

Aplicaciones, oportunidades y desafíos de implementar la inteligencia artificial en medicina

Applications, opportunities and challenges of implementing artificial intelligence in medicine

Javier Santiago Álvarez-Guachichulca ^a, Damary Jaramillo-Aguilar ^b,
Andrea Ximena López-Becerra ^c

- a. Médico. Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1462-8144>
- b. Médica. Escuela de Medicina, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8676-2473>
- c. Médica. Hospital Privado Tungurahua. ESMEDICAS S.A. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2425-7235>

DOI: [10.22517/25395203.25606](https://doi.org/10.22517/25395203.25606)

Resumen

La inteligencia artificial se está usando ampliamente en diversos campos de la medicina. El objetivo de esta revisión es describir las principales aplicaciones, oportunidades y desafíos de la inteligencia artificial en medicina brindando una perspectiva del contexto actual. Se realizó una revisión narrativa de la literatura, identificando la información más actualizada y relevante sobre el tema. Se consultaron las bases de datos electrónicas PubMed, Scopus y SciELO, desde enero de 2019 a marzo de 2024, tanto en inglés como en español. Se incluyeron revisiones sistemáticas y no sistemáticas de la literatura, *scoping reviews*, artículos originales y capítulos de libros. Se excluyeron artículos duplicados, trabajos científicos poco claros, aquellos de bajo rigor científico y literatura gris. La implementación de la inteligencia artificial en medicina ha traído consigo notables beneficios, que van desde el registro de información médica hasta el descubrimiento de nuevos fármacos. Ha generado una revolución en la forma tradicional de hacer medicina. Por otro lado, ha traído consigo desafíos en materia de precisión, confiabilidad, ética, privacidad, entre otros. Es crucial mantener un enfoque centrado en el paciente y garantizar que estas tecnologías se utilicen para mejorar los resultados en salud y promover la equidad en el acceso a la atención médica. La colaboración entre profesionales de la salud,

investigadores, entidades reguladoras y desarrolladores de tecnología será fundamental para enfrentar estos desafíos y aprovechar todo el potencial de la inteligencia artificial.

Palabras clave: inteligencia artificial, atención médica, aprendizaje automático.

Abstract

Artificial intelligence is being widely used in various fields of medicine. The aim of this review is to describe the main applications, opportunities and challenges of AI in medicine by providing an overview of the current context. An overview of the literature was conducted, identifying the most up-to-date and relevant information on the topic. The electronic databases PubMed, Scopus and SciELO were consulted, from January 2019 to March 2024, in both English and Spanish. Systematic and non-systematic literature reviews, scoping reviews, original articles and book chapters were included. Duplicate articles, unclear scientific papers, those of low scientific rigour and grey literature were excluded. The implementation of artificial intelligence in medicine has brought remarkable benefits, ranging from the recording of medical information to the discovery of new drugs. It has generated a revolution in the traditional way of doing medicine. On the other hand, it has brought with it challenges in terms of accuracy, reliability, ethics, privacy, among others. It is crucial to maintain a patient-centred approach and ensure that these technologies are used to improve health outcomes and promote equity in access to care. Collaboration between healthcare professionals, researchers, regulators and technology developers will be critical to address these challenges and realise the full potential of artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, healthcare, machine learning.

Introducción

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina que ha experimentado un desarrollo acelerado en los últimos años. John McCarthy acuñó el término en 1955, definiéndola como “la ciencia y la ingeniería de crear máquinas inteligentes” (1). La IA utiliza tecnología informática para investigar y desarrollar métodos, técnicas y sistemas de aplicación para la simulación, extensión y expansión de la inteligencia humana (2). En los últimos años, el desarrollo de la IA ha despertado gran interés con la implementación de nuevos modelos y aplicaciones prácticas. Además, la IA ha sido usada ampliamente en diversos campos y desempeña un papel importante en las mejoras técnicas.

La combinación de IA y medicina, ha demostrado ser especialmente prometedora y ha cambiado el modelo médico tradicional (3)The Netherlands, in July 2007. It had been more than 15 years since Edward Shortliffe gave a talk at AIME in which he characterized artificial intelligence (AI. Por ejemplo, el diagnóstico de un paciente basado en exámenes radiológicos, patológicos, endoscópicos, ultrasonográficos y bioquímicos se ha promovido eficazmente con una mayor precisión y una menor carga de trabajo humano (4–9). Los tratamientos médicos durante el período perioperatorio, incluida la preparación preoperatoria, el período quirúrgico y el período de recuperación posoperatoria, se han mejorado significativamente con resultados quirúrgicos superiores (10–13).

Además, la tecnología basada en IA también ha desempeñado un papel crucial en la producción de medicamentos, la gestión médica y la educación médica, llevándolos hacia una nueva dirección (14–17).

La necesidad de implementar dispositivos digitales avanzados se ha convertido en un requisito para ofrecer una mayor satisfacción de los pacientes, permitiendo el seguimiento, la verificación del estado de salud y una mejor adherencia a los medicamentos (18).

Las tecnologías de salud digital incluyen tecnología de la información sanitaria, dispositivos portátiles, telesalud, telemedicina, dispositivos móviles de internet, medicina personalizada, entre otros (19). Estas tecnologías han ayudado a la detección temprana de enfermedades mortales y al manejo remoto de enfermedades crónicas, siguiendo un método novedoso para monitorear la adherencia al tratamiento (20).

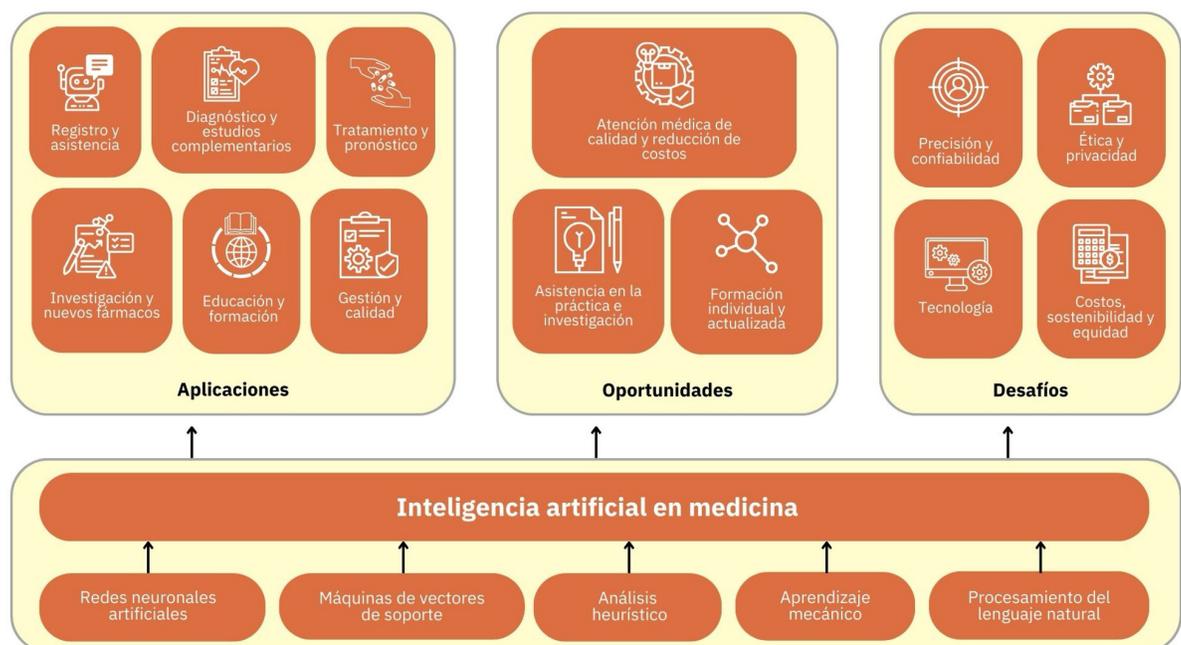
Las nuevas herramientas digitales desarrolladas con IA ofrecen a los proveedores de atención médica una visión más amplia de la salud de los pacientes al permitirles acceder a una gran cantidad de información en muy poco tiempo. En este contexto aparecen oportunidades reales para mejorar los resultados terapéuticos de la medicina moderna a la vez que surgen nuevos desafíos.

El objetivo de esta revisión es describir las principales aplicaciones, oportunidades y desafíos de la IA en medicina brindando una perspectiva del contexto actual.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión narrativa de la literatura, identificando la información más actualizada y relevante acerca del tema de estudio para responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son las aplicaciones, oportunidades y desafíos de implementar la IA en medicina? Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos electrónicas PubMed, Scopus y SciELO, desde enero de 2019 a marzo de 2024, tanto en inglés como en español, incluyendo las palabras claves: aplicación, oportunidades, desafíos, inteligencia artificial y medicina, así como sus respectivas traducciones y variaciones. Para combinar estos términos, se empleó AND como operador booleano. También, se realizó una revisión manual de las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados. En total se seleccionaron 75 artículos, mismos que constan en las referencias bibliográficas del manuscrito, y fueron agrupados en las siguientes categorías: aplicaciones, oportunidades y desafíos, tal y como se muestra en la figura 1. Entre estos se incluyeron revisiones sistemáticas y no sistemáticas de la literatura, *scoping reviews*, artículos originales y capítulos de libros; mismos publicados en revistas de alto impacto y de gran aporte sobre el tema desarrollado. Los autores evaluaron la calidad metodológica de los estudios de forma independiente; las discrepancias se discutieron y resolvieron en conjunto. Se excluyeron artículos duplicados, trabajos científicos poco claros, aquellos de bajo rigor científico y literatura gris.

Figura 1. Categorías analíticas de la revisión bibliográfica



Resultados

1. Aplicaciones

La implementación de la IA y las tecnologías digitales avanzadas ha desplegado una amplia gama de oportunidades en el sector de la salud (21). A continuación, se describen las aplicaciones actuales y los beneficios derivados de la adopción de la IA en este campo.

1.1 Recopilación de información, asistencia médica y comunicación

La IA ha mejorado y agilizado los procesos de recopilación de información médica, la transcripción de conversaciones médico-paciente y el análisis de los registros médicos electrónicos (RMEs) generados a partir de la interacción directa con el paciente y el procesamiento del lenguaje natural (22-25). Los RMEs incluyen información sensible acerca del estado de salud del paciente, incluyendo sus antecedentes personales y familiares, diagnósticos, exámenes complementarios, tratamientos, entre otros. Una vez recopilados, éstos son almacenados, procesados y analizados por la IA en dependencia de las necesidades del paciente y el médico (ver **Figura No. 1**) (26,27). Pero aún más importante, éstos registros son la base para el desarrollo de la investigación basada en IA, entre los que figuran la optimización y personalización de los tratamientos médicos, descubrimiento de nuevos medicamentos y terapias, diseño de modelos predictivos de riesgo o enfermedad, entre otros (26).

Por otro lado, estas herramientas facilitan la comunicación e interacción médico-paciente en entornos multilingües, mediante la traducción automática de documentos médicos, notas clínicas y entrevistas en tiempo real (25,28). Además, proporcionan asistencia al paciente al responder consultas sobre salud, lo que mejora la accesibilidad a la información médica, facilita la identificación y comprensión del motivo de consulta o del estado actual de salud del paciente, y el encuentro entre éste y el proveedor de atención médica (25,29).

Sin embargo, el análisis de los casos clínico-quirúrgicos complejos y del lenguaje no verbal son las potenciales limitaciones de la IA en este aspecto (22). En consecuencia, se requiere de la revisión y corrección del contenido generado por parte del personal médico para garantizar una atención integral, precisa, de calidad y calidez.

1.2 Diagnóstico asistido y estudios complementarios

Durante la exploración física, la IA mejora significativamente la precisión del diagnóstico y compensa habilidades auscultatorias deficientes (30,31). Estas tecnologías permiten detectar sonidos cardíacos y pulmonares patológicos, así como la identificación de patrones característicos para enfermedades como el Parkinson y la COVID-19 (23,32). Además, la IA posibilita la evaluación precisa de las lesiones dermatológicas (24,32,33). El análisis de estos datos, junto con otros como imágenes médicas, estudios de laboratorio y registros médicos electrónicos previos, proporciona al médico un amplio abanico de potenciales diagnósticos diferenciales mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático, mismos que detectan automáticamente enfermedades y las clasifican (24,29,34,35). También, las herramientas de IA facilitan la comprensión y apoyan la discusión de diagnósticos clínicos y quirúrgicos complejos (24,25,32). Se ha observado que su rendimiento es comparable con el de los médicos especializados y supera a aquellos con menos experiencia (36,37). No obstante, se requieren más estudios o ensayos prospectivos sobre el tema (38). La integración de la IA en la atención médica no solo agiliza el proceso y mejora la precisión del diagnóstico, sino que también mejora los resultados médicos, optimiza el flujo de trabajo y reduce la carga procedimental (29,34,39).

Otro aspecto importante es que los algoritmos de IA pueden analizar e interpretar resultados de exámenes de laboratorio (p.ej.: sangre, orina, líquido cefalorraquídeo, etc.), e identificar patrones y alteraciones sugestivas de ciertas enfermedades o condiciones médicas (35,40–42). Asimismo, estos modelos han permitido evaluar con precisión datos moleculares complejos en aras de facilitar el diagnóstico y manejo de trastornos genómicos (43). La IA puede predecir resultados en función de exámenes de laboratorio previos y recomendar pruebas de laboratorio sensibles y específicas en función de los síntomas y signos del paciente, su historial médico y factores de riesgo (40–42). A su vez, pueden monitorear de forma continua los resultados de los exámenes de laboratorio, detectando cambios significativos y facilitando el seguimiento de la evolución de la enfermedad (42).

En cuanto a la aplicación de la IA en patología estructural, ésta ha permitido clasificar de forma precisa imágenes de neoplasias prostáticas, dermatológicas y ginecológicas mediante la identificación de patrones morfológicos específicos (23,24,32,39). De la misma forma, en el ámbito de la radiología, la IA ha demostrado ser altamente efectiva en la clasificación de

nódulos pulmonares, tiroideos y lesiones tumorales, así como en el diagnóstico temprano de diversas enfermedades (p.ej.: afecciones retinianas, cánceres gastrointestinales y mamarios, eventos cerebrovasculares, enfermedades neurológicas, artritis reumatoide, etc.) (23,24,32–34,39,44). Estas herramientas facilitan la generación de informes, planificación de seguimiento, almacenamiento de datos y adquisición de imágenes. En adición, ofrecen recomendaciones personalizadas para su aplicación clínica y quirúrgica (24,25,33). Todo esto se lleva a cabo mediante el empleo de algoritmos de aprendizaje profundo y el procesamiento de imágenes médicas y datos multimedia (28,33).

1.3 Tratamiento personalizado, evolución y pronóstico

La IA ha mejorado los resultados del paciente y la experiencia global de la atención médica al desarrollar planes de tratamiento precisos y personalizados mediante el análisis de datos genómicos y fenotípicos para diversas enfermedades (24). Los algoritmos de IA tienen la capacidad de identificar las variaciones genéticas asociadas a la enfermedad, predecir los resultados del paciente y adaptar las principales opciones de tratamiento (23,25,39). Además, las herramientas de IA se utilizan en tiempo real o de forma retroactiva para planificar intervenciones clínicas y quirúrgicas complejas, monitorear los datos de salud del paciente, predecir posibles eventos adversos, llevar a cabo procedimientos mínimamente invasivos, y brindar asistencia en la recuperación y rehabilitación del paciente en el período postoperatorio (10–13,22,25,39,45). También, la IA puede prever con precisión el riesgo de desarrollar ciertas enfermedades, su evolución y pronóstico mediante el análisis de **big data** y el uso de modelos predictivos (23,34,35). De la misma forma, la IA también ayuda a los médicos a tomar decisiones informadas acerca del cuidado del paciente, su manejo y tratamiento, lo que contribuye a una atención médica más efectiva, personalizada y segura (35,46). Incluso, se ha usado la IA para la vídeo-vigilancia del paciente (28).

1.4 Investigación médica y desarrollo de nuevos fármacos

En materia de investigación, la IA ha revolucionado el análisis de **big data** y la identificación de patrones predictivos, al mismo tiempo ha acelerado el reclutamiento de pacientes, mejorado los procesos de selección, diagnóstico y tratamiento asistidos, y la estratificación de los riesgos (23,24,39,47). Asimismo, la IA ha facilitado el intercambio de datos médicos entre diferentes instituciones, lo que ha acelerado los avances en salud pública al generar evidencia sobre la seguridad y efectividad de las intervenciones médicas

(28,48,49). También, ha proporcionado un apoyo sólido a los investigadores, al facilitar la búsqueda de información, identificación de barreras y facilitadores, análisis de datos, generación de hipótesis, redacción científica, traducción, evaluación objetiva, entre otros (25,29). Además de eso, la IA ha sido aplicada en la predicción, detección, clasificación, control y prevención de emergencias sanitarias, empleando técnicas de aprendizaje automático y profundo (23,24,34). El manejo de la pandemia por la COVID-19 constituye un claro ejemplo de la eficacia de la IA aplicada en este campo.

Por su parte, tanto la industria farmacéutica como biotecnológica han desarrollado modelos que han simplificado y acelerado el diseño, clasificación y predicción de las propiedades, interacciones fármaco-receptor y las reacciones de los compuestos farmacológicos más efectivos (22,24). Estas herramientas innovadoras no solo han agilizado los ensayos clínicos y reducido los costos asociados a la investigación, sino que también han abierto el camino para el desarrollo de nuevos fármacos (24).

1.5 Gestión y calidad de los servicios de atención

La aplicación de la IA ha transformado significativamente la tradicional forma gestión hospitalaria, al aprovechar el uso de tecnologías de automatización, optimización, entre otras (22,29). Se han implementado modelos predictivos para anticipar tiempos de espera y complicaciones intrahospitalarias (p.ej.: sepsis, infecciones respiratorias, depresión, etc.), reducir los tiempos hospitalización y la tasa de mortalidad intrahospitalaria, optimizar los recursos, aumentar la eficiencia de los servicios y prever tasas de readmisión (22,23,29,39). Además, la IA ha mejorado notablemente la generación de expediente clínicos, la integración y normalización de datos, la detección de reclamos fraudulentos y la reducción de costos operativos (24,28).

1.6 Educación médica y formación continua

Se han empleado sistemas basados en IA para mejorar la experiencia y complementar el aprendizaje y formación continua de los estudiantes de medicina de pregrado y postgrado, a través de la tutoría inteligente y entornos de aprendizaje virtual inmersivos e interactivos (50–54). De tal forma, la IA ha ayudado a los estudiantes a reconocer y diagnosticar diversas enfermedades y condiciones, así como predecir resultados, optimizar planes de tratamiento, identificar posibles complicaciones, tomar decisiones clínicas y mejorar sus habilidades quirúrgicas (51–53). Sumado a eso, se ha usado IA en la evaluación objetiva del aprendizaje y planes de estudios (50,53).

Conocido esto, tras la incorporación de la IA; pacientes, personal de salud, instituciones de salud y el sector de la salud en general han experimentado notables beneficios, con perspectivas prometedoras para el futuro (34,55). Las herramientas de IA han introducido soluciones innovadoras y relevantes, mejorando la calidad de la atención a los usuarios, la comunicación y la interacción en entornos médicos multilingües, y acelerado el proceso de diagnóstico, tratamiento e investigación (25,28,29,34).

2. Oportunidades

Se espera que, a medida que aumente el volumen de los datos y se desarrollen nuevas metodologías y enfoques de aprendizaje, las herramientas de IA sean cada vez más precisas (56). Pues, su implementación promete mejorar significativamente la calidad de la atención, reducir los costos médicos y agilizar el trabajo en todas las áreas de especialidad y servicios de atención (21). Estas tecnologías también realizarán tareas administrativas y operacionales rutinarias con solvencia, sin asistencia humana (21). Por consiguiente, se prevé que, en el futuro, el aprendizaje automático y asistencia automatizada serán parte integral de las instituciones de atención médica (57). Aunque se ha planteado que la IA podría superar a los médicos expertos, estas herramientas son y seguirán siendo un complemento en la práctica médica diaria (58,59). De la misma forma, la IA transformará completamente los sistemas de educación médica a través del aprendizaje activo e individualizado, y la asistencia en escritura e investigación (60,61); siendo imperativo integrarla cuidadosamente desde ahora (60). Además, la evolución de estas tecnologías generará nuevos empleos en materia de desarrollo de software, gestión de datos y atención al paciente (56).

Por otro lado, es importante destacar que el paciente podrá participar activamente en el proceso diagnóstico y terapéutico de la enfermedad, así como explorar opciones nuevas y personalizadas de tratamiento, y seguir de forma informada e independiente su evolución. Además, la integración de datos fisiológicos, psicológicos, conductuales y ambientales al análisis clínico permitirá comprender de forma holística la condición del paciente y personalizar su tratamiento (56). También, se cree que estas herramientas impulsarán la investigación en salud pública y proporcionarán apoyo en la identificación de poblaciones de riesgo, promoción de la salud, así como en la predicción, prevención, vigilancia, manejo de enfermedades y evaluación de resultados (21,62). Asimismo, facilitarán la toma de decisiones basada en la evidencia mediante revisiones sistemáticas y automatizadas de la litera-

tura médica en tiempo real (62). Por último, el desarrollo de nuevos medicamentos se verá beneficiado con la incorporación de conocimientos sobre biología y química en los modelos de IA (56). Es así que, conforme estas tecnologías maduren y surjan nuevas formas de IA, aparecerán oportunidades que transformarán la medicina tradicional (59).

3. Desafíos

Aunque podemos predecir un futuro optimista para la IA en el ámbito sanitario, donde sus capacidades y posibilidades son prácticamente ilimitadas, también debemos ser conscientes de los desafíos y problemas que presenta su integración en la atención médica. La diversidad de los entornos y situaciones sanitarias combinados con una tecnología puramente mecánica basada en el aprendizaje automático puede generar ciertas dificultades (28). Los desafíos de la IA en el sector de la salud están relacionados con los siguientes aspectos:

3.1 Desafíos en precisión y confiabilidad

La complejidad de la atención médica, con sus múltiples variables ambientales y situacionales, dificulta la aplicación de la IA en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Estos factores, a menudo no digitalizados o demasiado complejos para codificarse, son cruciales para una atención precisa y personalizada. La falta de información contextual en los datos de entrenamiento de la IA limita la validez y aplicabilidad de sus decisiones, dificultando que el personal médico las comprenda y justifique. La IA aún no puede reemplazar el juicio humano en la toma de decisiones médicas, ya que su enfoque se basa en los datos existentes y no en las particularidades de cada caso (25,28). La escasez de datos de alta calidad para el entrenamiento y la evaluación de los modelos de IA puede producir sesgos, predicciones y diagnósticos inexactos. Los algoritmos de IA pueden estar sesgados si los datos utilizados para entrenarlos no son representativos de la población objetivo. La inversión en investigación y desarrollo de algoritmos más transparentes, junto con la implementación de mecanismos de control y supervisión, son claves para superar estos obstáculos (63).

3.2 Desafíos éticos y de privacidad

Es importante tener presente que la IA puede cometer errores en ciertas situaciones debido a que su toma de decisiones se basa en predicciones probabilísticas. Por lo tanto, requiere un cumplimiento estricto de las leyes, regulaciones y reglas claras sobre quién es responsable legalmente en

casos en los que la IA falle o cause daños (64). El juicio clínico siempre ha sido dominio de profesionales de la salud capacitados y certificados. Sin embargo, el mayor uso de sistemas de apoyo a las decisiones de IA para ayudar con las tareas clínicas puede afectar la responsabilidad profesional de los proveedores de atención médica hacia sus pacientes (65). Además, para que los modelos de IA funcionen de manera efectiva, se necesitará una gran cantidad de datos, lo que puede generar preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad de quienes proporcionan esos datos, tanto en médicos como en pacientes (66,67). La implementación de la IA en el área de la salud enfrenta grandes retos en la gestión de datos, la seguridad técnica y la aprobación ética. Por lo tanto, es crucial garantizar cuestiones de privacidad, responsabilidad, derechos de propiedad intelectual, transparencia, supervisión humana, la no discriminación, la equidad, el bienestar social y la accesibilidad económica en el uso de la IA en la atención médica (68). No obstante, la falta de uniformidad en los sistemas de atención médica entre países, regiones y hospitales dificulta la recopilación de datos y por tanto la regulación legal y ética de estos sistemas (33,69).

3.3 Desafíos tecnológicos

La transición de las arquitecturas informáticas tradicionales a las de IA presenta desafíos tecnológicos considerables. La implementación de la IA a gran escala exige una infraestructura robusta y escalable que pueda soportar la carga computacional y de datos. Además, la integración de la IA con los sistemas informáticos existentes puede ser complicada y requerir soluciones personalizadas. Los nuevos procesadores para IA ofrecen mayor potencia y eficiencia, pero también requieren cambios en la infraestructura informática tradicional (57). Sin embargo, implementar estas infraestructuras y almacenamientos puede resultar complejo y costoso para organizaciones con recursos limitados (70). Por otro lado, la baja familiaridad con la tecnología digital entre algunos profesionales de la salud, como médicos, enfermeras, auxiliares de enfermería, etc., puede ser un obstáculo para la adopción de la IA en la atención médica. Los profesionales de la salud pueden mostrarse reacios a utilizar nuevas tecnologías como la IA. La curva de aprendizaje para las herramientas de IA puede ser mayor, dificultosa y abrumadora para algunos usuarios, especialmente para aquellos que no están familiarizados con las tecnologías digitales (21). Los estudiantes de medicina profesionales de la salud pueden no ser capaces de utilizar las herramientas de IA de manera efectiva si no tienen la formación, habilidades y conocimientos

necesarios para la implementación de esta en entornos médicos (54,58,71). Por tanto, es necesario que las escuelas de medicina enseñen a los futuros médicos las habilidades necesarias para trabajar, gestionar e interactuar con la IA (53,72), solo de esta forma se mejorará y asegurará la calidad de atención al paciente (54).

3.4 Desafíos económicos, de sostenibilidad y equidad

Los nuevos avances en hardware y técnicas de entrenamiento han creado redes neuronales más grandes y precisas con avances notables en la precisión de diversas tareas de procesamiento del lenguaje. Sin embargo, su precisión depende de recursos computacionales considerables, que a su vez demandan un consumo de energía significativo. Como consecuencia, el entrenamiento y desarrollo de estos modelos es costoso, tanto en términos financieros (por el hardware, la electricidad o el tiempo de computación en la nube) como ambientales (por la huella de carbono del hardware de procesamiento) (73). El alto costo de los modelos podría limitar el acceso a esta tecnología por lo que se necesitan soluciones para hacer que la IA sea más sostenible y accesible. Así también, la implementación de la IA en la atención médica en países de altos ingresos representa un desafío para los países de bajos y medianos ingresos (PIBM). Los datos utilizados para desarrollar la IA en países de altos ingresos no reflejan el contexto de los PIBM, lo que genera sesgos en los modelos predictivos. Este sesgo amenaza la promesa de la IA de democratizar los servicios de salud. Los sistemas de IA se entrenan con datos específicos del contexto en el que se desarrollan por lo que la implementación de la IA creada en países de altos ingresos y aplicada en PIBM puede generar resultados erróneos debido a las diferencias en los sistemas de salud, la epidemiología y los factores socioeconómicos (74). La construcción de herramientas de apoyo a la toma de decisiones para la atención primaria con datos erróneos puede generar resultados inexactos y perjudicar a los pacientes. El desarrollo aventajado de la IA en países de altos ingresos puede concentrar los recursos y el poder de decisión en un grupo limitado, aumentando la inequidad en el acceso a la atención médica (75).

Conclusión

La integración de IA en medicina ha generado un cambio significativo en la forma en que se brinda atención médica. Se ha implementado en una variedad de situaciones médicas, desde el diagnóstico de enfermedades hasta la gestión de datos y la investigación farmacéutica. La capacidad de

la IA para mejorar la precisión del diagnóstico, personalizar el tratamiento y optimizar la gestión de recursos ha sido fundamental para su adopción en el campo de la salud. Sin embargo, junto con los beneficios, también surgen desafíos a tener en cuenta. La precisión y confiabilidad de los algoritmos de IA, la ética y la privacidad de los datos, los desafíos tecnológicos y los problemas de costos y equidad son áreas que requieren atención y soluciones. Es esencial abordar estos desafíos para garantizar que la IA se use de manera responsable y equitativa.

A medida que la IA continúe desarrollándose y expandiéndose en la medicina, es crucial mantener un enfoque centrado en el paciente y garantizar que estas tecnologías se utilicen para mejorar los resultados en salud y promover la equidad en el acceso a la atención médica. La colaboración entre profesionales de la salud, investigadores, entidades reguladoras y desarrolladores de tecnología será fundamental para enfrentar estos desafíos y aprovechar todo el potencial de la IA en beneficio de la salud humana.

Financiación: autofinanciado.

Conflictos de intereses: ninguno.

Referencias

1. Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. *Metab - Clin Exp.* el 1 de abril de 2017;69:S36-40.
2. Liu P ran, Lu L, Zhang J yao, Huo T tong, Liu S xiang, Ye Z wei. Application of Artificial Intelligence in Medicine: An Overview. *Curr Med Sci.* el 1 de diciembre de 2021;41(6):1105-15.
3. Patel VL, Shortliffe EH, Stefanelli M, Szolovits P, Berthold MR, Bellazzi R, et al. The coming of age of artificial intelligence in medicine. *Artif Intell Med.* el 1 de mayo de 2009;46(1):5-17.
4. Xie Q, Liu Y, Huang H, Hong B, Wang J, Han H, et al. An innovative method for screening and evaluating the degree of diabetic retinopathy and drug treatment based on artificial intelligence algorithms. *Pharmacol Res.* el 1 de septiembre de 2020;159:104986.
5. Gong J, Liu J yu, Jiang Y jun, Sun X wen, Zheng B, Nie S dong. Fusion of quantitative imaging features and serum biomarkers to improve performance of computer-aided diagnosis scheme for lung cancer: A preliminary study. *Med Phys.* 2018;45(12):5472-81.
6. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, Broeders M, Gennaro G, Clauser P, et al. Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists. *JNCI J Natl Cancer Inst.* el 1 de septiembre de 2019;111(9):916-22.
7. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, Teuwen J, Broeders M, Gennaro G, et al. Can we reduce the workload of mammographic screening by automatic identification of normal exams with artificial intelligence? A feasibility study. *Eur Radiol.* el 1 de septiembre de 2019;29(9):4825-32.
8. Acs B, Rantalainen M, Hartman J. Artificial intelligence as the next step towards precision pathology. *J Intern Med.* 2020;288(1):62-81.

9. Bera K, Schalper KA, Rimm DL, Velcheti V, Madabhushi A. Artificial intelligence in digital pathology – new tools for diagnosis and precision oncology. *Nat Rev Clin Oncol*. noviembre de 2019;16(11):703–15.
10. Stefano GB. Robotic Surgery: Fast Forward to Telemedicine. *Med Sci Monit*. el 17 de abril de 2017;23:1856–1856.
11. Zuo S, Yang GZ. Endomicroscopy for Computer and Robot Assisted Intervention. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2017;10:12–25.
12. Tejo-Otero A, Buj-Corral I, Fenollosa-Artés F. 3D Printing in Medicine for Preoperative Surgical Planning: A Review. *Ann Biomed Eng*. el 1 de febrero de 2020;48(2):536–55.
13. Navarrete-Welton AJ, Hashimoto DA. Current applications of artificial intelligence for intraoperative decision support in surgery. *Front Med*. el 1 de agosto de 2020;14(4):369–81.
14. Bajorath J, Kearnes S, Walters WP, Meanwell NA, Georg GI, Wang S. Artificial Intelligence in Drug Discovery: Into the Great Wide Open. *J Med Chem*. el 27 de agosto de 2020;63(16):8651–2.
15. Nas S, Koyuncu M. Emergency Department Capacity Planning: A Recurrent Neural Network and Simulation Approach. *Comput Math Methods Med*. el 15 de noviembre de 2019;2019:e4359719.
16. Yang YY, Shulruf B. An expert-led and artificial intelligence system-assisted tutoring course to improve the confidence of Chinese medical interns in suturing and ligature skills: a prospective pilot study. *J Educ Eval Health Prof*. el 10 de abril de 2019;16:7.
17. Dekker I, De Jong EM, Schippers MC, De Bruijn-Smolanders M, Alexiou A, Giesbers B. Optimizing Students' Mental Health and Academic Performance: AI-Enhanced Life Crafting. *Front Psychol*. el 3 de junio de 2020;11:1063.
18. Al Kuwaiti A, Nazer K, Al-Reedy A, Al-Shehri S, Al-Muhanna A, Subbarayalu AV, et al. A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare. *J Pers Med*. el 5 de junio de 2023;13(6):951.
19. Health C for D and R. What is Digital Health? FDA [Internet]. el 22 de septiembre de 2020 [citado el 12 de marzo de 2024]; Disponible en: <https://www.fda.gov/medical-devices/digital-health-center-excellence/what-digital-health>
20. Kumar K, Loebinger MR, Ghafur S. The role of wirelessly observed therapy in improving treatment adherence. *Future Heal J*. el 1 de julio de 2022;9(2):179–82.
21. Lee D, Yoon SN. Application of Artificial Intelligence-Based Technologies in the Healthcare Industry: Opportunities and Challenges. *Int J Environ Res Public Health*. enero de 2021;18(1):271.
22. Choudhury A, Asan O. Role of Artificial Intelligence in Patient Safety Outcomes: Systematic Literature Review. *JMIR Med Inf*. 2020;8(7):e18599.
23. Loh HW, Ooi CP, Seoni S, Barua PD, Molinari F, Acharya UR. Application of explainable artificial intelligence for healthcare: A systematic review of the last decade (2011–2022). *Comput Methods Programs Biomed*. 2022;226:107161.
24. Kumar Y, Koul A, Singla R, Ijaz MF. Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *J Ambient Intell Humaniz Comput*. 2023;14(7):8459–86.
25. Younis HA, Eisa TAE, Nasser M, Sahib TM, Noor AA, Alyasiri OM, et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Artificial Intelligence Tools in Medicine and Healthcare: Applications, Considerations, Limitations, Motivation and Challenges. *Diagnostics*. 2024;14(1):109.
26. Lee S, Kim HS. Prospect of Artificial Intelligence Based on Electronic Medical Record. *J Lipid Atheroscler*. 2021;10(3):282–90.

27. Negro-Calduch E, Azzopardi-Muscat N, Krishnamurthy RS, Novillo-Ortiz D. Technological progress in electronic health record system optimization: Systematic review of systematic literature reviews. *Int J Med Inf.* 2021;152:104507.
28. Ali O, Abdelbaki W, Shrestha A, Elbasi E, Alryalat MAA, Dwivedi YK. A systematic literature review of artificial intelligence in the healthcare sector: Benefits, challenges, methodologies, and functionalities. *J Innov Knowl.* 2023;8(1):100333.
29. Sharma M, Savage C, Nair M, Larsson I, Svedberg P, Nygren JM. Artificial Intelligence Applications in Health Care Practice: Scoping Review. *J Med Internet Res.* 2022;24(10):e40238.
30. Arjoune A, Nguyen T, Doroshov R. Technical characterisation of digital stethoscopes: towards scalable artificial intelligence-based auscultation. *J Med Eng Technol.* 2023;47(3):165–78.
31. Zhang M, Li M, Guo L, Liu J. A Low-Cost AI-Empowered Stethoscope and a Lightweight Model for Detecting Cardiac and Respiratory Diseases from Lung and Heart Auscultation Sounds. *Sensors.* 2023;23(5):2591.
32. Poalelungi DG, Musat CL, Fulga A, Neagu M, Neagu AI, Piraiianu AI, et al. Advancing Patient Care: How Artificial Intelligence Is Transforming Healthcare. *J Pers Med.* 2023;13(8):1214.
33. Wang Y, Li N, Chen L, Wu M, Meng S, Dai Z, et al. Guidelines, Consensus Statements, and Standards for the Use of Artificial Intelligence in Medicine: Systematic Review. *J Med Internet Res.* 2023;25(1):e46089.
34. Martinez-Millana A, Saez-Saez A, Tornero-Costa R, Azzopardi-Muscat N, Traver V, Novillo-Ortiz D. Artificial intelligence and its impact on the domains of universal health coverage, health emergencies and health promotion: An overview of systematic reviews. *Int J Med Inf.* 2022;166:104855.
35. Bitkina OV, Park J, Kim HK. Application of artificial intelligence in medical technologies: A systematic review of main trends. *Digit Health.* 2023;9:20552076231189331.
36. Shen J, Zhang CJP, Jiang B, Chen J, Song J, Liu Z, et al. Artificial Intelligence Versus Clinicians in Disease Diagnosis: Systematic Review. *JMIR Med Inform.* 2019;7(3):e10010.
37. Liu X, Faes L, Kale AU, Wagner SK, Fu DJ, Bruynseels A, et al. A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Digit Health.* 2019;1(6):e271–97.
38. Nagendran M, Chen Y, Lovejoy CA, Gordon AC, Komorowski M, Harvey H, et al. Artificial intelligence versus clinicians: systematic review of design, reporting standards, and claims of deep learning studies. *BMJ.* 2020;368:m689.
39. Yin J, Ngiam KY, Teo HH. Role of Artificial Intelligence Applications in Real-Life Clinical Practice: Systematic Review. *J Med Internet Res.* 2021;23(4):e25759.
40. Herman DS, Rhoads DD, Schulz WL, Durant TJS. Artificial Intelligence and Mapping a New Direction in Laboratory Medicine: A Review. *Clin Chem.* 2021;67(11):1466–82.
41. Wen X, Leng P, Wang J, Yang G, Zu R, Jia X, et al. Clinlabomics: leveraging clinical laboratory data by data mining strategies. *BMC Bioinformatics.* 2022;23(1):387.
42. Rabbani N, Kim GYE, Suarez CJ, Chen JH. Applications of Machine Learning in Routine Laboratory Medicine: Current State and Future Directions. *Clin Biochem.* 2022;103:1–7.
43. Aradhya S, Facio FM, Metz H, Manders T, Colavin A, Kobayashi Y, et al. Applications of artificial intelligence in clinical laboratory genomics. *Am J Med Genet C Semin Med Genet.* 2023;193(3):e32057.
44. Alloghani M, Al-Jumeily D, Aljaaf AJ, Khalaf M, Mustafina J, Tan SY. The Application of Artificial Intelligence Technology in Healthcare: A Systematic Review. En: Khalaf MI, Al-Jumeily D, Lisitsa A, editores. *Applied Computing to Support Industry: Innovation and Technology.* Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 248–61. (Communications in Computer

and Information Science).

45. Khan ZF, Alotaibi SR. Applications of Artificial Intelligence and Big Data Analytics in m-Health: A Healthcare System Perspective. *J Healthc Eng.* 2020;2020:e8894694.
46. Antoniadis AM, Du Y, Guendouz Y, Wei L, Mazo C, Becker BA, et al. Current Challenges and Future Opportunities for XAI in Machine Learning-Based Clinical Decision Support Systems: A Systematic Review. *Appl Sci.* 2021;11(11):5088.
47. Zhou Q, Chen Z hang, Cao Y heng, Peng S. Clinical impact and quality of randomized controlled trials involving interventions evaluating artificial intelligence prediction tools: a systematic review. *Npj Digit Med.* 2021;4(1):1–12.
48. Schwalbe N, Wahl B, Song J, Lehtimaki S. Data Sharing and Global Public Health: Defining What We Mean by Data. *Front Digit Health.* 2020;2:612339.
49. Sarkar IN. Transforming Health Data to Actionable Information: Recent Progress and Future Opportunities in Health Information Exchange. *Yearb Med Inform.* el 4 de diciembre de 2022;31(1):203–14.
50. Chan KS, Zary N. Applications and Challenges of Implementing Artificial Intelligence in Medical Education: Integrative Review. *JMIR Med Educ.* 2019;5(1):e13930.
51. Masters K. Artificial intelligence in medical education. *Med Teach.* 2019;41(9):976–80.
52. Nagi F, Salih R, Alzubaidi M, Shah H, Alam T, Shah Z, et al. Applications of Artificial Intelligence (AI) in Medical Education: A Scoping Review. En: *Healthcare Transformation with Informatics and Artificial Intelligence.* IOS Press; 2023. p. 648–51.
53. Sun L, Yin C, Xu Q, Zhao W. Artificial intelligence for healthcare and medical education: a systematic review. *Am J Transl Res.* 2023;15(7):4820–8.
54. Pupic N, Ghaffari-zadeh A, Hu R, Singla R, Darras K, Karwowska A, et al. An evidence-based approach to artificial intelligence education for medical students: A systematic review. *PLOS Digit Health.* 2023;2(11):e0000255.
55. Roppelt JS, Kanbach DK, Kraus S. Artificial intelligence in healthcare institutions: A systematic literature review on influencing factors. *Technol Soc.* 2024;76:102443.
56. Wang F, Preininger A. AI in Health: State of the Art, Challenges, and Future Directions. *Yearb Med Inf.* 28(1):016–26.
57. Iliashenko O, Bikkulova Z, Dubgorn A. Opportunities and challenges of artificial intelligence in healthcare. *E3S Web Conf.* 2019;110:02028.
58. Chen M, Zhang B, Cai Z, Seery S, Gonzalez MJ, Ali NM, et al. Acceptance of clinical artificial intelligence among physicians and medical students: A systematic review with cross-sectional survey. *Front Med.* el 31 de agosto de 2022;9.
59. Briganti G, Le Moine O. Artificial Intelligence in Medicine: Today and Tomorrow. *Front Med.* 2020;7.
60. Preiksaitis C, Rose C. Opportunities, Challenges, and Future Directions of Generative Artificial Intelligence in Medical Education: Scoping Review. *JMIR Med Educ.* 2023;9(1):e48785.
61. Han ER, Yeo S, Kim MJ, Lee YH, Park KH, Roh H. Medical education trends for future physicians in the era of advanced technology and artificial intelligence: an integrative review. *BMC Med Educ.* 2019;19(1):460.
62. Baclic O, Tunis M, Young K, Doan C, Swerdfeger H, Schonfeld J. Challenges and opportunities for public health made possible by advances in natural language processing. *Can Commun Dis Rep.* 2020;46(6):161–8.
63. Wubineh BZ, Deriba FG, Woldeyohannis MM. Exploring the opportunities and challenges of implementing artificial intelligence in healthcare: A systematic literature review. *Urol Oncol Semin Orig Investig.* el 1 de marzo de 2024;42(3):48–56.

64. Llamas Covarrubias JZ, Mendoza Enríquez OA, Graff Guerrero M. Enfoques regulatorios para la inteligencia artificial (IA). *Rev Chil Derecho*. diciembre de 2022;49(3):31–62.
65. Carter SM, Rogers W, Win KT, Frazer H, Richards B, Houssami N. The ethical, legal and social implications of using artificial intelligence systems in breast cancer care. *The Breast*. el 1 de febrero de 2020;49:25–32.
66. Sebastian AM, Peter D. Artificial Intelligence in Cancer Research: Trends, Challenges and Future Directions. *Life*. diciembre de 2022;12(12):1991.
67. Bartoletti I. AI in Healthcare: Ethical and Privacy Challenges. En: Riaño D, Wilk S, ten Teije A, editores. *Artificial Intelligence in Medicine*. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 7–10.
68. Cohen IG, Evgeniou T, Gerke S, Minssen T. The European artificial intelligence strategy: implications and challenges for digital health. *Lancet Digit Health*. el 1 de julio de 2020;2(7):e376–9.
69. Gerke S, Minssen T, Cohen G. Chapter 12 - Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. En: Bohr A, Memarzadeh K, editores. *Artificial Intelligence in Healthcare*. Academic Press; 2020. p. 295–336.
70. Singh RP, Hom GL, Abramoff MD, Campbell JP, Chiang MF, on behalf of the AAO Task Force on Artificial Intelligence. Current Challenges and Barriers to Real-World Artificial Intelligence Adoption for the Healthcare System, Provider, and the Patient. *Transl Vis Sci Technol*. el 11 de agosto de 2020;9(2):45.
71. Mousavi Baigi SF, Sarbaz M, Ghaddaripouri K, Ghaddaripouri M, Mousavi AS, Kimiafar K. Attitudes, knowledge, and skills towards artificial intelligence among healthcare students: A systematic review. *Health Sci Rep*. 2023;6(3):e1138.
72. Lee J, Wu AS, Li D, Kulasegaram K (Mahan). Artificial Intelligence in Undergraduate Medical Education: A Scoping Review. *Acad Med*. 2021;96(11S):S62.
73. Strubell E, Ganesh A, McCallum A. Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP. *Univ Mass Amherst*. el 5 de junio de 2019;
74. Weissglass DE. Contextual bias, the democratization of healthcare, and medical artificial intelligence in low- and middle-income countries. *Bioethics*. 2022;36(2):201–9.
75. Gibbons ED. Toward a More Equal World: The Human Rights Approach to Extending the Benefits of Artificial Intelligence. *IEEE Technol Soc Mag*. marzo de 2021;40(1):25–30.