

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MEDICINA: PANORAMA ACTUAL

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE: CURRENT OVERVIEW

Enrique Ruibal-Tavares^{1*}, Jesús René Tadeo Calleja-López¹, Cristián Noé Rivera-Rosas¹, Luis José Aguilera-Duarte¹

¹Médico pasante de servicio social, Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Campus Hermosillo, Blvd. Luis Donaldo Colosio esq. con Reforma, C.P. 83000. Identificador ORCID: Ruibal-Tavares E. 0000-0002-1985-5039, Calleja-López J. 0000-0002-2312-4984, Rivera-Rosas C. 0000-0001-6861-0612, Aguilera-Duarte L. 0000-0003-1285-9552.

*Correo electrónico de autor de correspondencia: enriqueruibalnav@gmail.com

RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) tiene un potencial enorme para modernizar la práctica y educación de la medicina. Esta tecnología, basada en algoritmos con los cuales las máquinas son capaces de llevar a procesos de razonamiento de alta complejidad, tiene aplicaciones en la atención médica que, a pesar de seguir en etapas tempranas, muestran mucho potencial para optimizar el trabajo médico. Esto implica beneficios en métodos de prevención y diagnóstico de enfermedades, así como en tratamientos novedosos y mejoras en los pronósticos para los pacientes. Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de plantear el panorama general de las aplicaciones de la IA en medicina y su posible rol a futuro. En conclusión, es muy probable que este tipo de instrumentos formen parte del quehacer cotidiano de todo trabajador de la salud y, por consiguiente, es importante conocer sus límites y sus ventajas, buscando integrar de la mejor manera estas herramientas auxiliares en el campo médico.

Palabras clave: Inteligencia Artificial (IA), educación médica, machine learning, medicina, medicina de precisión, medicina personalizada

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has an enormous potential to modernize the practice and education of medicine. This technology, based on algorithms which enable machines to develop high complexity reasoning processes, nowadays has applications in healthcare that, although it's still in early stages, shows great promise for optimizing the professional practice of medical sciences. This implies benefits on prevention methods and diagnosis, as well as in novel treatments and improved prognoses for patients. A bibliographic review was carried out with the objective of presenting the general picture of AI applications in medicine and its possible role in the future. We concluded that it's very likely that these types of instruments will take part in the daily work of every healthcare worker and, therefore, it's important to understand their limits and advantages, seeking to integrate these auxiliary tools in the medical field in the best possible way.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), medical education, machine learning, medicine, precision medicine, personalized medicine

Introducción

La inteligencia artificial (IA) es una rama de las ciencias de la computación que estudia conceptos relacionados con la lógica y el aprendizaje. Por lo tanto, se refiere al diseño de herramientas informáticas que simulen procesos de inteligencia humana que incluyen el aprendizaje, el razonamiento y la autocorrección. Mediante diversos algoritmos, las máquinas “aprenden” y son capaces de “tomar decisiones”¹. Desde mediados del siglo XX, la medicina fue identificada de forma temprana como una de las áreas más prometedoras para la aplicación de la IA a partir del desarrollo de modelos de soporte para la toma de decisiones clínicas. A diferencia de la primera generación de sistemas de IA, que se basaban en la curación del conocimiento médico por parte de expertos y en la formulación de reglas de decisión sólidas, la investigación en materia de IA en los últimos años ha sugerido el uso de métodos de aprendizaje automático (también llamados métodos de *machine-learning* en inglés), los cuales pueden servir en el desarrollo de interacciones complejas^{2,3}. Esta tecnología puede, de forma rápida, aprender, predecir, analizar, llegar a conclusiones e, inclusive, corregirse a sí misma. Esto puede ser aplicado a situaciones médicas, así como también a la planificación o aprendizaje de una habilidad en específico. Además, los sistemas basados en IA pueden permitir un entrenamiento en una determinada base de datos para predecir resultados, con el objetivo de resolver problemas de gran complejidad con un alto grado de precisión^{4,6}.

Los continuos avances de la medicina dificultan al médico estar completamente actualizado; también, la carga asistencial y administrativa ha aumentado de forma importante, favoreciendo el agotamiento del personal y la probabilidad de aparición de errores, lo cual atenta contra la seguridad de los pacientes. Es aquí donde la IA, basada

en el uso de algoritmos y software complejos para simular la cognición humana, promete una transformación favorable para la atención médica⁷. A pesar de que el panorama del ambiente laboral en el futuro próximo no es del todo claro aún, el rol de la IA en el área de trabajo de diversas disciplinas, incluyendo a las ciencias de la salud, se está volviendo cada vez más una parte integral^{8,9}. El objetivo del presente trabajo es ofrecer una revisión general de la implicación actual de las tecnologías basadas en IA en el área médica y sus posibles aplicaciones a futuro.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica (publicaciones de los últimos 5 años a partir del 24 de septiembre de 2023) en las bases de datos PubMed, Redalyc, Imbiomed, Scielo y Google Académico utilizando los siguientes términos de búsqueda: inteligencia artificial, machine learning, medicina, educación médica, salud pública. También se buscaron las diferentes combinaciones de los términos. Se obtuvo un total de 6264 resultados, de los cuales, se consideraron 44 trabajos relevantes para el objetivo (antecedentes y contexto del uso de IA en medicina, aplicaciones actuales, aspectos novedosos de su aplicación en educación en medicina, posible rol a futuro, entre otros), tanto en inglés como español.

Resultados y discusión

Contexto histórico de la IA, su estructura y el “deep learning”

Aunque el campo de la informática es innovador en algunos aspectos, tiene raíces desde el siglo pasado, cuando en 1943, el neurobiólogo Warren McCulloch y el estadístico Walter Pitts publicaron un artículo que definía que los eventos neuronales y las relaciones entre ellos pueden tratarse me-

ARTÍCULO DE REVISIÓN

dian­te la ló­gi­ca pro­po­si­ci­o­nal. La es­truc­tu­ra y el fun­cio­na­mien­to del ce­re­bro es aná­lo­go al *modus operandi* de las má­qui­nas. Las re­des neu­ro­na­les ar­ti­fi­cia­les, en in­glés *Artificial Neural Networks* (ANN), es­tán com­pues­tas por ele­men­tos que se com­por­tan de for­ma pa­re­ci­da a la neu­ro­na bio­lógica en sus fun­cio­nes más co­mu­nes y que se de­no­mi­nan “ele­men­to pro­ce­sa­dor”, en in­glés *process element* (PE). Cada uno de los PE (neu­ro­nas) tie­nen ele­men­tos de en­tra­da (den­dri­tas) que re­co­gen los im­pul­so­es de en­tra­da que son in­te­gra­dos en el cuer­po del ele­men­to pro­ce­sa­dor y ge­ne­ran una res­pues­ta o sa­li­da. La sa­li­da del PE (axón) se pue­de con­ec­tar a las en­tra­das de otras neu­ro­nas ar­ti­fi­cia­les me­di­an­te con­e­xio­nes con una efi­ca­cia se­me­jan­te a las sin­ap­sis de las con­e­xio­nes neu­ro­na­les del ce­re­bro. Los PE es­tán or­ga­ni­za­dos en una se­rie de ni­ve­les que se de­no­mi­nan “ca­pas”, y el con­jun­to de es­tas “ca­pas” for­man una ANN^{1,10}.

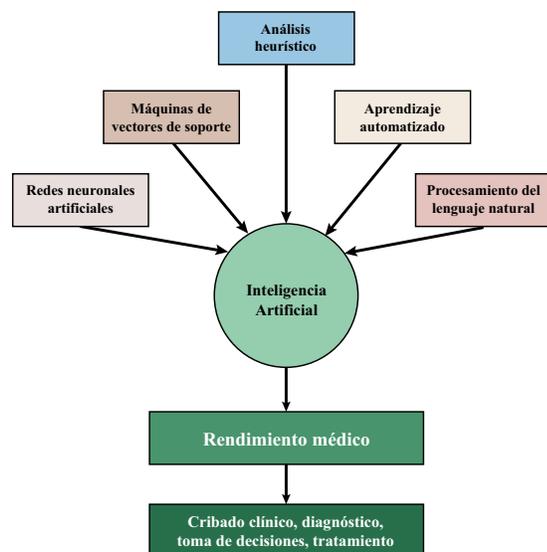
Otro as­pec­to que cabe re­cal­car es el apren­di­za­je pro­fun­do, o *deep learning* por su tér­mi­no en in­glés, va­ri­an­te de la IA que fun­cio­na como un sub­con­jun­to de re­des neu­ro­na­les que uti­li­zan múl­ti­ples “ca­pas” de pro­ce­sa­mien­to de “neu­ro­nas” in­ter­con­ec­ta­das de en­tra­da y sa­li­da, con el fin de re­co­no­cer un pa­trón. Por ejem­plo, las imá­ge­nes de en­tra­da se in­tro­du­cen en una red neu­ro­nal y las neu­ro­nas asig­nan pe­so­es ma­te­má­ti­cos a di­fe­ren­tes ele­men­tos (pí­xe­les) de la imá­gen. Una ca­pa de sa­li­da fi­nal reú­ne to­da la in­for­ma­ción ge­ne­ra­da para iden­ti­fi­car la imá­gen. Si la imá­gen de sa­li­da po­see al­gún er­ror, la red neu­ro­nal lo de­tec­ta y lo ajus­ta al “pe­so” de sus neu­ro­nas^{8,9}. En la ac­tualidad, la IA se con­si­de­ra una rama de la in­ge­nie­ría que im­ple­men­ta con­cep­tos no­ve­do­so­es y so­lu­cio­nes para re­sol­ver pro­ble­mas. Con un con­ti­nuo pro­gre­so en ve­lo­ci­dad elec­tró­ni­ca, ca­pa­ci­dad y pro­gra­ma­ción de soft­ware, tal vez al­gún día las com­pu­ta­do­ras pue­dan lle­gar a tener una ca­pa­ci­dad in­tel­ec­tu­al si­mi­lar al ra­zo­na­mien­to hu­ma­no¹¹.

IA en el campo médico actual

La IA se ha con­ver­ti­do cada vez más en una parte in­te­gra­l de nues­tras vi­das, tenien­do un im­pac­to in­dis­cu­ti­ble en la so­ci­e­dad ac­tual. Gra­cias al cre­ci­mien­to en el po­der com­pu­ta­ci­o­nal, los avan­ces en di­ver­so­es mé­to­dos y téc­ni­cas, jun­to a la llama­da “ex­plo­si­ón de da­tos”, la IA se ha po­si­ci­o­na­do como una tec­no­lo­gía de so­por­te en di­fe­ren­tes do­mi­nios, desde la in­dus­tria mer­can­til hasta la edu­ca­ción^{12,13}. La IA of­re­ce va­rios pun­tos po­si­ti­vos en el cam­po mé­di­co con el fin de cre­ación de mé­to­dos in­no­va­do­res. In­clu­so, fa­ci­li­ta pro­veer ser­vi­cios a los pa­cien­tes de for­ma vir­tual. Ac­tual­men­te cual­quier pro­ble­má­ti­ca del pa­cien­te pue­de con­sul­tarse de for­ma rá­pi­da, de ma­ne­ra que se pue­den re­sol­ver múl­ti­ples pro­ble­mas de sa­lud de for­ma muy tem­pra­na^{4,11,14}. Los pro­ce­so­es in­te­gra­ti­vos de in­for­ma­ción, la au­to­ma­ti­za­ción de ac­ti­vi­da­des re­pe­ti­ti­vas, la iden­ti­fi­ca­ción de er­ro­res de pre­scri­pción y de efec­to­es ad­ver­so­es a fá­rma­co­es, ademas del au­men­to de la au­to­no­mía de los pa­cien­tes para el tra­ta­mien­to de pa­de­ci­mien­to­es y de ba­jo ries­go de com­pli­ca­cio­nes son al­gunas de las gran­des ven­ta­jas ac­tu­ales que mues­tra la IA⁷. Esta tec­no­lo­gía ha trans­for­ma­do la pre­sta­ción de ser­vi­cios de sa­lud, par­ti­cu­lar­men­te en zo­nas de al­to de­sar­rol­lo eco­nó­mi­co y en rama­es mé­di­cas muy es­pe­cia­li­za­das (por ejem­plo, ra­dio­lo­gía y pa­to­lo­gía)^{15,16}. Las imá­ge­nes ra­dio­lo­gí­cas, las pre­pa­ra­cio­nes de ana­to­mía pa­to­lo­gí­ca y los re­gis­tro­es mé­di­co­es elec­tró­ni­co­es de los pa­cien­tes se es­tán e­va­lu­an­do me­di­an­te apren­di­za­je au­to­má­ti­co, ayu­dan­do en el pro­ce­so de diag­nós­ti­co y tra­ta­mien­to de los pa­cien­tes^{17,18}. La fi­gu­ra 1 re­sume a gran­des ras­go­es la fun­cio­na­li­dad de la IA en el área mé­di­ca.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Figura 1. Diagrama de procesamiento de la IA en el campo de la medicina, con su principal utilidad enfocada en metodología clínica (modificado de Haleem A. et al.⁴)



Desde una perspectiva de salud pública, las aplicaciones basadas en IA pueden brindar un beneficio en educación y promoción de la salud con soluciones interactivas accesibles y rentables. La utilidad de la IA, en la llamada “medicina personalizada”, pudiera recordar a los pacientes la calendarización de sus consultas médicas o inmunizaciones, o incluso proveer recomendaciones de salud basadas en el historial clínico y preferencias de las personas. Incluso, pudiese sugerir recursos de educación en salud para información acerca de dietas y ejercicio para llevar un estilo de vida saludable¹⁹. Es esperado que la IA tenga un fuerte impacto en la prevención de enfermedades en la sociedad, en el suministro de cuidados personales y asistencia sanitaria, en las tendencias en cuanto a enfermedades y sus resultados en factores biológicos y ambientales, así como en la organización de hospitales en cuanto a tratamientos, diagnósticos y toma de decisiones²⁰.

Cabe mencionar que en años recientes múltiples estudios evaluaron la funcionalidad de la IA aplicada en varios problemas de salud frecuentes en áreas de bajos recursos económicos, enfocados en enfermedades infecto-contagiosas como tubercu-

losis, malaria, dengue, entre otras; principalmente, analizando métodos de diagnóstico y tamizaje. En la mayoría, se encontraron altos valores de especificidad y/o sensibilidad (mayor al 85 %) y no inferioridad en comparación con otros métodos diagnósticos utilizados¹⁵. Varios estudios han evaluado múltiples aspectos de los sistemas de salud, reportando el progreso en la integración de la IA en la prevención, tamizaje, tratamiento de enfermedades y en su pronóstico^{21,22}. Para aprovechar el potencial de la IA en la investigación clínica y traslacional, será necesaria la colaboración entre metodólogos que diseñen algoritmos cada vez más eficaces y médicos e informáticos que puedan implementar estos algoritmos en la práctica clínica²³.

Educación médica e IA, introducción de los modelos de lenguaje a la formación en medicina

Con el paso de los años, la tecnología ha tomado terreno en nuestra vida diaria y eso incluye a los modelos de educación. En medicina, los libros de texto ahora pueden encontrarse en formato electrónico, y las clases o conferencias están mudándose al internet²⁴. La participación del estudiante está impactada de manera considerable por la tecnología educativa que tiene disponible, ya que esta facilita el acceso a la información y propicia un ambiente colaborativo entre el docente y el estudiante²⁵. Por lo anterior, las instituciones educativas se han centrado más en capacitar al personal docente en la enseñanza virtual²⁶. Particularmente, los llamados “modelos de lenguaje de gran tamaño” (LLM por sus siglas en inglés, Large Language Models) tienen un gran potencial para la transformación de las experiencias de aprendizaje en los estudiantes con el fin de elevar sus conocimientos, habilidades y competencias²⁷.

Los LLM utilizan técnicas del *deep learning* para emular capacidades lingüísticas humanas, permitiendo la imitación y predicción de la interacción

ARTÍCULO DE REVISIÓN

humana con el lenguaje por medio del cálculo de probabilidad para una determinada secuencia de palabras²⁸. Ejemplos de estos son ChatGPT y DALL-E por OpenAI, Segment Anything Model (SAM) y LLaMA por Meta y LaMDA por Google²⁷. Además, el uso de novedosos LLM como asistentes virtuales para la enseñanza se han estudiado en diversos trabajos de investigación médica. En ellos se enfatiza la reducción de la carga de trabajo para los maestros y la incorporación de una educación personalizada, aunque la principal desventaja sigue siendo la precisión o veracidad del contenido generado por la IA, la cual requiere de la habilidad de los estudiantes para discriminar de una posible información errónea²⁹.

Los LLM pueden utilizarse como una herramienta complementaria que facilita la experiencia de enseñanza, aprendizaje, desarrollo y evaluación de la educación médica para estudiantes, docentes y/o diseñadores de programas académicos. Algunas posibles utilidades son: estrategias de enseñanza y aprendizaje con simulación de casos clínicos y evaluación de conocimientos médicos con retroalimentación (individual o grupal); la creación de material didáctico para la comprensión de un tema en particular; la redacción médica y científica con la selección del lenguaje y terminología adecuada; la extracción eficaz, análisis y apoyo en redacción para mejorar la comprensión y coherencia de un trabajo médico y de investigación; el análisis y evaluación de trabajos, conocimientos y programas académicos con la creación de exámenes, solicitud de críticas constructivas a textos o análisis de datos; y el desarrollo de planes curriculares³⁰.

Inclusive, ahora los estudiantes de medicina pueden ser evaluados de acuerdo con sus aptitudes gracias a escenarios virtuales creados por IA, lo cual permite ajustar las pruebas en simuladores a futuro a partir de sus resultados. Por lo tanto, la

integración de la IA en los planes de estudio de las escuelas de medicina y la formación de posgrado será una necesidad como parte de la enseñanza integral deseada en las futuras generaciones^{7,31}. Los programas curriculares de las facultades de medicina y posgrados médicos deben de actualizarse para incluir tópicos en informática aplicada a ciencias de la salud, ciencias computacionales y bioestadística. En un mundo ideal, los médicos podrán asimilar la construcción de algoritmos, entender las bases de datos y su estructura y, sobre todo, conocer sus limitantes; aunque en la actualidad, debido a los recursos limitados y la demanda del tiempo de los médicos clínicos puede ser razonable el no esperar que suceda esto, al menos no en el futuro cercano. Sin embargo, a medida que el involucramiento de la IA en la profesión médica va creciendo, se espera un incremento de médicos interesados en este tipo de entrenamiento especial, ya sea a través de proyectos durante la carrera o en programas de residencias médicas o posgrados³².

Posible rol a futuro de la IA en medicina

Los avances contemporáneos en tecnologías de la información y el poder computacional móvil han incrementado las posibilidades de la IA para abordar problemas de salud en los próximos años¹⁵. La evidencia actual nos lleva a suponer que, en un futuro no muy lejano, la mayoría de los profesionistas de áreas clínicas, desde el médico especialista hasta el paramédico, utilizará tecnología basada en IA, en particular métodos de *deep learning*; principalmente involucrando ANN de alta profundidad que puedan ayudar a interpretar escaneos médicos, laminillas de preparados tisulares, lesiones cutáneas, imágenes retinianas, electrocardiogramas, endoscopias, facies, signos vitales, entre muchos otros⁹. También ha aumentado el interés en la construcción de herramientas con diseños distintivos en comparación a los existentes

ARTÍCULO DE REVISIÓN

de forma comercial basándose en particularidades anatómicas, condiciones fisiológicas y el estatus patológico de cada paciente^{33,34}. Se han reportado una gran cantidad de dispositivos en desarrollo en diversas especialidades médicas, como la producción de válvulas cardíacas bioprostéticas³⁵, *stents* cardiovasculares³⁶, injertos vasculares desarrollados por ingeniería biomédica tisular³⁷, prótesis para reconstrucción tumoral³⁸, además de implantes craneales³⁹ y dentales⁴⁰. La tabla 1 presenta, de manera resumida, múltiples aplicaciones de IA en diferentes especialidades médicas, producto de investigaciones recientes y en proceso.

En ciertos escenarios, la IA también podría sustituir al trabajador de salud (médico); aunque es muy poco probable que los servicios proveídos por humanos desaparezcan por completo. No obstante, la IA podrá ejecutar diferentes tareas con mayor consistencia y velocidad que la capacidad humana. Por ejemplo, en la estimación de la edad ósea por medio de exámenes radiográficos, en el diagnóstico de enfermedades retinianas o en la cuantificación de estenosis vasculares y otras métricas por imagenología cardíaca. Automatizando tareas que teóricamente no resultan complejas, pero que sí consumen mucho tiempo, los trabajadores del área de la salud pudieran dedicarse a actividades de mayor complejidad, representando una optimización del capital humano^{28,32,41-43}. Además, ya se están evaluando los posibles beneficios de la implementación de estas tecnologías de IA en el área de la academia e investigación médica, inclusive en su aplicación en ensayos clínicos y protocolos de estudio. Aun así, existen importantes limitantes para definir de forma concreta sus ventajas a corto y largo plazo, debido a que sigue en etapas muy tempranas de su desarrollo. También, es una necesidad urgente definir una normativa operacional de este tipo de tecnologías, para así establecer su utilidad, dentro de un marco legal y ético adecuado^{29,6}. Existe una gran expectativa en el potencial

Tabla 1. Posibles aplicaciones de diversos tipos de IA en diferentes especialidades médicas^{2,8,9}

Especialidad médica	Tipo(s) de tecnología(s) de IA	Aplicaciones
Radiología e imagenología	ANN de alta profundidad	Detección de nódulos pulmonares, crecimiento de silueta cardíaca en radiografía simple de tórax, presencia de masas intraabdominales y <i>score</i> de calcio coronario en TC.
Cardiología	ANN de alta profundidad, XGBoost con <i>machine learning</i>	Detección de lesión miocárdica por EKG e hipertrofia ventricular en ecocardiograma, modelo de predicción de riesgo para padecer hipertensión esencial.
Oftalmología	Red neuronal convolucional	Detección de neovascularización retiniana y degeneración macular asociada a la edad en retinografía.
Dermatología	<i>Deep learning</i>	Evaluación de características sospechosas de melanoma y carcinoma basocelular por medio de imágenes de dermatoscopia digitalizadas.
Neurología	<i>Machine learning</i>	Predicción del riesgo de recurrencia de EVC isquémico, predicción temprana de riesgo de padecer epilepsia por morfometría de RM craneal.
Anatomía patológica	<i>Deep learning, machine learning</i>	Digitalización de preparados tisulares de laminillas, clasificación de grado de esteatosis hepática, clasificación del subtipo de neoplasia cerebral por medio de metilación de ADN.
Genética	ANN de alta profundidad	Documentar información sobre variantes genéticas patogénicas e identificar funciones de ADN no codificante.
Gastroenterología	Machine learning, red neuronal convolucional, algoritmo de reconocimiento por imagen 5G	Detección y evaluación de EmA y análisis histopatológico de duodeno para enfermedad celiaca, reconocimiento de imágenes endoscópicas para definir tratamiento.

Nota: Abreviaciones: ADN = Ácido desoxirribonucleico, ANN = Artificial Neural Networks, del inglés “redes neuronales artificiales”, EKG = Electrocardiograma, EmA = Anticuerpos anti-endomisiales, EVC = Enfermedad Vascul ar Cerebral, RM = Resonancia Magnética, TC = Tomografía Computarizada.

de la IA en medicina, en donde se esperan máquinas con la capacidad de procesar información de forma masiva, con una rapidez y precisión más allá de lo humanamente posible. Esta capacidad establecerá los cimientos para la medicina de muy alta precisión, la cual será totalmente guiada por datos informativos, disminuyendo de manera considerable nuestra dependencia en recursos humanos y lo cual, eventualmente, nos llevará a una relación óptima entre humanos y la IA⁹.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Conclusiones

A pesar de que generalmente se pensaba como algo lejano, la IA ya tiene aplicaciones útiles en el campo médico en la actualidad, desde elevar la precisión de diagnósticos clínicos, hasta la toma de decisiones en diversas situaciones de salud. Este panorama nos lleva a pensar que los profesionistas del futuro tendrán que adaptarse e incorporar este tipo de herramientas de apoyo, aunque siguen siendo necesarias las regulaciones y estudios que nos permitan saber con exactitud el beneficio de estos instrumentos. A pesar de los múltiples contras que existen para el uso de la IA en la práctica médica, sobre todo en sus procesos de comunicación efectiva, consideramos que es un área de oportunidad para crecer mientras continúan desarrollándose estos medios auxiliares, los cuales mejorarán la calidad de la atención médica. Las instituciones educativas, docentes y estudiantes deben de hacer conciencia de la utilidad y el aprovechamiento que se puede obtener si se sabe integrar este tipo de tecnologías al método de educación actual. La IA merece una considerable atención por parte de la comunidad científica para generar métodos novedosos de gran precisión.

Agradecimientos

Agradecemos al Ing. Enrique Ruibal Astiazarán y a la Dra. María Elena Reguera Torres por su guía para la concepción del presente trabajo.

Declaración de conflicto de interés

El autor Ruibal-Tavares tiene relación académica con el Comité Editorial de la Revista Estudiantil de Medicina de la Universidad de Sonora (REMUS); el resto de autores declaran no tener conflictos de interés.

Fuentes de financiamiento

Ninguna.

Declaración de contribuciones

- Enrique Ruibal-Tavares: concepción y diseño del trabajo, recolección de datos, desarrollo de la tabla, preparación del manuscrito.
- Jesús René Tadeo Calleja-López: recolección de datos, preparación del manuscrito.
- Cristián Noé Rivera-Rosas: recolección de datos, preparación del manuscrito.
- Luis José Aguilera-Duarte: recolección de datos, desarrollo de la figura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Avila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La Inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: Introducción Antecedentes a la IA y robótica. *Atención Primaria*. 2020; 52(10):778–84. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.013>
2. Yu K-H, Beam AL, Kohane IS. Artificial Intelligence in Healthcare. *Nature Biomedical Engineering*. 2018; 2(10):719–31. <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0305-z>
3. Murphy, K. P. y Bach F. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective* (MIT Press, Cambridge, 2012).
4. Haleem A, Javaid M, Khan IH. Current Status and Applications of Artificial Intelligence (AI) in Medical Field: An Overview. *Current Medicine Research and Practice*. 2019; 9(6):231–7. <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2019.11.005>
5. Haleem A, Vaishya R, Javaid M, Khan IH. Artificial Intelligence (AI) Applications in Orthopedics: An Innovative Technology to Embrace. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2020; 11. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2019.06.012>
6. Lupton M. Some Ethical and Legal Consequences of the Application of Artificial Intelligence in the Field of Medicine. *Trends in Medicine*. 2018; 18(4). <http://dx.doi.org/10.15761/TiM.1000147>
7. Lanzagorta-Ortega D, Carrillo-Pérez DL, Carrillo-Esper R. Inteligencia artificial en medicina: Presente y Futuro. *Gaceta Médica de México*. 2023; 158(91). <https://doi.org/10.24875/gmm.m22000688>
8. Howard J. Artificial Intelligence: Implications for the Future of Work. *American Journal of Industrial Medicine*. 2019; 62(11):917–26. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037>
9. Topol EJ. High-Performance Medicine: The Convergence of Human and Artificial Intelligence. *Nature Medicine*. 2019; 25(1):44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
10. Basogai-Olabé X. *Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones*. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao. Bilbao: Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao. https://ocw.ehu.eus/file.php/102/redes_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf
11. Hamet P, Tremblay J. Artificial Intelligence in Medicine. *Metabolism*. 2017; 69: 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>
12. Busnatu Ștefan, Niculescu A-G, Bolocan A, Petrescu GE, Păduraru DN, Năstasă I *et al*. Clinical Applications of Artificial Intelligence—An Updated overview. *Journal of Clinical Medicine*. 2022; 11(8):2265. <https://doi.org/10.3390/jcm11082265>
13. Yao L., Zhang H., Zhang M., Chen X., Zhang J., Huang J., Zhang L. Application of Artificial Intelligence in Renal Disease. *Clin. Ehealth*. 2021; 4:54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ceh.2021.11.003>
14. Krittanawong C, Zhang H, Wang Z, Aydar M, Kitai T. Artificial Intelligence in Precision Cardiovascular Medicine. *J Am Coll Cardiol*. 2017; 69: 2657–2664. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.03.571>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

15. Schwalbe N, Wahl B. Artificial Intelligence and the Future of Global Health. *The Lancet*. 2020; 395(10236):1579–86. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30226-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30226-9)
16. Jha S, Topol EJ. Adapting to Artificial Intelligence: Radiologists and Pathologists as Information Specialists. *JAMA* 2016; 316: 2353–54. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17438>
17. Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La Inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: Importancia actual Y Aplicaciones Prácticas. *Atención Primaria*. 2021; 53(1):81–8. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.014>
18. Mintz Y, Brodie R. Introduction to Artificial Intelligence in Medicine. *Minimally Invasive Therapy Allied Technologies*. 2019; 28(2):73–81. <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1575882>
19. Jungwirth D, Haluza D. Artificial Intelligence and Public Health: An Exploratory Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023; 20(5):4541. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054541>
20. Giansanti D. Artificial Intelligence in Public Health: Current Trends and Future Possibilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022; 19(19):11907. <https://doi.org/10.3390/ijerph191911907>
21. Patel V., Shah M. A Comprehensive Study on Artificial Intelligence and Machine Learning in Drug Discovery and Drug Development. *Intell. Med*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.imed.2021.10.001>
22. Nakamura T., Sasano T. Artificial Intelligence and Cardiology: Current Status and Perspective. *J. Cardiol*. 2022; 79:326–333. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2021.11.017>
23. Bernstam EV, Shireman PK, Meric-Bernstam F, N. Zozus M, Jiang X, Brimhall BB et al. Artificial Intelligence in Clinical and Translational Science: Successes, Challenges and Opportunities. *Clinical and Translational Science*. 2021; 15(2):309–21. <https://doi.org/10.1111/cts.13175>
24. Colbert JA, Chokshi DA. Technology in Medical Education—Osler Meets Watson. *J Gen Intern Med*. 2014 Dec; 29(12):1584-5. <https://doi.org/10.1007/s11606-014-2975-x>
25. Valdez-García J, López Cabrera M, Jiménez Martínez M, Díaz Elizondo J, Dávila Rivas J, Olivares Olivares S. Me preparo para ayudar: respuesta de escuelas de medicina y ciencias de la salud ante COVID-19. *Inv Ed Med*. 2020; (35):85-95. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=95038>
26. Newman NA, Lattouf OM. Coalition for Medical Education-A Call to Action: A Proposition To Adapt Clinical Medical Education to Meet the Needs Of Students And Other Healthcare Learners During COVID-19. *J Card Surg*. 2020 Jun; 35(6):1174-5. <https://doi.org/10.1111/jocs.14590>
27. Abd-Alrazaq A, AlSaad R, Alhuwail D, Ahmed A, Healy PM, Latifi S, Aziz S, Damsheh R, Alabed Alrazak S, Sheikh J. Large Language Models in Medical Education: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *JMIR Med Educ*. 2023 Jun 1; 9:e48291. <https://doi.org/10.2196/48291>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

28. Martínez-Ezquerro JD. Authors in the age of language-generation AI: To Be or not to Be, Is That Really the Question? *Arch Med Res* 2023; 54:163–167. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2023.03.002>
29. Calleja-López JRT, Rivera-Rosas CN, Ruibal-Tavares E. Impact of ChatGPT and Artificial Intelligence in the Contemporary Medical Landscape. *Arch Med Res*. 2023 Jul;54(5):102835. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2023.05.003>
30. Eysenbach G. The Role of ChatGPT, Generative Language Models, and Artificial Intelligence in Medical Education: A Conversation with ChatGPT and a Call for Papers. *JMIR Med Educ*. 2023 Mar 6; 9:e46885. <https://doi.org/10.2196/46885>
31. Ward TM, Mascagni P, Madani A, Padoy N, Perretta S, Hashimoto DA. Surgical Data Science and Artificial Intelligence for Surgical Education. *J Surg Oncol*. 2021; 124:221-30. <https://doi.org/10.1002/jso.26496>
32. He J, Baxter SL, Xu J, Xu J, Zhou X, Zhang K. The Practical Implementation of Artificial Intelligence Technologies in Medicine. *Nature Medicine*. 2019;25(1):30–6. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0307-0>
33. Scafa Udriște A., Niculescu A.-G., Grumezescu A.M., Bădilă E. Cardiovascular Stents: A Review of Past, Current, and Emerging Devices. *Materials*. 2021; 14:2498. <https://doi.org/10.3390/ma14102498>
34. Redaelli A., Votta E. Cardiovascular patient-specific modeling: Where Are We Now and What Does the Future Look like? *APL Bioeng*. 2020; 4:040401. <https://doi.org/10.1063/5.0031452>
35. Balu A., Nallagonda S., Xu F., Krishnamurthy A., Hsu M.-C., Sarkar S. A Deep Learning Framework for Design and Analysis of Surgical Bioprosthetic Heart Valves. *Sci. Rep.* 2019; 9:18560. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54707-9>
36. Lee Y., Veerubhotla K., Jeong M.H., Lee C.H. Deep Learning in Personalization of Cardiovascular Stents. *J. Cardiovasc. Pharmacol. Ther.* 2019; 25:110–120. <https://doi.org/10.1177/1074248419878405>
37. Liu X., Aslan S., Hess R., Mass P., Olivieri L., Loke Y.H., Hibino N., Fuge M., Krieger A. Automatic Shape Optimization of Patient-Specific Tissue Engineered Vascular Grafts for Aortic Coarctation; Proceedings of the 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC); Montreal, QC, Canada. 20–24 July 2020; pp. 2319–2323.
38. Tilton M., Lewis G.S., Hast M.W., Fox E., Manogharan G. Additively Manufactured Patient-Specific Prosthesis for Tumor Reconstruction: Design, Process, and Properties. *PLoS ONE*. 2021; 16:e0253786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253786>
39. Li J., Gsaxner C., Pepe A., Morais A., Alves V., von Campe G., Wallner J., Egger J. Synthetic Skull Bone Defects for Automatic Patient-Specific Craniofacial Implant Design. *Sci. Data*. 2021; 8:36. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00806-0>
40. Roy S., Dey S., Khutia N., Roy Chowdhury A., Datta S. Design of Patient Specific Dental Implant Using FE Analysis and Computational Intelligence Techniques. *Appl. Soft Comput.* 2018; 65:272–279. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.01.025>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

41. Tang A, Tam R, Cadrin-Chênevert A, Guest W, Chong J, Barfett J, et al. Canadian Association of Radiologists White Paper on Artificial Intelligence in Radiology. Canadian Association of Radiologists Journal. 2018; 69(2):120–135. <https://doi.org/10.1016/j.carj.2018.02.002>
42. De Fauw J, Ledsam JR, Romera-Paredes B, Nikolov S, Tomasev N, Blackwell S, et al. Clinically Applicable Deep Learning for Diagnosis and Referral in Retinal Disease. Nature Medicine. 2018;24(9):1342–50. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0107-6>
43. Slomka PJ, Dey D, Sitek A, Motwani M, Berman DS, Germano G. Cardiac Imaging: Working Towards Fully-Automated Machine Analysis & Interpretation. Expert Review of Medical Devices. 2017; 14(3):197–212. <https://doi.org/10.1080/17434440.2017.1300057>