



ISSNe 2542-3444

VOLUMEN

12

Número 2 (2025)

Recibido: 03/7/2025 Aceptado: 23/07/2025

REVISIÓN

Inteligencia artificial en oftalmología y medicina: aplicaciones y desafíos

Artificial intelligence in ophthalmology and medicine: applications and challenges

María Rebeca Marquina Belandria (Méd ciruj.)¹

Alberto Jossué Belandria-Balestrini (Crim.)²

¹Médico cirujano, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida-Venezuela. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7568-6536>

²Criminólogo, ULA. Licenciado en Filosofía, Universidad Católica Cecilio Acosta (UNICA), Maracaibo-Venezuela. Especialista en Derecho del Trabajo y Seguridad Social, ULA. Profesor de Orientación Psicoeducativa, Psicología Evolutiva I y Psicocriminología, ULA. Correo-e: jossuebelandria@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4991-2217>

RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) en el campo de la oftalmología y la medicina, tiene un enorme potencial para mejorar la atención al paciente, optimizar los procesos y aumentar la precisión diagnóstica. Sin embargo, para garantizar su implementación segura y eficiente, es necesario resolver problemas tecnológicos, éticos y regulatorios. El sesgo de la IA puede resultar en una prestación de atención médica desigual, y el "problema de la caja negra" plantea dudas sobre la confianza y la transparencia. Dada la importancia de los grandes conjuntos de datos de imágenes en oftalmología, los problemas de privacidad asociados con la recopilación y la seguridad de los datos son particularmente significativos. Además, la toma de decisiones sanitarias puede verse amenazada por errores generados por la IA. A pesar de los obstáculos, esta tecnología tiene el potencial de aumentar el acceso a la atención oftalmológica, especialmente en zonas desfavorecidas, como lo demuestra el cribado de la retinopatía diabética. Sin embargo, las limitaciones financieras y de infraestructura siguen siendo importantes obstáculos para su adopción generalizada. Además de destacar tácticas para garantizar la integración adecuada de la IA en la oftalmología, este artículo examina cuestiones éticas y regulatorias importantes.

Palabras clave: desafíos, inteligencia artificial, medicina, oftalmología.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) in the field of ophthalmology and medicine has enormous potential to improve patient care, optimize processes, and increase diagnostic accuracy. However, to ensure its safe and efficient implementation, technological, ethical, and regulatory issues must be resolved. AI bias can result in unequal healthcare delivery, and the "black box problem" raises questions about trust and transparency. Given the importance of large image datasets in ophthalmology, privacy issues associated with data collection and security are particularly significant. In addition, healthcare decision-making can be threatened by AI-generated errors. Despite the obstacles, this technology has the potential to increase access to eye care, especially in underserved areas, as evidenced by screening for diabetic retinopathy. However, financial and infrastructure limitations remain significant barriers to widespread adoption. In addition to highlighting tactics to ensure the proper integration of AI into ophthalmology, this article examines important ethical and regulatory issues.

Key words: artificial intelligence, challenges, medicine, ophthalmology.

— INTRODUCCIÓN

McCarthy y colaboradores propusieron inicialmente la idea de la inteligencia artificial (IA) en 1956 (1), definiéndola como computadoras inteligentes capaces de replicar habilidades de resolución de problemas similares a las humanas. Para alcanzar objetivos sin estar programados específicamente para ciertas actividades, estas habilidades incluyen el uso del lenguaje, el pensamiento abstracto y el razonamiento, la formulación de ideas, la resolución de problemas, el descubrimiento de significados, la generalización y el aprendizaje de la experiencia (1,2). Sin embargo, aún existe desacuerdo sobre el significado o delimitación exacta de la IA.

La diversa gama de modalidades de imagen empleadas en oftalmología ofrece numerosas perspectivas para la creación de sistemas de IA, demostrado un rendimiento diagnóstico excepcional en la detección de afecciones oculares comunes como cataratas (3), glaucoma (4) y retinopatía diabética (RD) (5). Dado que el reconocimiento de imágenes se utiliza ampliamente en el diagnóstico y la monitorización del tratamiento de enfermedades oculares, la aplicación de la IA en oftalmología es muy prometedora, porque permite la identificación precisa de queratitis, pterigión y cataratas a partir de representaciones con lámpara de hendidura (6,7,8), así como la degeneración macular asociada a la edad (DMAE) mediante imágenes del fondo de ojo (5,9). Además, este método, también puede ayudar a los oftalmólogos a emitir juicios clínicos y a proporcionar perspectivas personalizadas de los pacientes a lo largo de sus tratamientos.

Entonces, la aplicación de la IA en oftalmología puede mejorar la calidad general del tratamiento, aumentar la precisión en la valoración y facilitar el diagnóstico precoz. De hecho, con el rápido aumento y envejecimiento de la población mundial, se ha prestado mucha atención a cómo la IA puede ayudar a satisfacer la creciente necesidad de una atención sanitaria sostenible (10).

Esto es particularmente importante en países de bajos ingresos (*Low Income Countries*, LIC) y de ingresos bajos a medianos (*Low and/to Middle Income Countries*, LMIC), donde los programas de cribado, los dispositivos de monitorización domiciliaria o la telemedicina podrían ayudar a reducir causas evitables de ceguera, como la DMAE y la RD. Así mismo, el cribado basado en IA tiene el potencial de estandarizar la atención oftalmológica y mejorar el limitado acceso a oftalmólogos profesionales en zonas rurales (11). En entornos clínicos, por ejemplo, ya se utilizan soluciones de cribado, como tecnología de diagnóstico por imágenes (*IDx Technologies*) (Coralville, EE. UU.), aprobada por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), tal como lo mencionan Kras et al. (12).

Dado el gran potencial de la IA, existe la preocupación de que, en ausencia de investigación y regulación adecuadas, esta tecnología pueda poner en peligro a los pacientes. Estos problemas son particularmente importantes en el sector sanitario, donde el uso indebido de los modelos de IA o las filtraciones de datos podrían tener graves repercusiones (13).

En esta revisión se abordan las preocupaciones éticas y desafíos que pueden surgir del uso de la IA en la práctica oftalmológica, junto con otros aspectos como la explicabilidad, la ciberseguridad y la privacidad, que deben abordarse adecuadamente antes de que estos sistemas se utilicen ampliamente en entornos clínicos (14). En tal sentido, el objetivo de esta investigación es describir los avances de la IA en oftalmología y medicina a partir de sus aplicaciones y desafíos en la actualidad (2020-2025).

— DESARROLLO

1. IA en cirugía oftálmica e intervención

1.1 Aplicaciones de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) en la formación y planificación quirúrgica

Las aplicaciones de RV y RA han impulsado una revolución en la medicina al ofrecer formas creativas de mejorar la enseñanza quirúrgica y los resultados de los pacientes. Al proporcionar a los médicos entornos virtuales realistas durante las prácticas, limitado a oftalmólogos profesionales, estas tecnologías les ayudan a mejorar sus habilidades y a aumentar su confianza mientras practican cirugías sin riesgos (14). La RA y la RV ofrecen diversas ventajas para la formación quirúrgica, como la evaluación objetiva de las métricas de rendimiento, la retroalimentación en tiempo real sobre el desempeño de los médicos en los entrenamientos y la exploración mediante visualización anatómica 3D. También facilitan la colaboración entre cirujanos de todo el mundo y la mentoría virtual (15,16). La RA y la RV aumentan la precisión quirúrgica y la seguridad del paciente al permitirles practicar repetidamente procedimientos específicos, perfeccionar sus habilidades y adaptarse a diversas condiciones antes de entrar en el quirófano (17,18).

Además, la RA y la RV pueden incluir imágenes preoperatorias (como tomografías computarizadas o resonancias magnéticas) en el campo de visión del cirujano durante las cirugías, lo que mejora la precisión y permite estrategias individualizadas según la anatomía particular de cada paciente (15,16). Esta visión holográfica anatómica, le ofrece a los médicos quirúrgicos navegar por estructuras complejas, realizar incisiones precisas y minimizar el daño tisular (15). La RA y la RV en la formación y la planificación de operaciones facilitan la comunicación entre equipos clínicos distantes, lo que permite consultas con expertos, intercambio de conocimientos y colaboración en tiempo real: una excelente herramienta para la formación, el desarrollo de habilidades y la obtención de saberes en situaciones complicadas (17,18). Fundamentalmente, al reducir la exposición a la radiación durante procedimientos mínimamente invasivos, estas tecnologías ayudan a los pacientes y a los profesionales médicos a evitar las consecuencias para la salud de la exposición repetida a la radiación ionizante (14).

1.2 Terapia láser guiada por IA para enfermedades de la retina

La medicina de precisión impulsada por IA ha inaugurado una nueva era en la oftalmología, que ha revolucionado la obtención de imágenes mediante angiografía con fluoresceína del fondo de ojo y ha reducido la necesidad de expertos en retina para su evaluación

(19). En oftalmología, donde la práctica clínica depende de la imagen multimodal para la detección y clasificación de enfermedades, los sistemas de aprendizaje profundo (*Deep learning system*, DLS) se han utilizado ampliamente (19). El tratamiento láser guiado por IA es esencial para predecir la evolución de enfermedades retinianas como la isquemia y los resultados visuales que experimentará cada paciente. En el caso de trastornos vasculares retinianos, como la oclusión venosa retiniana (OVR) y la RD, la detección y medición de la isquemia son componentes fundamentales que fundamentan las directrices terapéuticas y la frecuencia de seguimiento (19).

Los sistemas de IA son excelentes para detectar ojos con isquemia y mayor riesgo de problemas, lo que permite tratamientos rápidos como la fotocoagulación láser cuando sea necesario (20). Además, se están desarrollando herramientas de IA para proporcionar recomendaciones precisas de diagnóstico y tratamiento para enfermedades isquémicas de la retina, ofreciendo un enfoque holístico que incluye tanto el diagnóstico como la planificación del tratamiento (21). Por lo tanto, estos avances en la terapia láser guiada por IA tienen un enorme potencial para mejorar los resultados de los pacientes, optimizar el manejo de la enfermedad y aumentar la precisión y la eficacia de las terapias láser para afecciones que afectan la retina.

1.3 Cirugía asistida por robots

En oftalmología, la cirugía asistida por robots utiliza tecnología robótica para mejorar el control quirúrgico, la precisión y los resultados de los tratamientos oculares. Estas tecnologías abordan con éxito las dificultades en la manipulación de tejidos y los procedimientos oftálmicos complejos, ofreciendo beneficios como un mejor control del movimiento, la cancelación del temblor, una mejor visión y la detección de distancias (22). El Sistema Quirúrgico da Vinci, que ayuda a los cirujanos a realizar procedimientos oculares complejos con una precisión y velocidad excepcionales, es un excelente ejemplo de esta tecnología (22). Si bien la robótica oftálmica aún se encuentra en sus primeras etapas, se espera que avances como los sensores inteligentes y la cirugía semiautónoma amplíen las capacidades quirúrgicas de este campo (23). El futuro de la robótica en oftalmología promete enormemente revolucionar los procedimientos quirúrgicos, especialmente en cirugías vítreoretinianas y del segmento anterior, lo que conducirá a mejores resultados para los pacientes y a menos problemas (22,23).

2. Desafíos y limitaciones de la IA en el campo oftalmológico

2.1 Consideraciones éticas en el diagnóstico y tratamiento asistidos por IA

El peligro de tener prejuicios y discriminación es solo un aspecto de las ramificaciones éticas de la IA en la atención médica. Se hace necesario construir y supervisar adecuadamente los sistemas de IA, ya que los conjuntos de datos de entrenamiento sesgados o inadecuados podrían reforzar involuntariamente los errores y resultar en un trato injusto a los pacientes (24). De ahí que, la transparencia y la validez de los algoritmos de IA empleados para el diagnóstico o la terapia plantean cuestiones éticas. Garantizar la confianza y la responsabilidad en la toma de decisiones médicas requiere procedimientos de validación sólidos y transparencia en el proceso de toma de decisiones (24). Dos cuestiones éticas importantes en la atención médica asistida por IA son la privacidad del paciente y la gobernanza de datos. Una comunicación clara y la comprensión de

cómo se utilizan los datos del paciente mediante estos sistemas son esenciales para proteger sus derechos de privacidad y, garantizarle un control significativo sobre los mismos (24).

Eliminar los resultados discriminatorios y los prejuicios requiere abordar los sesgos y garantizar la imparcialidad algorítmica. Los investigadores y los médicos pueden crear soluciones éticas estableciendo criterios y protocolos para informar y comparar modelos de IA (24). Mantener la supervisión y la responsabilidad humanas es esencial, incluso si la IA puede mejorar los procesos de toma de decisiones. Para reconocer las limitaciones de esta tecnología y mantener la importancia del juicio humano en el proceso diagnóstico y terapéutico, los médicos deben seguir siendo capaces de comprender y cuestionar los resultados obtenidos (24,25). Por lo tanto, la correcta integración de la IA en la práctica médica requiere el desarrollo de marcos éticos y estructuras de gobernanza rigurosos que garanticen su correcto uso ético en contextos sanitarios, dando máxima prioridad a la seguridad y la equidad del paciente (24,25).

2.2 Desafíos regulatorios en la adopción de IA en la atención médica

Las nuevas soluciones médicas basadas en IA se enfrentan a diversas dificultades durante el proceso de autorización regulatoria, que es lento y complejo. La adopción y la innovación en el sector sanitario podrían verse obstaculizadas por innovaciones que persisten durante años en este proceso, tal como se ha visto en métodos de telesalud, por ejemplo (26,27). La adopción se complica aún más por la incertidumbre en torno a la responsabilidad en caso de fallos en estos sistemas. Parece lógico que los profesionales sanitarios duden en adoptar nuevas tecnologías de IA ante la ausencia de estándares de responsabilidad definidos (26,28). La recopilación y el intercambio eficientes de los datos médicos necesarios para el entrenamiento de modelos de IA se ven limitados por leyes de privacidad como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD). El desarrollo y la mejora de las soluciones sanitarias basadas en IA se obstaculizan ante la creciente preocupación por la privacidad, que restringe el acceso a los datos reales de los pacientes (26,28).

Al mismo tiempo, la ambigüedad regulatoria se ve incrementada por la falta de leyes precisas que se adapten a las dificultades particulares que presenta la IA en la atención médica. Determinar criterios legales exactos para nociones abstractas de IA sigue siendo una tarea difícil, y los marcos existentes no fueron hechos para manejar el rápido desarrollo de esta innovadora tecnología (26,28). La diferencia entre algoritmos bloqueados y adaptativos hace que el control regulatorio sea mucho más difícil para determinar cuándo las modificaciones a los algoritmos de IA requieren reautorización y reevaluación. La urgencia intrínseca de la IA para aprender y cambiar con el tiempo crea un enigma regulatorio, incluso si los algoritmos bloqueados proporcionan una medida más simple (29). Otra dificultad importante es abordar los prejuicios en los sistemas. En tal sentido, es necesario asegurarse de que los mismos se entrenen en conjuntos de datos representativos y de alta calidad para reducir sesgos y resultados discriminatorios.

Este problema se agrava, sin embargo, por la falta de normativas para el uso de datos de entrenamiento (29), ya que, los obstáculos surgen de la opacidad de los procesos de toma de decisiones de IA. Para generar confianza en los consumidores, es necesario establecer la explicabilidad y la transparencia. Sin embargo, aún es bastante difícil lograr esto respetando las

restricciones regulatorias (26,28). En conclusión, superar estos obstáculos legislativos es esencial para maximizar el potencial de la IA en la atención médica, manteniendo al mismo tiempo la seguridad, la privacidad y la equidad del paciente.

2.3 Preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de los datos

La protección de datos de salud sensibles en las consultas oftalmológicas basadas en IA requiere sólidos procedimientos de gobernanza de estos. Para reducir los riesgos de acceso no deseado, filtraciones y posibles abusos, se deben seguir estrictamente las estrategias de cifrado, restricción de acceso y anonimización (30); lo que implica que las organizaciones sanitarias deben realizar monitoreo, auditorías y verificaciones de cumplimiento continuos. Estas iniciativas promueven la confianza en las consultas de salud basadas en IA al garantizar el cumplimiento de las normas y leyes establecidas (30).

El uso ético de los datos de pacientes para aplicaciones de IA en oftalmología se basa en los principios fundamentales de transparencia y autorización informada. Los profesionales clínicos e investigadores deben priorizar la educación del paciente, garantizando una comprensión integral y el consentimiento informado en relación con la recopilación, el almacenamiento y el uso de sus datos de salud.

Esta estrategia genera confianza y fomenta el comportamiento ético al empoderar a los pacientes para que tomen decisiones informadas sobre su participación en proyectos impulsados por IA (30). Es crucial lograr un equilibrio entre los derechos de privacidad del paciente y la necesidad de intercambio de datos para desarrollar sistemas de IA. Desde la recopilación hasta la eliminación, los marcos éticos deben supervisar todo el ciclo de vida de los datos, garantizando el cumplimiento de las leyes de privacidad y promoviendo procedimientos adecuados para su intercambio. Las organizaciones sanitarias pueden proteger la privacidad del paciente y promover la innovación y la cooperación al encontrar este equilibrio (30).

Para promover la aceptación e implementación de los sistemas de IA en oftalmología, es imperativo abordar las cuestiones relacionadas con la responsabilidad médica. Es crucial defender los preceptos morales de transparencia, responsabilidad y atención centrada en el paciente. Esto garantiza que el uso de IA en oftalmología respete y proteja sus derechos de privacidad, a la vez que utiliza innovaciones basadas en datos para mejorar los resultados clínicos y la calidad de la atención (30,31). De esta forma, los profesionales sanitarios pueden desenvolverse con éxito en el complejo panorama de la atención médica basada en IA, priorizando la seguridad y el bienestar del paciente mediante la adopción de medidas preventivas y el cumplimiento de las normas éticas.

— CONCLUSIÓN

Si bien la IA tiene un gran potencial para revolucionar la oftalmología, integrarla en la práctica clínica no siempre es fácil. Aún existen diversos problemas, como los prejuicios, la preocupación por la privacidad de los datos, la inconsistencia en los procesos de validación y el

peligro de depender excesivamente de sistemas automatizados. Pese a que la IA ayuda a reducir la dependencia de conjuntos de datos reales, el creciente uso de imágenes sintéticas puede restringir la exposición del modelo a las complejidades de los resultados clínicos del mundo real, lo que plantea dudas sobre su generalización. Estos problemas demuestran la urgencia de establecer marcos éticos y regulatorios sólidos. En tal sentido, para garantizar que las tecnologías de IA no solo sean eficaces, sino también seguras, transparentes y equitativas para todos los pacientes, los desarrolladores, los reguladores, los médicos y los responsables políticos deben colaborar estrechamente durante su implementación responsable.

— REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*. [Internet] 2006 [consultado 2025 mayo 12]; 27(4):12. Disponible en: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
2. Bali J, Garg R, Bali RT. Artificial intelligence (AI) in healthcare and biomedical research: Why a strong computational/AI bioethics framework is required? *Indian journal of ophthalmology*. [Internet] 2019 [consultado 2025 mayo 12]; 67(1):3-6. Disponible en: https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1292_18
3. Tham YC, Goh JHL, Anees A, Lei X, Rim TH, Chee ML, et al. Detecting visually significant cataract using retinal photograph-based deep learning. *Nature Aging*. [Internet] 2022 [consultado 2025 mayo 12]; 2:264-271. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s43587-022-00171-6>
4. Hemelings R, Elen B, Barbosa-Breda J, Blaschko MB, De Boever P, Stalmans I. Deep learning on fundus images detects glaucoma beyond the optic disc. *Scientific Reports*. [Internet] 2021 [consultado 2025 mayo 12]; 11(1):e20313. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99605-1>
5. Ting DSW, Cheung CYL, Lim G, Tan GSW, Quang ND, Gan A, et al. Development and validation of a deep learning system for diabetic retinopathy and related eye diseases using retinal images from multiethnic populations with diabetes. *Jama*. [Internet] 2017 [consultado 2025 mayo 12]; 318(22):2211-2223. Disponible en: <https://doi.org/10.1001/jama.2017.18152>
6. Ting DSJ, Foo VH, Yang LWY, Sia JT, Ang M, Lin H, et al. Artificial intelligence for anterior segment diseases: Emerging applications in ophthalmology. *British Journal of Ophthalmology*. [Internet] 2021 [consultado 2025 mayo 12]; 105(2):158-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-315651>
7. Keenan TD, Chen Q, Agrón E, Tham YC, Goh JHL, Lei X, et al. DeepLensNet: deep learning automated diagnosis and quantitative classification of cataract type and severity. *Ophthalmology*. [Internet] 2022 [consultado 2025 mayo 12]; 129(5):571-584. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.12.017>
8. Li Z, Jiang J, Chen K, Chen Q, Zheng Q, Liu X, et al. Preventing corneal blindness caused by keratitis using artificial intelligence. *Nature communications*. [Internet] 2021 [consultado 2025 mayo 12]; 12(1):1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24116-6>
9. Li Z, Guo C, Lin D, Nie D, Zhu Y, Chen C, et al. Deep learning for automated glaucomatous optic neuropathy detection from ultra-widefield fundus images. *British Journal of*

- Ophthalmology. [Internet] 2021 [consultado 2025 mayo 12]; 105(11):1548-1554. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-317327>
10. Xie Y, Gunasekeran DV, Balaskas K, Keane PA, Sim DA, Bachmann LM, et al. Health economic and safety considerations for artificial intelligence applications in diabetic retinopathy screening. *Translational vision science & technology*. [Internet] 2020 [consultado 2025 mayo 28]; 9(2):e22. Disponible en: <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.22>
 11. Cen LP, Ji J, Lin JW, Ju ST, Lin HJ, Li TP, et al. Automatic detection of 39 fundus diseases and conditions in retinal photographs using deep neural networks. *Nature communications*. [Internet] 2021 [consultado 2025 mayo 28]; 12(1):e4828. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25138-w>
 12. Kras A, Celi LA, Miller JB. Accelerating ophthalmic artificial intelligence research: the role of an open access data repository. *Current Opinion in Ophthalmology*. [Internet] 2020 [consultado 2025 mayo 28]; 31(5):337-350. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000678>
 13. Savastano MC, Rizzo C, Fossataro C, Bacherini D, Giansanti F, Savastano A, et al. Artificial intelligence in ophthalmology: Progress, challenges, and ethical implications. *Progress in Retinal and Eye Research*. [Internet] 2025 [consultado 2025 mayo 28]; 107:e101374. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2025.101374>
 14. Swaminathan U, Daigavane S. Unveiling the Potential: A Comprehensive Review of Artificial Intelligence Applications in Ophthalmology and Future Prospects. *Cureus*. [Internet] 2024 [consultado 2025 mayo 28]; 16(6):e61826. Disponible en: <https://doi.org/10.7759/cureus.61826>
 15. Wang X, Yang J, Zhou B, Tang L, Liang Y. Integrating Mixed Reality, augmented reality, and artificial intelligence in complex liver surgeries: Enhancing precision, safety, and outcomes. *iLIVER*. [Internet] 2025 [consultado 2025 mayo 28]; 4(2):e100167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iliver.2025.100167>
 16. Riddle EW, Kewalramani D, Narayan M, Jones DB. Surgical simulation: virtual reality to artificial intelligence. *Current Problems in Surgery*. [Internet] 2024 [consultado 2025 mayo 28]; 61(11):e101625. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cpsurg.2024.101625>
 17. Lindegger DJ, Wawrzynski J, Saleh GM. Evolution and Applications of Artificial Intelligence to Cataract Surgery. *Ophthalmology Science*. [Internet] 2022 [consultado 2025 mayo 28]; 2(3):e100164. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xops.2022.100164>
 18. Tan TF, Li Y, Lim JS, Gunasekeran DV, Teo ZL, Ng WY, et al. Metaverse and Virtual Health Care in Ophthalmology: Opportunities and challenges. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*. [Internet] 2022 [consultado 2025 mayo 28]; 11(3):237-246. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000537>
 19. Tan TF, Chang SYH, Ting DSW. Deep learning for precision medicine: guiding laser therapy in ischemic retinal diseases. *Cell Reports Medicine*. [Internet] 2023 [consultado 2025 mayo 28]; 4(10): e101239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2023.101239>
 20. Glassman AR, Elmasry MA, Baskin DE, Brigell M, Chong V, Davis Q, et al. Visual function measurements in eyes with diabetic retinopathy: an expert opinion on available measures. *Ophthalmology Science*. [Internet] 2024 [consultado 2025 mayo 31]; 4(5):e100519. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xops.2024.100519>

21. Wang MH. Integrating Artificial Intelligence and Precision Therapeutics for Advancing the Diagnosis and Treatment of Age-Related Macular Degeneration. *Bioengineering*. [Internet] 2025 [consultado 2025 mayo 31]; 12(5):e548. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/bioengineering12050548>
22. Pandey SK, Sharma V. Robotics and ophthalmology: Are we there yet? *Indian Journal of Ophthalmology*. [Internet] 2019 [consultado 2025 mayo 31]; 67(7):988-994. Disponible en: https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1131_18
23. de Smet MD, Naus GJL, Faridpooya K, Mura M. Robotic-assisted surgery in ophthalmology. *Current Opinion in Ophthalmology*. [Internet] 2018 [consultado 2025 mayo 31]; 29(3):248-253. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000476>
24. Karimian G, Petelos E, Evers SMAA. The ethical issues of the application of artificial intelligence in healthcare: a systematic scoping review. *AI and Ethics*. [Internet] 2022 [consultado 2025 mayo 31]; 2:539-551. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00131-7>
25. MacIntyre MR, Cockerill RG, Mirza OF, Appel JM. Ethical considerations for the use of artificial intelligence in medical decision-making capacity assessments. *Psychiatry research*. [Internet] 2023 [consultado 2025 mayo 31]; 328:e115466. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2023.115466>
26. Slijpen S, Kop M, Cohen IG. EU and US Regulatory Challenges Facing AI Health Care Innovator Firms. The Petrie-Flom Center. [Internet] 2024. [consultado 2025 mayo 31]. Disponible en: <https://petrieflom.law.harvard.edu/2024/04/04/eu-and-us-regulatory-challenges-facing-ai-health-care-innovator-firms/>
27. Di Lorenzo-Cammarata GV, Belandria-Balestrini AJ, Cammarata-Scalisi F. Telehealth and its global application pre to post COVID-19 pandemic. *Latin American Journal of Telehealth*. [Internet] 2021 [consultado 2025 mayo 31]; 8(1):69-86. Disponible en: [https://doi.org/10.32443/2175-2990\(2021\)384](https://doi.org/10.32443/2175-2990(2021)384)
28. Cruz Valiño AB. Inteligencia artificial y productos sanitarios: evaluación ética y biojurídica. *European Public & Social Innovation Review*. [Internet] 2024 [consultado 2025 mayo 31]; 9:1-20. Disponible en: <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-896>
29. Llamas JZ, Mendoza OA, Graff M. Enfoques regulatorios para la inteligencia artificial (IA). *Revista Chilena de Derecho*. [Internet] 2022 [consultado 2025 mayo 31]; 49(3):31-62. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.7764/r.493.2>
30. Cestonaro C, Delicati A, Marcante B, Caenazzo L, Tozzo P. Defining medical liability when artificial intelligence is applied on diagnostic algorithms: a systematic review. *Frontiers in Medicine*. [Internet] 2023 [consultado 2025 mayo 31]; 10:e1305756. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1305756>
31. Thakur S, Rim TH, Ting DS, Hsieh YT, Kim TI. Editorial: Big data and artificial intelligence in ophthalmology. *Frontiers in Medicine*. [Internet] 2023 [consultado 2025 mayo 31]; 10:e1145522. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1145522>