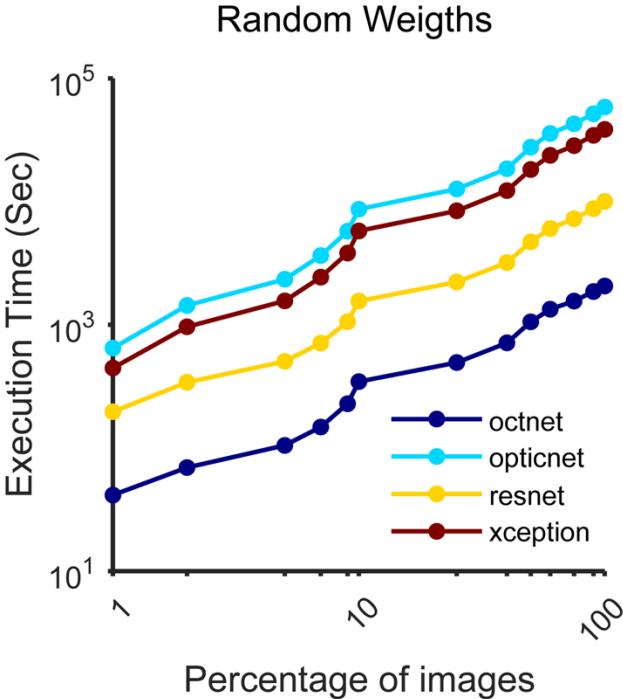


Walter Hauri



4. Aprendizaje y volumen de datos – Resultados

Model	# Parameters
OpticNet	12,495,492
Xception	22,914,484
ResNet-50	25,640,716
OctNET	743,812



4. Aprendizaje y volumen de datos - Resultados



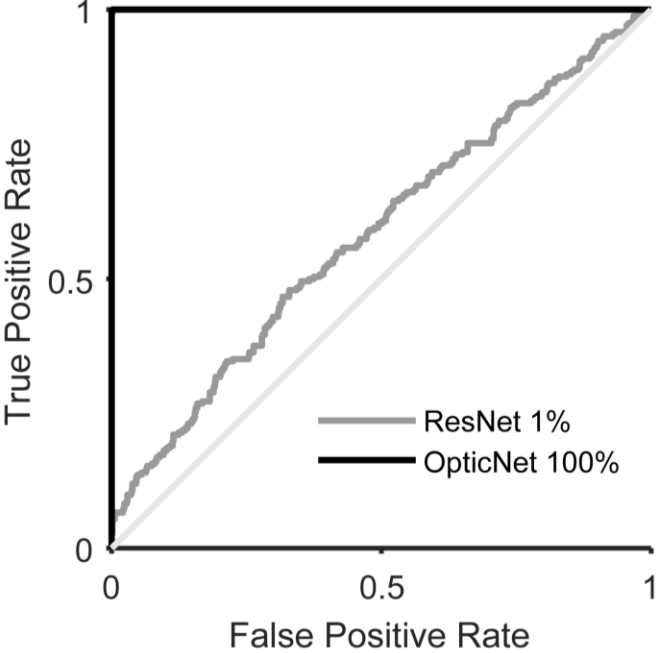
ResNet 1%

True Class	CNV	DME	DRUSEN	NORMAL
	126	49	63	4
	96	70	56	20
	114	33	85	10
	74	36	112	20

OpticNet 100%

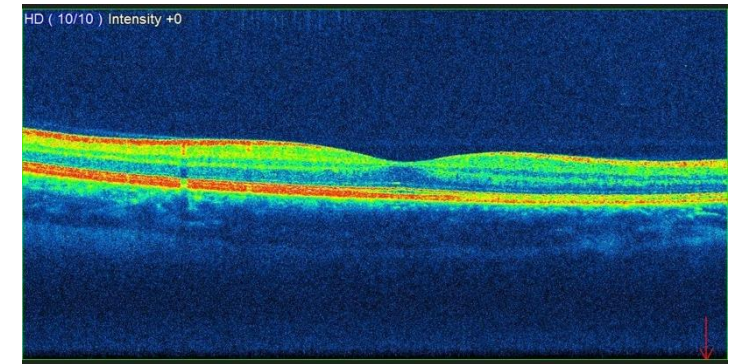
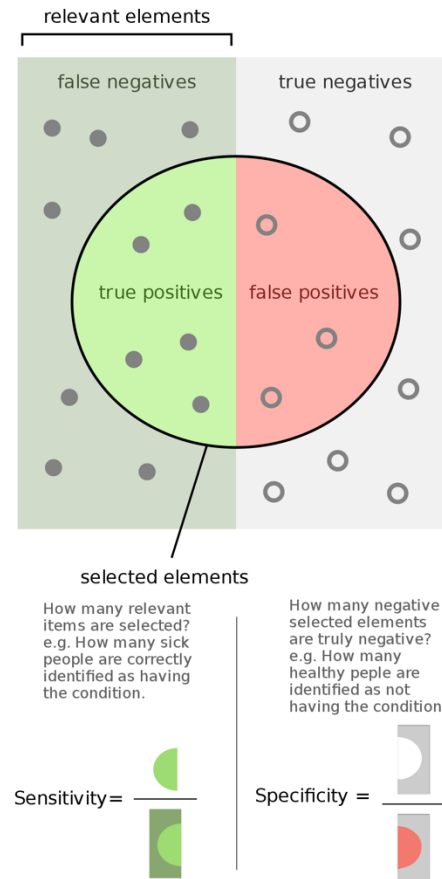
True Class	CNV	DME	DRUSEN	NORMAL
	242			
	1	241		
	3		239	
				242
	CNV	DME	DRUSEN	NORMAL

ROC



5. Mejoras propuestas

¿Es suficiente con esta precisión?



5. Mejoras propuestas



LICENCIATURA EN
ECNOLÓGIA
ENES J

Original research article

An optical coherence tomography-based grading of diabetic maculopathy proposed by an international expert panel: The European School for Advanced Studies in Ophthalmology classification

Giacomo Panozzo¹, Maria Vittoria Cicinelli² , Albert J Augustin³, Maurizio Battaglia Parodi² , José Cunha-Vaz⁴, Giuseppe Guarnaccia⁵, Laurent Kodjikian⁶, Lee Merrill Jampol⁷, Anselm Jünemann⁸, Paolo Lanzetta⁹ , Anat Löwenstein¹⁰, Edoardo Midena¹¹, Rafael Navarro¹², Giuseppe Querques² , Federico Ricci¹³, Ursula Schmidt-Erfurth¹⁴, Rufino Martins da Silva¹⁵, Sobha Sivaprasad¹⁶, Monica Varano¹⁷, Gianni Virgili¹⁸ and Francesco Bandello²

EJO | European
Journal of
Ophthalmology

European Journal of Ophthalmology
2020, Vol. 30(1) 8–18
© The Author(s) 2019



Article reuse guidelines:
sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/1120672119880394
journals.sagepub.com/home/ejo



1. Thickening(T):

- 0: increment below 10% of normal values (315–346.5 μm)
- 1: increment above 10% and below 30% of normal values (347–409 μm)
- 2: increment of more than 30% of normal values (347–40 μm)

2. Macular Volume (MV)

- 0: $\leq 0.26 \mu\text{m}$
- 1: $> 0.26 \mu\text{m}$

3. Cysts (C)

- 0: Absent
- 1: Mild (0–100 μm)
- 2: Moderate (101–200 μm)
- 3: Severe ($>200 \mu\text{m}$)

4. State of Ellipsoid Zone (EZ) and External Limiting Membrane (ELM)

- 0: Intact
- 1: Disruption
- 2: Absent

5. Disorganization of the inner retinal layers (DRIL)

- 0: Absent
- 1: Present

6. Hyperreflective foci (H)

- 0: less than 30 foci
- 1: higher than 30 foci

7. Subretinal fluid (F)

- 0: Absent
- 1: Present

8. Vitreoretinal relationship (V)

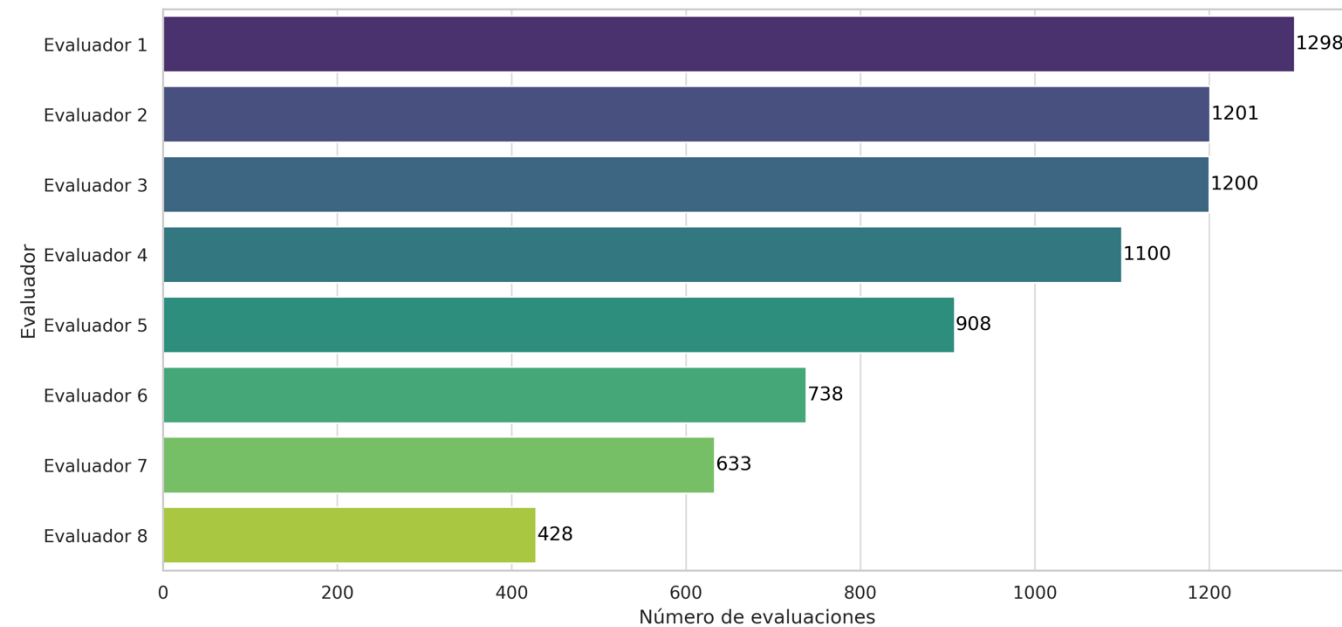
- 0: Absence of STVM
- 1: DVP incomplete
- 2: DVP complete
- 3: STVM
- 4: MER

5. Mejoras propuestas – Datos en población mexicana



Instituto Mexicano de Oftalmología IAP

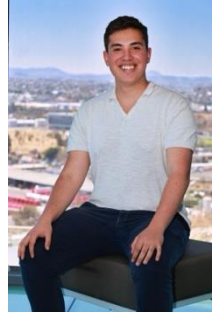
- Protocolo de investigación aprobado por comité de ética
- Formato de consentimiento (participación de carácter voluntario)
- Foto Clínica (Centrada en la mácula)
- Tomografía de coherencia óptica (Dos cortes)
 - NIDEK modelo DUO RS 3300
- Etiquetado de imágenes se realiza por médicos especialistas en retina y residentes.



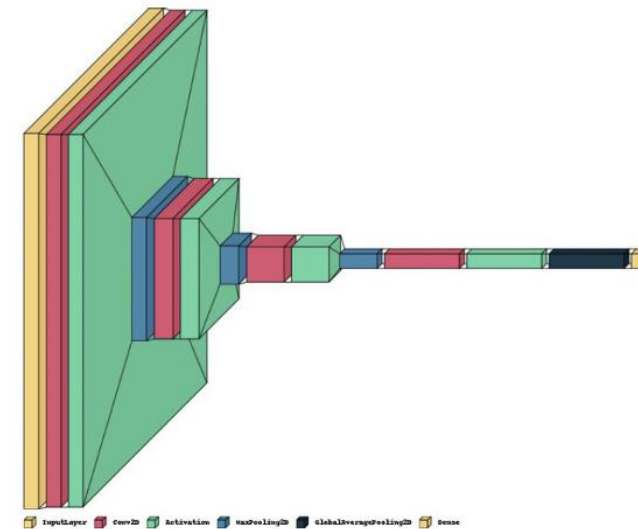
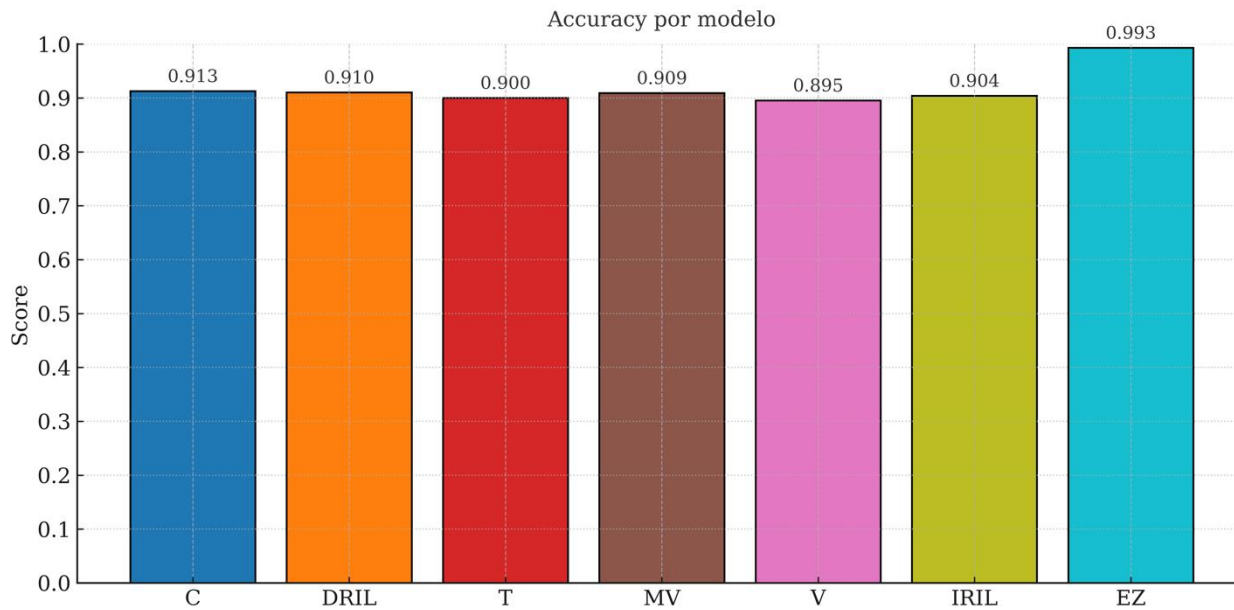
5. Mejoras propuestas – Datos en población mexicana - OCT

Arquitectura CNN: una tercera parte de parámetros de OpticNet

~ 4M de parámetros



Fernando Ramírez



5. Mejoras propuestas – Datos en población mexicana - OCT

Matriz de confusión: Thickening (T)

Real \ Predicción	0	1	2	3
0	23	0	0	1
1	0	2	1	0
2	1	0	3	0
3	1	0	0	8

Matriz de confusión: Vitreoretinal relationship (V)

Real \ Predicción	0	1	2	3	4
0	490	4	4	20	0
1	0	2	0	1	0
2	2	3	4	0	0
3	23	0	1	34	2
4	2	0	0	0	1

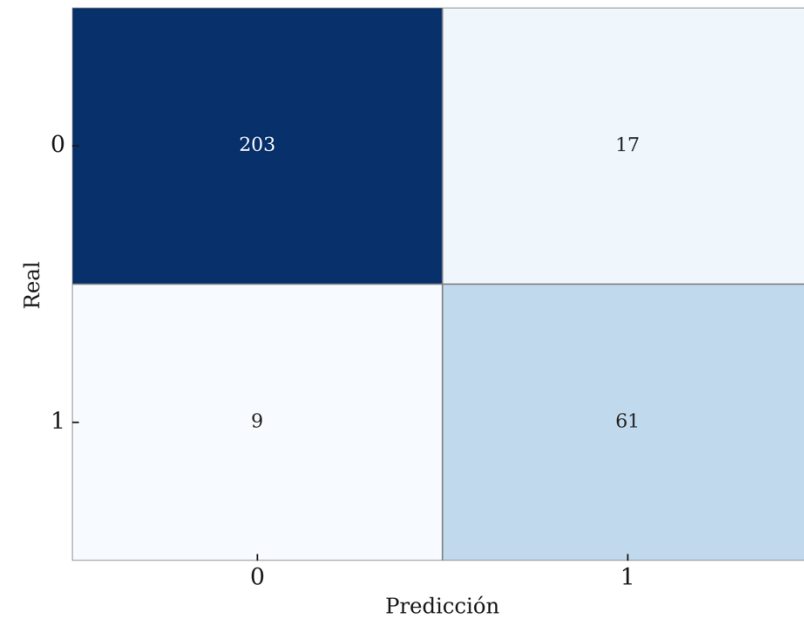
Matriz de confusión: IRIL

Real \ Predicción	0	1
0	489	45
1	12	48

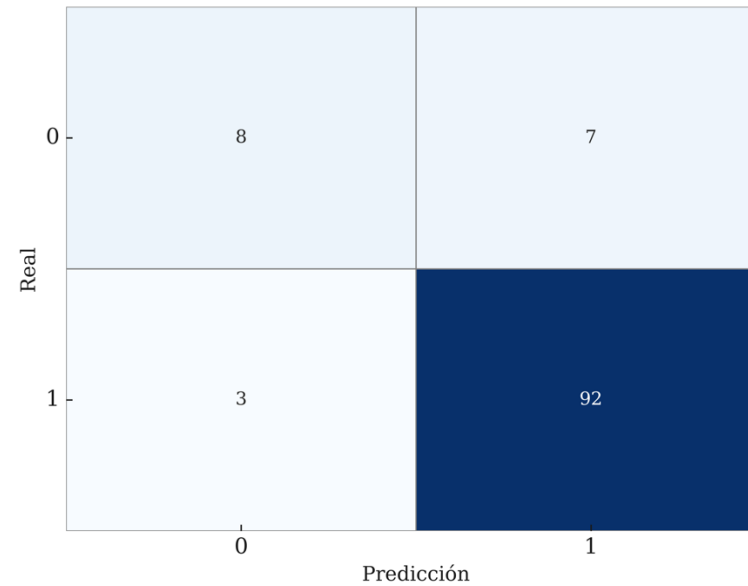
5. Mejoras propuestas – Datos en población mexicana - OCT



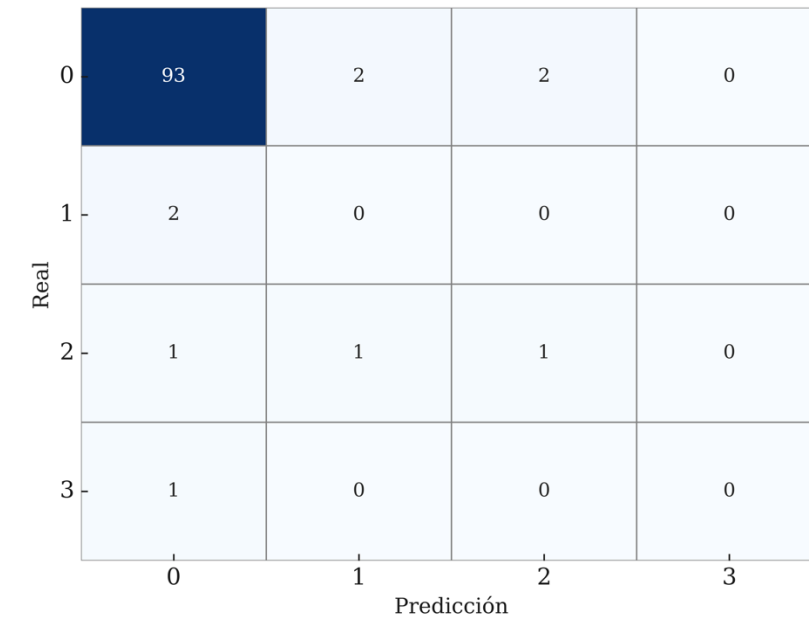
Matriz de confusión: Disorganizaion of inner retinal layers (DRIL)



Matriz de confusión: Macular volume (MV)



Matriz de confusión: Cyst (C)



5. Mejoras propuestas – Modelado generativo – OCT



Generative DME

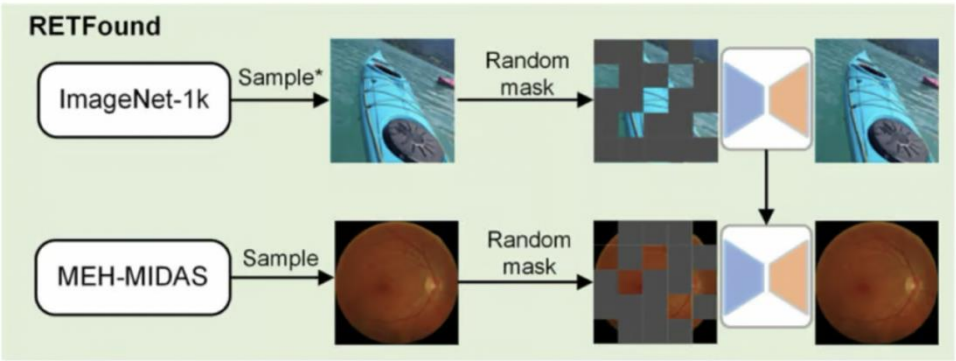
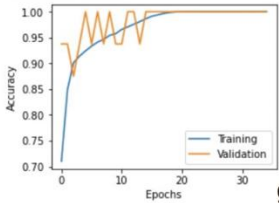
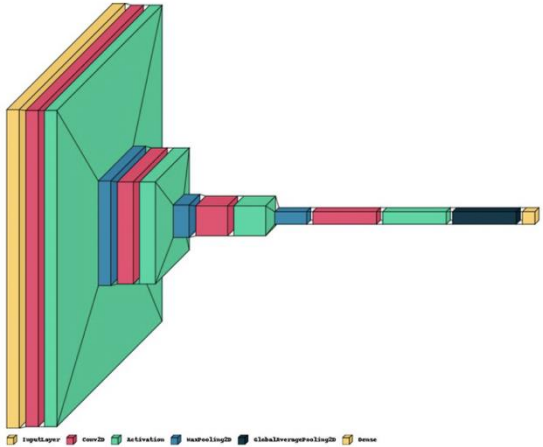


Figura tomada de: Zhou, Y., Chia, M.A., Wagner, S.K. et al. A foundation model for generalizable disease detection from retinal images. Nature 622, 156–163 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06555-x>

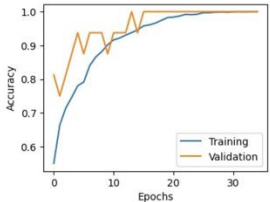
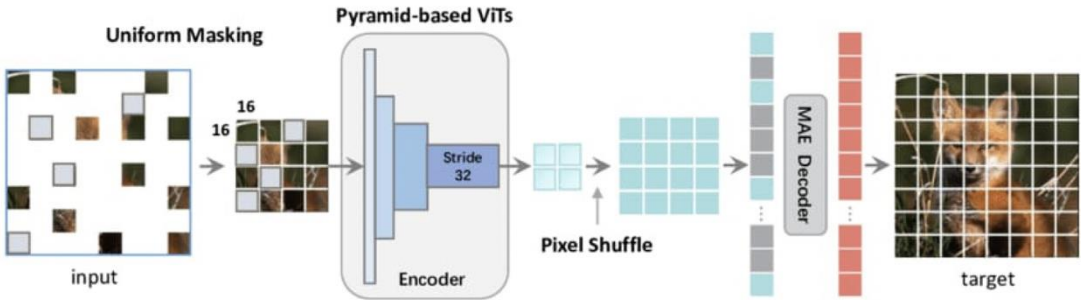


Fernando Ramírez



Sin generadas

Accuracy	0.94
Recall	0.94
F1 score	0.94



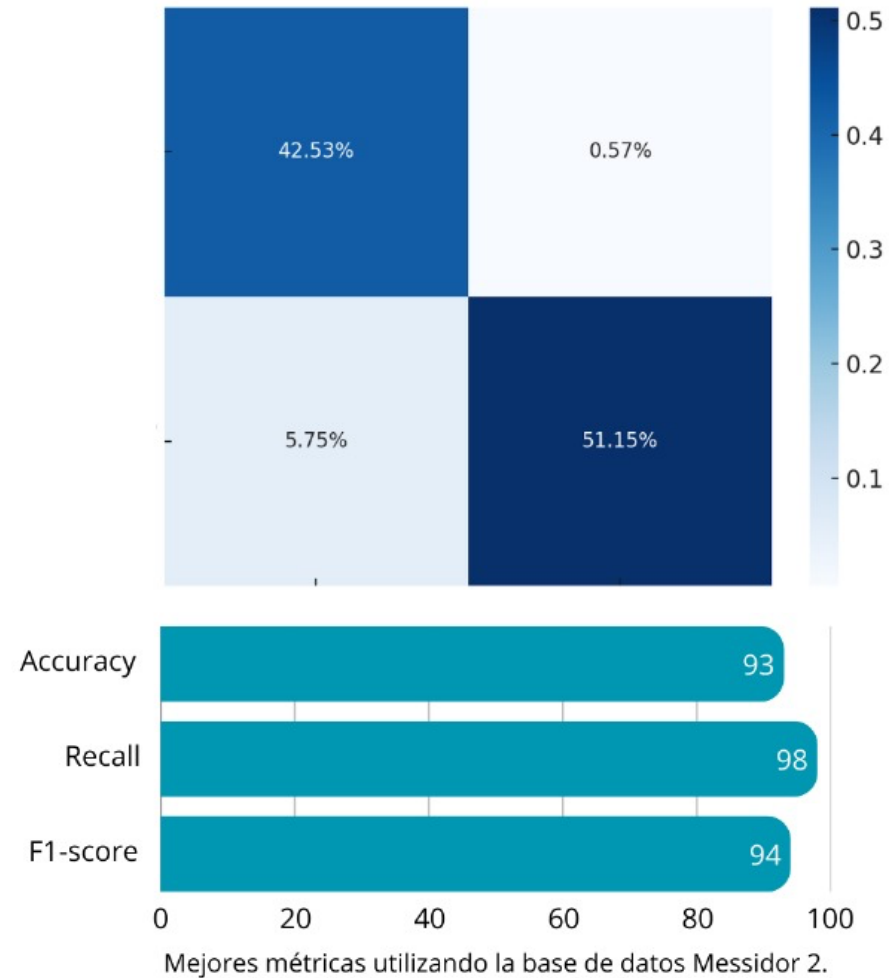
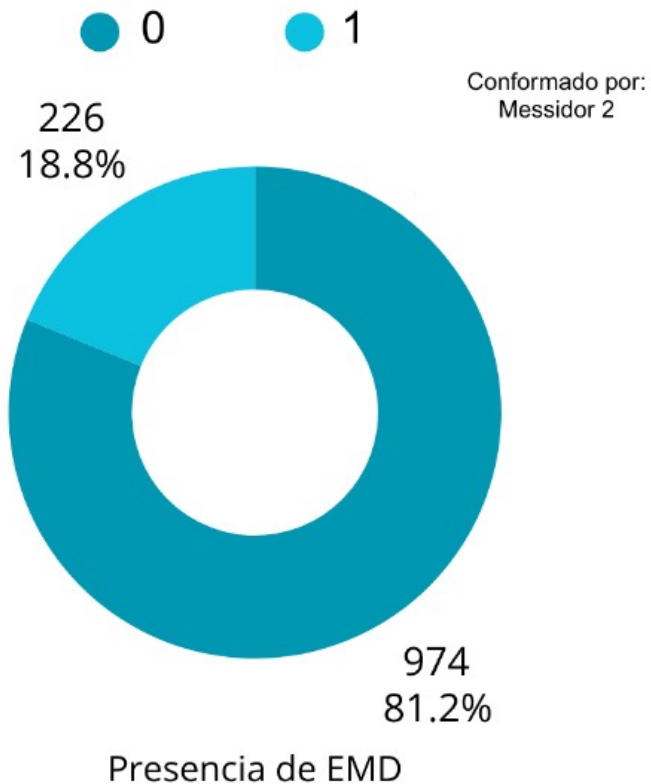
Con generadas

Accuracy	0.95
Recall	0.96
F1 score	0.95

Figura tomada de: Zhou, Y., Chia, M.A., Wagner, S.K. et al. A foundation model for generalizable disease detection from retinal images. Nature 622, 156–163 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06555-x>

5. Mejoras propuestas – Fondo de ojo

Resultados obtenidos con base de datos Messidor 2

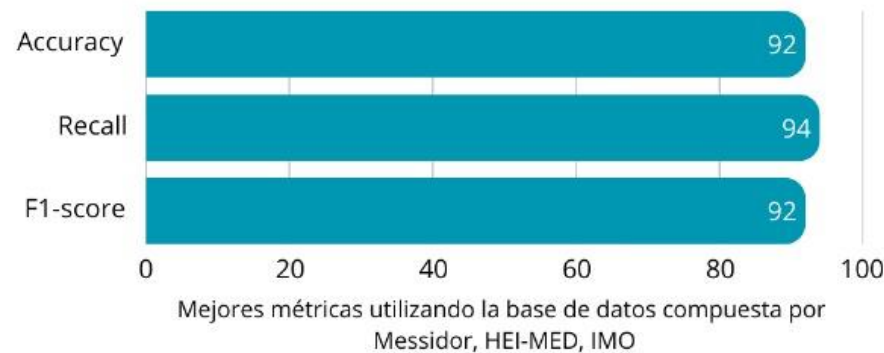
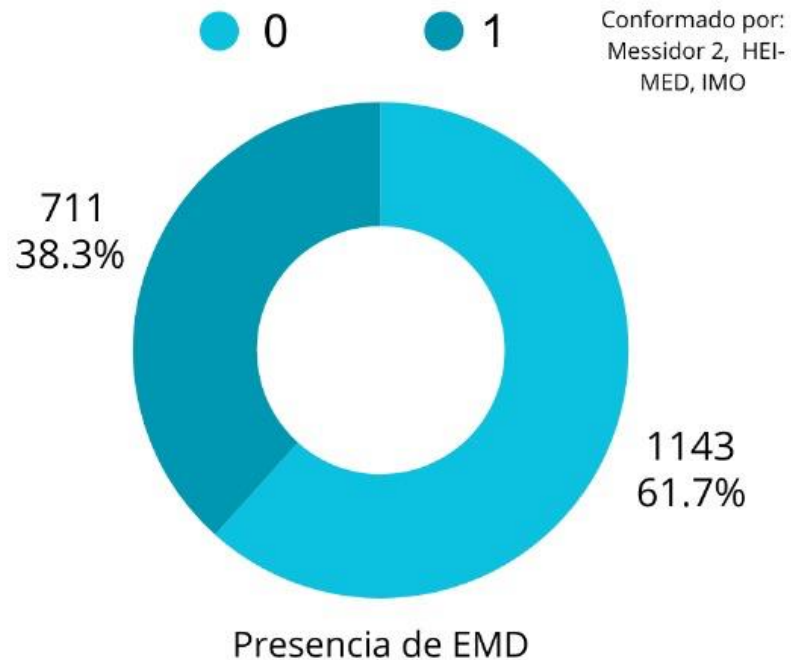


Joshelyn Mendoza

5. Mejoras propuestas – Fondo de ojo - CNNs

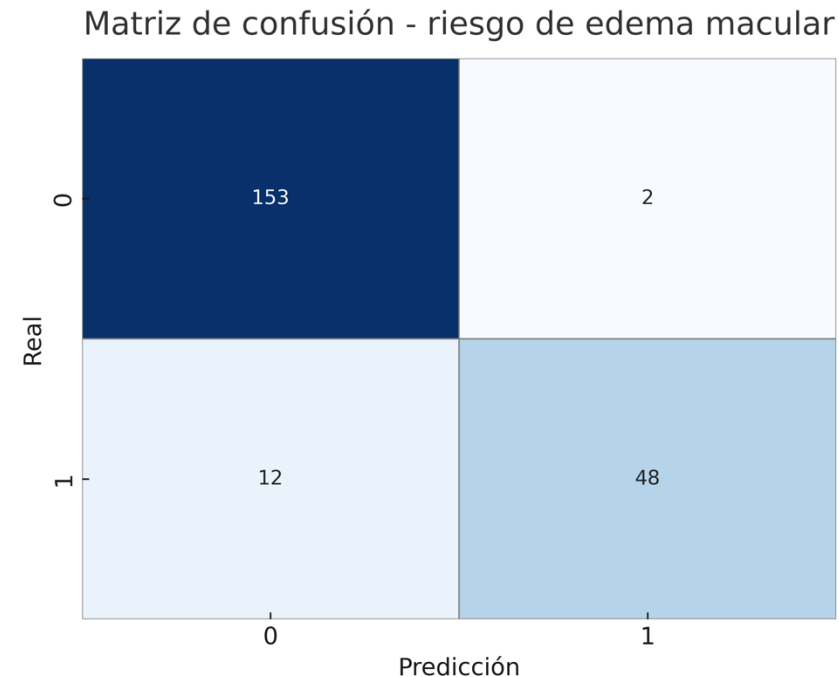
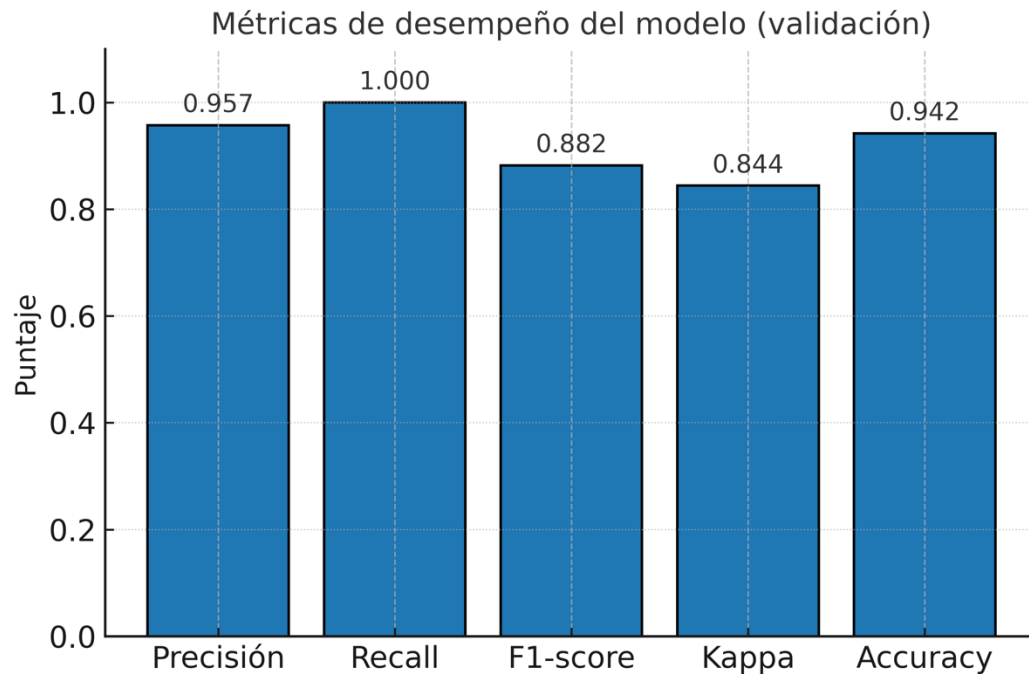
Resultados actuales obtenidos

Mejoras en proceso: Re-entrenamiento con mayor cantidad de imágenes del IMO (limpieza de la base para evitar duplicados)



Joshelyn Mendoza

5. Mejoras propuestas – Fondo de ojo - VT



René Delgado

Vision Transformers

6. Conclusiones



- Se propuso un método computacional capaz de identificar EMD en imágenes de OCT con una precisión del **99.48%** - **99.80%**. Con datos disponibles en la literatura.
- Fue posible validar un modelo de deep learning empleando datos de la **población mexicana** con una precisión:
 - OCT: **91 – 99%**
 - Fondo de ojo: **92%** (CNN) **94%** (VT)
- Se evaluó el rendimiento de diversas arquitecturas y los resultados sugieren que la precisión de una arquitectura depende en gran medida de la **especialización de la misma**.
- La identificación de características depende en gran medida de la **calidad** de las **imágenes** y de la visibilidad de las estructuras retinianas.

7. Financiamiento



LICENCIATURA EN
ECNOLOGÍA
ENES J

- UNAM - DGAPA– PAPIIT (**TA101124**)



- UNAM - DGAPA– PAPIME(**PE111125**)



8. Agradecimientos



LICENCIATURA EN
ECNOLOGIA
ENES J

- Instituto Mexicano de Oftalmología (IMO)

- Dr. Ellery López Star
- Dr. Marlon García Roa
- Lic. Walter Haurí Rosales
- Ing. Carlos García



- ENES Juriquilla

- Fernando Ramírez
- Joshelyn Y. Mendoza
- René Delgado
- Dr. David Oswaldo Pérez



- University of Groningen

- Dr. Jiri Kosinka
- Dr. Steffen Frey
- Msc. Sina Rouzbahani





¡Gracias por su
atención!

Dr. Ulises Olivares Pinto

uolivares@unam.mx

Escuela Nacional de Estudios Superiores
Unidad Juriquilla

Universidad Nacional Autónoma de México



HPC
DATA LAB

UNAM
Nuestra gran
Universidad