



Actualización en inteligencia artificial y oftalmología

Update in artificial intelligence and ophthalmology

Arturo Iván Pérez Pacheco,* Yissandra Martínez Serrano[‡]

Citar como: Pérez PAI, Martínez SY. Actualización en inteligencia artificial y oftalmología. Acta Med GA. 2024; 22 (2): 134-140. <https://dx.doi.org/10.35366/115287>

Resumen

La inteligencia artificial (IA) es una aliada estratégica para crear las condiciones necesarias para el máximo rendimiento académico, profesional y laboral en cualquier sector implicado, como en oftalmología cuyo objetivo es dotar al médico de las herramientas y capacidades que superan su propia naturaleza, mediante la aplicación de sistemas precisos y sencillos, con el uso de las ciencias informáticas. La capacidad de aportar información a partir de una única consulta, sabiendo que el paciente tiene difícil acceso a los sistemas de salud visual o el alto costo de ellos, permite en una sola sesión determinar si es candidato a más de un proceder. Una aplicación más es la facilidad para determinar del evento encontrado una urgencia o una situación propia de la cronicidad, lo que ha permitido hacer de una imagen el desenlace favorecedor en países de la Unión Europea donde esto opera de manera regular. Actualmente, la legalidad de la IA es un punto que discutir y profundizar, toda vez que la parte ética, regulatoria, privacidad y propiedad intelectual, dejan en manos de muchos, responsabilidades compartidas, las cuales, en el momento crítico de tomar una decisión equivocada, pesa sobre aquellos que directamente tuvieron inherencia en la misma y no en la parte técnica consultada.

Palabras clave: inteligencia artificial, oftalmología, diagnóstico, ética, cirugía.

Abstract

The artificial intelligence (AI) is a strategic ally to create the necessary conditions for maximum academic, professional and work performance in any sector involved, such as in Ophthalmology, whose objective is to provide doctors with the tools and capabilities that exceed his or her own nature. Through the application of precise and simple systems, with the use of computer sciences. The ability to provide information from a single consultation, knowing that the patient has difficult access to visual health systems or their high costs, allows in a single session to determine if they are a candidate for more than one procedure. Another applications are the ones which determining an emergency or a situation typical of chronicity from the acute event found, which has made it possible to make an image, the favorable outcome in countries of the European Union where this operates on a regular basis. Currently, the legality of AI is a point to discuss and deepen, since the ethical, regulatory, privacy and intellectual property part, leave shared responsibilities in the hands of many, which, at the critical moment of making a wrong decision, weighs on those who directly had an influence on it and not on the technical part consulted.

Keywords: artificial intelligence, ophthalmology, diagnosis, ethics, surgery.

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) es una aliada estratégica para crear las condiciones necesarias para el máximo rendimiento académico, profesional y laboral en cualquier sector implicado; tal es el caso de la aplicación en oftalmología cuyo ob-

jetivo es dotar al médico de las herramientas y capacidades que superan su propia naturaleza, mediante la aplicación de sistemas precisos y sencillos, con el uso de las ciencias informáticas. La construcción de un sistema de IA cuenta con un carácter independiente e inteligente, dotándoles de autonomía y con esto producir nueva información a interpretar.

* Especialista en Oftalmología. Departamento de Investigación. ORCID: 0000-0002-1150-1463

[‡] Especialista en Oftalmología. ORCID: 0009-0008-1964-0055

Centro Oftalmológico, Hospital General Docente "Dr. Enrique Cabrera". Habana, Cuba.

Correspondencia:

Arturo Iván Pérez Pacheco
Correo electrónico:
arturo.perez.pacheco473@gmail.com

Aceptado: 13-10-2023.



Dentro de ella, la más popular o de mayor impacto en la oftalmología es “*machine learning*”, la cual, mediante el uso de algoritmos, provee una herramienta de gran impacto, ya que tiene la capacidad de aprender conforme su base de datos es alimentada. Este sistema de simulación de inteligencia humana fue descrito desde el año 1970 para las ciencias de la salud; sin embargo, desde su creación en 1956 ya tenía popularidad y ganaba adeptos; siempre con el fin último de incrementar la certeza en el diagnóstico, tamizaje y, con ello, estadificar un pronóstico más sensible y específico.¹

La creación de este sistema es mediante pequeños comandos informáticos individuales que, al juntarse, crean estructuras más complejas. En palabras sencillas, son las letras de un abecedario que al juntarse con orden y precisión forman palabras; éstas a su vez oraciones y, en consecuencia, ideas completas como señalan en su ejemplo Grayson y colaboradores.¹ Estas variables pueden ser desde ojos, hasta elementos complejos como moléculas, células o elementos infinitos indivisibles. En el ejemplo de la *Figura 1*,¹ se representa a la variable de edad como la base indivisible a partir o primer orden de neuronas o ideas, desde ahí se crean lo que en oftalmología es conocido como una red neuronal de algoritmo.

La sucesión subsecuente de ideas se entrelaza para formar una segunda variable, expresada como segunda neurona, la que a su vez se vuelve a dividir en una ter-

cera neurona, la sumatoria o resta de un valor es dada su asociación o no, formando así un resultado con mayor probabilidad de suceder que el otro. En palabras simples, si el paciente sería beneficiado de ser intervenido quirúrgicamente o no (rojo o verde) respectivamente, aplicación de una inyección intravítrea o no, así como el correcto estadio de una enfermedad y, con esto, su correcta aproximación a la aplicación terapéutica consecuente.¹

Los aprendizajes internos son constructos “escondidos” antes de ejecutar una respuesta, lo que en una persona ordinaria representaría los pensamientos, antes de tomar una decisión podemos juzgar la decisión tomada, por lo que se decide, pero no podemos observar internamente qué lo llevó a decidir eso.

Es importante destacar que existen diferentes tipos de *machine learning*, como lo son aprendizajes supervisados, aprendizajes no supervisados y aprendizajes de refuerzo, de acuerdo con la naturaleza de los datos, todos ellos en función de la necesidad y actividad económica, en salud o área de desempeño a ejecutar.

MÁS ALLÁ DE UNA IMAGEN

La capacidad de aportar información a partir de una única consulta, sabiendo que el paciente tiene difícil acceso a los

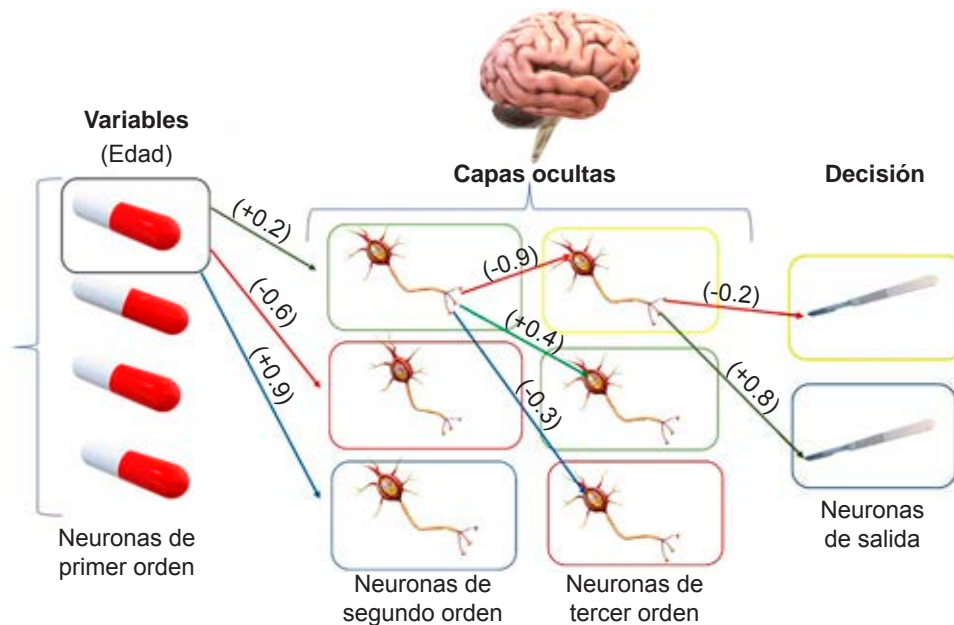


Figura 1: Las variables a analizar, por ejemplo, la edad, permite establecer asociaciones directas y su posibilidad de que este evento ocurra y se repita de manera sostenida ante las mismas condiciones. Por ende, mientras mayor sea la asociación presentada entre dos eventos, la sumatoria altamente probable es cercana a la unidad (1.0), mientras menos sea posible en 0.1, con mayor magnitud representados los eventos en color verde/positivos y rojos/negativos. La inteligencia artificial resuelve este algoritmo de manera interna al proveedor de la información inicial y arroja, como resultado, una decisión final basada en todas las condiciones ingresadas.¹

sistemas de salud visual o el alto costo de ellos, permiten en una sola sesión determinar si es candidato a más de un proceder. Para la neoplasia ocular como el melanoma corioideo, la enucleación así como su capacidad de metástasis requieren equipo y personal especializado; sin embargo, gracias a la IA, en una imagen de fondo de ojo bajo dilatación, la predicción de mortalidad de un subespecialista en el área es determinable solamente hasta 69.9% de los casos, con las nuevas tecnologías de imagen y la IA la precisión se acerca a 84% de pronosticar fatalidad por esta condición a cinco años, es decir, de medir la expectativa de vida a partir de una sola impronta.²⁻⁸

La telemedicina se abre paso para hacer de este recurso una inversión a largo plazo, pues ante la escasez de personal o la alta especialización requerida, se vuelve inaccesible para muchos poder documentar de manera objetiva su enfermedad. Los trabajos desarrollados en esta área específica comenzaron en patologías del segmento posterior, a través del fondo del ojo; sin embargo, hoy en día no sólo limitadas a ello. Por otro lado, es la carencia en la documentación imagenológica del segmento anterior y otras entidades como glaucoma, catarata o retinopatía del prematuro (ROP), que hacen posible la creación de un programa de tamizaje neonatal con fines no sólo preventivos, sino también curativos, por concepto de ceguera infantil.⁹⁻¹⁵

Una aplicación más es la facilidad para determinar del evento encontrado una urgencia o una situación propia de la cronicidad, lo que ha permitido hacer de una imagen el desenlace favorecedor en países de la Unión Europea, donde esto opera de manera regular. Una mirada cercana, donde las consultas son interminables o inagotables, con un sistema de "triaje" o clasificación tan efectivo y sencillo permite también obtener en indicadores de calidad, un alto mérito a la ejecución adecuada en tiempo y forma, partida de un correcto momento de intervención a la hora de llegar a un sistema de salud público.¹⁶

IA EN PANDEMIA

Sin duda alguna, un momento crítico para este siglo fue el tenerse que aislar y trabajar a distancia, lo que para algunos significó un problema; para otros, un reto donde el aprendizaje a distancia, telemedicina y educación extraaula se volvieron áreas de oportunidad. Gracias a este momento, hoy se puede concluir que muchos de los que se graduaron o culminaron algún estudio de postgrado lo hicieron gracias a la IA, ya sea a través de la realidad virtual u otros, sin demeritar con ello su calidad o experticia a la hora de ejecutar una situación determinada.

Desde el inicio en 1948, con la televisión monocromática, la primera cirugía a cargo de Harold Ridley, precursor

de la lente intraocular, ya se destacaba el papel importante que jugaba el documentar las cirugías mediante algún dispositivo de video, y con ello la oportunidad de detener, analizar y evaluar cada paso de la cirugía.

La IA en ambientes laborales y controlados, desde su concepción hasta la actual, aplican hoy por hoy, a través de *software* de alta capacidad, con la medición de micras para evaluar cada paso de la cirugía, como ofrece el programa de HelpMeSee® internacional, así como otros programas de entrenamiento para el máximo desempeño de los jóvenes residentes y aprendices de oftalmología. A su vez, otros dispositivos como el sistema ORA®, el sistema VERION® de Alcon y el sistema CALLISTO® (Zeiss) (Tabla 1), permiten la vanguardia tecnológica en materia de cirugía, lentes tóricas y avances tecnológicos en tiempo real para garantizar al paciente el mejor resultado visual.¹⁶⁻²⁰

IA APLICADA AL SEGMENTO ANTERIOR

Otras aristas que no escapan a esta vanguardia tecnológica del saber son la subespecialidad de córnea y cirugía refractiva. Entre los programas diseñados para el diagnóstico y detección de progresión de queratocono, se encuentra la topografía corneal, la predicción de resultados refractivos a nivel no sólo del endotelio sino permitiendo detalles finos o defectos intraestromales; se agrega el cálculo del riesgo de desarrollo de ectasias postcirugía corneal refractiva o diagnóstico de queratitis fúngicas altamente sensibles y más allá de los modelos hoy empleados como el Belin Ambrosio Display (BAD)®.

En la actualidad, la Unidad de Superficie e Inflamación Ocular del Servicio de Retina del Hospital San Carlos en España ha empleado Uvemaster®; esta tecnología es un Sistema de Ayuda a la Decisión Diagnóstica (también llamado o conocido por sus siglas DDSS) que, específicamente en oftalmología, ha servido para abordar eficazmente el diagnóstico preciso y tratamiento de una de las entidades más complejas y multidisciplinarias, la uveítis. Este equipo consta de una amplia base de información, la cual ayuda a procesar los datos obtenidos del paciente con dicha tecnología y consecuentemente emitir un diagnóstico conciso, sin necesidad de ser el experto en el área (Tabla 1).²¹⁻²⁶

IA AL SERVICIO DE RETINA

El advenimiento de tecnología como la tomografía de coherencia óptica (OCT), la resolución de imágenes de alta fidelidad y la capacidad de obtener diagnósticos certeros en cuestión de minutos, es completamente atractivo para patologías como: edema macular, edema macular asociado a la edad, desprendimiento de retina, glaucoma y patologías corneales (Tabla 1).

Una de las entidades que más afecta o amenaza la visión son aquellas de afección macular, donde cualquier acúmulo de líquido, de origen inflamatorio, vasculopatía o proceso degenerativo, compromete la visión. Una de las particularidades de estas patologías es que, mediante la examinación de fondo de ojo, muchas veces no queda de manera resolutive la entidad a tratar, por ello que el apoyo de imágenes como lo es OCT permite una dilucidación más pertinaz.²⁷⁻²⁹

Los que más reportan hoy en día acerca de edema macular son los centros oftalmológicos de Singapur, los cuales señalan que es la diabetes el elemento número uno a descartar como patología desencadenante. Su aporte al mundo de la retinopatía, en su estudio de 32 OCT, permitió concluir que las imágenes proveen hasta 87.5% de sensibilidad para la patología antes descrita, con 16 casos de control previamente analizados, y especificidad también altamente representativa de 87.5%.³⁰⁻³³

Los diseños de *software* que emplea el sistema de OCT permiten aportar información, no sólo en el caso de diabetes como se documentó en las series asiáticas, sino también de enfermedades como glaucoma, mediante el diseño de algoritmos capaces de detectar la pérdida de capa de fibras nerviosas, antes de ser clínicamente manifiestas. Además, se han diseñado programas más allá de la campimetría periférica automatizada, los cuales también tienen la capacidad de detectar defectos en el campo visual y, por ende, facilitar el diagnóstico de dicha enfermedad previo al daño estructural irreversible.³⁴⁻³⁹

VANGUARDIA EN CIRUGÍA ROBÓTICA Y OFTALMOLOGÍA

Los robots, en cualquier área donde se han probado, no solamente médica, han demostrado y permitido crear una precisión asombrosa, sobre todo más allá del control humano, donde se realizan incisiones o movimientos de precisión cercanos a 1 mm de espacio quirúrgico a trabajar. No es menos cierto que la oftalmología, a diferencia de otros campos del saber, requiere una precisión meticulosa y un nivel de detalle exquisito, por ende, que estos aparatos y maquinarias, implementados por las compañías como Mechatronics®, han revolucionado las más altas exigencias en el ámbito de salud visual (*Figura 2*).⁴⁰

El temblor en reposo, las alteraciones propias del clima artificial, el exceso de café u otros factores propios del ámbito humano, son contrarrestados por la maquinaria inteligente y altamente sensible que poseen estos aparatos, que a su vez dotan de estereopsis y profundidad magnífica por encima de los microscopios convencionales de cirugía. Por otro lado, la posibilidad de intervenir a un paciente vía remota es una realidad que, hoy por hoy, permite al cirujano experto del otro lado del mundo, resolver complicaciones o ser el titular de una intervención donde físicamente quizá no pudiera estar. Estos sistemas se vuelven importantes, ya que promueven una medicina estandarizada y, por esto, validada por certificaciones alrededor del mundo.⁴⁰

Aunado a ello, la capacidad de los especialistas en formación, para poder entrenar en ambientes controlados y

Tabla 1: Sistemas de inteligencia artificial (IA) de acuerdo con sus programas, herramientas y su respectiva aplicación.

Sistemas de IA	
Programas y herramientas	Aplicación
HelpMeSee®	Simulación en cirugía manual de cataratas de pequeña incisión
Sistema ORA®	Sistema guiado intraoperatorio e intraocular que proporciona medidas para mejorar la precisión en el implante de lentes intraoculares
Sistema VERION®	Dispositivo de planeador preoperatorio para la medición, número y ubicación de las incisiones corneales para la colocación de la lente intraocular apropiada
Sistema CALLISTO®	Cirugía de cataratas asistida por ordenador para omitir el marcado manual y conseguir un alineamiento de lentes intraoculares tóricas de manera eficaz y precisa con menor astigmatismo residual
Belin Ambrosio Display (BAD)®	Índice que evalúa parámetros tomográficos con reporte en términos de desviación estándar y análisis de regresión para maximizar las diferencias entre una córnea normal de aquellas con queratocono
Sistema Uvemaster®	Sistema destinado al cribado diagnóstico de las uveítis para su fácil diagnóstico y preciso tratamiento
Tomografía de coherencia óptica (OCT)	Herramienta diagnóstica de imagen no invasiva para el control y seguimiento de la patología en córnea, retina y el nervio óptico



Figura 2: Mechatronics® en su dispositivo de precisión de cirugía robótica para oftalmología.⁴⁰

bajo simulaciones de escenarios críticos, permite desarrollar mejores herramientas de precisión para ejecutar posteriormente en un escenario real, consiguiendo así una curva de aprendizaje más amplia y en menor tiempo.⁴¹⁻⁴³

La teoría de la IA se concibe como un todo de acuerdo al elemento a analizar, y por ello que es considerada hoy por hoy como el cuarto momento histórico de la revolución tecnológica, partiendo de que la IA es demostrada por la capacidad de inteligencia de las propias máquinas, seguido de “*machine learning*”, la cual aprende de la información previamente proporcionada, sin necesidad de antes ser programada de manera explícita; posteriormente, en una capa más interna, se obtiene la alimentación de grupos de algoritmos donde se sustenta la base de datos de la cual parte el sistema; finalmente, el “*deep learning*” conjunta todas esas capas, como un sistema nervioso central humano, que provee un “sistema neuronal artificial de conexiones”, el cual no es cognoscible para los humanos y que es generado por las propias máquinas (Figura 3).⁴¹

LOS ASPECTOS LEGALES DE IA

Actualmente, la legalidad de la IA es un punto a discutir y profundizar, toda vez que la parte ética, regulatoria, privacidad y propiedad intelectual, dejan, en manos de muchos, responsabilidades compartidas; las cuales, en el momento crítico de tomar una decisión equivocada, pesan sobre aquellos que directamente tuvieron inherencia en la misma y no en la parte técnica consultada.⁴²

La Organización Mundial de la Salud (OMS) cuenta con seis aspectos básicos identificados para analizar en materia de IA y ética, tales elementos son: 1) proteger la autonomía humana, 2) promover la seguridad y el correcto desarrollo humano en materia de salud pública, 3) transparencia, inteligibilidad y explicabilidad, 4) responsabilidad, 5) inclusividad y equidad, 6) promover la IA sustentable y receptiva.^{43,44}

Otro elemento a considerar es que la ética médica, conocida por ser la disciplina que rige al médico en su profesión, se pone en tela de juicio, toda vez que es cuestionable cuando se hace uso de la tecnología para la aplicación en las áreas de salud. La presencia de la IA en situaciones en las cuales la capacidad de cálculo de los equipos es mucho más ágil y eficaz que la humana, implica una considerable ventaja para la sociedad. Por otro lado, hay aspectos imperceptibles para la tecnología o en los que el reconocimiento inteligente no es precisamente finito, propiciando así el error humano, tal es el caso de las patologías fuera de la presentación típica.^{45,46}

CONCLUSIONES

Los programas implementados en oftalmología con IA permiten un mejor uso del capital humano, disminución del costo en salud pública y programas de diagnóstico y tratamiento. Actualmente, posibilitan ponderar en una sola consulta el riesgo de intervención quirúrgica sobre el no hacerlo, así como identificar de manera objetiva un estadio de alguna patología y, con esto, actuar a tiempo para evitar la ceguera. El tamizaje visual neonatal y la posibilidad de no pasar por alto pacientes de alto riesgo o de lesiones imperceptibles a simple vista, hacen de la IA una diferencia sustancial en la salud visual para el resto de la vida. Los proyectos futuros en IA versan con respecto a la posibilidad de crear asistentes electrónicos virtuales capaces de consultar en tiempo real al paciente y definir una conducta terapéutica precisa en momentos de urgencia.

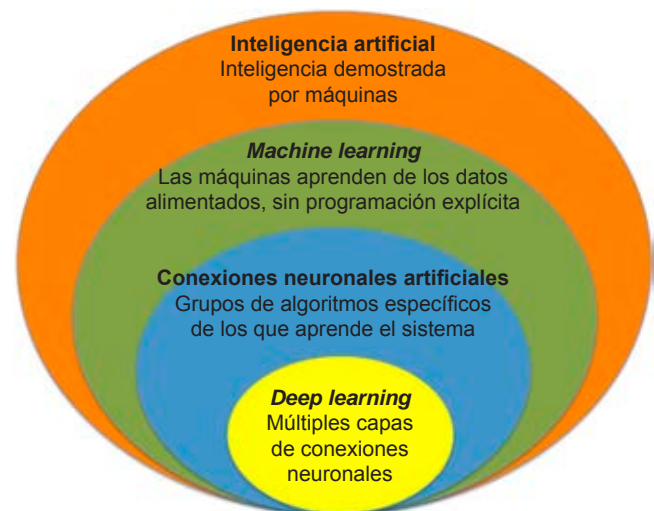


Figura 3: La teoría de la inteligencia artificial se concibe como un todo de acuerdo al elemento a analizar, y por ello que es considerado hoy por hoy como el cuarto momento histórico de la revolución tecnológica.⁴¹

Por otro lado, las áreas de oportunidad en IA corresponden a la legalización formal de las mismas y distinguir entre la responsabilidad ética humana y de las ejecuciones propias de las máquinas. La capacidad de decisión es humana, la capacidad de una correcta intervención en tiempo y forma es producto de la inteligencia artificial.

REFERENCIAS

1. Armstrong GW, Lorch AC. A(eye): a review of current applications of artificial intelligence and machine learning in ophthalmology. *Int Ophthalmol Clin*. 2020; 60 (1): 57-71. doi: 10.1097/IIO.0000000000000298.
2. Ting DSJ, Foo VH, Yang LWY, Sia JT, Ang M, Lin H et al. Artificial intelligence for anterior segment diseases: Emerging applications in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2021; 105 (2): 158-168. doi: 10.1136/bjophthalmol-2019-315651.
3. Martins TGDS, Schor P, Mendes LGA, Fowler S, Silva R. Use of artificial intelligence in ophthalmology: a narrative review. *Sao Paulo Med J*. 2022; 140 (6): 837-845. doi: 10.1590/1516-3180.2021.0713.R1.22022022.
4. Boudry C, Al Hajj H, Arnould L, Mouriaux F. Analysis of international publication trends in artificial intelligence in ophthalmology. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2022; 260 (5): 1779-1788. doi: 10.1007/s00417-021-05511-7.
5. Kapoor R, Whigham BT, Al-Aswad LA. Artificial intelligence and optical coherence tomography imaging. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2019; 8 (2): 187-194.
6. Huelin JF. Inteligencia artificial y sus aplicaciones diagnósticas en Oftalmología. *Boletín de la Sociedad Oftalmológica de Madrid*. 2021; 61. Disponible en: <https://sociooftalmologicademadrid.com/revistas/revista-2021/m2021-08.4.pdf>
7. Dutt S, Sivaraman A, Savoy F, Rajalakshmi R. Insights into the growing popularity of artificial intelligence in ophthalmology. *Indian J Ophthalmol*. 2020; 68 (7): 1339-1346. doi: 10.4103/ijo.IJO_1754_19.
8. Ting DSW, Peng L, Varadarajan AV, Keane PA, Burlina PM, Chiang MF et al. Deep learning in ophthalmology: The technical and clinical considerations. *Prog Retin Eye Res*. 2019; 72: 100759. doi: 10.1016/j.preteyeres.2019.04.003.
9. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, Campbell JP, Lee AY, Raman R et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2019; 103 (2): 167-175. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313173.
10. Jheng YC, Kao CL, Yarmishyn AA, Chou YB, Hsu CC, Lin TC et al. The era of artificial intelligence-based individualized telemedicine is coming. *J Chin Med Assoc*. 2020; 83 (11): 981-983. doi: 10.1097/JCMA.0000000000000374.
11. Tan Z, Scheetz J, He M. Artificial intelligence in ophthalmology: accuracy, challenges, and clinical application. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2019; 8 (3): 197-199. doi: 10.22608/APO.2019122.
12. Kapoor R, Walters SP, Al-Aswad LA. The current state of artificial intelligence in ophthalmology. *Surv Ophthalmol*. 2019; 64 (2): 233-240. doi: 10.1016/j.survophthal.2018.09.002.
13. Keel S, van Wijngaarden P. The eye in AI: artificial intelligence in ophthalmology. *Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 47 (1): 5-6. doi: 10.1111/ceo.13435.
14. Kulkarni S, Seneviratne N, Baig MS, Khan AHA. Artificial intelligence in medicine: where are we now? *Acad Radiol*. 2020; 27 (1): 62-70. doi: 10.1016/j.acra.2019.10.001.
15. Langner S, Beller E, Streckenbach F. Artificial intelligence and big data. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2020; 237 (12): 1438-1441. doi: 10.1055/a-1303-6482.
16. Bakshi SK, Lin SR, Ting DSW, Chiang MF, Chodosh J. The era of artificial intelligence and virtual reality: transforming surgical education in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2021; 105 (10): 1325-1328. doi: 10.1136/bjophthalmol-2020-316845.
17. Martinez-Perez C, Alvarez-Peregrina C, Villa-Collar C, Sánchez-Tena MA. Artificial intelligence applied to ophthalmology and optometry: A citation network analysis. *J Optom*. 2022; 15 Suppl 1(Suppl 1): S82-S90. doi: 10.1016/j.optom.2022.06.005.
18. Al-Khaled T, Acaba-Berrocal L, Cole E, Ting DSW, Chiang MF, Chan RVP. Digital education in ophthalmology. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2022; 11 (3): 267-272. doi: 10.1097/APO.0000000000000484.
19. Abdullah YI, Schuman JS, Shabsigh R, Caplan A, Al-Aswad LA. Ethics of artificial intelligence in medicine and ophthalmology. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2021; 10 (3): 289-298. doi: 10.1097/APO.0000000000000397.
20. Ting DSW, Al-Aswad LA. Augmented intelligence in ophthalmology: the six rights. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2021; 10 (3): 231-233. doi: 10.1097/APO.0000000000000410.
21. Li JO, Liu H, Ting DSJ, Jeon S, Chan RVP, Kim JE et al. Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective. *Prog Retin Eye Res*. 2021; 82: 100900. doi: 10.1016/j.preteyeres.2020.100900.
22. Ong J, Selvam A, Chhablani J. Artificial intelligence in ophthalmology: Optimization of machine learning for ophthalmic care and research. *Clin Exp Ophthalmol*. 2021; 49 (5): 413-415. doi: 10.1111/ceo.13952.
23. Balyen L, Peto T. Promising artificial intelligence-machine learning-deep learning algorithms in ophthalmology. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2019; 8 (3): 264-272. doi: 10.22608/APO.2018479.
24. Rao C, Raman R. Artificial intelligence applications for Ophthalmology: Current status. *Nepal J Ophthalmol*. 2019; 11 (21): 1-4. doi: 10.3126/nepjoph.v11i1.25409.
25. Benet D, Pellicer-Valero OJ. Artificial intelligence: the unstoppable revolution in ophthalmology. *Surv Ophthalmol*. 2022; 67 (1): 252-270. doi: 10.1016/j.survophthal.2021.03.003.
26. Zarranz-Ventura J, Bernal-Morales C, Saenz de Viteri M, Castro Alonso FJ, Urcola JA. Artificial intelligence and ophthalmology: Current status. *Arch Soc Esp Ophthalmol (Engl Ed)*. 2021; 96 (8): 399-400. doi: 10.1016/j.oftale.2021.06.001.
27. Rampat R, Deshmukh R, Chen X, Ting DSW, Said DG, Dua HS et al. Artificial intelligence in cornea, refractive surgery, and cataract: basic principles, clinical applications, and future directions. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2021; 10 (3): 268-281. doi: 10.1097/APO.0000000000000394.
28. Nakayama LF, Kras A, Ribeiro LZ, Malerbi FK, Mendonca LS, Celi LA et al. Global disparity bias in ophthalmology artificial intelligence applications. *BMJ Health Care Inform*. 2022; 29 (1): e100470. doi: 10.1136/bmjhci-2021-100470.
29. Bali J, Bali O. Artificial intelligence in ophthalmology and healthcare: An updated review of the techniques in use. *Indian J Ophthalmol*. 2021; 69 (1): 8-13. doi: 10.4103/ijo.IJO_1848_19.
30. Keskinbora K, Guven F. Artificial intelligence and ophthalmology. *Turk J Ophthalmol*. 2020; 50 (1): 37-43. doi: 10.4274/tjo.galenos.2020.78989.
31. Tseng RMWW, Tham YC, Rim TH, Cheng CY. Emergence of non-artificial intelligence digital health innovations in ophthalmology: A systematic review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2021; 49 (7): 741-756. doi: 10.1111/ceo.13971.
32. Valikodath NG, Cole E, Ting DSW, Campbell JP, Pasquale LR, Chiang MF et al. Impact of artificial intelligence on medical education in ophthalmology. *Transl Vis Sci Technol*. 2021; 10 (7): 14. doi: 10.1167/tvst.10.7.14.
33. Muro-Fuentes EA, Stunkel L. Diagnostic error in neuro-ophthalmology: avenues to improve. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2022; 22 (4): 243-256. doi: 10.1007/s11910-022-01189-4.

34. Dahrouj M, Miller JB. Artificial intelligence (AI) and retinal optical coherence tomography (OCT). *Semin Ophthalmol*. 2021; 36 (4): 341-345. doi: 10.1080/08820538.2021.1901123.
35. He M, Li Z, Liu C, Shi D, Tan Z. Deployment of artificial intelligence in real-world practice: opportunity and challenge. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020; 9 (4): 299-307. doi: 10.1097/APO.0000000000000301.
36. Cheng CY, Soh ZD, Majithia S, Thakur S, Rim TH, Tham YC et al. Big data in ophthalmology. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020; 9 (4): 291-298. doi: 10.1097/APO.0000000000000304.
37. Gunasekeran DV, Ting DSW, Tan GSW, Wong TY. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening, prediction and management. *Curr Opin Ophthalmol*. 2020; 31 (5): 357-365. doi: 10.1097/ICU.0000000000000693.
38. Wang Z, Lim G, Ng WY, Keane PA, Campbell JP, Tan GSW et al. Generative adversarial networks in ophthalmology: what are these and how can they be used? *Curr Opin Ophthalmol*. 2021; 32 (5): 459-467. doi: 10.1097/ICU.0000000000000794.
39. Gegúndez Fernández JA. Tecnificación versus humanización. La inteligencia artificial al servicio del diagnóstico médico. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2018; 93: e17-e19.
40. Pandey SK, Sharma V. Robotics and ophthalmology: Are we there yet? *Indian J Ophthalmol*. 2019; 67 (7): 988-994. doi: 10.4103/ijo.IJO_1131_18.
41. Scheetz J, He M, van Wijngaarden P. Ophthalmology and the emergence of artificial intelligence. *Med J Aust*. 2021; 214 (4): 155-157.e1. doi: 10.5694/mja2.50932.
42. Honavar SG. Artificial intelligence in ophthalmology - Machines think! *Indian J Ophthalmol*. 2022; 70 (4): 1075-1079. doi: 10.4103/ijo.IJO_644_22.
43. Finger RP. Artificial intelligence in ophthalmology. *Ophthalmologe*. 2020; 117 (10): 963-964. doi: 10.1007/s00347-020-01131-4.
44. Gunasekeran DV, Wong TY. Artificial intelligence in ophthalmology in 2020: a technology on the cusp for translation and implementation. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020; 9 (2): 61-66. doi: 10.1097/01.APO.00000656984.56467.2c.
45. Hallak JA, Scanzera AC, Azar DT, Chan RVP. Artificial intelligence in ophthalmology during COVID-19 and in the post COVID-19 era. *Curr Opin Ophthalmol*. 2020; 31 (5): 447-453. doi: 10.1097/ICU.0000000000000685.
46. Tan TE, Xu X, Wang Z, Liu Y, Ting DSW. Interpretation of artificial intelligence studies for the ophthalmologist. *Curr Opin Ophthalmol*. 2020; 31 (5): 351-356. doi: 10.1097/ICU.0000000000000695.

Conflicto de intereses: ninguno.