

# Aprendizaje computacional aplicado en medicina convencional y alternativa para la detección temprana de enfermedades basada en análisis ocular: Revisión y propuesta de arquitectura

Jorge Ernesto González-Díaz<sup>1</sup>, Yara Anahí Jiménez-Nieto<sup>2</sup>,  
Adolfo Rodríguez Parada<sup>2</sup>, Daniel González-Díaz<sup>3</sup>,  
José Luis Sánchez-Cervantes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,  
Instituto Tecnológico de Orizaba,  
México

<sup>2</sup> Universidad Veracruzana,  
Facultad de Negocios y Tecnología,  
Campus Ixtaczoquitlan,  
México

<sup>3</sup> Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz,  
México

daniel.gonzalez@utcv.edu.mx, {yjimenez, adrodriguez}@uv.mx,  
{D04010291, jose.sc}@orizaba.tecnm.mx

**Resumen.** El aprendizaje computacional estudia la construcción de sistemas capaces de aprender a partir de datos. La detección temprana de enfermedades mejora las posibilidades de tratamiento oportuno y previene el deterioro de los órganos relacionados con la enfermedad. Este trabajo se centra en la revisión del estado del arte de trabajos de investigación reportados en las áreas de la medicina convencional y la medicina alternativa que emplean técnicas de aprendizaje computacional para la detección temprana de enfermedades mediante el análisis del ojo humano, se describe una propuesta de arquitectura de un sistema automatizado para la detección de características asociadas a una condición médica.

**Palabras clave:** Aprendizaje computacional, enfermedades del ojo, iridología, oftalmología.

## Machine Learning Applied in Conventional and Alternative Medicine for Early Detection of Diseases based on Ocular Analysis: Review and Proposed Architecture

**Abstract.** Machine learning studies the construction of systems capable of learning from data. Early detection of disease improves the chances of timely treatment and prevents disease-related organ deterioration. This work focuses on

the review of the state of the art of research works reported in the areas of conventional medicine and alternative medicine related to the use of computational learning techniques applied to the early detection of diseases through the analysis of the human eye, and describes a proposed architecture of an automated system for the detection of features associated with a medical condition.

**Keywords:** Machine learning, eye diseases, iridology, ophthalmology.

## 1. Introducción

El aprendizaje computacional estudia la construcción de sistemas capaces de aprender a partir de datos [1]. La aplicación de esta técnica se ha empleado en diferentes dominios, tales como el financiero, industrial y médico, por mencionar algunos. En la literatura se documentan numerosos trabajos de investigación basados en aprendizaje computacional para la detección de diversas enfermedades y condiciones médicas para un gran número de especialidades médicas [2].

En la medicina convencional, particularmente en oftalmología, el análisis de imágenes de los ojos basado en técnicas de aprendizaje computacional se presenta como un recurso útil para la detección temprana de algunas enfermedades, tales como queratocono, catarata, glaucoma, retinopatía diabética, degeneración macular, entre otros [3], alcanzando altos índices de precisión en la identificación de características asociadas a una condición médica de hasta un 99.76% [4].

La medicina alternativa, también conocida como complementaria, se refiere a un grupo de tratamientos terapéuticos y disciplinas diagnósticas que existen en su mayoría fuera de las instituciones donde se enseña y se brinda atención médica convencional [5]. En este campo, la iridología se presenta como un método clínico que consiste en el análisis del iris del ojo con la finalidad de establecer una correlación de los patrones del iris tales como: los colores, la debilidad de los tejidos, la rotura y otras características, que revelan información sobre la salud sistémica del paciente [6].

Se han reportado en la literatura algunos avances en métodos y equipos de investigación iridológica tales como: dispositivos tecnológicos para adquisición de imágenes, la adaptación de cámaras de alta resolución, aparatos de observación, además de trabajos que lograron vincular una patología específica o una condición de salud sindrómica del cuerpo humano representado con el mapa reflejo del iris de los ojos [7].

Sin embargo, algunos estudios ponen en duda la efectividad de los diagnósticos basados en iridología, por ejemplo, E. Ernst [8] en su revisión sistemática de la literatura reportó diecisiete artículos clasificados como intentos de evaluar la validez diagnóstica de la iridología y afirma que la mayoría de estas investigaciones se realizaron sin un grupo de control y algunas (con o sin un grupo de control) no fueron enmascaradas por el evaluador, es decir, no se tomaron las prevenciones necesarias para garantizar que solo el investigador a cargo del estudio conociera el tratamiento o la intervención que recibieron los participantes hasta terminado el ensayo, lo que hace las investigaciones más propensas a sesgos.

Dado el contexto anterior este artículo tiene como propósito presentar los resultados de una revisión sistemática de la literatura de los últimos cinco años (2017-2022) de artículos de investigación reportados en la medicina convencional y alternativa

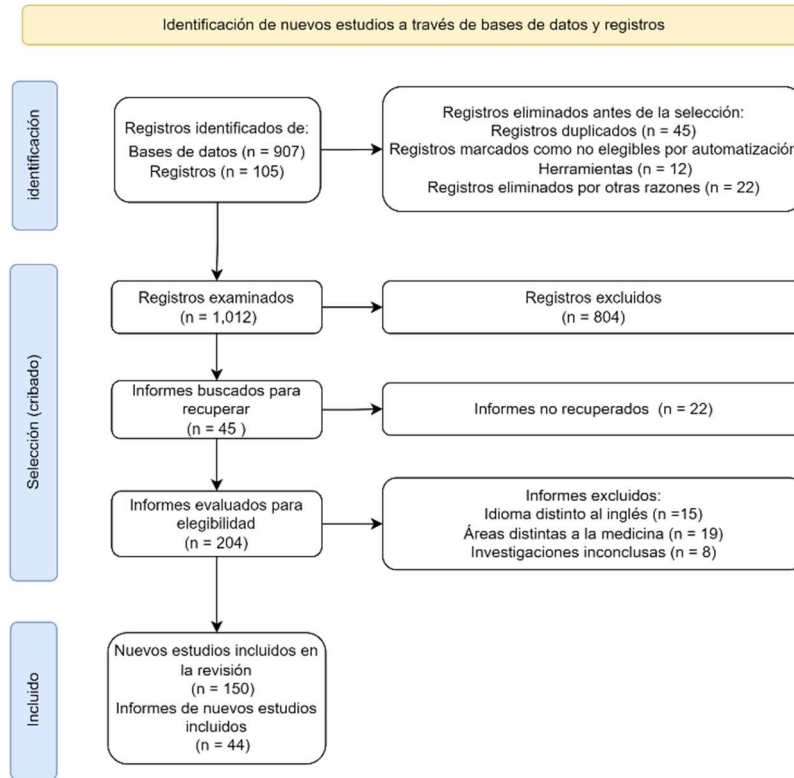


Fig. 1. Metodología de análisis.

relacionados con la detección de características relacionadas con enfermedades y condiciones médicas a través del análisis del ojo humano, también se describe la propuesta de una arquitectura de un sistema automatizado para la detección de características asociadas a una condición médica y finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas con base en el análisis realizado y los trabajos a futuro.

## 2. Metodología de análisis

El estudio y análisis del estado del arte, se basó en la revisión y análisis de 204 trabajos de investigación extraídos de las principales bibliotecas digitales disponibles (ACM digital library, Elsevier, IEEE, MDPI, SpringerLink, entre otras). Los principales términos de búsqueda empleados fueron: Automatic detection, disease detection systems, early detection, early diagnosis, eye detection diseases, eye diseases, eye image detection diseases, eye frameworks diagnosis, machine learning diagnosis; se incluyeron algunas combinaciones entre los términos antes mencionados con el propósito de ampliar el alcance de la búsqueda en las bibliotecas digitales.

La selección de artículos se basó en la metodología PRISMA, únicamente se eligieron trabajos publicados en los últimos cinco años (2017-2022) en revistas,

**Tabla 1.** Análisis comparativo de los trabajos analizados.

Año	Trabajo	CT	PCT	AMD	GL	HM	KT	DR	Técnica
2022	Abbas Q. et al. [9]	X	X	X	✓	X	X	✓	MDL
2021	A. Vyas, V. Khanduja [10]	✓	X	✓	✓	X	X	✓	DCNN
2021	A. Dash, C. Dehury [11]	✓	X	✓	X	X	X	✓	ANN
2020	Malik F. et al. [12]	X	X	✓	✓	X	X	✓	N/R
2020	Sengupta S. et al. [13]	X	X	✓	✓	X	X	✓	CNN
2019	Lopes B. et al. [14]	X	X	X	X	X	✓	X	ANN
2019	N. Bharti et al. [15]	X	X	X	✓	X	X	X	SVM

CT= Catarata; PCT= Catarata Pediátrica; AMD= Degeneración Macular; GL= Glaucoma; HM = Miopía Alta; KT= Queratocono; DR= Retinopatía Diabética; ANN= Artificial Neural Networks; CNN = Convolutional Neural Network; DCNN = Deep Convolutional Neural Network; N/R = No Reportado; MDL = Multilayer Deep Learning; SVM= Support Vector Machine.

**Tabla 2.** Condiciones médicas identificadas en la medicina convencional.

Enfermedad [16]	Abreviatura	Artículos	Técnicas
Catarata	CT	21	ANN, CNN, SVM
Cataratas pediátricas	PCT	10	CNN, NBC, HT, SVM
Degeneración Macular	AMD	21	DCNN, OCT, ANN
Glaucoma	GL	27	DCNN, OCT, SVM
Miopía alta	HM	13	AHE, ANN, FNN
Queratocono	KT	18	SVM, RFC, SVM
Retinopatía diabética	DR	40	DCNN, OCT, CNN

AHE = Adaptive Histogram Equalization; ANN= Artificial Neural Networks; CNN = Convolutional Neural Network; DCNN = Deep Convolutional Neural Network; FNN= Feed Forward Neural Network; HT= Hough Transform; PCA= Principal Component Analysis; RFC= Random Forest Classifier; SVM= Support Vector Machine. La lista completa de artículos<sup>1</sup>.

memorias de congresos, capítulos de libro o libros y que además fueron escritos en inglés. Posteriormente, los trabajos se clasificaron y analizaron con base en los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Trabajos que abordan el estado del arte de la detección de enfermedades mediante el análisis del ojo humano usando técnicas de aprendizaje computacional.
- Artículos médicos relacionados con la práctica de la iridología en la detección de condiciones médicas.
- Enfermedades abordadas por la medicina convencional y la medicina alternativa mediante el uso de aprendizaje computacional.

<sup>1</sup> [drive.google.com/drive/folders/1wkM1ThDO8-Z6xI\\_iX8ohhEWWfuG112D5?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1wkM1ThDO8-Z6xI_iX8ohhEWWfuG112D5?usp=sharing)

**Tabla 3.** Condiciones médicas identificadas en la medicina alternativa.

Enfermedad [17]	Abreviatura	Artículos	Técnicas
Afecciones Hepáticas	AH	1	KNN
Afecciones Pulmonares	AP	2	SVM, FCM
Alzheimer	ALZ	4	ANN, CNN, NBC, GLCM
Colesterol	COL	8	BNN, SVM, GLCM, CHT, FLBP
Desordenes Cardiacos	DC	7	PCA, SVM, CNN, ANN, BNN
Diabetes	DB	12	FNN, FFT, RFC, GLCM, ANN
Enfermedades Renales	ER	3	CNN, BNN, PCA, AHE, DCNN
Tumores cerebrales	TC	1	SVM, FFT
Trastornos Gastrointestinales	TG	2	CNN, RFC, GLMC

AHE = Adaptive Histogram Equalization; ANN= Artificial Neural Networks; BNN= Backpropagation Neural Network; CHT= Circle Hough Transform; CNN = Convolutional Neural Network; DCNN = Deep Convolutional Neural Network; FCM= Fuzzy C-Means; FFT= Fast Fourier Transform; FLBP= Fuzzy Local Binary Pattern; FNN= Feed Forward Neural Network; GLCM= Gray Level Cooccurrence Matrix; KNN= K-Nearest Neighbor; NBC= Naive Bayes classifier.

## 2.1. Análisis de trabajos de investigación

### Medicina convencional

La Tabla 1 muestra una comparativa de las enfermedades abordadas y técnicas de aprendizaje computacional en la medicina convencional para los trabajos similares que abordan una revisión sistemática del estado del arte. Se observa que las enfermedades más abordadas son: Glaucoma Retinopatía Diabética y Degeneración Macular, mientras que para Queratocono y Catarata se reportan uno y dos trabajos respectivamente, no se identificaron trabajos relacionados que incluyeran las condiciones médicas relacionadas con: Catarata Pediátrica y Alta Miopía.

### Medicina alternativa

En la revisión de trabajos para la medicina alternativa, solo fue posible identificar un trabajo que realiza una clasificación de las condiciones médicas que pueden detectarse mediante el análisis del iris del ojo usando técnicas de aprendizaje computacional, R. Esteves et al. [7] presenta un compendio de dieciséis artículos que abordan las siguientes condiciones médicas:

Diabetes Mellitus, Insuficiencia Renal Crónica, enfermedades cardíacas y signos en el corazón, enfermedades pulmonares y signos en la región pulmonar, trastornos estomacales y gastrointestinales, enfermedades hepáticas. Sin embargo, otras condiciones médicas como: Alzheimer, Colesterol y Tumores Cerebrales no fueron incluidas en el estudio.

## 2.2. Clasificación de trabajos analizados

**Por campo de estudio.** Las Tablas 2 y 3 muestran las condiciones médicas reportadas en la medicina convencional y alternativa, respectivamente, donde se emplea el aprendizaje computacional en el análisis del ojo.

**Por año.** La Fig. 2 muestra el número de artículos publicados por año, se observa que las condiciones médicas más abordadas son: Retinopatía Diabética (27%),

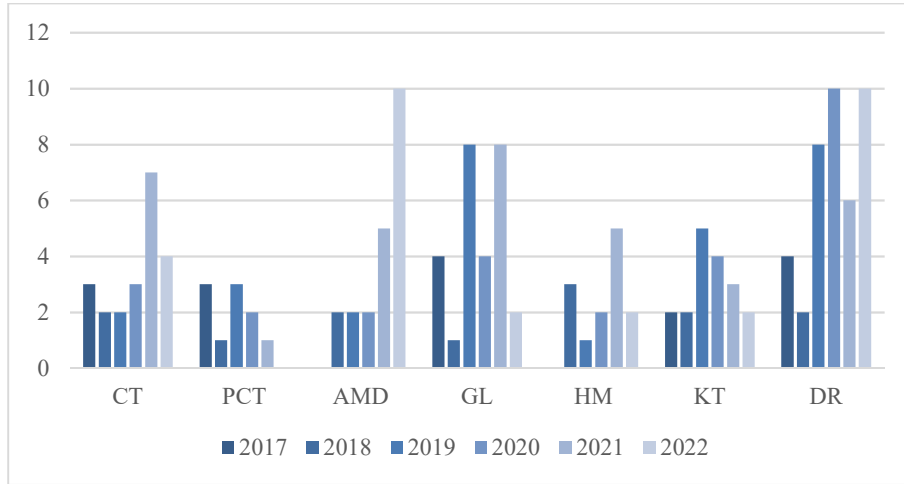


Fig. 2. Publicaciones por año en medicina convencional.

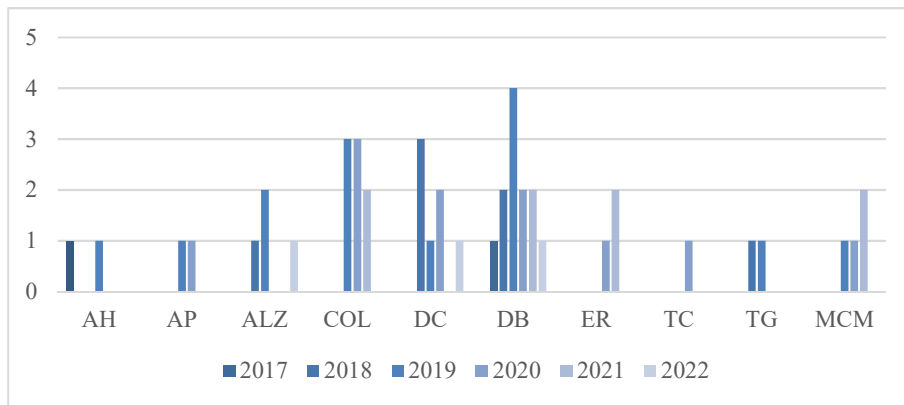


Fig. 3. Publicaciones por año en medicina alternativa.

Glaucoma (18%), y Degeneración Macular y Catarata, (14%), en conjunto suman el 73% de los artículos publicados del 2017 al 2022.

Es evidente que la tendencia va al alza, ya que en 2020 se publicaron el 18%, en 2021 el 23% y en 2022 el 20%, lo que suma el 61% del total de artículo publicados en el periodo del 2017 al 2022.

La Fig. 3 muestra la gráfica de los hallazgos relacionados con la medicina alternativa, puede observarse que la condición médica más abordada en esta área es la Diabetes reportada en el 27% de los artículos, seguida del Colesterol con 18% y los desórdenes cardiacos con el 16%, en conjunto abarcan el 61% de las condiciones médicas identificadas.

Los años con más publicaciones del periodo son 2019 32%, 2020 25%, para 2021 y lo que va del 2022 se observa un decremento en el número de publicaciones con 18% 7% respectivamente.

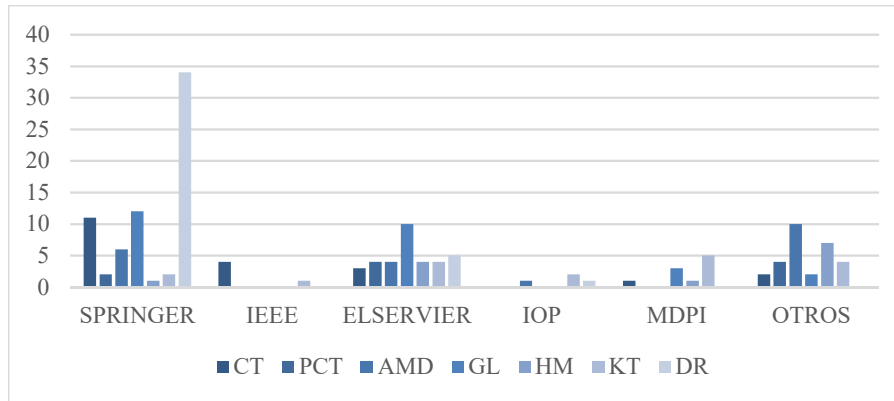


Fig. 4. Publicaciones por editorial medicina convencional.

**Editorial.** En la Fig. 4 se observan los trabajos publicados por editorial en el campo de la medicina convencional, se observa que la mayoría de los trabajos están concentrados en SPRINGER®, ya que esta biblioteca concentra el 45% de los artículos identificados con un total de 68, mientras que ELSEVIER® concentra el 23% de artículos con un total de 34, el 32% restante se encuentra distribuido en las demás bibliotecas de la siguiente manera IEEE® 3%, IOP® 2%, MDPI® 7%, OTROS 20%.

La Fig. 5 Muestra la distribución de artículos de la medicina alternativa en las bibliotecas digitales consultadas, el mayor número de artículos fue descargado de IEEE® con un 41%, el 25% se encontró otras bibliotecas digitales y el resto como corresponde: SPRINGER® 16%, IOP® 9%, MDPI y SCIENCEDIRECT ambas con un 5%.

**Por país.** En la Fig. 6 y Fig. 7 muestran la distribución por país en la medicina convencional, pude observarse que los países que encabezan la lista son India 17%, seguido de Estados Unidos y China ambos con un 16%, Reino Unido 13%, el resto de los países no supera la barrera del 10%.

En el área de la medicina alternativa, pude observarse que los países que encabezan la lista son Indonesia 43%, e India 23%, el resto de los países no supera el 10%. Es de llamar la atención que la mayoría de los trabajos publicados tienen orígenes en los continentes asiáticos y africanos, aunque también se observa una modesta participación de algunos países del continente americano.

Tras el análisis del estado del arte, se observa un uso generalizado de CNN en oftalmología, y que esta técnica se ha utilizado ampliamente para ayudar en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades oculares, incluyendo la degeneración macular relacionada con la edad, el glaucoma, la retinopatía diabética y la catarata. Estas redes neuronales se entrenan utilizando grandes conjuntos de datos de imágenes oculares y luego se utilizan para detectar patrones y características en las imágenes, lo que puede ayudar a los médicos a diagnosticar y tratar estas enfermedades de manera más efectiva.

Asimismo, se observa que los mecanismos de detección multiclase es un área poco abordada, se identificaron: 5 trabajos que realizan un tipo de detección basado en multiclase: Tres: [18, 19, 20] emplean las categorías: Temprana, Intermedia y

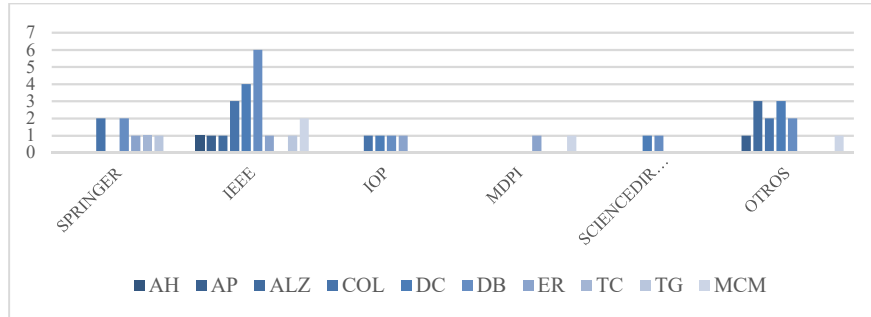


Fig. 5. Publicaciones por editorial medicina alternativa.

Avanzada, para establecer el nivel de la afección. En [21] se emplea un conjunto de 4 categorías: normal, temprano, intermedio y avanzado.

Y en la propuesta de [22] que aborda la retinopatía diabética se emplea un conjunto de 5 categorías: Sin condición médica, condición médica leve, moderada, severa y proliferativa. El resto de los trabajos solo realizan una detección binaria (si/no), esto se percibe como un área de oportunidad en el proyecto de investigación.

### 3. Enfoque de arquitectura

Puede ser un desafío para los médicos identificar los trastornos oculares lo suficientemente temprano utilizando imágenes de fondo de ojo. El diagnóstico manual de enfermedades oculares requiere una cantidad considerable de tiempo, es propenso a errores y en ocasiones puede ser complicado.

En este sentido, el desarrollo de un sistema automatizado de detección de enfermedades oculares con herramientas asistidas por computadora basadas en transformadores de visión para detectar diversos trastornos oculares utilizando imágenes de fondo de ojo se presenta como una solución pertinente en la detección temprana de algunas condiciones médicas.

La revisión del estado del arte demostró que tal sistema ahora es posible como consecuencia de algoritmos de aprendizaje profundo que han mejorado las capacidades de clasificación de imágenes.

Con base en lo anterior, la Fig. 8 presenta el diseño de una arquitectura propuesta para el desarrollo de un sistema automatizado para la detección temprana de características asociadas a una condición médica mediante el análisis de imágenes del fondo del ojo.

#### 3.1. Fuente de datos

El sistema será capaz de tomar imágenes de diferentes fuentes de datos, tales como: a) Equipo oftalmológico especializado para toma de fotografías del fondo del ojo, b) Imágenes almacenadas en bases de datos o repositorios de datos validados por especialistas médicos y c) Imágenes extraídas de videos de revisiones oftalmológicas a pacientes.



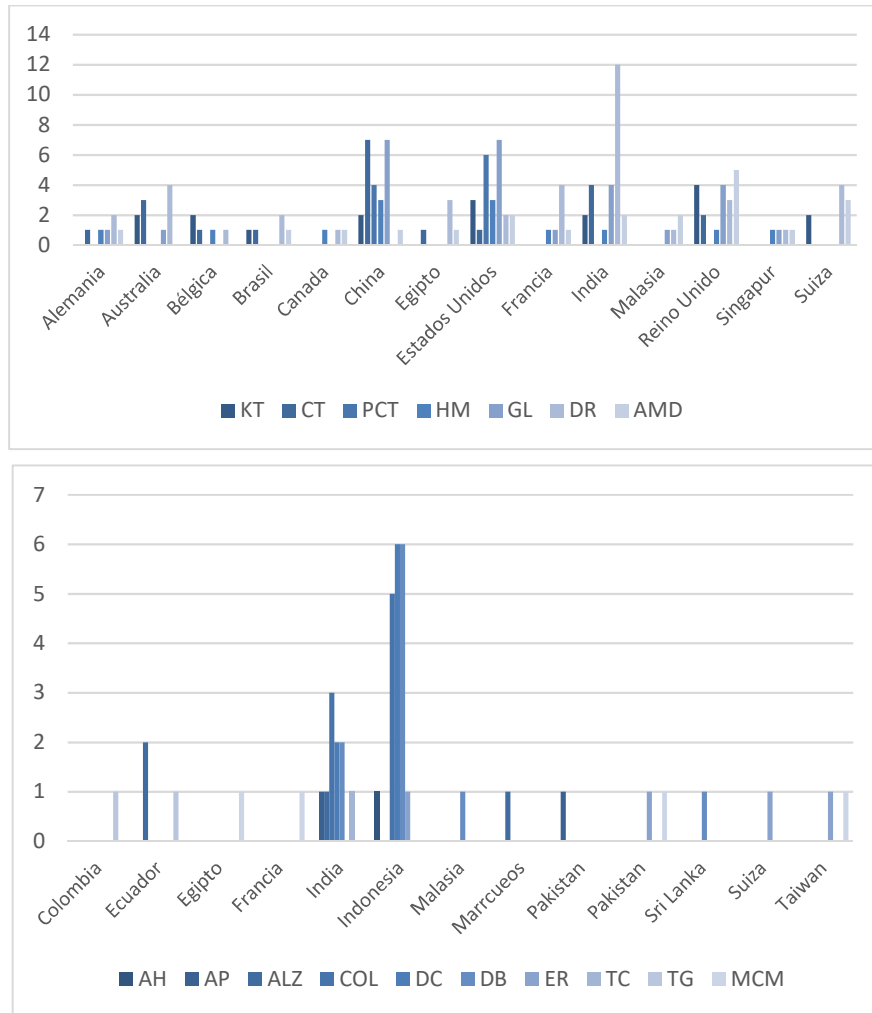
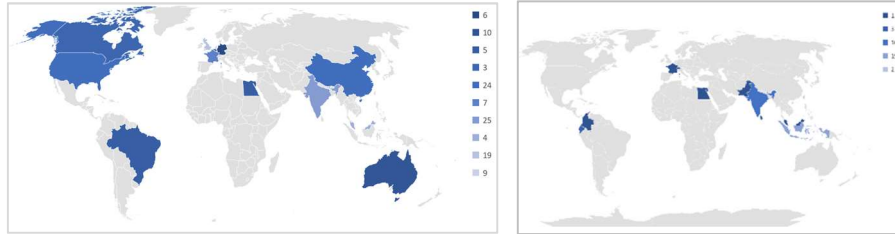


Fig. 6. artículos de la medicina convencional y alternativa por país.

### 3.2. Capa de presentación

Esta capa será la encargada de presentar la interfaz gráfica al usuario final, contempla cuatro componentes principales: a) Gestión de fuentes de datos: Este componente será el responsable de orquestar las conexiones con los diferentes orígenes de datos para el posterior análisis de las imágenes; b) Detección de condición médica:

Es el componente que desencadenará el proceso de análisis de la imagen y tiene comunicación directa con la capa de aprendizaje máquina; c) Presentación de resultados: Una vez culminado el proceso de análisis de la imagen, este componente recibe la información resultante de la capa de aprendizaje máquina y la muestra al usuario final, permitirá generar una copia impresa del reporte o un archivo digital en



**Fig. 7.** Vista grafica en un mapa de la distribución de publicaciones de medicina convencional y alternativa, respectivamente por país.

formato PDF y finalmente, d) Gestión de expedientes: Se prevé que el sistema tenga la capacidad de manejar una gestión básica de expedientes con los resultados de los análisis practicados.

### 3.3. Capa de aprendizaje máquina

Esta capa será el núcleo de la solución propuesta, estará a cargo de la ejecución del proceso de análisis y detección de características asociadas con alguna condición médica, haciendo uso de transformadores de visión, la función de cada uno se detalla a continuación:

- **Módulo de procesamiento de imagen:** Su función será recibir la imagen de la capa de presentación y extraer de ella las características que serán clasificadas y analizadas por el módulo de aprendizaje máquina, el módulo prevé la implementación de los siguientes componentes:
  - **Procesamiento de imagen:** Será responsable de establecer las técnicas que se aplicarán sobre la imagen, en caso de ser necesario, para mejorar su calidad, tales como aumento de contraste, comprensión del rango dinámico, procesamiento de histogramas, entre otras.
  - **Segmentación de región de interés:** De acuerdo con la condición médica establecida en los parámetros de entrada, este componente realizará una identificación de la región de interés para la búsqueda de características y aplicará, de ser necesario, algunas técnicas de filtrado espacial tales como: filtros de paso alto, de Prewitt, transformaciones de intensidad, entre otros.
  - **Extracción de características:** Una vez segmentada la región de interés, este realizará un análisis de los píxeles de la imagen segmentada y generará una colección de características asociadas a la condición médica del sujeto de estudio, esta colección será la entrada para el módulo de aprendizaje máquina.
- **Módulo de aprendizaje máquina:** Este módulo será el encargado de realizar la identificación temprana de alguna condición médica en el sujeto de estudio, implementará un modelo de aprendizaje no supervisado previamente entrenado que servirá de base para el análisis y clasificación de las características extraídas por el módulo de procesamiento de imagen y con las cuales se logrará la identificación de una o varias condiciones médicas en el sujeto de estudio.

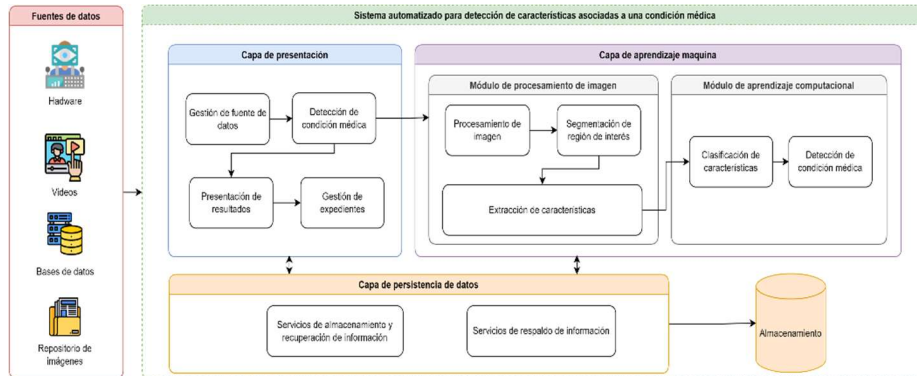


Fig. 8. Arquitectura propuesta

### 3.4. Capa de persistencia de datos

Esta capa implementará los servicios de recuperación de información, persistencia de datos y mecanismos de respaldo de información, a través de ella se podrán almacenar los análisis sobre los sujetos de estudio y recuperar la información de sus expedientes.

## 4. Discusión

Algunos trabajos refutan la validez diagnóstica de la iridología argumentando que no existen los elementos suficientes para establecer la validez de los ensayos clínicos al ser estos realizados sin un grupo de control y/o sin enmascaramiento del ensayo por parte del evaluador [8, 24, 25].

La iridología es una práctica que sostiene que se pueden diagnosticar problemas de salud y condiciones médicas a través del examen de las marcas, colores y patrones en el iris del ojo. A pesar de que cuenta con cierto seguimiento, hay varios argumentos para afirmar que la iridología no es una ciencia:

- **Falta de evidencia científica:** A diferencia de las ciencias médicas, la iridología no cuenta con estudios científicos rigurosos y ampliamente aceptados que respalden su efectividad en la detección de enfermedades o desequilibrios en el organismo.
- **Ausencia de mecanismos biológicos:** La iridología no tiene una base científica sólida en términos de mecanismos biológicos que expliquen cómo los patrones en el iris pueden estar relacionados con la salud general del individuo.
- **Falta de reproducibilidad:** Los estudios científicos se basan en la capacidad de reproducir resultados bajo condiciones controladas. La iridología no ha demostrado resultados consistentes y reproducibles en estudios controlados y ciegos.
- **Pseudociencia:** Algunos críticos argumentan que la iridología se basa en principios pseudocientíficos, ya que no sigue el método científico y no se somete a escrutinio y revisión por pares como las ciencias médicas reconocidas.

En resumen, aunque la iridología pueda tener seguidores, carece de la evidencia científica, la base biológica y la reproducibilidad necesarias para considerarse una ciencia médica legítima.

Sin embargo, en los últimos años la revisión de la literatura demuestra que la aplicación del aprendizaje computacional en la iridología como herramienta auxiliar en el diagnóstico de condiciones médicas se aborda en numerosas ocasiones sobre todo en países del continente asiático y africano [17], lo que da pie a plantear la siguiente interrogante: ¿podría el avance de la tecnología abrir las puertas a nuevas maneras de comprobar la validez diagnóstica de la iridología? Será necesario realizar más investigaciones que permitan fundamentar la respuesta.

Por otro lado, en años recientes se han propuesto modelos de aprendizaje profundo basados en transformadores de visión (ViT) [23] es un modelo de aprendizaje profundo que ha demostrado ser eficaz en la clasificación de imágenes en conjuntos de datos de gran tamaño. Este modelo utiliza la arquitectura de transformador, originalmente desarrollada para el procesamiento del lenguaje natural, y la adapta para el procesamiento de imágenes.

A diferencia de los modelos de CNN más tradicionales, que procesan la imagen en bloques o parches, ViT considera la imagen completa como una secuencia de píxeles y la procesa utilizando capas de transformador. Esto permite que ViT capture relaciones globales y contextuales entre los diferentes elementos de la imagen, en lugar de centrarse únicamente en características locales.

El análisis del estado del arte realizado para este trabajo muestra que en el área de oftalmología el desarrollo de modelos computacionales basados en transformadores de visión es un área poco explorada en los últimos años, por lo que el desarrollo de un mecanismo para detección temprana de afecciones oculares haciendo uso de transformadores se presenta como una opción que empieza a cobrar relevancia.

Finalmente, en el campo de la medicina convencional, se aprecian numerosos esfuerzos de investigación basados principalmente en redes neuronales convolucionales, sin embargo, en los últimos años nuevos modelos como ViT, ha demostrado ser altamente eficaz en varios conjuntos de datos de clasificación de imágenes, incluso superando a los modelos CNN más tradicionales[26].

También se ha demostrado que ViT es eficiente en términos de uso de memoria y tiempo de entrenamiento, lo que lo hace especialmente atractivo para su uso en aplicaciones del mundo real, por lo tanto, el desarrollo de trabajos de investigación que aborden la creación de modelos computacionales bajo arquitecturas ViT contribuye al desarrollo de soluciones de asistencia médica más efectiva para su uso en la práctica clínica.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

Después del análisis de 204 artículos, se concluye que la aplicación del aprendizaje computacional en la detección temprana de enfermedades mediante el análisis ocular es un campo de estudio que ha cobrado popularidad en los últimos años en la medicina convencional y la medicina alternativa.

Sin embargo, la efectividad del uso del aprendizaje computacional en el campo de la medicina alternativa, particularmente en la iridología, ha sido puesta en duda como

método válido de diagnóstico, debido a la falta de comprobación de la validez de los ensayos clínicos reportados lo cual es un factor para tomarse en cuenta.

Por otro lado, en la medicina convencional, específicamente en el área oftalmológica se observa un gran número de esfuerzos de investigación destinados a la aplicación de técnicas basadas en el aprendizaje computacional para la detección temprana de condiciones médicas, la gran mayoría de los trabajos reportados por la literatura muestra el amplio uso de las CNN en este campo, se observa además que el uso de transformadores de visión es un área poco abordada, por lo que el desarrollo de un sistema automatizado que apoye en la detección temprana de diversas enfermedades y condiciones médicas, empleando ViT, cobra gran relevancia, por lo que los autores han decidido centrar sus esfuerzos en este campo.

Como trabajo a futuro, se revisarán las diferentes arquitecturas ViT propuestas por la literatura, se realizará una revisión sistemática de trabajos de investigación que documenten arquitecturas de modelos híbridos basados en CNN y ViT aplicados al área médica y también los dispositivos de hardware destinados a la adquisición de imágenes del ojo, poniendo especial énfasis en aquellos diseñados para el Internet de las Cosas (IoT).

**Agradecimientos.** Los autores de este trabajo agradecen el apoyo por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el soporte financiero, a la Facultad de Negocios y Tecnologías campus Ixtaczoquitlán de la Universidad Veracruzana por las facilidades prestadas para el acceso a bibliotecas digitales, a la Universidad Tecnológica de Centro de Veracruz por el tiempo prestado para el desarrollo de esta investigación y al Tecnológico Nacional de México por permitir el desarrollo de este proyecto.

## Referencias

1. Alpaydm, E.: Introduction to machine learning. Fourth Edition, The Massachussets Institute Technology (2014)
2. Sajda, P.: Machine learning for detection and diagnosis of disease. Annual Review of Biomedical Engineering, vol. 8, no. 1, pp. 537–565 (2006) doi: 10.1146/annurev.bioeng.8.061505.095802
3. Nuzzi, R., Boscia, G., Marolo, P., Ricardi, F.: The impact of artificial intelligence and deep learning in eye diseases: a review. Frontiers in Medicine, vol. 8 (2021) doi: 10.3389/fmed.2021.710329
4. Matsuba, S., Tabuchi, H., Ohsugi, H., Enno, H., Ishitobi, N., Masumoto, H., Kiuchi, Y.: Accuracy of ultra-wide-field fundus ophthalmoscopy-assisted deep learning, a machine-learning technology, for detecting age-related macular degeneration. International Ophthalmology, vol. 39, no. 6, pp. 1269–1275 (2018) doi: 10.1007/s10792-018-0940-0
5. Zollman, C., Vickers, A., Richardson, J.: ABC of complementary medicine. Wiley-BlackWell, 2nd Edition (2008)
6. Jensen, B.: Ciencia y práctica de la iridología. YIG, p. 392 (2007)
7. Esteves, R. B., Morero, J. A. P., Pereira, S. S., Mendes, K. D. S., Hegadoren, K. M., Cardoso, L.: Parameters to increase the quality of iridology studies: A scoping review. European Journal of Integrative Medicine, vol. 43, pp. 101311 (2021) doi: 10.1016/j.eujim.2021.101311
8. Ernst, E.: Iridology. Archives of Ophthalmology, vol. 118, no. 1, pp. 120 (2000) doi: 10.1001/archoph.118.1.120

9. Abbas, Q., Qureshi, I., Yan, J., Shaheed, K.: Machine learning methods for diagnosis of eye-related diseases: a systematic review study based on ophthalmic imaging modalities. *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 29, no. 6, pp. 3861–3918 (2022) doi: 10.1007/s11831-022-09720-z
10. Vyas, A. H., Khanduja, V.: A survey on automated eye disease detection using computer vision based techniques. In: *IEEE Pune Section International Conference (2021)* doi: 10.1109/punecon52575.2021.9686479
11. Dash, A., Dehury, C.: Deep learning frameworks in healthcare systems. *Technical Advancements of Machine Learning in Healthcare*, pp. 139–167 (2021) doi: 10.1007/978-981-33-4698-7\_8
12. Malik, F. H., Batool, F., Rubab, A., Chaudhary, N. A., Khan, K. B., Qureshi, M. A.: Retinal disorder as a biomarker for detection of human diseases. In: *IEEE 23rd International Multitopic Conference*, pp. 1–6 (2020) doi: 10.1109/inmic50486.2020.9318059
13. Sengupta, S., Singh, A., Leopold, H. A., Gulati, T., Lakshminarayanan, V.: Ophthalmic diagnosis using deep learning with fundus images \textendash a critical review. *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 102, pp. 101758 (2020) doi: 10.1016/j.artmed.2019.101758
14. Lopes, B. T., Eliasy, A., Ambrosio, R.: Artificial intelligence in corneal diagnosis: where are we? *Current Ophthalmology Reports*, vol. 7, no. 3, pp. 204–211 (2019) doi: 10.1007/s40135-019-00218-9
15. Bharti, N., Gautam, G., Choudhary, K.: A review paper on eye disease detection and classification by machine learning techniques. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 633–641 (2018) doi: 10.1007/978-981-13-2285-3\_74
16. González-Díaz, J. E.: Lista de artículos medicina convencional (2022) [drive.google.com/drive/folders/1abQ3le0n43hHoDfgh\\_dvwynWofmbfDoO?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1abQ3le0n43hHoDfgh_dvwynWofmbfDoO?usp=sharing)
17. González-Díaz, J. E.: Lista de artículos medicina alternativa (2022) [drive.google.com/drive/folders/1wkM1ThDO8-Z6xI\\_iX8ohhEWWfuG112D5?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1wkM1ThDO8-Z6xI_iX8ohhEWWfuG112D5?usp=sharing)
18. Fang, H., Li, F., Fu, H., Sun, X., Cao, X., Lin, F., Son, J., Kim, S., Quelled, G., Matta, S., Shankaranarayana, S. M., Chen, Y., Wang, C., Shah, N. A., Lee, C., Hsu, C., Xie, H., Lei, B., Baid, U., Innani, S., et. al.: Adam challenge: detecting age-related macular degeneration from fundus images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 41, no. 10, pp. 2828–2847 (2022) doi: 10.1109/tmi.2022.3172773
19. Perdomo, O., Andrearczyk, V., Meriaudeau, F., Müller, H., González, F. A.: Glaucoma diagnosis from eye fundus images based on deep morphometric feature estimation. In: *Computational Pathology and Ophthalmic Medical Image Analysis*, pp. 319–327 (2018) doi: 10.1007/978-3-030-00949-6\_38
20. Yunitasari, D. A., Sigit, R., Harsono, T.: Glaucoma detection based on cup-to-disc ratio in retinal fundus image using support vector machine. In: *International Electronics Symposium (2021)* doi: 10.1109/ies53407.2021.9593943
21. Jadhav, A. S., Patil, P. B., Biradar, S.: Optimal feature selection-based diabetic retinopathy detection using improved rider optimization algorithm enabled with deep learning. *Evolutionary Intelligence*, vol. 14, no. 4, pp. 1431–1448 (2020) doi: 10.1007/s12065-020-00400-0
22. Nguyen, Q. H., Muthuraman, R., Singh, L., Sen, G., Tran, A. C., Nguyen, B. P., Chua, M.: Diabetic retinopathy detection using deep learning. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Machine Learning and Soft Computing*, pp. 103–107 (2020) doi: 10.1145/3380688.3380709
23. Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., Houlsby, N.: An image is worth 16×16 words: transformers for image recognition at scale (2020) doi: 10.48550/ARXIV.2010.11929
24. Ernst, E.: Iridology: a systematic review. *Complementary Medicine Research*, vol. 6, no. 1, pp. 7–9 (1999) doi: 10.1159/000021201

25. Stark, D. J.: Look into my eyes: iridology exposed. *Medical Journal of Australia*, vol. 2, no. 12, pp. 676–679 (1981) doi: 10.5694/j.1326-5377.1981.tb113049.x
26. Li, J., Chen, J., Tang, Y., Wang, C., Landman, B. A., Zhou, S. K.: Transforming medical imaging with transformers? a comparative review of key properties, current progresses, and future perspectives. *Medical Image Analysis*, vol. 85, pp. 102762 (2023) doi: 10.1016/j.media.2023.102762