

# Machine Learning: Una necesidad formativa hoy para los médicos del mañana

## Machine Learning: A training need today for tomorrow's physicians

Agustín Nuñez<sup>1</sup>, Álvaro Tala<sup>2,3</sup>, Macarena Astudillo<sup>1,4</sup>, Isabella Varela<sup>1</sup>, Andrés Polit<sup>1</sup>, Juan Salazar Badell<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Chile. Santiago, Chile.

<sup>2</sup> Departamento de Educación en Ciencias de la Salud, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

<sup>3</sup> Hospital Militar de Santiago. Santiago, Chile.

<sup>4</sup> Unidad de Educación, Universidad Autónoma de Chile. Santiago, Chile.

<sup>5</sup> Hospital Parroquial de San Bernardo. Santiago, Chile

Esta investigación no contó con apoyo financiero

Fecha de recepción: 01 de agosto de 2023 / Fecha de aceptación: 15 de septiembre de 2023

### ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) have revolutionized the field of medicine in recent years. Advances in the application of the ML have allowed more precise diagnostic support, the prediction of adverse events and a better selection of treatment for various pathologies. Among the objectives of the curricular integration of ML is teaching students how to use ML as a support tool in clinical practice. Seek to strengthen the clinical judgment of students, so that they can make informed decisions based on the information provided by AI and ML. It is important for medical students to understand the limitations and potential biases of AI and ML. The curricular integration of ML in medical education is a crucial task to train future medical professionals.

**Key words:** Machine Learning, artificial intelligence, medical, education, curricular.

### RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) y el machine learning (ML) han revolucionado el campo de la medicina en los últimos años. Los avances en la aplicación del ML han permitido un apoyo diagnóstico más preciso, la predicción de eventos adversos y una mejor selección del tratamiento de diversas patologías. Entre los objetivos de la integración curricular del ML se encuentra el enseñar a los estudiantes cómo utilizar el ML como una herramienta de apoyo en la práctica clínica. Buscar fortalecer el juicio clínico de los estudiantes, de manera que puedan tomar decisiones informadas en base a la información proporcionada por la IA y el ML. Es importante que los estudiantes de medicina comprendan las limitaciones y potenciales sesgos de la IA y el ML. La integración curricular del ML en la educación médica es una tarea crucial para formar a los futuros profesionales de la medicina.

**Palabras clave:** Machine learning, inteligencia artificial, educación médica, curriculum.

### Introducción

La tecnología se ha vuelto cada vez más relevante en la sociedad moderna debido a su capacidad para transformar casi todos los aspectos de la vida humana, entendida por la

Real Academia Española (RAE) como el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico[1]. Desde el entretenimiento hasta la salud, ha hecho posible una mayor eficiencia, productividad y calidad de vida para muchas personas. Esta ha dado cada vez más demos-

a.nunez.ibanez@gmail.com

\*ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8988-6054>

ISSN: 0716-4076



traciones de su capacidad para superar a las personas en diferentes tareas, desde las calculadoras hasta casos emblemáticos como el Deep Blue y el ajedrez[2], lo que tuvo un impacto significativo en el desarrollo de tecnologías más contemporáneas como la inteligencia artificial (IA) y el machine learning (ML). En particular, el ML está progresando rápidamente, pero la comunidad médica es lenta para adaptarse, incluso a fenómenos con décadas de existencia como la medicina basada en la evidencia (MBE). Esto puede mejorar si se integran estos conocimientos tecnológicos proactivamente en los planes de estudio para que los médicos de nuevas generaciones estén preparados para interactuar y evaluar críticamente los algoritmos de ML, lo que sumado a que asociaciones médicas están pidiendo programas educativos de inteligencia artificial para sus programas[3], hace pertinente revisar narrativamente el panorama del ML en la educación médica.

### La tecnología en la medicina

La tecnología en medicina ha evolucionado significativamente a lo largo de la historia. En la antigüedad, los médicos utilizaban plantas medicinales y rituales para tratar a sus pacientes[4]. En el Renacimiento, la anatomía y la fisiología se convirtieron en áreas de estudio más profundas, lo que llevó a la creación de instrumentos más precisos para la exploración médica. La disección de cadáveres se convirtió en una práctica común, que permitió a los médicos conocer mejor la estructura interna del cuerpo humano[4].

A finales del siglo XIX y principios del XX, la tecnología comenzó a avanzar mucho más rápido y se desarrollaron herramientas como el estetoscopio, el microscopio y el electrocardiograma[5]. En las últimas décadas, los avances en la tecnología médica han sido increíblemente rápidos y diversos. La tomografía computarizada, la resonancia magnética, la endoscopia y la laparoscopia son solo algunos ejemplos de tecnologías médicas modernas que han revolucionado la medicina[6],[7]. Uno de los cambios más notables ha sido la transición del registro clínico en papel a los registros digitales. Esta transición ha tenido efectos significativos en la práctica clínica, ya que los registros digitales permiten una mejor organización y accesibilidad de la información, sin embargo, también ha traído problemas, como un menor tiempo de interacción concreta con el paciente durante la atención[8]. Los aportes de la MBE se han convertido en un nuevo paradigma en la utilización de recursos bibliográficos para la toma de decisiones y la informática médica ha contribuido significativamente a la promoción de la MBE al facilitar el acceso y análisis de grandes cantidades de información[9].

### El Machine Learning

Dentro de todos los avances, una tecnología emergente que está transformando la medicina es la IA. Esta es una rama de la informática que se ocupa del diseño y desarrollo de sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento y la resolución de problemas. La IA tiene aplicaciones en una amplia variedad de campos, como la medicina, la robótica, la manufactura, la seguridad, el transporte y el entretenimiento[10], siendo una de sus ramas el ML. Este corresponde al proceso en el que programas informáticos procesan grandes conjuntos de datos y

descubren patrones y asociaciones que se luego se utilizan para aprender un algoritmo el cual, cuando se aplica a nuevos datos, tiene como objetivo reproducir confiablemente una clasificación o predicción precisa, libre de fatiga humana[11]. El ML es utilizado en una gran variedad de campos. Por ejemplo, se utilizan técnicas de ML en motores de búsqueda para mejorar la relevancia de los resultados. Los sistemas de recomendación personalizan el contenido en función de las preferencias del usuario mediante el uso de técnicas de ML[12]. El ML también se ha aplicado en el campo de la conducción autónoma, en el que se utiliza para reconocer patrones en el entorno y tomar decisiones de conducción en tiempo real[13]. En la detección de fraudes, se utiliza para identificar patrones de fraude en las transacciones financieras y de comercio electrónico[14]. También, se han realizado estudios chilenos utilizando ML, donde se ha usado para producir estimaciones de propiedades del suelo para evaluar riesgo sísmico[15] como también se ha usado en la predicción de eventos policiales[16].

### Tipos de Machine Learning

Hay dos tipos principales de algoritmos de ML: el aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado. El aprendizaje supervisado es aquel en el que el algoritmo recibe un conjunto de datos etiquetados previamente y se entrena para predecir la etiqueta correcta para nuevos datos, mientras que el aprendizaje no supervisado reconoce patrones en un conjunto de muestras, generalmente sin etiquetas para las muestras[17].

Los algoritmos de ML son herramientas matemáticas que se utilizan para entrenar modelos capaces de aprender a partir de datos. Si bien existen muchos tipos de algoritmos y formas de clasificarlos, los más comunes se encuentran resumidos en la Tabla 1.

Cada algoritmo de machine learning tiene sus propias fortalezas y debilidades, seleccionará en función de las necesidades específicas de cada problema y de los datos disponibles.

### Machine Learning en la medicina

Esta herramienta permite analizar grandes cantidades de datos médicos y crear modelos predictivos que pueden ayudar en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Además, el ML también se utiliza para la investigación médica[18]. Las principales tareas de ML en medicina hasta el momento comprenden la clasificación, como el distinguir una enfermedad a partir de una historia clínica o imagen, la predicción, como el estimar el riesgo de futuros eventos clínicos, y el descubrimiento, como sería un nuevo uso para un medicamento[11].

A modo de ejemplo, el ML se ha utilizado cada vez más en la radiología basándose en la capacidad del algoritmo para aprender a partir de grandes conjuntos de imágenes radiológicas y utilizar esta información para hacer predicciones sobre la presencia o ausencia de enfermedades[19], logrando resultados prometedores, como en el caso de la detección de cáncer de mama, obteniendo resultados comparables con radiólogos[20]. Incluso se ha usado en áreas como la psiquiatría para la personalización de terapia farmacológica y predicción de eventos[21], hasta en enfermedades como el trastorno afectivo bipolar[22]. Por otro lado, el ML podría tener un rol significativo en la automatización de tareas rutinarias de la práctica

Tabla 1. Principales algoritmos de ML

Algoritmo	Descripción	Aplicaciones
Redes neuronales (NN)	Modelos matemáticos inspirados en la estructura del cerebro humano que utilizan capas de "neuronas" interconectadas para procesar datos de entrada y generar una salida[17],[38]	Aprendizaje profundo y clasificación de imágenes, voz y texto
Árboles de decisión (DT)	Modelos que utilizan una estructura de árbol para clasificar diferentes posibilidades basadas en los atributos de los datos. Cada nodo interno representa una característica o atributo del conjunto de datos y las hojas del árbol representan las posibles clasificaciones o resultados finales[17],[38],[39]	Toma de decisiones e identificación de patrones
Máquinas de vectores de soporte (SVM)	Modelos que se utilizan para clasificar o separar datos en dos o más categorías. SVM se basa en la idea de encontrar el hiperplano que mejor divide los datos en distintas clases[40]	Detección de spam y clasificación de imágenes
Naive Bayesian (NB)	Algoritmo de clasificación de aprendizaje automático que se basa en el teorema de Bayes. Se utiliza para clasificar datos en diferentes categorías a partir de la probabilidad de que un determinado dato pertenezca a cada categoría. Hace una suposición simplificada de que todas las características de entrada son independientes entre sí[17],[40]	Clasificación de textos y sistemas de recomendación

clínica diaria, mejorando la eficiencia del tiempo disponible de los profesionales del área de la salud[23]. Sin embargo, es relevante destacar que se fundamenta en bases de datos, las cuales pueden ser difíciles de generar debido a la enorme cantidad de información generada diariamente[24]. Además, la mayoría de esta información no resulta útil para el análisis y creación de dichas bases de datos[24], por lo que, requiere mejores condiciones para su recopilación.

Por último, cabe destacar que la revista *New England Journal of Medicine* (NEJM) ha anunciado recientemente el lanzamiento de una nueva revista centrada en artículos relacionados con la intersección entre la IA y la medicina, en respuesta al creciente interés e importancia de esta área[25].

### Machine Learning en la educación médica

La incorporación de tecnologías ha revolucionado la forma en que los estudiantes de medicina aprenden destacando a modo de ejemplo simulaciones en las cuales estudiantes pueden practicar habilidades y procedimientos que imitan situaciones de la vida real, mediante la simulación de alta fidelidad y el uso de *software* para el razonamiento clínico[26]. Asimismo, las plataformas de aprendizaje en línea se han convertido en una herramienta esencial con la cual los estudiantes pueden acceder a recursos para aprender, interactuar con profesores, compañeros, realizar evaluaciones y trabajar en proyectos, junto a herramientas como dispositivos móviles, los cuales se utilizan para acceder a recursos de aprendizaje, realizar tareas, o comunicarse[26]. Incluso su uso para metodologías didácticas activas como los sistemas de respuesta de audiencia ha ido ganando popularidad[27].

El uso de ML tiene el potencial de adaptar el proceso de aprendizaje para brindar una experiencia personalizada a los estudiantes. Puede recomendar recursos que se ajusten a las

características individuales de cada estudiante, así como sugerir grupos de estudio[28]. Por otro lado, también se ha utilizado el ML como herramienta docente para enseñar conocimientos en distintas áreas. Un ejemplo de ello es el sistema *SmartPath*, diseñado para enseñar conocimientos en el estudio histológico de glomerulopatías. Este sistema utiliza un algoritmo previamente entrenado para generar preguntas e imágenes que ayudan a los estudiantes a comprender mejor el tema[29]. También se han propuesto enfoques que utilizan el ML como herramientas de evaluación cualitativa, como método para evaluar los cortes de video realizados por un cirujano y valorar la calidad de su técnica quirúrgica[30], así como para la evaluación de competencias médicas[31].

### Recomendaciones para su integración en la educación médica

Considerando que existe un aumento en la aplicación del ML en la medicina, impresiona necesaria su integración en los planes de estudio. Los distintos algoritmos de ML se encuentran en constante evolución que deriva de los programadores que los elaboran y que, al igual que cualquier otra herramienta creada por seres humanos, es susceptible a errores y sesgos de quienes los programan[32], por lo que resulta imperativo que no sean enseñados como verdad absoluta. Dado esto, recomendamos para la integración en los planes de estudio el ir incorporando sus principios básicos, sus posibles beneficios y limitaciones, el análisis de grandes datos y la bioestadística con foco en el ML en la educación de pregrado de medicina[33]. La alfabetización en ML debería ser el objetivo, no la competencia completa. Para lograr esto, se ha propuesto la familiarización del lenguaje técnico del ML de manera transversal en los cursos de habilidades clínicas y ser enseñado como una herramienta de apoyo para la práctica clínica manteniendo el contenido

centrado en el aprendizaje de los estudiantes y la formación clínica, capacitarlos en ignorar la publicidad engañosa que puede acompañar el ML, reconocer su uso apropiado y verlo como una herramienta para cuidar a los pacientes[3]. El objetivo no es que los médicos sepan programación en profundidad, pero deben comprender su funcionamiento, cómo puede influir en los estudios que se derivan de estos y su eventual utilidad. Es necesario también realizar una reevaluación de los componentes humanísticos del plan de estudios de medicina de pregrado. Los médicos, como tomadores de decisiones éticas en la atención médica, probablemente se volverán cada vez más importantes a medida que la tecnología se desarrolle y facilite las necesidades de la profesión, por lo que deben ser entrenados para seguir utilizando el juicio clínico[32],[33]. Se plantea también que los estudiantes aprendan directamente de los expertos en tecnología de ML para permitir una adopción y uso más eficientes de las herramientas en la atención médica[32]. Las escuelas de medicina están incluyendo más experiencias de aprendizaje interdisciplinarias en los planes de estudio para permitir que los estudiantes aprendan de aquellos que practican el ML y creen herramientas más efectivas para la atención a pacientes. Esta interacción también permitiría a los estudiantes adquirir habilidades en la comunicación de objetivos y especificaciones con los programadores de ML[32]. Finalmente, es necesario que las organizaciones profesionales elaboren y difundan pautas claras para el uso y evaluación de herramientas de IA y ML, con el objetivo de fomentar su adopción y un uso fundamentado en evidencias por parte de los médicos, para conseguir una inclusión curricular más valiosa y factible[33].

### Riesgos y problemas éticos asociados al Machine Learning

El uso del ML no solo ha representado un nuevo paradigma, sino que también ha venido acompañado de cuestionamientos éticos a raíz de sus resultados. Se ha visto que el uso de estas herramientas presenta un potencial para exacerbar las disparidades de salud existentes[34], considerando que incorpora los sesgos tanto de sus programadores como de los propios datos ingresados en las bases de datos, por lo que puede fallar en la interpretación de aspectos que requieren de un juicio cultural, contextual o moral. Por ejemplo, investigaciones recientes han demostrado que los modelos de predicción clínica más avanzados tienen un rendimiento inferior en mujeres, etnias y personas con seguros de salud[34],[35].

Otro riesgo asociado al aumento del uso del ML es que muchos de los modelos aplicados no son validados adecuadamente para garantizar la efectividad del modelo[11]. Asimismo, se ha visto que por sí solos muchos de los modelos finalmente requieren de igual manera el juicio subjetivo que considere variables éticas o contextuales, por lo que no reemplazan a un personal entrenado[11], siendo aún necesaria la realización de estudios que demuestren la seguridad de los modelos de ML en la toma de decisiones clínicas[11]. Además, se han observado dificultades en la capacidad de generalización de los modelos debido a que son desarrollados utilizando datos usualmente provenientes de un único centro. Cuando estos modelos son aplicados en una población diferente, se ha constatado que su rendimiento disminuye en dicha población, problemas los cuales no se solucionan agregando mayor cantidad de datos, sino que requieren una reestructuración del modelo[34].

Por otro lado, problemas relacionados con la privacidad, seguridad y control de datos requieren la implementación de sólidas medidas de anonimización y seguridad para prevenir el mal uso de estos[36].

Por último, actualmente no está definida la validez y autoría de los textos generados por IA, pudiendo traer problemas relacionados al plagio, que pueden llegar a ser relevantes en la producción de artículos científicos[37].

### Perspectiva a futuro

El futuro del uso del ML en la educación médica es emocionante e incierto al mismo tiempo. A medida que el ML continúa avanzando, se presentan nuevas oportunidades para mejorar la calidad y eficacia de la educación médica en general. Sin embargo, también surgen preocupaciones sobre cómo se utilizará la tecnología y qué impacto tendrá en los pacientes y en los profesionales de la salud. Es así como el diseño del currículum de una carrera de medicina debe evolucionar para adaptarse a las necesidades y expectativas de los estudiantes actuales, quienes tienen una mayor familiarización con las herramientas tecnológicas.

Una de las tendencias más prometedoras en el uso del ML en la educación médica es la personalización y adaptación del aprendizaje. Los algoritmos de ML pueden ser utilizados para evaluar el rendimiento de los estudiantes junto a proporcionar retroalimentación y recursos de aprendizaje personalizados. Esto podría ayudar a los estudiantes a aprender de manera más efectiva y a desarrollar habilidades relevantes para su carrera.

El futuro del uso del ML en la educación médica es prometedor, pero también requiere una atención cuidadosa a las preocupaciones éticas y de calidad de los datos. Es importante que los profesionales de la educación médica y los desarrolladores de tecnología trabajen juntos para garantizar que el uso del ML en la educación médica sea ético, equitativo y beneficioso para todos los involucrados. Además, es importante no limitar el uso del ML exclusivamente a la educación de pregrado, sino también considerarlo para posibles programas de postgrado relacionados con la integración del ML y la medicina. Esto podría conducir al desarrollo de especialidades médicas que sean el punto de convergencia entre estas dos áreas y así ampliar el alcance e impacto de estas tecnologías en el quehacer clínico.

### Referencias

1. Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. Madrid; 2021.
2. Shannon CE. .1 Programming a Computer for Playing Chess. Vol. 41, Philosophical Magazine. 1950.
3. James CA, Wheelock KM, Woolliscroft JO. Machine Learning: The Next Paradigm Shift in Medical Education. *Academic Medicine*. 2021;954-7.
4. Žuškin E, Lipozencic J, Pucarín-Cvetkovic J, Mustajbegovic J, Schachter N, Mucic-Pucic B, et al. Ancient Medicine-a Review. Vol. 16, *Acta Dermatovenerol Croat*. 2008.
5. AlGhatrif M, Lindsay J. A brief review: history to understand fundamentals of electrocardiography. *J Community Hosp Intern Med Perspect*. 2012 Jan;2(1):14383.
6. Spaner SJ, Sc BM, Warnock GL. A Brief History of Endoscopy,

- Laparoscopy, and Laparoscopic Surgery. Vol. 7, JOURNAL OF LAPAROENDOSCOPIC & ADVANCED SURGICAL TECHNIQUES. Mary Ann Liebert, Inc; 1997.
7. Edelman RR. The history of MR imaging as seen through the pages of radiology. Vol. 273, Radiology. Radiological Society of North America Inc.; 2014. p. S181–200.
  8. Ventres W, Kooienga S, Vuckovic N, Marlin R, Nygren P, Stewart V. Physicians, patients, and the electronic health record: An ethnographic analysis. *Ann Fam Med*. 2006 Mar;4(2):124–31.
  9. Guyatt GH OAVGKRFYYACPSHGWG. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. 2008;
  10. Ruseel S, Norving P. Artificial Intelligence: A modern approach [Internet]. 2009. Available from: [www.PlentyofeBooks.net](http://www.PlentyofeBooks.net)
  11. Scott IA. Demystifying machine learning: a primer for physicians. Vol. 51, *Internal Medicine Journal*. John Wiley and Sons Inc; 2021. p. 1388–400.
  12. Ma L, Sun B. Machine learning and AI in marketing – Connecting computing power to human insights. *International Journal of Research in Marketing*. 2020 Sep 1;37(3):481–504.
  13. Bachute MR, Subhedar JM. Autonomous Driving Architectures: Insights of Machine Learning and Deep Learning Algorithms. *Machine Learning with Applications*. 2021 Dec;6:100164.
  14. Alvarado Zabala J, Martillo Alchundia I, Guzman Seraquive G. Revisión de literatura sobre las técnicas de Machine Learning en la detección de fraudes bancarios. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*. 2022 Feb 15;3(1):719–27.
  15. Diaz JP, Sáez E, Monsalve M, Candia G, Aron F, González G. Machine learning techniques for estimating seismic site amplification in the Santiago basin, Chile. *Eng Geol*. 2022 Sep 5;306.
  16. van 't Wout E, Pieringer C, Torres Irribarra D, Asahi K, Larroulet P. Machine learning for policing: a case study on arrests in Chile. *Policing Soc*. 2021;31(9):1036–50.
  17. Patel L, Shukla T, Huang X, Ussery DW, Wang S. Machine Learning Methods in Drug Discovery. *Molecules*. 2020 Nov 2;25(22).
  18. Carin L. On Artificial Intelligence and Deep Learning Within Medical Education. *Acad Med*. 2020 Nov 1;95(11S Association of American Medical Colleges Learn Serve Lead):S10–1.
  19. Erickson BJ, Korfiatis P, Akkus Z, Kline TL. Machine learning for medical imaging. *Radiographics*. 2017 Mar 1;37(2):505–15.
  20. Rodríguez-Ruiz A, Krupinski E, Mordang JJ, Schilling K, Heywang-Köbrunner SH, Sechopoulos I, et al. Detection of breast cancer with mammography: Effect of an artificial intelligence support system. *Radiology*. 2019 Mar 1;290(3):305–14.
  21. Chekroud AM, Bondar J, Delgadillo J, Doherty G, Wasil A, Fokkema M, et al. The promise of machine learning in predicting treatment outcomes in psychiatry. 2021.
  22. Librenza-Garcia D, Kotzian BJ, Yang J, Mwangi B, Cao B, Pereira Lima LN, et al. The impact of machine learning techniques in the study of bipolar disorder: A systematic review. Vol. 80, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Elsevier Ltd; 2017. p. 538–54.
  23. Kalra A, Chakraborty A, Fine B, Reicher J. Machine Learning for Automation of Radiology Protocols for Quality and Efficiency Improvement. *Journal of the American College of Radiology*. 2020 Sep 1;17(9):1149–58.
  24. Rowe M. An Introduction to Machine Learning for Clinicians. Vol. 94, *Academic Medicine*. Lippincott Williams and Wilkins; 2019. p. 1433–6.
  25. Beam AL, Drazen JM, Kohane IS, Leong TY, Manrai AK, Rubin EJ. Artificial Intelligence in Medicine. *New England Journal of Medicine* [Internet]. 2023 Mar 30;388(13):1220–1. Available from: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMe2206291>
  26. Guze PA. USING TECHNOLOGY TO MEET THE CHALLENGES OF MEDICAL EDUCATION. Vol. 126, *TRANSACTIONS OF THE AMERICAN CLINICAL AND CLIMATOLOGICAL ASSOCIATION*. 2015.
  27. Ranieri M, Raffaghelli JE, Bruni I. Game-based student response system: Revisiting its potentials and criticalities in large-size classes. *Active Learning in Higher Education*. 2021 Jul 1;22(2):129–42.
  28. Webb ME, Fluck A, Magenheimer J, Malyn-Smith J, Waters J, Deschênes M, et al. Machine learning for human learners: opportunities, issues, tensions and threats. *Educational Technology Research and Development*. 2021 Aug 1;69(4):2109–30.
  29. Aldeman NLS, de Sá Urtiga Aita KM, Machado VP, da Mata Sousa LCD, Coelho AGB, da Silva AS, et al. Smartpathk: a platform for teaching glomerulopathies using machine learning. *BMC Med Educ*. 2021 Dec 1;21(1).
  30. Carin L. On Artificial Intelligence and Deep Learning Within Medical Education. *Acad Med*. 2020 Nov 1;95(11S Association of American Medical Colleges Learn Serve Lead):S10–1.
  31. Dias RD, Gupta A, Yule SJ. Using Machine Learning to Assess Physician Competence: A Systematic Review. Vol. 94, *Academic Medicine*. Lippincott Williams and Wilkins; 2019. p. 427–39.
  32. Newton V. Nagirimadugu. Recommendations for Integrating the Fundamentals of Machine Learning Into Medical Curricula. *EditorAcademic Medicine*. 2021;Vol. 96(9):1230–1230.
  33. Pucchio A, Eisenhauer EA, Moraes FY. Medical students need artificial intelligence and machine learning training. Vol. 39, *Nature Biotechnology*. *Nature Research*; 2021. p. 388–9.
  34. Chen IY, Pierson E, Rose S, Joshi S, Ferryman K, Ghassemi M. Ethical Machine Learning in Healthcare. *Annu Rev Biomed Data Sci*. 2021 Jul 20;4(1):123–44.
  35. Chen IY, Szolovits P, Ghassemi M. Can AI Help Reduce Disparities in General Medical and Mental Health Care? [Internet]. Vol. 21, *AMA Journal of Ethics*. 2019. Available from: [www.amajournalofethics.org](http://www.amajournalofethics.org)
  36. Khor W, Lin YL, Kee D, Ngiam Y, Yuan K, Khor W. Big data and machine learning algorithms for health-care delivery [Internet]. Vol. 20, *Series Lancet Oncol*. 2019. Available from: [www.thelancet.com/oncology](http://www.thelancet.com/oncology)
  37. Vincent JL. How artificial intelligence will affect the future of medical publishing. *Crit Care* [Internet]. 2023 Jul 6;27(1):271. Available from: <https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-023-04511-9>
  38. Myszczyńska MA, Ojamies PN, Lacoste AMB, Neil D, Saffari A, Mead R, et al. Applications of machine learning to diagnosis and treatment of neurodegenerative diseases. Vol. 16, *Nature Reviews Neurology*. *Nature Research*; 2020. p. 440–56.
  39. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Manav Rachna International Institute of Research and Studies. Proceedings of the International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing : trends, prespectives and prospects : COMITCON-2019 : 14th-16th February, 2019.
  40. Erickson BJ, Korfiatis P, Akkus Z, Kline TL. Machine learning for medical imaging. *Radiographics*. 2017 Mar 1;37(2):505–15.