

## Impacto de la inteligencia artificial en la enseñanza de la oftalmología

### Impact of Artificial Intelligence in Ophthalmic Education

Daylin Cárdenas Chacón<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-4853-9107>

Iván Hernández López<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5291-8292>

Susana Vilar Salas<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0003-8171-6763>

Isabel Obret Mendive<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3826-0919>

<sup>1</sup>Instituto Cubano de Oftalmología “Ramón Pando Ferrer”. La Habana, Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [daylin.cardenas@infomed.sld.cu](mailto:daylin.cardenas@infomed.sld.cu)

## RESUMEN

**Introducción:** La inteligencia artificial ha revolucionado la educación médica a través de la aplicación de herramientas avanzadas. La oftalmología ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas gracias a los avances en tecnología diagnóstica y terapéutica. Paralelamente, los métodos educativos empleados en la formación de oftalmólogos han evolucionado considerablemente.

**Objetivo:** Identificar el impacto de la aplicación de la inteligencia artificial en el contexto de la formación médica en oftalmología.

**Métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica sistemática en las bases de datos PubMed Central, SciELO, PLoS Medicine, LILACS, Google Académico, Trip Database y Emerald, que abarcó artículos publicados entre 2010 y 2024. Se emplearon combinaciones de los términos “Inteligencia Artificial” con “enseñanza en oftalmología”, “educación en oftalmología”, “entrenamiento en oftalmología” y “simulador Eyesi”. De los 573 artículos encontrados, se seleccionaron ocho estudios relevantes.

**Resultados:** Los estudios seleccionados abarcaron diversas aplicaciones de inteligencia artificial en la enseñanza oftalmológica. Dos estudios emplearon simuladores quirúrgicos con sistemas de tutoría inteligente, lo que evidenció mejoras en el desarrollo de habilidades prácticas. Otros dos estudios utilizaron diagnóstico automatizado asistido por inteligencia artificial, lo que optimizó la adquisición de competencias diagnósticas. Cuatro estudios implementaron aprendizaje adaptativo con sistemas de tutoría inteligente y evaluación por competencias, lo que demostró su efectividad en la personalización de la formación médica.

**Conclusiones:** La inteligencia artificial se ha consolidado como una herramienta transformadora en la educación oftalmológica, al aportar soluciones innovadoras que potencian el desarrollo de competencias prácticas y diagnósticas, así como la personalización del aprendizaje. Su aplicación ofrece nuevas oportunidades para superar limitaciones inherentes a los métodos educativos tradicionales.

**Palabras clave:** inteligencia artificial; educación médica; oftalmología.

## ABSTRACT

**Introduction:** Artificial intelligence has revolutionized medical education through the application of advanced tools. Ophthalmology has experienced significant growth in recent decades thanks to advances in diagnostic and therapeutic technology. At the same time, the educational methods used in the training of ophthalmologists have evolved considerably.

**Objective:** To identify the impact of the application of artificial intelligence in the context of medical training in ophthalmology.

**Methods:** A systematic literature review was conducted in the PubMed Central, SciELO, PLoS Medicine, LILACS, Google Scholar, Trip Database, and Emerald databases, covering articles published between 2010 and 2024. Combinations of the terms "Artificial Intelligence" with "ophthalmology teaching", "ophthalmology education", "ophthalmology training" and "Eyesi simulator" were used. Of the 573 articles found, eight relevant studies were selected.

**Results:** The selected studies covered various applications of artificial intelligence in ophthalmic education. Two studies used surgical simulators with intelligent tutoring systems, demonstrating improvements in the development of practical skills. Two other studies used automated diagnosis assisted by artificial intelligence, optimizing the acquisition of diagnostic skills. Four studies implemented adaptive learning with intelligent tutoring systems and competency-

based assessment, demonstrating their effectiveness in personalizing medical training.

**Conclusions:** Artificial intelligence has established itself as a transformative tool in ophthalmic education, providing innovative solutions that enhance the development of practical and diagnostic skills, as well as the personalization of learning. Its application offers new opportunities to overcome limitations inherent to traditional educational methods.

**Keywords:** artificial intelligence; medical education; ophthalmology.

Recibido: 09/01/2025

Aceptado: 23/03/2025

## Introducción

La inteligencia artificial ha revolucionado la educación médica a través de la aplicación de herramientas avanzadas que mejoran la formación clínica y quirúrgica de los futuros especialistas. La oftalmología, como especialidad médica, ha experimentado un crecimiento notable en las últimas décadas gracias a los avances en tecnología diagnóstica y terapéutica. Desde la introducción de dispositivos de imagen de alta precisión, como la tomografía de coherencia óptica (OCT), hasta la automatización de técnicas quirúrgicas complejas, esta rama de la medicina depende cada vez más de la innovación tecnológica para mejorar los resultados clínicos. En paralelo, los métodos educativos utilizados para formar a los oftalmólogos han evolucionado de manera significativa, en parte debido al surgimiento de herramientas digitales avanzadas. Entre estas, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una de las tecnologías más disruptivas, al ofrecer nuevas formas de enseñar, entrenar y evaluar a los futuros especialistas en oftalmología.

La IA, definida como la capacidad de una máquina para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana,<sup>(1)</sup> como el reconocimiento visual, la toma de decisiones o el aprendizaje, ha tenido un impacto profundo en el campo de la medicina. En oftalmología, ha sido adoptada principalmente en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades oculares. Algoritmos basados en aprendizaje profundo, por ejemplo, han demostrado resultar tan eficaces como los especialistas humanos en la detección de enfermedades como la retinopatía

diabética, el glaucoma, la degeneración macular relacionada con la edad, la retinopatía de la prematuridad, cataratas y otras afecciones del segmento anterior.<sup>(2,3,4)</sup>

También se destaca la aplicación de la IA en el seguimiento de la progresión del glaucoma, el análisis predictivo para planes de tratamiento personalizados, la incipiente experiencia en cirugía asistida por robot y la terapia laser guiada por IA.<sup>(5)</sup> No obstante, su aplicación en la enseñanza médica es un área emergente que tiene el potencial de revolucionar el modo en que los estudiantes aprenden habilidades clínicas, quirúrgicas y diagnósticas.<sup>(6)</sup>

Tradicionalmente, la formación oftalmológica ha combinado la educación teórica, la observación en entornos clínicos y la práctica supervisada. Sin embargo, este modelo enfrenta limitaciones inherentes, como la poca disponibilidad de oportunidades para la práctica en situaciones controladas y la variabilidad en la calidad de la supervisión clínica. Además, en muchas instituciones docentes del mundo los estudiantes tienen acceso limitado a experiencias quirúrgicas reales hasta etapas avanzadas de su formación, lo que retrasa el desarrollo de habilidades críticas. La IA ofrece soluciones innovadoras en educación médica, entre las que se pueden mencionar: pacientes e instructores virtuales, sistemas inteligentes de tutoría educativa, chatbots, gamificación, simulación quirúrgica, formación quirúrgica virtual inmersiva, mentoría quirúrgica y sistemas de apoyo a las decisiones diagnósticas.<sup>(7)</sup>

La presente investigación tuvo como objetivo identificar el impacto de la aplicación de la IA en el contexto de la formación médica en la especialidad oftalmología.

## **Métodos**

Para realizar una revisión exhaustiva, se llevó a cabo una búsqueda sistemática de literatura en bases de datos científicas reconocidas, siguiendo los pasos que se exponen a continuación.

### **1. Fuentes de datos**

Se consultaron las siguientes bases de datos electrónicas para la búsqueda de artículos científicos, revisiones y estudios relevantes publicados entre 2010 y 2024:

PubMed Central, SciELO, PLoS Medicine, LILACS, Google académico, Trip database y Emerald.

Estas bases de datos fueron seleccionadas por su relevancia en las áreas de medicina, tecnología e inteligencia artificial, con un enfoque en estudios que abordaran tanto la educación médica como los avances en oftalmología.

## 2. Estrategia de búsqueda

Se utilizaron combinaciones de términos en español e inglés relacionadas con los temas centrales de la revisión. Los términos de búsqueda incluyeron:

- Término principal: inteligencia artificial/artificial intelligence
- Combinado con los términos: enseñanza en oftalmología/ophthalmology teaching; educación en oftalmología/ophthalmic education; entrenamiento en oftalmología/ophthalmic training; simulador eyesi/eyes simulator

Los términos fueron adaptados a los operadores booleanos y estructuras de búsqueda específicos de cada base de datos para maximizar la cantidad y calidad de los resultados.

## 3. Criterios de inclusión

Se incluyeron artículos que cumplieron con los siguientes criterios:

- Publicaciones en inglés o español
- Artículos revisados por pares (peer-reviewed)
- Estudios publicados entre 2010 y 2024
- Todos los tipos de estudio centrados en el uso de IA en la enseñanza de la oftalmología con exposición de sus resultados, incluyendo simuladores quirúrgicos, diagnóstico automatizado, plataformas de aprendizaje personalizadas y tecnologías emergentes
- Estudios que evaluaron el impacto pedagógico de la IA en la formación de habilidades quirúrgicas, diagnósticas o clínicas en oftalmología

- Estudios cuyos participantes fueron: estudiantes de medicina, residentes de oftalmología, oftalmólogos en entrenamiento, otros residentes o especialistas en entrenamiento oftalmológico

#### **4. Criterios de exclusión**

Se excluyeron estudios que:

- No se relacionaron directamente con IA aplicada a la enseñanza de la oftalmología
- No se evidenciaron los resultados del uso de la IA en algún proceso de enseñanza de la Oftalmología
- Artículos de opinión, cartas al editor o resúmenes de congresos sin contenido académico robusto

#### **5. Proceso de selección de estudios**

Los artículos obtenidos de las bases de datos fueron revisados inicialmente a través de la lectura de títulos y resúmenes. Aquellos que parecieron relevantes y relacionados con la búsqueda fueron evaluados en su totalidad.

#### **6. Extracción de datos**

De cada estudio seleccionado se extrajeron los siguientes datos:

- Información bibliográfica (autor, año de publicación, revista)
- Tipo de estudio (ensayo clínico, estudio comparativo, estudio observacional, estudios de validación)
- Tecnologías de IA utilizadas (simuladores quirúrgicos, sistemas de diagnóstico automatizado, plataformas de aprendizaje)
- Población estudiada en caso de que aplique (estudiantes de medicina, residentes de oftalmología, médicos oftalmólogos en formación, otros)
- Resultados clave relacionados con el impacto en el aprendizaje

## 7. Análisis y síntesis de la información

Los estudios seleccionados se agruparon según los siguientes temas:

- Impacto de la IA en la enseñanza de habilidades quirúrgicas oftalmológicas
- Uso de sistemas de diagnóstico automatizado para la formación clínica
- Personalización del aprendizaje mediante IA

Se realizó una síntesis cualitativa de los resultados para identificar patrones, tendencias y áreas de oportunidad, así como para evaluar el impacto pedagógico de la IA en la formación de oftalmólogos.

## 8. Limitaciones de la búsqueda

Algunas limitaciones de esta revisión incluyen la posible omisión de estudios no publicados o literatura gris, así como la exclusión de estudios en otros idiomas que pudieran aportar información relevante. Además, la búsqueda se restringió a estudios publicados a partir de 2010, por lo que avances anteriores en IA podrían no haber sido considerados.

## Resultados

Un total de 573 artículos fueron obtenidos de la búsqueda en bases de datos. Después de la selección por título y resumen, quedaron 16 incluidos que fueron evaluados a texto completo, de los cuales se seleccionaron ocho, que cumplieron los criterios definidos en la metodología (fig.).

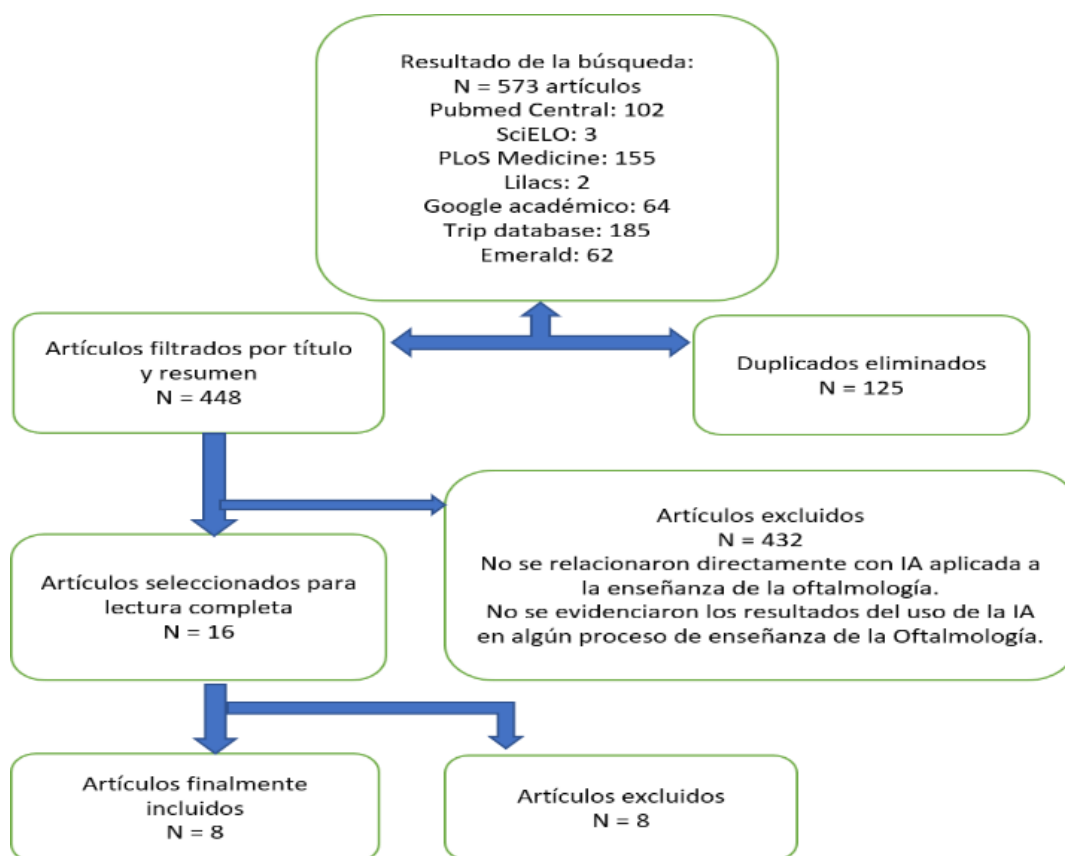


Fig. - Flujograma de búsqueda y selección.

A continuación, se detalla la información recogida de cada artículo incluido:

- Impacto de la IA en la enseñanza de habilidades quirúrgicas oftalmológicas

**Tabla 1** - Estudios que evalúan la aplicación de simuladores quirúrgicos con sistemas de tutoría inteligente en la adquisición de habilidades quirúrgicas en oftalmología

Estudio	Tipo de estudio	Tecnología de IA usada	Población estudiada	Resultados clave
<i>Ropelato y otros<sup>(8)</sup></i>	Estudio comparativo	Simulación en pelado de la MLI con RA con/sin STI	50 oftalmólogos	El STI mejora el rendimiento en comparación con el entrenamiento clásico
<i>Menozzi y otros<sup>(9)</sup></i>	Estudio comparativo	Simulación en pelado de la MLI en	23 médicos en formación	STI condujo a un progreso de



		un simulador de microcirugía con RA con/sin STI		entrenamiento más pronunciado que el método de secuencia natural
--	--	---	--	--

Leyenda: IA (inteligencia artificial); MLI (membrana limitante interna); RA (realidad aumentada); STI (sistema de tutoría inteligente).

- Uso de sistemas de diagnóstico automatizado para la formación clínica

**Tabla 2** - Estudios que evalúan la aplicación del diagnóstico automatizado asistido por IA en la adquisición de habilidades diagnósticas en oftalmología

Información bibliográfica	Tipo de estudio	Tecnología de IA usada	Población estudiada	Resultados clave
<i>Qian y otros<sup>(10)</sup></i>	Estudio de validación	Sistema automatizado de clasificación y entrenamiento de RD equipado con un algoritmo de diagnóstico impulsado por IA	120 estudiantes de medicina en rotación por oftalmología para aprender diagnóstico y clasificación de RD	Con el sistema, la habilidad de diagnosticar RD mejora considerablemente en comparación con sistemas no asistidos por IA, por lo que puede ser usado en el entrenamiento de estudiantes y residentes de medicina
<i>Fang y otros<sup>(11)</sup></i>	Ensayo clínico	<i>Ophthalmology-client</i> : plataforma de diagnóstico y clasificación de miopía patológica asistida por IA	90 residentes en el departamento de oftalmología del Segundo Hospital Afiliado de la Universidad de Zhejiang	La aplicación del sistema de identificación de miopía patológica basado en IA mostró ventajas en la promoción de la eficiencia de la formación de los residentes en oftalmología y también recibió comentarios positivos de los residentes.

Leyenda: IA (inteligencia artificial); RD (retinopatía diabética).

- Personalización del aprendizaje mediante IA

**Tabla 3** - Estudios que evalúan el aprendizaje adaptativo en oftalmología mediante sistemas de tutoría inteligente y la evaluación de competencias asistida por IA

Información bibliográfica	Tipo de estudio	Tecnología de IA usada	Población estudiada	Resultados clave
<i>Bergeron y otros</i> <sup>(12)</sup>	Estudio comparativo	Entrenamiento con simulador adaptativo y fijo vs. entrenamiento basado en computadora adaptativo y fijo vs. conferencia tradicional (la tecnología adaptativa es un STI)	92 médicos de familia	No encontraron diferencias significativas en los resultados entre los grupos en cuanto a la retención del conocimiento a las seis semanas posteriores al entrenamiento
<i>Wu y otros</i> <sup>(13)</sup>	Ensayo clínico	CC-cruiser: plataforma de consulta de IA para catarata pediátrica (STI para el ABP)	38 estudiantes que participaron en la pasantía de oftalmología en la Universidad Sun Yat-Sen	La aplicación del ABP con STI en la pasantía de oftalmología mejoró el rendimiento y la satisfacción de los estudiantes. La enseñanza del ABP con STI mostró ventajas para promover la comprensión de los estudiantes sobre los signos de las enfermedades
<i>Yu y otros</i> <sup>(14)</sup>	Estudio observacional de corte transversal	5 algoritmos de AA	Muestra de conveniencia de 100 procedimientos de cataratas realizados por cirujanos docentes y en formación en un programa de residencia en oftalmología desde julio de 2011 hasta	En los procedimientos de cataratas, las etiquetas de los instrumentos son informativas para que los algoritmos de AA y de AP identifiquen las diferentes fases. Los algoritmos de AP para el modelado espacio-temporal de imágenes de video pueden ser más precisos para

			diciembre de 2017	identificar fases presegmentadas que para modelar aspectos espaciales de imágenes de video. El modelado de series temporales de etiquetas de instrumentos e imágenes de video utilizando técnicas de AP puede generar herramientas potencialmente útiles para la detección automatizada de fases en procedimientos de cirugía de cataratas
Tabuchi y otros <sup>(15)</sup>	Estudio comparativo	Tecnología de evaluación en tiempo real para cirugía de cataratas mediante IA	3 residentes y 3 médicos supervisores	La IA puede servir objetivamente como un nuevo indicador para identificar intraoperatoriamente los riesgos quirúrgicos

Legenda: IA (inteligencia artificial); STI (sistema de tutoría inteligente); ABP (aprendizaje basado en problemas); AA (aprendizaje automatizado); AP (aprendizaje profundo).

Uno de los avances más significativos de la IA en la enseñanza de la oftalmología es su integración en simuladores quirúrgicos. Los simuladores quirúrgicos no solo permiten la repetición continua de procedimientos, sino que ajustan la dificultad de los casos, según el nivel de competencia del alumno. La IA se adapta automáticamente, presentando casos clínicos más complejos a medida que el estudiante mejora sus habilidades. Esto permite un aprendizaje más eficiente y dirigido, en contraste con los métodos tradicionales, donde la disponibilidad de pacientes y casos complejos puede ser limitada. Además, la evaluación basada en IA ofrece una objetividad que antes era difícil de lograr, lo que permite que los estudiantes reciban una valoración precisa de sus habilidades antes de realizar procedimientos en pacientes reales.<sup>(16)</sup>

A pesar de los numerosos simuladores quirúrgicos oftalmológicos, tales como Eyesi Surgical (VRmagic, Mannheim, Germany), MicroVisTouch (ImmersiveTouch, Inc, Chicago, USA) y otros, que permiten realizar entrenamientos en cirugía de

catarata, vitreo-retina, cirugía endoscópica endonasal, procedimientos quirúrgicos generales y más,<sup>(17)</sup> la búsqueda bibliográfica realizada por los autores solamente arrojó dos estudios en los que se aplicó la IA específicamente en la adquisición de habilidades en el pelado de la MLI de la retina.

En la práctica oftalmológica, la capacidad de interpretar correctamente imágenes diagnósticas es fundamental. Sin embargo, el análisis preciso de estas imágenes requiere años de formación y experiencia. Aquí es donde la IA ha comenzado a desempeñar un papel fundamental en la enseñanza oftalmológica. Los sistemas de IA basados en algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado resultar tan eficaces como los especialistas en oftalmología en la detección de enfermedades como la retinopatía diabética, el glaucoma, la degeneración macular relacionada con la edad y la miopía.<sup>(18,19)</sup> Al integrar estas herramientas en la formación oftalmológica, los estudiantes pueden utilizar sistemas de diagnóstico automatizados para practicar el análisis de imágenes clínicas. La IA no solo señala áreas de interés en las imágenes, sino que ofrece explicaciones detalladas sobre los patrones patológicos detectados, lo que ayuda a los estudiantes a desarrollar su capacidad de diagnóstico de manera efectiva.

Además de mejorar la precisión en el diagnóstico, estas herramientas permiten que los estudiantes reciban retroalimentación inmediata sobre su rendimiento. Al comparar las evaluaciones realizadas por los estudiantes con los resultados generados por la IA, pueden identificar rápidamente errores y corregir su comprensión. Esto representa un avance importante en la educación médica, ya que, anteriormente, los estudiantes debían esperar la retroalimentación de sus supervisores, lo que a menudo retrasaba el proceso de aprendizaje.

Otra de las contribuciones más significativas de la IA en la educación oftalmológica es su capacidad para personalizar el proceso de aprendizaje según las necesidades individuales de los estudiantes. Las plataformas de aprendizaje basadas en IA pueden evaluar el progreso de cada alumno de manera continua, y ajustar el contenido y la dificultad del material según su rendimiento. Esto se conoce como “aprendizaje adaptativo” y tiene el potencial de transformar la educación médica en general.

En el contexto de la oftalmología, los sistemas de IA pueden identificar las áreas donde un estudiante tiene dificultades, ya sea en el diagnóstico de una enfermedad específica o en la ejecución de una técnica quirúrgica determinada. A partir de esta información, el sistema puede ofrecer materiales adicionales de estudio, casos clínicos personalizados o ejercicios específicos para reforzar esos puntos débiles. Este enfoque de enseñanza permite un aprendizaje más eficiente,

en contraste con los métodos tradicionales, que tienden a ser homogéneos y no siempre se adaptan a las necesidades individuales de cada estudiante.<sup>(20)</sup>

Además, el aprendizaje personalizado también beneficia a los instructores, quienes pueden usar los datos generados por estos sistemas de IA para monitorear el progreso de los estudiantes de manera más precisa y objetiva. Los educadores pueden identificar rápidamente a los estudiantes que necesitan apoyo adicional y ajustar sus métodos de enseñanza en consecuencia. Este enfoque basado en datos optimiza el tiempo de los estudiantes y los instructores, y mejora la eficacia del proceso educativo.

La evaluación precisa de las competencias clínicas y quirúrgicas de los estudiantes es esencial para garantizar que adquieran las habilidades necesarias antes de tratar a pacientes reales. Tradicionalmente, la evaluación en la educación médica ha sido en gran medida subjetiva, basada en la observación directa de los instructores. Sin embargo, la IA está introduciendo una mayor objetividad y precisión en este proceso.

Los simuladores quirúrgicos equipados con IA no solo permiten a los estudiantes practicar habilidades técnicas, sino que registran todos los movimientos y decisiones que toman durante una cirugía simulada. Estos datos se comparan automáticamente con estándares predefinidos de excelencia, lo que permite que los estudiantes reciban una evaluación detallada y objetiva de su desempeño. Esta retroalimentación puede incluir aspectos como el tiempo empleado en cada etapa del procedimiento, la precisión de las incisiones y el manejo adecuado del instrumental quirúrgico.<sup>(21)</sup>

Además, la IA permite un seguimiento longitudinal del progreso de los estudiantes a lo largo del tiempo. Los sistemas de evaluación basados en IA pueden identificar patrones en el rendimiento de los alumnos, lo que permite a los instructores ajustar su enseñanza para abordar áreas problemáticas antes de que se conviertan en deficiencias críticas. Este enfoque de evaluación continua es particularmente útil en la enseñanza de la cirugía oftalmológica, donde incluso pequeños errores técnicos pueden tener consecuencias significativas para los pacientes.

## Conclusiones

El análisis realizado demuestra que la inteligencia artificial ha tenido un impacto significativo en la formación médica en oftalmología, principalmente al mejorar las competencias prácticas y diagnósticas de los profesionales en formación. Las

herramientas avanzadas, como los simuladores quirúrgicos con tutoría inteligente, han permitido el desarrollo seguro y eficaz de habilidades prácticas, mientras que los sistemas de diagnóstico automatizado han optimizado la adquisición de competencias clínicas, lo que contribuye a una formación más precisa y eficiente.

Asimismo, los métodos de aprendizaje adaptativo y las evaluaciones por competencias asistidas por inteligencia artificial han mostrado ser efectivos en la personalización del proceso educativo, al ajustarse a las necesidades individuales de cada estudiante. Esto no solo mejora la experiencia de aprendizaje, sino que garantiza un progreso formativo acorde con las exigencias de la práctica oftalmológica contemporánea, que fortalece la preparación de futuros especialistas.

En este sentido, la inteligencia artificial continúa consolidándose como una herramienta innovadora y prometedora en la educación médica, que ofrece nuevas oportunidades para optimizar el proceso formativo en oftalmología y para superar limitaciones inherentes a los métodos educativos tradicionales.

## Referencias bibliográficas

1. Gou F, Liu J, Xiao C, Wu J. Research on Artificial-Intelligence-Assisted Medicine: A Survey on Medical Artificial Intelligence. *Diagnostics (Basel)*. 2024 [acceso 29/09/2024];14(14). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11275417/>
2. Dutt S, Sivaraman A, Savoy F, Rajalakshmi R. Insights into the growing popularity of artificial intelligence in ophthalmology. *Indian J Ophthalmol*. 2020 [acceso 29/09/2024];7(68):1339-46. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7574057/>
3. Kang D, Wu H, Yuan L, Shi Y, Jin K, Grzybowski A. A Beginner's Guide to Artificial Intelligence for Ophthalmologists. *Ophthalmol Ther*. 2024 [acceso 14/01/2025];13(7):1841-55. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11178755/>
4. Jin K, Ye J. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology: Current status and future perspectives. *Advances in ophthalmology practice and research*. 2022 [acceso 14/01/2025];2(3):100078. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10577833/>

5. Swaminathan U, Daigavane S. Unveiling the Potential: A Comprehensive Review of Artificial Intelligence Applications in Ophthalmology and Future Prospects. *Cureus*. 2024 [acceso 14/01/2025];16(6):e61826. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11227442/>
6. Hernández-Borroto CE, Medrano-Plana Y, Hernández-Borroto CE, Medrano-Plana Y. La integración de la inteligencia artificial en la educación médica y su impacto en la práctica clínica. *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*. 2024 [acceso 16/10/2024];27(2):59-61. Disponible en: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2014-98322024000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2014-98322024000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
7. Hamilton A. Artificial Intelligence and Healthcare Simulation: The Shifting Landscape of Medical Education. *Cureus*. mayo de 2024 [acceso 14/10/2024];16(5):e59747. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11152357/>
8. Ropelato S, Menozzi M, Michel D, Siegrist M. Augmented Reality Microsurgery: A Tool for Training Micromanipulations in Ophthalmic Surgery Using Augmented Reality. *Simul Healthc*. 2020 [acceso 14/10/2024];15(2):122-7. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32044852/>
9. Menozzi M, Ropelat S, Köfler J, Huang YY. Development of Ophthalmic Microsurgery Training in Augmented Reality. *Klin Monbl Augenheilkd*. abril de 2020 [acceso 14/10/2025];237(4):388-91. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32330977/>
10. Qian X, Jingying H, Xian S, Yuqing Z, Lili W, Baorui C, *et al*. The effectiveness of artificial intelligence-based automated grading and training system in education of manual detection of diabetic retinopathy. *Front Public Health*. 2022 [acceso 14/10/2025];10:1025271. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9678340>
11. Fang Z, Xu Z, He X, Han W. Artificial intelligence-based pathologic myopia identification system in the ophthalmology residency training program. *Front Cell Dev Biol*. 2022 [acceso 14/10/2025];10:1053079. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9669055/>
12. Bergeron B, Hagen M, Peterson L, Dworkin R, Bono C, Graham T, *et al*. Comparison of AR, ITS, CBT, and Didactic Training and Evaluation of Retinopathy-Based Diagnosis. *Mil Med*. 2019 [acceso 14/10/2025];184(Supplement\_1):579-83. Disponible en: [https://academic.oup.com/milmed/article/184/Supplement\\_1/579/5418679?login=false](https://academic.oup.com/milmed/article/184/Supplement_1/579/5418679?login=false)



13. Wu D, Xiang Y, Wu X, Yu T, Huang X, Zou Y, *et al.* Artificial intelligence-tutoring problem-based learning in ophthalmology clerkship. *Ann Transl Med.* 2020 [acceso 14/10/2025];8(11):700. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7327320/>
14. Yu F, Silva Croso G, Kim TS, Song Z, Parker F, Hager GD, *et al.* Assessment of Automated Identification of Phases in Videos of Cataract Surgery Using Machine Learning and Deep Learning Techniques. *JAMA Netw Open.* 2019 [acceso 14/10/2025];2(4):e191860. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6450320/>
15. Tabuchi H, Morita S, Miki M, Deguchi H, Kamiura N. Real-time artificial intelligence evaluation of cataract surgery: A preliminary study on demonstration experiment. *Taiwan J Ophthalmol.* 2022 [acceso 14/10/2025];12(2):147-54. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9262019/>
16. Selman-Álvarez R, Figueroa-Fernández Ú, Cruz-Mackenna E, Jarry C, Escalona G, Corvetto M, *et al.* Inteligencia artificial en simulación médica: estado actual y proyecciones futuras. *Revista Latinoamericana de Simulación Clínica.* 2023 [acceso 06/01/2025];5(3):117-22. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=114035>
17. Lee R, Raison N, Lau WY, Aydin A, Dasgupta P, Ahmed K, *et al.* A systematic review of simulation-based training tools for technical and non-technical skills in ophthalmology. *Eye* 2020 34:10. 2020 [acceso 01/10/2025];34(10):1737-59. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41433-020-0832-1>
18. Lanzagorta-Ortega D, Carrillo-Pérez DL, Carrillo-Esper R, Lanzagorta-Ortega D, Carrillo-Pérez DL, Carrillo-Esper R. Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. *Gac Med Mex.* 2022 [acceso 06/10/2025];158:17-21. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-38132022001100017&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132022001100017&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
19. Zhang C, Zhao J, Zhu Z, Li Y, Li K, Wang Y, *et al.* Applications of Artificial Intelligence in Myopia: Current and Future Directions. *Front Med (Lausanne).* 2022 [acceso 14/01/2025];9:840498. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8962670/>
20. Gaitán Buitrago MH, Velásquez Salazar M, Montes Cardona JA, Mosquera Solano LF, Gaitán Buitrago MH, Velásquez Salazar M, *et al.* La era de la inteligencia artificial y su impacto en el aprendizaje de habilidades quirúrgicas de grado y posgrado: ¿El futuro de la cirugía? *Rev Argent Cir.* 2024 [acceso 14/10/2025];116(2):146-51. Disponible en:



[https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2250-639X2024000200146&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2250-639X2024000200146&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

21. Pakkasjärvi N, Luthra T, Anand S. Artificial Intelligence in Surgical Learning. Surgeries. 2023 [acceso 06/10/2025];4(1):86-97. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-4095/4/1/10/htm>

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.