

Inteligencia artificial como potencia de herramienta en salud

Artificial intelligence as a power of health tool

Jiménez Herrera Luis Guillermo^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-8331-0498>

¹Universidad de Costa Rica, Facultad de Farmacia, Instituto de Investigaciones Farmacéuticas. Costa Rica.

*Autor para la correspondencia: luis.jimenezherrera@ucr.ac.cr

RESUMEN

Introducción: La inteligencia artificial puede ser una herramienta tecnológica novedosa, útil y práctica que transforme la forma en que se realiza la asistencia sanitaria en búsqueda de lograr mejores resultados en salud.

Objetivo: Incentivar la aplicación práctica de la inteligencia artificial como potencial herramienta en salud mediante la construcción de nuevo conocimiento.

Desarrollo: Se realizó una investigación documental al seleccionar documentos de bases de datos con ayuda de las palabras clave. Se revisó la bibliografía seleccionada, se comparó, se analizó e interpretó el contenido. Los hallazgos evidenciaron que la inteligencia artificial contempla varias formas de aprendizaje automático a través de una gama de aplicaciones y medios (algoritmos, computadoras, dispositivos, robots, Internet) que facilitaría cambios en la forma en que se realiza la atención sanitaria. El recurso humano que trabaja en salud requiere de recursos, preparación académica, capacitación para utilizar y enfrentar los diversos desafíos imperantes con la intención de maximizar el uso de la inteligencia artificial; en la resolución de problemas e implementar mejoras en conjunto con otros actores sociales de modo que se constituya en un recurso que permita mejoras en salud.

Conclusiones: La inteligencia artificial podría generar cada vez más cambios en salud mediante una atención innovadora, moderna, dinámica, humana y

personalizada por las facilidades y mecanismos que permiten las tecnologías de comunicación, información, informática y computación. Se requiere gestionar adecuadamente los diversos desafíos para concretar mejores beneficios en salud.

Palabras clave: tecnología; inteligencia artificial; aprendizaje automático; informática; salud.

ABSTRACT

Introduction: Artificial intelligence can be a novel, useful and practical technological tool that transforms the way health care is carried out in search of achieving better health results.

Objective: To encourage the practical application of artificial intelligence as a potential health tool through the construction of new knowledge.

Development: A documentary research was carried out when selecting documents from databases with the help of keywords. The selected bibliography was reviewed, the content was compared, analyzed and interpreted. The findings showed that artificial intelligence contemplates various forms of machine learning through a range of applications and media (algorithms, computers, devices, robots, the Internet) that would facilitate changes in the way health care is carried out. The human resource that works in health requires resources, academic preparation, training to use and face the various prevailing challenges with the intention of maximizing the use of artificial intelligence; in solving problems and implementing improvements in conjunction with other social actors so that it becomes a resource that allows improvements in health.

Conclusions: Artificial intelligence could generate more and more changes in health through an innovative, modern, dynamic, human and personalized care due to the facilities and mechanisms that communication, information, information and computing technologies allow. It is necessary to properly manage the various challenges to achieve better health benefits.

Keywords: technology; artificial intelligence; machine learning; computing; Health.

Recibido: 21/03/2021

Aceptado: 01/05/2021

Introducción

El desarrollo de la ciencia y la tecnología facilita el uso de máquinas y agentes inteligentes con inteligencia artificial (IA) que simulan pensamiento humano bajo aprendizaje automático-cognitivo-profundo o por refuerzo.^(1,2,3,4,5) La IA es útil en el sector salud al contribuir en la forma en que se realiza la atención en salud por lo que se busca integrar los sistemas de atención a la salud con los *big data*,⁽³⁾ las computadoras aprenden y procesan datos que modelan los factores que afectan los determinantes de la salud, ayuda en la toma de decisiones e implementar prácticas personalizadas.^(6,7,8,9,10)

Las ciencias de la computación aportan métodos, algoritmos y herramientas que descubren nuevo conocimiento de datos de alta complejidad en combinación con la interacción humana en trabajo inter-multidisciplinar y hacer un uso eficiente de datos mediante una red neuronal artificial de modelos de aprendizaje que constituyen la IA en computadoras o dispositivos con aprendizaje automático que facilitan abordar situaciones clínicas tras generar, reconocer, procesar, interpretar, clasificar, almacenar y recuperar datos.^(11,12,13,14,15)

La IA se potencia de datos electrónicos y el manejo de datos complejos en dispositivos que favorece la implementación de intervenciones que buscan mejorar la atención en salud en acciones apoyadas en medios tecnológicos con ahorro en gastos de atención médica evitable o por deficiente adherencia terapéutica.^(16,17,18,19)

Thomas Bayes (1701-1761) establece las base teóricas con amparo en la inferencia probabilística al facilitar IA con algoritmos de aprendizaje en aplicaciones.⁽⁷⁾ En 1943 surge el enfoque de aprendizaje automático de la investigación artificial de neuronas en modelos al conocer el procesamiento de información en el cerebro biológico, de ahí el nombre de redes neuronales artificiales o algoritmos de aprendizaje automático con soporte computacional para analizar grandes volúmenes de datos.^(20,21)

En la época de McCarthy se utilizaba, preferentemente, el modelo simbólico, siguiendo la representación de la información como reglas del tipo *if-then*, muy utilizada en los sistemas expertos para construir la base de conocimiento. La idea de los sistemas de IA basados en datos (IA operativa) surgió mucho después.⁽²²⁾ Las tecnologías digitales con innovadores softwares y herramientas integradas a dispositivos médicos fundamenta la predicción de que la IA sería en el siglo XXI el inicio de la era post médica gracias a las computadoras con sustento en el aprendizaje profundo.^(16,21,23)

La FDA (*Food and Drug Administration*) en 1987 establece una política informal de estándares regulatorios de software de decisión analítica de dispositivos médicos y se requieren los estándares formales de las decisiones que median interacción del médico que decide en función del consejo artificial.^(17,24) Takenobu Kamada (1991) propone el concepto de biomedicina de sistemas al integrar las áreas de biociencias-medicina con las ciencias de la computación⁽²⁵⁾ en algoritmos o modelos matemáticos predictores con regresiones lineales-logísticas, árboles de decisión y redes neurales profundas en dispositivos móviles e interconectados que compilan y almacenan datos.^(16,22)

El mayor volumen de información relacionada con las personas en los diversos contextos de asistencia sanitaria incrementa el envío de datos a través de los sistemas de atención médica en centros de administración de conjuntos de datos de genómica y otras disciplinas que implementan técnicas de imágenes en dispositivos portátiles, registros digitales instantáneos o bancos de biodatos masivos con soporte computacional de imágenes médicas en una amplia gama de dispositivos.⁽²³⁾

En los 2000, el modelo de IA avanza con la modelación libre de la corteza visual de mamíferos, avances técnicos y un hardware más rápido que hace posible entrenar las redes neuronales en capas de detectores de características en conjuntos de datos y modelos de aprendizaje profundo con reconocimiento de voz en dispositivos de *Android* en acciones comerciales de *Google*, *Facebook*, *Microsoft*, *Apple* y *Amazon* contribuyentes de procesos sociales,⁽²⁵⁾ y que amplifica las operaciones de aprendizaje automático, cognitivo, profundo y

métodos de refuerzo al integrar e interpretar grupos de datos de diversos escenarios.^(2,24)

En 2017, la *FDA* anuncia que se debe velar por la rigurosidad de la seguridad y confiabilidad de los datos a través de procesos que garanticen sistemas vigentes y bajo un uso seguro.⁽¹⁸⁾ Los enfoques automáticos de grandes volúmenes de datos optimizan el comportamiento del aprendizaje de experiencias derivadas de juegos ⁽⁷⁾ y luego aumenta la capacidad de aprendizaje para apoyar el sistema de toma de decisiones a escala. La IA se clasifica en la IA general que es una IA avanzada capaz de resolver cualquier tipo de tarea (multitarea) hasta la fecha los grandes resultados de la IA se han logrado con la IA estrecha, la IA estrecha que es una IA específica para un determinado dominio de aplicación y la super IA que es una IA futurista que será capaz de superar la inteligencia humana en todas sus manifestaciones.^(6,7,18,22)

La IA se relaciona con el aprendizaje automático, la informática y la teoría estadística matemática cuando la verdad está escondida en un lugar en que el cerebro humano no tiene fácil acceso y el aprendizaje automático con base en herramientas y métodos descubre patrones ocultos en los datos.^(15,24) Los programas de software basados en datos en lugar de reglas de programación que codifican conjuntos específicos de instrucciones permite entrenar la computadora con grandes cantidades de datos mediante algoritmos que le confieren capacidad de aprender e identificar relaciones o patrones complejos que contribuyen a tomar decisiones precisas.^(2,6,16,17,22)

El programa de computadora aprende de una experiencia *E* con respecto a alguna clase de tarea *T* y mide el desempeño *P* si su desempeño en la tarea en *T*, medido por *P*, mejora con la experiencia *E*. Parte del conjunto de datos con la información necesaria de una verdad que no se puede descubrir fácilmente esencial para completar la tarea específica; conforme aumenta el volumen de datos, número de parámetros participantes en el resultado y complejidad de la correlación es más difícil para el ser humano pero la computadora crea un universo de percepción de la realidad en forma de hiperesferas multidimensionales con vectores a partir de cada punto de los datos tras la aplicación de principios matemáticos complejos que calculan en algoritmos y comprender las causalidades

de actuación que capturan los patrones subyacentes que generan conocimiento y experiencias que ayudan a resolver los problemas relacionados.^(25,26)

El aprendizaje automático se clasifica en:

- a) *Supervisado*: Algoritmo con datos procesados o etiquetados (valor predictivo) que identifica patrones ocultos en datos como el reconocimiento facial: la máquina usa ejemplos de una cara o no cara. El algoritmo aprende a predecir si la imagen es una cara o no; se utiliza en la exploración de datos y generación de nuevas hipótesis.
- b) *No supervisado o de refuerzo*: Imágenes no etiquetadas (valor descriptivo), no hay datos de resultados, se describen asociaciones, patrones o conocimiento entre un conjunto de datos de entrada.
- c) *Semi-supervisado*: Contempla una mezcla de los anteriores con datos etiquetados o no etiquetados, el algoritmo encuentra etiquetas de acuerdo con una medida de similitud con uno de los grupos dados.^(6,7,16,22)

El aprendizaje automático profundo utiliza los métodos de aprendizaje de representación en múltiples niveles de redes neuronales artificiales profundas en entradas ocultas o de salida que emulan la funcionalidad del cerebro. Las redes neuronales artificiales funcionan construyendo capas sobre capas de unidades de procesamiento simples por neuronas interconectadas con muchas conexiones de ponderación diferencial, las redes se entrenan con el uso de algoritmos de retropropagación: la máquina altera los parámetros internos al calcular la representación en cada capa a partir de la representación de la capa anterior.^(9,17,22,25,27)

En el aprendizaje automático superficial las redes neuronales tienen una sola capa oculta o máquinas de vectores de soporte, en el profundo hay redes neuronales con muchas capas jerárquicas de procesamiento de información no lineal, el superficial no funciona bien con datos en bruto al requerir información humana para la configuración y mantenimiento; en el profundo es sin supervisión una vez que se pone en movimiento el aprender de patrones complejos incluso de datos en bruto de alta dimensión con poca orientación.^(20,28,29)

El aprendizaje automático de representación comprende un conjunto de métodos en que la máquina se alimenta con datos sin procesar y descubre representaciones, así el perceptrón es un algoritmo bioinspirado que realiza una clasificación binaria y extrae características mediante el aprendizaje basado en datos.⁽¹¹⁾ La integración disciplinaria permite la biomedicina de sistemas que agrupa las biociencias, medicina y ciencias de la computación en un enfoque holístico que contempla seres humanos, estados patológicos, descubrimiento de fármacos y atención médica.⁽²³⁾

Dada la relevancia del tema para los diversos procesos que afectan la salud de las personas en los distintos contextos, en particular por la pandemia de la COVID-19, el objetivo del trabajo fue incentivar la aplicación práctica de la inteligencia artificial como potencial herramienta en salud mediante la construcción de nuevo conocimiento que facilita los mecanismos que propician el uso de medios para generar cambios en la forma de realizar la asistencia sanitaria mediante acciones con apoyo tecnológico y de la IA. La resultante de los hallazgos considera la premisa de la teoría de George Siemens respecto a las relaciones de aprendizaje que ocurren entre el proceso de toma de decisiones, el uso de los datos, la interacción humana con las tecnologías y la IA en ambientes altamente digitalizados.^(30,31)

Desarrollo

Se realizó una investigación documental bajo la técnica de investigación cualitativa en que se obtuvieron, analizaron, interpretaron y compararon los hallazgos de las fuentes documentales electrónicas seleccionadas. La pregunta que enmarcó el trabajo fue ¿qué se conoce respecto a la inteligencia artificial como una potencial herramienta de uso en salud?

Se seleccionaron documentos (artículos científicos, conferencias, revisiones, opiniones o comentarios de expertos, capítulo de libro) en inglés de las bases de datos: Scopus, ProQuest, Springer, PubMed, Sciencedirect, JSTOR, Embase, EBSCOhost, ERIC con ayuda de las palabras clave *technology*, *artificial*

intelligence, deep learning, technology, health, healthcare, medicine, education, disease.

Se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

- a) Relevancia del contenido al coincidir con la pregunta de investigación; se revisó el título, resumen, introducción y conclusiones de cada documento.
- b) La calidad científica, de modo que el artículo correspondiera con una revista indizada, de una publicación frecuente, de una base reconocida, de autores destacados en el campo, citados por otros autores o de un evento académico concerniente al tema.

El criterio de exclusión fue la temporalidad. Se estableció el periodo de los últimos seis años o antes solo bajo criterio del autor por la importancia del contenido para los efectos de la investigación.

Se revisó el material seleccionado, se comparó el contenido, se obtuvo la información textual que permitió generar las respectivas citas y referencias. Se analizó la información, se elaboró el documento en secciones (resumen y aplicaciones potenciales en salud por área de interés: salud pública, médica, farmacéutica) que reflejan la interpretación del autor sobre el tema.

Se realizaron las consideraciones pertinentes, se mantienen los principios éticos de toda investigación científica y el rigor en el uso de la información.

Se consultaron cien documentos y se seleccionaron 67, la tabla brinda los detalles de cumplimiento de los criterios de inclusión, prevalecen los autores de países industrializados.

Tabla- Resumen de documentos por autor (es) - referencia - investigación (I), temas destacados, país de autor (es), revista, base de datos y año de publicación

Autor/referencia	Temas destacados	País de autor (es)	Revista	Base	Año
Rong ⁽¹⁾	<i>AI in biomedicine</i> ⁽¹⁾	China, Canadá	Eng	Science direct	2020
Shameer ⁽²⁾	<i>Cognitive,deep,reinforcemen</i>	USA	IGI Global	PubMed	2018
Poudel ⁽³⁾	<i>Telepharmacy</i>	Australia	Integr Pharm Res Pract	PubMed	2016
Apweiler ⁽⁵⁾	<i>Systems medicine</i> ⁽¹⁾	UK, Alemania, USA, Holanda,	Exp Mol Med	PubMed	2018

		Sur África			
Noorbakhsh ⁽⁶⁾	<i>ML in health care</i> ⁽¹⁾	USA	Am J Med	PubMed	2019
Holzinger ⁽⁷⁾	<i>DL in healthcare extensively</i> ⁽¹⁾	Austria	Brain Informatics	PubMed	2016
Mahmud ⁽⁸⁾	<i>DL in mining biological data</i> ⁽¹⁾	UK	<u>Cogn Comput</u>	<u>Springer</u>	2021
Kim ⁽⁹⁾	<i>DL to precision medicine</i> ⁽¹⁾	Korea	J Pharm Investig	PubMed	2017
Ravi ⁽¹⁰⁾	<i>DL</i> ⁽¹⁾	Reino Unido	IEEEJBiomed Health	Scopus	2016
Auffray ⁽¹¹⁾	<i>Automation and miniaturization</i> ⁽¹⁾	Francia, Luxemburgo	Genome Med	PubMed	2021
Jiang ⁽¹²⁾	<i>AI: past, present and future</i> ⁽¹⁾	Hong Kong, China	StrokeVasc Neurol	PubMed	2017
Miotto ⁽¹³⁾	<i>DL: opportunities, challenges</i>	USA	Brief Bioinform	PubMed	2017
van der ⁽¹⁴⁾	<i>AI and ML</i> ⁽¹⁾	USA, UK	Mach Learn	Springer	2021
Shortliffe ⁽¹⁵⁾	<i>Decision support systems</i> ⁽¹⁾	USA	JAMA	PubMed	2018
Wiens ⁽¹⁶⁾	<i>ML healthcare epidemiology</i>	USA	Clin Infect Dis	PubMed	2017
Meskó ⁽¹⁷⁾	<i>Potential of AI</i>	Hungría	Health Serv Res	Scopus	2018
Alexander ⁽¹⁸⁾	<i>Telemedicine, telepharmacy</i>	USA	Am J Health Syst Pharm	PubMed	2017
Steckle ⁽¹⁹⁾	<i>Telepharmacy</i>	USA	J Pharm Technol	Scopus	2016
Ching ⁽²⁰⁾	<i>DL: opportunities and obstacles</i> ⁽¹⁾	USA, Canadá, UK	J R Soc Interface	Scopus	2018
Li ⁽²¹⁾	<i>Deep neural networks</i> ⁽¹⁾	Canadá	J Comput Biol	PubMed	2016
Jones ⁽²²⁾	<i>ML, Artificial neural networks</i> ⁽¹⁾	USA, UK	J Bone Joint	PubMed	2018
Naylor ⁽²³⁾	<i>DL health care system</i> ⁽¹⁾	Canadá	JAMA	PubMed	2018
Lucignani ⁽²⁴⁾	<i>Imaging, systems biomedicine</i>	Italia	Clin Transl Imaging	PubMed	2019
Pitoglou ⁽²⁵⁾	<i>ML in healthare</i>	Grecia	IGI Global	Scopus	2020
Rajkomar ⁽²⁶⁾	<i>ML in Medicine</i>	USA	N Engl J Med	PubMed	2019
Thaler ⁽²⁷⁾	<i>DL</i>	Holanda, Suiza	Data Sci health	Springer	2019
LeCun ⁽²⁸⁾	<i>Deep convolutional nets</i>	USA, Canadá	Nature	Springer	2018
Mamoshina ⁽²⁹⁾	<i>DL in Biomedicine</i>	USA, UK	Mol Pharm	PubMed	2016
Stewart ⁽³⁰⁾	<i>Learning Analytics</i>	USA	J Emp Tech Ex	JSTOR	2017
Wu ⁽³¹⁾	<i>Human and Machine</i>	Taiwán	J Educ Techno Soc	ERIC	2021
Injadat ⁽³²⁾	<i>ML: applications, challenges</i> ⁽¹⁾	Canadá, EAU	Artif Intell Rev	Springer	2021
Ekins ⁽³³⁾	<i>DL in Pharmaceutical Research</i>	USA	Pharm Res	PubMed	2016
Yao ⁽³⁴⁾	<i>DL health monitoring data</i> ⁽¹⁾	China, Canadá	Int J Autom Comput	Springer	2018
Kooi ⁽³⁵⁾	<i>Convolutional Neural Net- work</i>	Holanda	Med Image Anal	Scopus	2017
Dai ⁽³⁶⁾	<i>Deep inference learning</i>	China	Pattern Recognit Lett	Science direct	2018
Galvão ⁽³⁷⁾	<i>DL for fall detection</i> ⁽¹⁾	Brasil, Italia	Expert Syst Appl	PubMed	2021
Bejnordi ⁽³⁸⁾	<i>DL algorithms, images</i> ⁽¹⁾	Holanda	JAMA	PubMed	2017
Pham ⁽³⁹⁾	<i>Dynamic neural network</i> ⁽¹⁾	Australia	J Biomed Inform	PubMed	2017
Srivastava ⁽⁴⁰⁾	<i>DL: trends and future directions</i>	India	IEEE Xplore	Scopus	2017
Purushotham ⁽⁴¹⁾	<i>Deep and ML models</i> ⁽¹⁾	USA, China	J Biomed Inform	PubMed	2017

Chen ⁽⁴²⁾	<i>Resource, data cognitive engine⁽¹⁾</i>	China, USA	Big Data Cogn Comput	EBSCO/ProQuest	2017
O'Sullivan ⁽⁴³⁾	<i>ML enhanced virtual autopsy</i>	Brasil, UK, Austria	Autops Case Rep	PubMed	2017
Litjens ⁽⁴⁴⁾	<i>DL in medical image analysis</i>	Holanda	Med Image Anal	Scopus/JSTOR	2017
Yuan ⁽⁴⁵⁾	<i>Interactive ML</i>	China	Neural Comput Appl	PubMed/Springer	2018
Beam ⁽⁴⁶⁾	<i>Big data, ML⁽¹⁾</i>	USA	JAMA	PubMed	2018
de Meulder ⁽⁴⁷⁾	<i>Multi-omics data integration⁽¹⁾</i>	Francia	BMC Syst Biol	PubMed	2016
Gong ⁽⁴⁸⁾	<i>DL, EHR⁽¹⁾</i>	USA, Korea del Sur, Italia, Irán	Eur J Radiol	PubMed	2021
Faust ⁽⁴⁹⁾	<i>DL methods-physiological signals⁽¹⁾</i>	UK, Singapur, Malasia	Comput Methods Programs Biomed	PubMed	2018
Auger ⁽⁵⁰⁾	<i>Big data, ML algorithms⁽¹⁾</i>	UK	Pract Neurol	PubMed	2021
McKendrick ⁽⁵¹⁾	<i>AI and robotics⁽¹⁾</i>	UK	Anaesthesia	JSTOR/Scopus	2021
Davidson ⁽⁵²⁾	<i>Deep phenotyping pregnancy⁽¹⁾</i>	USA	Brief Bioinform	PubMed	2021
Lee D ⁽⁵³⁾	<i>AI-based technology applications</i>	Korea, USA	Int J Environ Res Public Health	Scopus Embase ProQuest	2021
He ⁽⁵⁴⁾	<i>AI-based technologies in medicine⁽¹⁾</i>	China, USA	Nat Med	PubMed	2019
Jacobson ⁽⁵⁵⁾	<i>Digital psychiatric interventions⁽¹⁾</i>	USA	Psychiatry Res	PubMed ScienDirect	2021
Esteva ⁽⁵⁶⁾	<i>DL computational techniques⁽¹⁾</i>	USA	Nat Med	PubMed	2019
Spargo ⁽⁵⁷⁾	<i>Digitally Enabled Health and Care⁽¹⁾</i>	UK, Alemania, Chipre, Portugal, España	Pharm J	PubMed	2021
Shickel ⁽⁵⁸⁾	<i>DL techniques for EHR analysis</i>	USA	IEEE J Biomed Health Inform	PubMed	2017
Haefner ⁽⁵⁹⁾	<i>Technologies and ML</i>	Suiza, Finlandia, Suecia, Noruega	Technol Forecast Soc Change	PubMed	2021
Milletari ⁽⁶⁰⁾	<i>Convolutional neural networks⁽¹⁾</i>	Alemania	ComputVis Image Underst	PubMed	2017
Jacobson ⁽⁶¹⁾	<i>DL on EHR⁽¹⁾</i>	Suecia	Assoc Comput Linguist Meet	PubMed	2016
Park ⁽⁶²⁾	<i>Digital healthcare devices</i>	Korea	JKorean Med Assoc	PubMed	2018
Schwalbe ⁽⁶³⁾	<i>AI and the future of global health</i>	USA	Lancet	PubMed	2020
Röösli ⁽⁶⁴⁾	<i>AI guide clinical decision-making</i>	Suiza, USA	J Am Med Inform Assoc	Scopus JSTOR	2021
Cui ⁽⁶⁵⁾	<i>Computational pathology⁽¹⁾</i>	USA	Lab Investig	Scopus JSTOR	2015
Tsoi ⁽⁶⁶⁾	<i>Applications of AI for hypertension control⁽¹⁾</i>	Hong Kong, Taiwán, Singapur, Indonesia, India, Pakistán, Malasia, Korea, China, Japón	J Clin Hypertens	PubMed	2021
Morgenstern ⁽⁶⁷⁾	<i>AI for public health</i>	Canadá	BMC Public Health	PubMed	2021

I: resultados que derivan de investigación; AI: artificial intelligence; ML: machine learning; DL: deep learning; EHR: electronic health records; USA: United States of America; UK: United Kingdom, UAE: United Arab Emirates.

Aplicaciones potenciales de la inteligencia artificial en salud

La mayoría de documentos seleccionados evidencian el interés en las potenciales de las aplicaciones de la IA en salud y el uso de los datos mediante algoritmos gracias al apoyo de las tecnologías (información, comunicación, informática, computación);⁽²⁾ lastimosamente pocas aplicaciones muestran un fácil desarrollo, la mayoría prevalece en fases experimentales de investigación para lograr la aplicabilidad clínica tras vencer los diversos desafíos que limitan el uso inmediato o de forma masiva.

Entre las aplicaciones que se encontraron destacan las siguientes por área de interés:

– Salud Pública

- Se propone el modelado computacional de identificación y selección de características relevantes en diversos fenómenos de interés, que se combinan con los datos en modelos de modesta complejidad, procedentes de la medicina de precisión que ayudan a establecer estrategias de prevención y tratamiento de enfermedades.^(8,9)
- Se visualiza la implementación de prácticas del cuidado de la salud con asistencia y uso de técnicas computacionales.^(5,11,12,13,14,15)
- Se desarrollan aplicaciones de interés en disciplinas afines con apoyo de entrevistas conductuales a través de: los mensajes de texto, los informes de progreso enviados por correo, las visitas con apoyo de vídeo, el procesamiento de imágenes, el reconocimiento de voz y audio o texto y voz, el uso del software de redes sociales, el software de visión artificial con el uso de cámaras, teléfonos, robots y automóviles autónomos, el filtrado o la búsqueda de contenido para la identificación de rostros y textos en manuscritos en las redes sociales; los sistemas de recomendación en sitios en la web, el comercio electrónico, la predicción de ventas, la predicción del tiempo, los productos de consumo con cámaras y teléfonos inteligentes, la identificación de objetos en imágenes, la transcripción de discursos en texto, las

videojuegos, la replicación de estilos de pintura, la composición de música clásica, la búsqueda para encontrar relaciones en elementos en las noticias, las publicaciones o los productos que interesan a los usuarios; selección de resultados relevantes de búsqueda; asistentes de robots, el uso de sensores portátiles, el uso de plataformas para trabajo inter-disciplinario. (31,32,33,34,35,36)

- Se construye material útil a partir de los datos que las personas suben en la nube virtual, que incluye miles de millones de puntos de datos en: química molecular, clínica, celular, orgánica, fenotípica, imagen, redes sociales y otros.⁽³⁾
- Se estudian sistemas de vigilancia inteligente en alimentos y ambiente. (37,38,39,40,41)
- Se busca dar seguimiento a brotes con apoyo de las redes sociales y del estilo de vida. (42,43,44,45,46)
- Se estudia el modelado de las enfermedades neurodegenerativas.⁽¹⁰⁾
- Se realiza apoyo con redes sociales orientadas hacia la atención de la enfermedad: *PatientLikeMe*, *Breast Cancer Alliance*, *Multiple Myeloma Research Foundation* en ensayos clínicos.⁽³⁾

– Médica

- Se plantean aplicaciones de la medicina P4: predictiva, preventiva, personalizada, participativa con la medicina de sistemas y la biomedicina.^(5,9)
- Se persigue el uso de datos genéticos y electrofisiológicos con apoyo de la bioinformática. (5,11,12,13,14,15)
- Existen aplicaciones en los campos de la bioinformática a nivel molecular traslacional, imagen médica, detección generalizada, informática médica y bioestadística para diversos fines en la atención del cáncer, la neurología y cardiología. (5,11,12,13,14,15)
- Se desarrollan diversas aplicaciones mediante la telesalud con comunicación bidireccional en tiempo real e interactiva entre pacientes y proveedores de atención médica.⁽¹⁸⁾

- Con la tecnología de aprendizaje profundo en biomédica moderna se da uso a los registros de salud electrónicos, imágenes, sensores y materiales de texto.⁽¹³⁾
- Con apoyo de la IA integrada a biosensores y pruebas relacionadas se pretende diagnosticar enfermedades cardiovasculares en las primeras etapas,⁽²⁾ así como predecir las tasas de supervivencia de personas con cáncer de colon.⁽⁴⁷⁾
- Se propone el diagnóstico computacional y la medicina de precisión con tecnologías de alto rendimiento relacionadas con genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica.^(5,9)
- Se proyecta el máximo uso de dispositivos digitales que miden parámetros físicos: frecuencia cardíaca, temperatura corporal, peso, respiración, manejo - calidad del sueño y estrés, hábitos de hábitos nutricionales y actividad física.^(3,11)
- Se investiga el uso de biomarcadores con imágenes, datos y biobancos de genotipo.^(23,47)
- Se realizan aplicaciones en telemedicina con videoconferencias, la predicción con medios diagnósticos que proyecten la duración de la estadía hospitalaria, reingresos - mortalidad; hay modelado de enfermedades biológicas y psicológicas; el uso de sensores portátiles en piel - ambientales, dispositivos de asistencia portátiles o con implantes, el monitoreo continuo de signos vitales, los servicios de atención médica referidas en redes sociales por otras personas usuarias de los servicios. (^{42,43,44,45,46})
- Se práctica la aplicación clínica del aprendizaje profundo en campos intensivos en imágenes: radiología, radioterapia, patología, oftalmología, dermatología y cirugía guiada con imágenes.⁽²³⁾
- Se combinan la biología y la medicina para generar datos desde las redes sociales, videos en línea o señales fisiológicas que provienen de sensores implantados en piel y otras fuentes intensivas, datos de dispositivos portátiles, análisis de drogas y análisis genómicos.^(20,34,48,49)

- Se estudia la clasificación automática de lesiones en piel y la detección de arritmias.⁽¹⁶⁾
- Se investiga la combinación de informática, imágenes y minería de datos con genómica, epigenómica, metabolómica.⁽⁹⁾
- Se estudia el uso de sistemas informáticos que leen mamografías de forma independiente.⁽³⁵⁾
- Se practican algoritmos automatizados de aprendizaje profundo en detección de metástasis de cáncer de mama.⁽³⁸⁾
- Se aplican algoritmos de aprendizaje profundo en diagnóstico con electromiograma (EMG), electroencefalograma (EEG), electrocardiograma (ECG) y electrooculograma (EOG).⁽⁵⁰⁾
- Se realizan modelos de aprendizaje automático y *Medical Information Mart* en el manejo de las estancias en unidades de cuidados intensivos.⁽⁴¹⁾
- Se estudian los enfoques del aprendizaje automático con métodos supervisados para la detección de nódulos pulmonares en radiografías de tórax, con modelos de estimación de riesgo de la terapia anticoagulante, la implantación de desfibriladores automáticos en cardiomiopatías, el uso en la clasificación del accidente cerebrovascular y la mímica del accidente cerebrovascular, el modelado de la heterogeneidad de células T CD4+, la predicción de resultados en enfermedades infecciosas, la detección de arritmias con electrocardiogramas (ECG), el diseño y desarrollo de ensayos clínicos *in silico*.⁽⁶⁾
- Se investiga el uso de sensores predictivos del volumen de la vejiga, en la predicción de crisis epilépticas y otros desórdenes neurológicos.^(2,50)
- Se desarrolla la aplicación de anestesia regional asistida por inteligencia artificial y robótica.⁽⁵¹⁾
- Se entrena mejores resultados del control del embarazo con ayuda de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático.⁽⁵²⁾
- Se destacan los hospitales que funcionan altamente conectados con Internet.⁽⁵³⁾

- Se estudia la detección del cáncer de cuello uterino mediante la identificación de cambios pre-cancerosos.⁽⁵³⁾
 - Se desarrolla la radiología con análisis de imágenes y uso de la probabilidad de enfermedad como una base para decidir qué imágenes deben ser interpretadas primero por el médico radiólogo, se examinan las imágenes de retina para determinar qué pacientes tienen una afección que pone en peligro la visión y deben ser remitidos a un oftalmólogo, se estima la edad ósea en exámenes radiográficos, se diagnostican enfermedades retinianas tratables mediante tomografía de coherencia óptica, se cuantifica la estenosis de vasos y otras métricas en imágenes cardíacas.⁽⁵⁴⁾
 - Se investiga el uso de la inteligencia artificial en predicción de cambios en la depresión y la ansiedad con intervenciones digitales.⁽⁵⁵⁾
 - Se mencionan empresas y organizaciones que ofrecen servicios específicos como: *Deepmind Health* cooperación *Fundación NHS del Moorfields Eye Hospital*, *Watson Oncology (IBM)*, *Zorgprisma Publiek* de facturas digitales, *Medical Sieve* en imágenes de radiología, *Deep Genomics* genética y registros médicos, *Atomwise* que desarrolla nuevas terapias, *Arterys* con un sistema de imágenes cardíacas asistido por inteligencia artificial y los *chatbots* controlados por voz.⁽¹⁸⁾
- Farmacéutica
- Se desarrolla la telefarmacia en hospitales y en comunidades distantes con revisión, monitoreo, dispensación, verificación de compuestos estériles y no estériles, así como la administración de medicamentos, evaluación, asesoramiento y educación al paciente.^(4,19,28,29,33,55)
 - -Se investiga la quimio informática en el desarrollo de medicamentos, la predicción de reacciones adversas, la identificación de biomarcadores y el descubrimiento de fármacos.^(9,33)
 - Se aplica el *Safedrugbot* con mensajería por chat del uso de drogas durante la lactancia y la atención de emergencia a *Zipline* por drones médicos.⁽¹⁸⁾

- Se utilizan tecnologías unicelulares de secuenciación unitaria y la citometría de flujo en apoyo al descubrimiento y el desarrollo de fármacos.⁽⁵⁾
- Se investigan algoritmos de aprendizaje profundo en la predicción de la liberación de fármacos, la farmacocinética y la farmacodinamia en modelos en vitro.⁽⁹⁾
- Se aplican modelos computacionales en: el desarrollo de fármacos con modelos proxies termodinámicos, la simulación de solubilidad de fármacos en el fluido intestinal humano, la predicción de la estabilidad en microsomas hepáticos de ratón, la autooxidación, los sitios del metabolismo CYP2C9, la permeabilidad en la piel humana, la penetración de la barrera hematoencefálica y las estimaciones de los niveles de concentración de la piel después de la exposición dérmica.⁽⁹⁾
- Se estudia el aprendizaje no supervisado en la revisión en ensayos clínicos fallidos en que se utilizan tratamientos con espirolactona, enalapril, y sildenafil en comparación con placebo para identificar la subclase de pacientes que pueden beneficiarse de terapias específicas.⁽⁶⁾
- Se realiza investigación en farmacogenómica e identificación de variantes patógenas.⁽⁵⁶⁾

Se tiende a pensar que la IA es particular (IA específica o estrecha) en las consultas de telemedicina aunque las evidencias muestran una variedad de acciones que incluyen diagnóstico, tratamiento, prevención, rehabilitación, investigación de enfermedades, evaluación y educación continua u otras actividades de la vida diaria. Una IA particular es capaz de realizar diagnóstico, tratamiento, prevención para un solo tipo de enfermedad, mientras que una IA general debe ser capaz de abordar cualquier tipo de enfermedad. Por tanto, a pesar de la variedad de acciones sigue siendo específica.

Con la telefarmacia se utilizan telecomunicaciones con sistemas de videoteléfono, softwares, máquinas dispensadoras automatizadas y un farmacéutico en un sitio distante proporciona consulta educativa de vídeo

bidireccional para asegurar la administración de medicamentos y el asesoramiento respectivo.^(4,19,20) En Australia y Estados Unidos hay evidencias del impacto de los servicios de telefarmacia que disminuye el número de eventos adversos de medicamentos reportados, el costo anual de eventos farmacológicos adversos (2 mil millones *USD*), estancias hospitalarias, muertes evitadas o la posibilidad de revisión de los medicamentos en el hogar, una mayor satisfacción del paciente y accesibilidad a los servicios de salud que incentivan el uso eficiente de recursos.⁽⁴⁾

Las actividades con IA tienen un alto componente tecnológico con un avance vertiginoso que promete se convierta en un instrumento de los diferentes enfoques de aprendizaje automático generadora de oportunidades de mejora en las diversas prácticas de atención, cuidado de la salud y mayor participación de profesionales, proveedores de servicios de salud y la población en general. No obstante, no ha sido fácil debido a multiplicidad de desafíos imperantes como el recurso humano que requiere preparación académica y capacitaciones de actualización en la práctica clínica para generar mecanismos orientados hacia los mejores resultados en salud.⁽⁵⁴⁾

Mientras que en los países desarrollados la tendencia es promover el uso de la IA con el uso de imágenes digitales, digitalización de registros, adaptabilidad e integración del aprendizaje profundo a mecanismos prometedores que agilizan el trabajo rutinario de los profesionales en salud; en los países en vías de desarrollo el avance es lento debido a la presencia de otras necesidades que lo limitan. Se requiere empoderar a las personas hacia el desarrollo de la IA e incursionar en estos campos sin depender de las mejoras en la tecnología básica del aprendizaje profundo.

Naylor (2018) indica que en ciertos campos clínicos la aplicación del aprendizaje profundo ha ocurrido más rápidamente por las condiciones (digitalización, alto volumen de datos) que lo permiten como ocurre en: radiología, radioterapia, patología, oftalmología, dermatología y cirugía guiada por imágenes; mientras que en otros el avance ha sido pausado debido a las limitaciones y en otros ni siquiera ha iniciado.^(22,54)

En esta época post-milenio, se tiene el potencial de trabajo con computadoras y robots mediados por la IA que complementa la fuerza laboral en la salud en medio de una crisis por la escasez de personal debido al envejecimiento poblacional y agotamiento físico por la alta demanda de atención crónica. Situación que a merita destacar el potencial del cuidado de la salud con envejecimiento inteligente y saludable conforme las personas crecen a edades avanzadas, autosuficiencia y control a pesar de las enfermedades crónicas con apoyo asistencial de la IA.^(18,57)

Un sistema de salud debe ser eficiente para gestionar la disponibilidad, accesibilidad, aceptabilidad y calidad de trabajadores en salud a pesar de la falta de trabajadores una fuerza que también envejece por lo que es un desafío adicional para la IA en llenar esos posibles vacíos.⁽¹⁷⁾

Aunque por un lado la IA es un campo de rápido crecimiento, por otro lado la aplicación práctica clínica tiende a tener un lento avance y se realiza predominante en investigaciones o en labores específicas, en ese sentido Shickel y colaboradores citan que algunas de esas aplicaciones de informática clínica se les ha encontrado un uso secundario al inicial (archivar o facturar);⁽⁵⁸⁾ la FDA aprobó la aplicación clínica de la IA en procesos que buscan encontrar lesiones por tomografía computarizada pulmonar (TC), tomografías computarizadas del hígado, uso de escáneres de resonancia magnética (MRI) en segmentar lesiones y nódulos, la detección automática de retinopatía diabética leve en adultos jóvenes y el monitoreo continuo de la glucosa con una aplicación de teléfono inteligente.^(7,54)

Existen personas con actitudes de reticencia al trabajo con IA por el temor a que en algún momento las máquinas puedan reemplazar al ser humano ya que las tecnologías podrían realizar hasta la mitad de las actividades humanas y 60 por ciento de las ocupaciones tienen 30 por ciento de actividades automatizables.^(50,59)

Empero la integración de los datos de fuentes convencionales con los generados en aplicaciones de las nuevas tecnologías con IA, se convierte en una oportunidad para transformar la asistencia sanitaria apoyada en las facilidades de tecnologías (comunicación, información, computación e informática).^(5,26,27) El desarrollo

tecnológico e informático a lo largo de la historia ha facilitado la acumulación de una gran cantidad de datos en diversas fuentes y con los avances de la IA se puede dar uso a los datos en aplicaciones clínicas con registros electrónicos y el aprendizaje profundo.^(13,16,32,47)

La innovación tecnológica combinada con la automatización o la miniaturización tecnológica permite aumentar la producción en salud por la disponibilidad de los conjuntos de datos masivos que provienen de aplicaciones, dispositivos médicos y de los sistemas de registros digitales móviles de salud o de dispositivos conectados.^(11,29)

El personal que ocupa puestos de gerencial deben ser conscientes para invertir, adquirir, capacitar y maximizar los recursos disponibles a un costo razonable que permitan utilizar la IA en pro de la salud; con miras a disminuir las actividades tradicionales poco efectivas, diversificar las estrategias de intervención en centros de salud o comunidades con el apoyo de los distintos actores sociales.⁽⁵⁴⁾

Se conoce que en la nube virtual, se acumulan miles de millones de puntos de datos estructurados o no estructurados de naturaleza heterogénea de una gama de fuentes y el recurso humano en salud debe aprender el uso de las herramientas analíticas que permitan reducir esa *big data* a modelos simples de utilización práctica.^(3,26,29,33,48,59) Con las poderosas técnicas de IA, se podría desbloquear toda la información clínica a través de algoritmos sofisticados para extraer información útil con procedimientos que permitan agrupar los rasgos de pacientes, inferir la probabilidad de los resultados de enfermedades o métodos de procesamiento del lenguaje.^(6,12)

El trabajo intensivo se puede maximizar con redes de cooperación educativas o de investigación para compartir, vincular a otros con biorepositorios o en la convergencia de un formato de datos unificado como el *Fast Healthcare Interoperability Resources* en que los pacientes reciben capacitación, entrenamiento adecuado para controlar el acceso a los datos y consentir la construcción o ejecución de modelos, herramientas de texto en html o en lenguaje de marcado de hipertexto en la web que se puede indexar y acceder con el uso de buscadores informáticos.^(24,26)

Existen desafíos respecto al uso de la IA que requieren atención al dificultar emparejar los rápidos avances tecnológicos con los procesos de aplicación inmediata, los marcos legales y regulatorios que regulan el uso de la IA, aunado a los altos costos de inversión inicial que en algunos casos no solo requieren de esfuerzo - tiempo, sino también del consenso y de la toma de decisiones visionarias.

De ahí que el personal en salud requiere claridad respecto al logro de los máximos beneficios en salud con la IA a través del control y gestión de desafíos como:

- a) Gestión adecuada de datos heterogéneos que tienen alta incertidumbre y dispersión por la falta de puntos de referencia universal, integración, armonización de formatos, procesamiento, análisis y transferencia del conocimiento.^(58,59,60,61,62,63)
- b) Pretender el uso de modelos mediante una variedad de métodos que ameritan no solo mayor credibilidad sino también interpretabilidad.⁽⁶⁴⁾
- c) Mayor control de aspectos éticos, legales, sociales, seguridad, privacidad, políticos, económicos, tecnológicos relacionados con las barreras históricas - culturales - técnicas, de necesidad de amplios recursos computacionales sostenibles, de un sistema de monitoreo constante; así como el diseño de pruebas de fallas, de asegurar el no causar daños; todo esto con un mayor grado de transparencia, eficiencia y evidencia científica respecto a la reproducibilidad, la usabilidad y la confiabilidad.^(24,25,63)

Aunque esos aspectos obstaculizan la aplicabilidad de la IA, hay que continuar con el trabajo de construcción - armonización de conceptos, leyes y regulaciones para maximizar los beneficios que fomentan el uso de la IA con apoyo de las tecnologías. La situación más reciente que vive la humanidad por la pandemia ha motivado a que en los sistemas de salud se haya tenido que evolucionar hacia una atención más oportuna en tiempo real en medio de los vacíos debido a la ausencia de evidencia científica contundente, pero la tecnología con IA mediada por robots (autónomos o teledirigidos que controlan signos vitales, manipulan muestras y desechos biológicos, realizan eco-grafías, desinfectan, esterilizan) han jugado un

papel transcendental; así como los diagnósticos por imágenes que facilitan los procesos de toma de decisiones, aunque no en todos los contextos por causa de las desigualdades en el uso de los recursos escasos en medio de la crisis de valores éticos, económicos, sociales y políticos. (14,58,64,65,66,67)

Se destaca la utilidad que podría representar el uso de la IA facilitada con el uso de las tecnologías bajo un enfoque multidisciplinario novedoso a favor de prestación adecuada de servicios de atención en salud, atención médica, toma de decisiones, análisis de grandes datos, formación del recurso humano en salud de grado/posgrado, intercambio de información para diagnóstico - tratamiento - prevención de enfermedades, investigación, evaluación, participación activa de la población, trabajo intersectorial y educación continua de los actores sociales involucrados en la gestión de la salud digital (pacientes, trabajadores, otros miembros del sistema de salud). (1,2,3,4,5,17,18,19)

Las aplicaciones con IA ayudaría en los procesos de diseño, implementación, seguimiento y evaluación de políticas en salud, capacitación en los procesos educativos en espacios formales - no formales que ameritan de regulaciones adecuadas y un cambio hacia una educación acorde con los avances científicos, retroalimentación de usuarios tras el uso de potentes herramientas informáticas, acceso a cursos abiertos masivos en línea que transforman la práctica de la educación superior y todo esto; en aras de promover la salud de las personas y de las comunidades. (1,2,3,3,4,5,17,18,19)

La existencia de una vasta gama de tecnologías abren las oportunidades para el desarrollo de una variedad de mecanismos, técnicas, algoritmos, herramientas, procedimientos tras el uso de dispositivos con IA; así como los otros recursos tecnológicos que facilitan los procesos de atención en salud de las personas en los diversos contextos de una forma innovadora, moderna, dinámica y creativa acorde con los tiempos contemporáneos.⁽⁶⁷⁾ Se podría visualizar una forma ágil de resolver los problemas que previamente tenían implícito la complejidad como principal impedimento, tal es el caso de la atención de personas con trastornos mentales en el que las aplicaciones con IA permite la identificación de síntomas, diagnóstico temprano, implementación de intervenciones efectivas con un abordaje farmacoterapéutico. (50,55,57,66)

No es de extrañar que el uso de las tecnologías con IA conlleva en sí un desafío implícito para las diferentes ciencias del saber, pues acarrea el desarrollo de conocimientos, habilidades y destrezas bajo un marco de valores que requiere del trabajo en equipo de forma interdisciplinaria, multidisciplinaria, transdisciplinaria a un ritmo ágil acorde con el contexto idóneo, con los medios necesarios a través de una preparación previa que se nutre de un proceso dinámico, continuo y bidireccional desde los espacios de desarrollo de las personas en los diversos entornos.

La IA es una herramienta útil que facilita el trabajo de atención a las personas al utilizar aplicaciones del aprendizaje automático a partir de la gestión de los grandes conjuntos de datos en un proceso centrado en la persona con el uso adecuado y provechoso del apoyo tecnológico con miras hacia la solución de los problemas simples o complejos, individuales o del colectivo para mejorar la asistencia sanitaria y disminuir errores clínicos, costos en la atención, así como favorecer el aumento en la productividad, mejorar el ambiente de trabajo y la ciberseguridad.⁽⁵³⁾

Se requieren esfuerzos que articulen el accionar de los diferentes sectores que participan en el proceso de atención a la salud, los procesos de formación profesional que se relacionan con el uso de la IA con el apoyo de las tecnologías para que se prioricen necesidades, se gestionen las limitaciones y se establezcan planes con miras a obtener soluciones a los escollos que dificultan potenciar los mayores beneficios del uso de los medios tecnológicos que ofrece la época contemporánea en pro del bienestar de las comunidades.

Consideraciones finales

La aplicación del aprendizaje automático en patrones de relaciones y del aprendizaje automático profundo en modelos jerarquizados en los medios tecnológicos digitales de información, comunicación, computación e informática generan una nebulosa entre ficción - realidad que acorta distancias en tiempo - lugar.

La inteligencia artificial rompe los esquemas convencionales de identificación y atención de las fuentes y factores que afectan a las personas; así como la búsqueda de soluciones a los problemas complejos mediante el uso adecuado de los medios tecnológicos disponibles con una activa participación de los actores sociales.

El recurso humano requiere preparación, recursos para el uso de la inteligencia artificial y enfrentar los desafíos existentes. La inteligencia artificial es una herramienta que facilita la atención de la salud en forma innovadora, moderna, dinámica, humana y personalizada a través de los mecanismos de las tecnologías que permiten mejoras en salud.

Referencias bibliográficas

1. Rong G, Mendez A, Assi E, Zhao B, Sawan M. Artificial intelligence in healthcare: review and prediction case studies. *Engineering*. 2020 [acceso 25/02/2021];6(3):291-301. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809919301535>
2. Shameer K, Johnson K, Glicksberg B, Dudley J, Sengupta P. Machine learning in cardiovascular medicine: are we there yet? *Heart*. 2018;104(14):1156-64. DOI: <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-311198>
3. Hood L, Auffray C. Participatory medicine: a driving force for revolutionizing healthcare. *Genome Medicine*. 2013;5(110):1-4. DOI: <https://doi.org/10.1186/gm514>
4. Poudel A, Nissen L. Telepharmacy: a pharmacist's perspective on the clinical benefits and challenges. *Integrated Pharmacy Research & Practice*. 2016;5:75-82. DOI: <https://doi.org/10.2147/IPRP.S101685>
5. Apweiler R, Beissbarth T, Berthold M, Blüthgen N, Burmeister Y. Whither systems medicine? *Experimental & molecular medicine*. 2018 [acceso 14/03/2021];50(3):e453. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/emm2017290>
6. Noorbakhsh N, Zand R, Zhang Y, Abedi V. Artificial intelligence transforms the future of healthcare. *The American journal of medicine*. 2019;132(7):795-801. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.01.017>

7. Holzinger A. Interactive machine learning for health informatics: when do we need the human-in-the-loop? *Brain Informatics*. 2016;3:119-31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40708-016-0042-6>
8. Mahmud M, Kaiser M, McGinnity T, Hussain A. Deep Learning in Mining Biological Data. *Cogn Comput*. 2021;13:1-33. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09773-x>
9. Kim I, Oh J. Deep learning: from chemoinformatics to precision medicine. *Journal of Pharmaceutical Investigation*. 2017;47(4):317-23. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40005-017-0332-x>
10. Ravì D, Wong C, Deligianni F, Berthelot M, Andreu J, Lo B, et al. Deep learning for health informatics. *IEEE journal of biomedical and health informatics*. 2016;21(1):4-21. DOI: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2016.2636665>
11. Auffray C, Balling R, Barroso I, Bencze L, Benson M, Bergeron J, et al. Making sense of big data in health research: towards an EU action plan. *Genome medicine*. 2016;8(1):71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13073-016-0323-y>
12. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*. 2017;2(4):230-43. DOI: <https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101>
13. Miotto R, Wang F, Wang S, Jiang X, Dudley J. Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. *Briefings in bioinformatics*. 2017;19(6):1236-46. DOI: <https://doi.org/10.1093/bib/bbx044>
14. van der Schaar M, Alaa A, Floto A, Gimson A, Scholtes S, Wood A, et al. How artificial intelligence and machine learning can help healthcare systems respond to COVID-19. *Machine Learning*. 2021 [acceso 04/03/2021];110(1):1-14. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10994-020-05928-x.pdf>
15. Shortliffe E, Sepúlveda M. Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *Jama*. 2018;20(21):2199-200. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2018.17163>
16. Wiens J, Shenoy E. Machine learning for healthcare: on the verge of a major shift in healthcare epidemiology. *Clinical Infectious Diseases*. 2017;66(1):149-53. DOI: <https://doi.org/10.1093/cid/cix731>

17. Meskó B, Hetényi G, Gyórfy Z. Will artificial intelligence solve the human resource crisis in healthcare? BMC health services research. 2018;18(1):545. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12913-018-3359-4>
18. Alexander E, Butler C, Darr A, Jenkiss M, Long R, Shipman C, et al. ASHP statement on telepharmacy. American Journal of Health-System Pharmacy. 2017 [acceso 16/01/2021];74(9):e236-e41. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajhp/article-abstract/74/9/e236/5102780>
19. Steckler T. Telepharmacy: controversy and promise. Journal of Pharmacy Technology. 2016;32 (6):227-9. DOI: <https://doi.org/10.1177/8755122516670415>
20. Ching T, Himmelstein D, Beaulieu B, Kalinin A, Do B, Way G, et al. Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine. Journal of The Royal Society Interface. 2018;15(141):1-47. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0387>
21. Jones L, Golan D, Hanna S, Ramachandran M. Artificial intelligence, machine learning and the evolution of healthcare: A bright future or cause for concern? Bone & joint research. 2018;7(3):223-5. DOI: <https://doi.org/10.1302/2046-3758.73.BJR-2017-0147.R1>
22. Naylor C. On the prospects for a (deep) learning health care system. Jama. 2018;320(11):1099-100. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2018.11103>
23. Lucignani G, Neri E. Integration of imaging biomarkers into systems biomedicine: a renaissance for medical imaging. Clinical and Translational Imaging. 2019;7:149-53. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40336-019-00320-9>
24. Pitoglou S. Machine Learning in Healthcare: Introduction and Real-World Application Considerations. En Moumtzoglou A. (Ed.) Quality Assurance in the Era of Individualized Medicine, Hershey, PA: IGI Global. 2020:92-109. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2390-2.ch004>
25. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. New England Journal of Medicine. 2019;380(14):1347-58. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMra1814259>
26. Thaler S, Menkovski V. The role of deep learning in improving healthcare. In: Consoli S., Reforgiato Recupero D, Petković M. (eds) The Role of Deep Learning in

- Improving Healthcare. Data Science for Healthcare Springer, Cham. 2019:75-116. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-05249-2_3
27. Li Y, Chen C, Wasserman W. Deep feature selection: theory and application to identify enhancers and promoters. Journal of Computational Biology. 2016;23(5):322-36. DOI: <https://doi.org/10.1089/cmb.2015.0189>
28. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature. 2015;521:436-44. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>
29. Mamoshina P, Vieira A, Putin E, Zhavoronkov A. Applications of deep learning in biomedicine. Molecular pharmaceutics. 2016;13(5):1445-54. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.5b00982>
30. Stewart C. Learning Analytics: Shifting from theory to practice. Journal on Empowering Teaching Excellence. 2017;1(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.15142/T3G63W>
31. Wu J, Yang C, Liao C, Nian M. Analytics 2.0 for Precision Education: An Integrative Theoretical Framework of the Human and Machine Symbiotic Learning. Journal of Educational Technology & Society. 2021 [acceso 15/03/2021];24(1):267-79. Disponible en: https://www.jstor.org/stable/26977872?seq=1#metadata_info_tab_contents
32. Injadat M, Moubayed A, Nassif A, Shami A. Machine learning towards intelligent systems: applications, challenges, and opportunities. Artificial Intelligence Review. 2021 [acceso 28/02/2021];1-50. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-020-09948-w>
33. Ekins S. The next era: deep learning in pharmaceutical research. Pharmaceutical research. 2016;33:2594-603. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11095-016-2029-7>
34. Yao Z, Bi J, Chen Y. Applying deep learning to individual and community health monitoring data: A survey. International Journal of Automation and Computing. 2018;15(6):643-55. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11633-018-1136-9>
35. Kooi T, Litjens G, Van Ginneken B, Gubern A, Sánchez C, Mann R, et al. Large scale deep learning for computer aided detection of mammographic lesions. Medical image analysis. 2017;35:303-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.media.2016.07.007>

36. Dai Y, Wang G. A deep inference learning framework for healthcare. *Pattern Recognition Letters*. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.02.009>
37. Galvão Y, Ferreira J, Albuquerque V, Barros P, Fernandes B. A multimodal approach using deep learning for fall detection. *Expert Systems with Applications*. 2021 [acceso 18/03/2021];168:1-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417420309489>
38. Bejnordi B, Veta M, Van Diest P, Van Ginneken B, Karssemeijer N, Litjens G, et al. Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node Bmetastases in women with breast cancer. *Jama*. 2017;318(22):2199-210. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2017.14585>
39. Pham T, Tran T, Phung D, Venkatesh S. Predicting healthcare trajectories from medical records: A deep learning approach. *Journal of biomedical informatics*. 2017;69:218-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.04.001>
40. Srivastava S, Soman S, Rai A, Srivastava P. Deep learning for health informatics: Recent trends and future directions. In N. Rashmi, P. Mueller, P. Lorenz International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI) IEEE. Manapal University, Karnataka, India. 2017:1665-70. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2017.8126082>
41. Purushotham S, Meng C, Che Z, Liu Y. Benchmark of deep learning models on large healthcare mimic datasets. *Journal of Biomedical Informatics*. 2017;83:112-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2018.04.007>
42. Chen M, Yang J, Hao Y, Mao S, Hwang K. A 5G cognitive system for healthcare. *Big Data and Cognitive Computing*. 2017;1(1):1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/bdcc1010002>
43. O'Sullivan S, Holzinger A, Zatloukal K, Saldiva P, Sajid M, Wichmann D, et al. Machine learning enhanced virtual autopsy. *Autopsy & case reports*. 2017;7(4):3-7. DOI: <https://doi.org/10.4322/acr.2017.037>
44. Litjens G, Kooi T, Bejnordi B, Setio A, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical image analysis*. 2017;42:60-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>

45. Yuan W, Li C, Guan D, Han G, Khattak A. Socialized healthcare service recommendation using deep learning. *Neural Computing and Applications*. 2018;30(7):2071-82. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3394-4>
46. Beam A, Kohane I. Big data and machine learning in health care. *Jama*. 2018;319(13):1317-18. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2017.18391>
47. de Meulder B, Lefaudeux D, Bansal A, Mazein A, Chaiboonchoe A, Ahmed H, et al. A computational framework for complex disease stratification from multiple large-scale datasets. *BMC systems biology*. 2018;12(1):60. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12918-018-0556-z>
48. Gong K, Wu D, Arru C, Homayounieh F, Neumark N, Guan J, et al. A Multi-Center Study of COVID-19 Patient Prognosis Using Deep Learning-based CT Image Analysis and Electronic Health Records. *European Journal of Radiology*. 2021 [acceso 24/01/2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0720048X21000632>
49. Faust O, Hagiwara Y, Hong T, Lih O, Acharya U. Deep learning for healthcare applications based on physiological signals: A review. *Computer methods and programs in biomedicine*. 2018;161:1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.04.005>
50. Auger S, Jacobs B, Dobson R, Marshall C, Noyce A. Big data, machine learning and artificial intelligence: a neurologist's guide. *Practical Neurology*. 2021 [acceso 30/01/2021];21(1):4-11. Disponible en: <https://pn.bmj.com/content/practneurol/21/1/4.full.pdf>
51. McKendrick M, Yang S, McLeod G. The use of artificial intelligence and robotics in regional anaesthesia. *Anaesthesia*. 2021 [acceso 18/02/2021];76:171-81. Disponible en: <https://associationofanaesthetistspublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/anae.15274>
52. Davidson L, Boland M. Towards deep phenotyping pregnancy: a systematic review on artificial intelligence and machine learning methods to improve pregnancy outcomes. *Briefings in Bioinformatics*. 2021 [acceso 18/03/2021]:1-29. Disponible en: <https://academic.oup.com/bib/advance-article/doi/10.1093/bib/bbaa369/6065792>

53. Lee D, Yoon S. Application of Artificial Intelligence-Based Technologies in the Healthcare Industry: Opportunities and Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(1):1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010271>
54. He J, Baxter S, Xu J, Xu J, Zhou X, Zhang K, et al. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature medicine*. 2019;25(1):30-6. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6995276/>
55. Jacobson N, Nemesure M. Using Artificial Intelligence to Predict Change in Depression and Anxiety Symptoms in a Digital Intervention: Evidence from a Transdiagnostic Randomized Controlled Trial. *Psychiatry Research*. 2021 [acceso 05/02/2021];295:113618. Disponible en: <http://www.nicholasjacobson.com/files/PDFs/Jacobson%20&%20Nemesure,%202020.pdf>
56. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, Kuleshov V, DePristo M, Chou K, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nature medicine*. 2019;25:24-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z>
57. Spargo M, Goodfellow N, Scullin C, Grigoleit S, Andreou A, Mavromoustakis C, et al. Shaping the Future of Digitally Enabled Health and Care. *Pharmacy*. 2021;9(17):1-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmacy9010017>
58. Shickel B, Tighe P, Bihorac A, Rashidi P. Deep EHR: a survey of recent advances in deep learning techniques for electronic health record (EHR) analysis. *IEEE journal of biomedical and health informatics*. 2017;22(5):1589-604. DPI: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2017.2767063>
59. Haefner N, Wincent J, Parida V, Gassmann O. Artificial intelligence and innovation management: A review, framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*. 2021 [acceso 19/02/2021];162:1-10. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016252031218X>
60. Milletari F, Ahmadi M, Kroll C, Plate A, Rozanski V, Maiostre J, et al. Hough-CNN: Deep learning for segmentation of deep brain regions in MRI and ultrasound.

- Computer Vision and Image Understanding. 2017 [acceso 04/01/2021];164:92-102. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1601.07014.pdf>
61. Jacobson O, Dalianis H. Applying deep learning on electronic health records in Swedish to predict healthcare-associated infections. Proceedings of the 15th workshop on biomedical natural language processing. 2016:191-5. DOI: <https://doi.org/10.18653/v1/W16-2926>
62. Park S, Do K, Choi J, Sim J, Yang D, Eo H, et al. Principles for evaluating the clinical implementation of novel digital healthcare devices. Journal of the Korean Medical Association. 2018 [acceso 08/01/2021];61(12):765-75. Disponible en: <https://synapse.koreamed.org/DOIx.php?id=10.5124/jkma.2018.61.12.765>
63. Schwalbe N, Wahl B. Artificial intelligence and the future of global health. The Lancet. 2020;395(10236):1579-86. Disponible en: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2820%2930226-9>
64. Rööslí E, Rice B, Hernandez T. Bias at warp speed: how AI may contribute to the disparities gap in the time of COVID-19. Journal of the American Medical Informatics Association. 2021 [acceso 04/02/2021];28(1):190-2. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7454645/>
65. Cui M, Zhang D. Artificial intelligence and computational pathology. Laboratory Investigation. 2021 [acceso 28/02/2021];1-11. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41374-020-00514-0.pdf>
66. Tsoi K, Yiu K, Lee H. The HOPE Asia Network. Applications of artificial intelligence for hypertension management. J Clin Hypertens. 2021:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1111/jch.1418>
67. Morgenstern J, Rosella L, Daley M, Goel V, Schünemann H, Piggott T, et al. “AI’s gonna have an impact on everything in society, so it has to have an impact on public health”: a fundamental qualitative descriptive study of the implications of artificial intelligence for public health. BMC Public Health. 2021;21(40):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-10030-x>

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de intereses.