



Inteligencia Artificial

Generalidades y Aplicaciones
en Sanidad, Farmacia Hospitalaria
y Oftalmología



Edita

Asociación para la Investigación, Desarrollo
e Innovación en Farmacia Hospitalaria (AIDIFH)
c/ La Plana, 5
46183 L'Eliana (Valencia), España
CIF: G-97570659

ISBN

978-84-09-61136-2

Cómo citar esta obra

Poveda Andrés JL, Poveda Gozávez P, Centelles
Oria M, García Pellicer J, Udaondo Mirete
P. Inteligencia Artificial: Generalidades y
Aplicaciones en Sanidad, Farmacia Hospitalaria
y Oftalmología. Valencia: Asociación para
la Investigación, Desarrollo e Innovación en
Farmacia Hospitalaria (AIDIFH); 2024.

Reservados todos los derechos. Esta publicación
no puede ser reproducida o transmitida, total
o parcial, por cualquier medio (electrónico,
mecánico, fotocopia, reimpresión, etc.) sin
autorización expresa del editor.



Coordinador

José Luis Poveda Andrés

Autores

José Luis Poveda Andrés

Pablo Poveda Gozávez

María Centelles Oria

Javier García Pellicer

Patricia Udaondo Mirete

Patrocinado por Bayer



Índice

01 / Conceptos Generales, desarrollo e importancia de la Inteligencia Artificial

José Luis Poveda Andrés y
Pablo Poveda Gozávez

Introducción a la
Inteligencia Artificial

Historia y Desarrollo
de la IA

Tipos de Inteligencia
Artificial

Tecnologías Clave en
Inteligencia Artificial

Funcionamiento de la IA

Consideraciones Éticas
de la Inteligencia Artificial

Bibliografía

02 / Aplicaciones en Sanidad. Generalidades y ejemplos prácticos

María Centelles Oria
y Javier García Pellicer

Generalidades

Aplicación de IA en gestión
sanitaria y procesamiento
de datos

Aplicación de IA en
atención al paciente

Aplicación de IA en el
diagnóstico y ayuda
en la toma de decisiones

Aplicación de IA en prevención,
seguimiento y pronóstico de
enfermedades

Aplicación de IA en
investigación

Aplicación en
Farmacia Hospitalaria

Conclusiones

Bibliografía

03 / Inteligencia Artificial en Oftalmología

Patricia Udaondo Mirete

Introducción

Aplicaciones de la
inteligencia artificial en
las enfermedades oculares

¿Cuál es el futuro de la
inteligencia artificial en
oftalmología?

Bibliografía

|

|



01

Conceptos Generales, desarrollo e importancia de la Inteligencia Artificial

José Luis Poveda Andrés y Pablo Poveda Gozávez





03 Introducción a la Inteligencia Artificial

- Definición de la IA
- Conceptos clave de la IA
- Tipos de IA

05 Historia y Desarrollo de la IA

- Perspectiva histórica del desarrollo de la IA
- Primeros conceptos y fundamentos teóricos
- Principales hitos en el desarrollo de la IA
- Evolución de la investigación en IA y tendencias de financiación

07 Tipos de Inteligencia Artificial

08 Tecnologías Clave en Inteligencia Artificial

- Redes neuronales: Estructura, funcionamiento y aplicaciones
- Procesamiento del lenguaje natural (PLN)
- Otras tecnologías de IA

10 Funcionamiento de la IA

- Adquisición y preprocesamiento de datos
- Extracción de características y formación de modelos
- El entrenamiento de modelos
- Algoritmos en acción
- Evaluación e iteración de modelos de IA

12 Consideraciones Éticas de la Inteligencia Artificial

- Prejuicios e imparcialidad en la IA
- Cuestiones de privacidad y seguridad
- El futuro del trabajo y la gobernanza de la IA

13 Bibliografía



Introducción a la Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) representa una rama fundamental de la informática que se ocupa de construir máquinas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana. Estas tareas abarcan una amplia gama de funciones cognitivas como el aprendizaje, el razonamiento, la resolución de problemas, la percepción y la comprensión del lenguaje. La IA es una tecnología que avanza rápidamente con implicaciones de gran alcance en diversos sectores y es objeto de una amplia investigación.

Definición de IA

La IA se define en términos generales como la capacidad de un programa informático o una máquina para pensar y aprender. También es un campo cuyo objetivo es crear ordenadores que puedan funcionar de forma inteligente. McCarthy (2006) la describe como “la ciencia y la ingeniería de crear máquinas inteligentes”. Los sistemas de IA están diseñados para imitar las funciones cognitivas humanas y son expertos en tareas que van desde el reconocimiento de patrones hasta la toma de decisiones basadas en la interpretación de datos.

Conceptos clave de la IA

Inteligencia

En la IA, la inteligencia se refiere a la capacidad de la máquina para interpretar datos, aprender de la experiencia y aplicar esos conocimientos para adaptarse a nuevos escenarios. Los sistemas de IA

utilizan algoritmos para el procesamiento de datos, la toma de decisiones y las predicciones (Russell y Norvig, 2016).

Aprendizaje

El aprendizaje automático, un componente central de la IA, se centra en algoritmos que permiten a las máquinas aprender de los datos y hacer predicciones. El aprendizaje en IA puede ser supervisado, no supervisado, semisupervisado o reforzado (LeCun, Bengio y Hinton, 2015).

Razonamiento

El razonamiento en la IA implica resolver problemas y tomar decisiones basadas en los datos disponibles. Los sistemas de IA emplean diversos algoritmos lógicos y de razonamiento para imitar el razonamiento humano, desde sistemas sencillos basados en reglas hasta complejas redes neuronales (Russell y Norvig, 2016).

Percepción

La percepción en la IA se refiere a la adquisición e interpretación de la información sensorial. Los sistemas de IA son capaces de reconocer e interpretar diversas entradas, como el habla y las imágenes (Russell y Norvig, 2016).

Tipos de IA_

Máquinas reactivas

Las máquinas reactivas, los sistemas de IA más básicos, operan sin funciones basadas en la memoria. No utilizan experiencias pasadas para tomar decisiones en el presente. Un ejemplo notable es Deep Blue de IBM, que derrotó al campeón de ajedrez Garry Kasparov (Campbell, Hoane y Hsu, 2002).

Memoria limitada

Los sistemas de IA con memoria limitada pueden almacenar temporalmente experiencias anteriores, lo que les permite tomar decisiones mejor informadas. La mayoría de las aplicaciones de IA actuales, desde los chatbots hasta los coches autoconducidos, pertenecen a esta categoría (Russell y Norvig, 2016).

Teoría de la mente

La IA de teoría de la mente, un concepto más avanzado, sigue siendo en gran medida teórico. Este tipo de IA entendería y recordaría las emociones y pensamientos humanos, facilitando interacciones más sofisticadas entre humanos e IA (Russell y Norvig, 2016).

IA autoconsciente

La IA autoconsciente, que aún no se ha logrado, poseería conciencia, autoconocimiento y sensibilidad. Esta forma de IA sigue perteneciendo al ámbito de la ciencia ficción (Russell y Norvig, 2016).

Historia y Desarrollo de la IA

Perspectiva histórica del desarrollo de la IA_

La Inteligencia Artificial (IA) ha evolucionado desde conceptos teóricos hasta convertirse en una tecnología transformadora que ha reconfigurado nuestra interacción con el mundo. Este viaje, que abarca varias décadas, está marcado por hitos clave y figuras influyentes.

Primeros conceptos y fundamentos teóricos_

Alan Turing: El padre de la IA teórica

Alan Turing, considerado el padre de la IA teórica y la informática, sentó las bases con su artículo fundamental "Computing Machinery and Intelligence" (Turing, 1950). La Prueba de Turing, propuesta en este documento, es un método para determinar si una máquina puede mostrar un comportamiento inteligente indistinguible del de un ser humano, proporcionando un marco filosófico y práctico para la IA.

John McCarthy y el nacimiento de la "Inteligencia Artificial"

En 1956, John McCarthy acuñó el término "Inteligencia Artificial" en la Conferencia de Dartmouth, un acontecimiento considerado como el nacimiento de la IA como campo de estudio (McCarthy et al., 1955). El trabajo de McCarthy, incluido el desarrollo del lenguaje de programación LISP, fue fundamental en la investigación de la IA.

Principales hitos en el desarrollo de la IA_

ELIZA: el primer chatbot

Joseph Weizenbaum creó ELIZA, uno de los primeros chatbots, en 1966 en el MIT (Weizenbaum, 1966). ELIZA demostró el potencial de la IA en el procesamiento del lenguaje natural, aunque de forma limitada. Su script más famoso, DOCTOR, simulaba a un psicoterapeuta rogeriano.

Deep Blue: Un campeón de ajedrez

Deep Blue de IBM fue un hito importante en la IA. En 1997, se convirtió en el primer sistema informático en derrotar al vigente campeón mundial de ajedrez, Garry Kasparov (Campbell, Hoane y Hsu, 2002). Este acontecimiento demostró la capacidad de la IA en ámbitos complejos y estratégicos.

AlphaGo: Dominando el antiguo juego del Go

En 2016, AlphaGo de Google DeepMind derrotó al campeón mundial Lee Sedol en Go, un logro que antes se consideraba a décadas de distancia (Silver et al., 2016). El éxito de AlphaGo, atribuido a las redes neuronales profundas avanzadas y al aprendizaje de refuerzo, supuso un avance significativo en la IA.

Evolución de la investigación en IA y tendencias de financiación_

Del invierno de la IA al resurgimiento

El desarrollo de la IA experimentó periodos de financiación e interés reducidos, conocidos como “inviernos de la IA”, en los años setenta y finales de los ochenta. Sin embargo, el resurgimiento a finales de los 90 y principios de los 2000 se vio impulsado por el aumento de la potencia de cálculo, la disponibilidad de grandes volúmenes de datos y los avances en el aprendizaje automático.

El auge del aprendizaje profundo

La década de 2010 estuvo marcada por el auge del aprendizaje profundo, impulsado por el aumento de la potencia de cálculo y los grandes conjuntos de datos. En este periodo se produjeron grandes avances en el reconocimiento de imágenes y del habla.

Financiación e interés comercial

La financiación de la investigación en IA ha aumentado sustancialmente, con importantes inversiones de los sectores público y privado. Se espera que el tamaño del mercado mundial de la IA, valorado en 62 350 millones de USD en 2020, crezca significativamente (Grand View Research, 2021).

Tipos de Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) abarca una variedad de tipos y subcampos, cada uno distinto en sus características y aplicaciones. Exploraremos a continuación los principales tipos de IA, centrándonos en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo y sus respectivas subcategorías.

Aprendizaje automático (AM)

El aprendizaje automático es un subconjunto crítico de la IA que implica el desarrollo de algoritmos para permitir a los ordenadores aprender y tomar decisiones a partir de datos. A grandes rasgos, el aprendizaje automático puede clasificarse en tres tipos:

Aprendizaje supervisado

En este tipo, los algoritmos se entrenan con datos etiquetados, lo que les permite predecir resultados o clasificar datos en categorías. Las aplicaciones incluyen la detección de spam y el reconocimiento de imágenes. Domingos (2012) ofrece una visión general de los principios del aprendizaje supervisado.

Aprendizaje no supervisado

En este caso, los algoritmos trabajan con datos no etiquetados para identificar patrones y estructuras. Este tipo se utiliza en clustering y reducción de dimensionalidad. El trabajo de Frey y Dueck (2007) ofrece una visión significativa de los enfoques innovadores en el aprendizaje no supervisado.

Aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning)

El RL consiste en entrenar algoritmos para que tomen una secuencia de decisiones, recompensando los resultados deseables. Es prominente en juegos, navegación y decisiones en tiempo real. Mnih et al.

(2013) demostraron cómo el aprendizaje profundo podría mejorar el RL, revolucionando este campo.

Aprendizaje profundo (Deep Learning)

El aprendizaje profundo, un subconjunto del ML, emplea redes neuronales en capas para analizar datos. Ha tenido un impacto significativo en la visión por ordenador, el reconocimiento del habla y el procesamiento del lenguaje natural.

Redes neuronales (Neural Networks)

Las NN, la base del aprendizaje profundo, imitan la estructura y el funcionamiento del cerebro humano. LeCun et al. (1998) sentaron las bases de muchas aplicaciones modernas de redes neuronales.

Redes neuronales convolucionales (Convolutional Neural Networks)

Las CNN están especializadas en el procesamiento de datos de tipo reticular, como las imágenes, y son fundamentales en el reconocimiento de imágenes y vídeos. El trabajo de Krizhevsky, Sutskever y Hinton (2012) muestra la mejora del aprendizaje profundo en la clasificación de imágenes.

Redes neuronales recurrentes (Recurring Neural Networks)

Las RNN reconocen patrones en datos secuenciales y son esenciales en el modelado del lenguaje y la traducción. Sutskever, Vinyals y Le (2014) destacan las capacidades de las RNN en el aprendizaje secuencial.

Tecnologías Clave en Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) está a la vanguardia del progreso tecnológico, impulsada por varias tecnologías básicas. Entre ellas, son fundamentales las redes neuronales, el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y otras áreas como la visión por ordenador, la robótica y los sistemas expertos.

Redes neuronales: Estructura, funcionamiento y aplicaciones_

Estructura y funcionamiento: Las redes neuronales imitan la estructura neuronal del cerebro y están formadas por capas de nodos o neuronas que procesan datos de forma jerárquica. Cada neurona realiza un cálculo simple, y el resultado colectivo de estos cálculos permite capacidades complejas de toma de decisiones y predicción. La estructura y el funcionamiento de las redes neuronales se analizan detalladamente en LeCun, Bengio y Hinton (2015), donde se ofrece una visión completa de las metodologías de aprendizaje profundo.

Aplicaciones

En el sector sanitario, las redes neuronales han permitido avances en el diagnóstico de enfermedades y el descubrimiento de fármacos (Esteva et al., 2017) (Poveda et al., 2022). En la industria financiera, se utilizan para la detección de fraudes y en el desarrollo de sofisticados algoritmos de negociación (Dixon et al., 2018).

Procesamiento del lenguaje natural (PLN)_

Modelado del lenguaje

El PLN capacita a las máquinas para interpretar y generar lenguaje humano. Los modelos de lenguaje, una piedra angular de la PNL, son expertos en predecir secuencias de palabras, mejorando así los sistemas de reconocimiento de voz y generación de texto. El trabajo pionero de Bengio et al. (2003) sentó las bases de los modelos lingüísticos modernos.

Análisis de sentimientos

El análisis de sentimientos en PNL es fundamental para comprender el contexto emocional de los textos, y se utiliza mucho para analizar las opiniones de los clientes y el contenido de las redes sociales. Liu (2010) analiza en profundidad el análisis de sentimientos y la subjetividad en los textos.

Traducción automática

La traducción automática se ha visto revolucionada por la PNL, lo que ha dado lugar a traducciones más matizadas y precisas desde el punto de vista contextual. El trabajo pionero de Sutskever, Vinyals y Le (2014) ha sido fundamental en este avance.

Otras tecnologías de IA_

Visión por ordenador

La visión por ordenador permite a las máquinas interpretar y analizar la información visual. Esta tecnología ha sido crucial para desarrollar sistemas de reconocimiento facial y mejorar la tecnología de los vehículos autónomos. Krizhevsky, Sutskever, y Hinton (2012) hicieron una contribución significativa a este campo con su trabajo sobre la clasificación ImageNet.

Robótica

La IA en Robótica ha llevado a la creación de máquinas capaces de realizar tareas complejas de forma autónoma. Esta integración se ejemplifica en empresas como Boston Dynamics, aunque las referencias académicas detalladas específicas de sus avances son menos accesibles al público.

Sistemas expertos

Los sistemas expertos simulan la pericia humana en ámbitos específicos como el diagnóstico médico y la exploración geológica. Jackson (1998) ofrece una panorámica completa del desarrollo y la aplicación de los sistemas expertos.

En conclusión, las tecnologías básicas de la IA, como las redes neuronales, la PNL, la visión por ordenador, la robótica y los sistemas expertos, ponen de manifiesto la naturaleza polifacética de este campo. Sus distintas funcionalidades y su amplia gama de aplicaciones ponen de relieve el impacto transformador de la IA en diversos sectores.

Funcionamiento de IA

El proceso por el que los sistemas de IA aprenden y mejoran implica varias etapas clave: adquisición y preprocesamiento de datos, extracción de características y entrenamiento de modelos, aplicación de diversos algoritmos y evaluación e iteración continuas de los modelos.

Adquisición y preprocesamiento de datos_

La adquisición de datos, la fase inicial del proceso de aprendizaje de la IA, consiste en recopilar los datos que se utilizarán para entrenar el sistema de IA. Estos datos pueden proceder de diversas fuentes, como bases de datos, sensores o contenidos generados por los usuarios. El preprocesamiento es un paso crítico que sigue, en el que los datos en bruto se limpian y se transforman en un formato adecuado para el análisis. García et al. (2022) destacan que el preprocesamiento implica la gestión de los valores que faltan, la reducción del ruido, la normalización y el escalado de las características, lo que influye significativamente en el rendimiento de los algoritmos de aprendizaje posteriores.

Extracción de características y formación de modelos_

La extracción de características es el proceso de identificar y aislar datos significativos del conjunto de datos preprocesados. Este paso es crucial, ya que ayuda a reducir la dimensionalidad de los datos, haciendo que el proceso de formación sea más eficiente y eficaz. Kumar y Minz (2014) desta-

can la importancia de la selección de características para mejorar la precisión de los modelos de IA.

El entrenamiento de modelos_

Implica introducir los datos preprocesados y extraídos de las características en algoritmos de aprendizaje. En esta fase, el sistema de IA aprende a hacer predicciones o a tomar decisiones basándose en los datos que se le han proporcionado. El proceso de entrenamiento implica ajustar los parámetros del modelo para minimizar los errores, como explican Goodfellow, Bengio y Courville (2016).

Algoritmos en acción_

Diferentes algoritmos son adecuados para diversos tipos de datos y tareas de aprendizaje. Tres algoritmos ampliamente utilizados son:

Árboles de decisión

Este algoritmo modela las decisiones y sus posibles consecuencias como una estructura en forma de árbol. Es útil para tareas de clasificación y regresión. Rokach y Maimon (2008) describen cómo los árboles de decisión son interpretables y fáciles de implementar, pero potentes en sus capacidades predictivas.

Máquinas de vectores soporte (SVM)

Las SVM son eficaces en espacios de alta dimensión y son las más adecuadas para los problemas de clasificación. Funcionan encontrando

el hiperplano que mejor separa las clases de datos. Boser, Guyon y Vapnik (1992) fueron fundamentales en la introducción de las SVM.

Redes neuronales

Son una serie de algoritmos que imitan las operaciones de un cerebro humano para reconocer relaciones en un conjunto de datos. Las redes neuronales, en particular las redes de aprendizaje profundo, han demostrado un rendimiento excepcional en campos como el reconocimiento de imágenes y del habla. LeCun et al. (2015) ofrecen una visión completa de los avances en la investigación de redes neuronales.

Evaluación e iteración de modelos de IA_

Una vez entrenado un modelo, se somete a evaluación para valorar su rendimiento. Las métricas de evaluación habituales incluyen la exactitud, la precisión, la recuperación y la puntuación. A menudo se emplean técnicas de validación cruzada para garantizar que el modelo funciona bien con datos que no se han visto. Kohavi (1995) analiza la importancia de las técnicas de evaluación adecuadas en el desarrollo de modelos de IA.

Tras la evaluación, los modelos de IA suelen someterse a iteraciones en las que se perfeccionan y mejoran. Los resultados de la fase de evaluación se utilizan para ajustar los parámetros del modelo o para volver a entrenarlo con datos adicionales. El proceso iterativo es crucial para adaptarse a los nuevos datos y para la mejora continua de la precisión y la eficacia del modelo, como se analiza en un estudio de Domingos (2012).

El proceso de cómo la IA aprende y procesa los datos es intrincado e implica varias etapas, cada una de ellas crucial para el desarrollo de un sistema de IA eficaz y eficiente. Desde las fases iniciales de adquisición y preprocesamiento de datos hasta las complejas tareas de formación de modelos mediante diversos algoritmos y, por último, la evaluación y mejora iterativa de estos modelos, cada paso desempeña un papel vital en el ciclo de vida de un sistema de IA. A medida que la tecnología de IA sigue evolucionando, la comprensión de estos procesos es cada vez más importante para quienes desean aprovechar la IA en sus respectivos campos.

Consideraciones Éticas de la Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) está reconfigurando diversos aspectos de la sociedad, lo que plantea problemas éticos críticos en ámbitos como la parcialidad y la equidad, la privacidad y la seguridad, y el futuro del trabajo y la gobernanza de la IA.

Prejuicios e imparcialidad en la IA_

La cuestión de la parcialidad en la IA va más allá de los aspectos técnicos e incluye sesgos humanos y sistémicos. Los investigadores del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) abogan por una perspectiva más amplia a la hora de identificar y gestionar los sesgos de la IA, proponiendo un enfoque “sociotécnico” (Instituto Nacional de Normas y Tecnología, 2023).

Cuestiones de privacidad y seguridad_

Los problemas de privacidad en la IA son complejos y a menudo están entrelazados con los intereses de seguridad. El concepto de “privilegio epistémico”, fundamental para las cuestiones de privacidad, está en peligro en contextos de IA, especialmente con la vigilancia masiva. Este privilegio afecta a la capacidad de los individuos para controlar su persona (Frontiers, 2023).

El futuro del trabajo y la gobernanza de la IA_

La integración de la IA en el lugar de trabajo está transformando las funciones laborales y mejorando la productividad. Sin embargo, preocupa el desplazamiento de puestos de trabajo y la necesidad de juicio humano. La falta de una regulación exhaustiva en el uso y desarrollo de la IA plantea retos, por lo que es necesario un enfoque equilibrado entre las iniciativas impulsadas por la industria y la intervención gubernamental (Harvard Gazette, 2023).

Bibliografía

1. McCarthy, J. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4), 12-14.
2. Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education Limited.
3. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
4. Campbell, M., Hoane, A. J., & Hsu, F. H. (2002). Deep Blue. *Artificial Intelligence*, 134(1-2), 57-83.
5. Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433-460.
6. McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence.
7. Weizenbaum, J. (1966). ELIZA - A Computer Program For the Study of Natural Language Communication Between Man And Machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36-45.
8. Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., ... & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484-489.
9. Grand View Research. (2021). *Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution*.
10. Domingos, P., 2012. A Few Useful Things to Know about Machine Learning. *Communications of the ACM*, 55(10), pp.78-87.
11. Frey, B.J. and Dueck, D., 2007. Clustering by Passing Messages Between Data Points. *Science*, 315(5814), pp.972-976.
12. Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D. and Riedmiller, M., 2013. Playing Atari with Deep Reinforcement Learning. *ArXiv preprint arXiv:1312.5602*.
13. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y. and Haffner, P., 1998. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), pp.2278-2324.
14. Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G.E., 2012. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* 25.
15. Sutskever, I., Vinyals, O. and Le, Q.V., 2014. Sequence to Sequence Learning with Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* 27.
16. LeCun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G., 2015. Deep learning. *Nature*, 521(7553), pp.436-444.

17. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M. and Thrun, S., 2017. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), pp.115-118.
18. Poveda, J. L. et al. (2022) 'How can artificial intelligence optimize value-based contracting?', *Journal of pharmaceutical policy and practice*, 15(1). doi: 10.1186/s40545-022-00475-3.
19. Dixon, M., Klabjan, D. and Bang, J.H., 2018. Classification-based financial markets prediction using deep neural networks. *Algorithmic Finance*, 7(3-4), pp.67-77.
20. Bengio, Y., Ducharme, R., Vincent, P. and Jauvin, C., 2003. A neural probabilistic language model. *Journal of machine learning research*, 3(Feb), pp.1137-1155.
21. Liu, B., 2010. Sentiment analysis and subjectivity. In *Handbook of natural language processing* (Vol. 2, No. 2010, pp. 627-666).
22. Sutskever, I., Vinyals, O. and Le, Q.V., 2014. Sequence to sequence learning with neural networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 3104-3112).
23. Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G.E., 2012. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1097-1105).
24. Garcia, S., et al., 2022. *Journal of Big Data*.
25. Kumar, A. & Minz, S., 2014. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*.
26. Goodfellow, I., Bengio, Y. & Courville, A., 2016. *Deep Learning*.
27. Rokach, L. & Maimon, O., 2008. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*.
28. Boser, B. E., Guyon, I. M. & Vapnik, V. N., 1992. *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory*.
29. LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G., 2015. *Nature*.
30. Kohavi, R., 1995. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on AI*.
31. Domingos, P., 2012. *Journal of Machine Learning Research*.
32. National Institute of Standards and Technology. (2023). There's More to AI Bias Than Biased Data, NIST Report Highlights. Retrieved from <https://www.nist.gov/news-events/news/2023/03/theres-more-ai-bias-biased-data-nist-report-highlights>.
33. *Frontiers*. (2023). AI Technologies, Privacy, and Security. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdata.2023.00001/full>.
34. *Harvard Gazette*. (2023). Ethical concerns mount as AI takes bigger decision-making role. Retrieved from <https://news.harvard.edu/gazette/story/2023/03/ethical-concerns-mount-as-ai-takes-bigger-decision-making-role/>.



02

Aplicaciones en Sanidad. Generalidades y ejemplos prácticos

María Centelles Oria y Javier García Pellicer



17 Generalidades

Transformación digital del sistema sanitario

18 Aplicación de IA en gestión sanitaria y procesamiento de datos

19 Aplicación de IA en atención al paciente

20 Aplicación de IA en el diagnóstico y ayuda en la toma de decisiones

22 Aplicación de IA en prevención, seguimiento y pronóstico de enfermedades

23 Aplicación de IA en investigación

25 Aplicaciones en Farmacia Hospitalaria

Aplicación de IA en la validación de la prescripción
y detección de problemas relacionados con la medicación
Aplicación de IA en la elaboración de medicamentos
Aplicación de IA en la dispensación de medicamentos
Aplicación de IA en farmacometría

28 Conclusiones

29 Bibliografía

Generalidades

En los últimos años, ha aumentado el interés por la aplicación de distintas formas de inteligencia artificial (IA) en sanidad y los avances en este ámbito han sido significativos. Se ha producido un incremento en la investigación para numerosas aplicaciones, involucrando a la IA en distintas áreas como son la prevención, el cribado, el diagnóstico, el tratamiento y el pronóstico de enfermedades.

De esta manera, se abren nuevas posibilidades para aumentar la eficiencia del sistema sanitario. Las tecnologías basadas en IA tienen diversas funcionalidades en el sector y, usándolas de manera efectiva, pueden tener un impacto relevante en nuestra sociedad, mejorar la calidad de vida de los pacientes, permitir ahorrar tiempo y optimizar la gestión de procesos¹.

Transformación digital del sistema sanitario_

Antes de la implantación de la IA en el sistema sanitario, es necesaria una transformación digital. En el ámbito sanitario se gestiona una gran cantidad de datos que, a menudo, son complejos, no normalizados y procedentes de multiplicidad de fuentes de información como historias clínicas, analíticas, registros de dispositivos o imágenes diagnósticas. Esto adquiere una mayor complejidad con la creciente utilización de smartphones, wearables y aplicaciones móviles para la recopi-

lación de datos de salud. Algunos dispositivos incluso están habilitados para la recopilación pasiva de datos sin ningún esfuerzo por parte del usuario (geolocalización, frecuencia cardíaca o tono de voz)². El elevado volumen de información, su heterogeneidad y la velocidad a la que se genera, hace difícil su manejo y su posterior análisis de manera manual, por lo que surge la necesidad de búsqueda de herramientas alternativas.

Para hacer frente a esta problemática, organizaciones e instituciones sanitarias de todo el mundo han propuesto varios enfoques que permitan gestionar estos datos en continuo crecimiento. A nivel Europeo, el Programa Estratégico para la Década Digital 2030 persigue alcanzar la digitalización de los servicios públicos, unas infraestructuras digitales seguras y sostenibles, que los ciudadanos adquieran capacidades digitales y la transformación digital de las empresas³. Siguiendo la misma dirección, la estrategia de salud digital del Sistema Nacional de Salud (SNS) tiene como objetivos: capacitar e implicar a las personas en el cuidado de su salud y facilitar su relación con el sistema; mejorar el desempeño del SNS apoyando el trabajo de los profesionales y generando procesos de valor; mejorar la toma de decisiones: información interoperable y Espacio Nacional de Datos y apoyar el progreso del SNS mediante políticas de innovación orientadas a la medicina 5P⁴.

Aplicación de IA en gestión sanitaria y procesamiento de datos

La aplicación de IA sobre los sistemas de información o bases de datos aporta una solución a los profesionales del sector para su tratamiento, procesamiento y análisis con múltiples propósitos, permitiendo la optimización de dichos datos en beneficio del paciente y de la sociedad⁴.

Para ello, en primer lugar, los datos provenientes de diversas fuentes y en distintos formatos, han de ser preprocesados de manera empírica o mediante la aplicación de un algoritmo. Después, se selecciona y entrena un algoritmo para, posteriormente, generar un modelo que sirva en la predicción de resultados. La introducción de IA en cada uno de los pasos de la minería de datos en sanidad potencia el proceso, aportando múltiples ventajas como son la obtención de nuevos conocimientos en la toma de decisiones, procesamiento de grandes conjuntos de datos con mayor precisión y eficiencia, y la capacidad de aprender y mejorar continuamente a partir de los datos más recientes⁵.

Analizar los detalles e identificar patrones y tendencias de los datos puede ayudar en la toma de decisiones a todos los niveles, incluyendo políticas de salud, asignación de recursos y planificación de la atención sanitaria, dando como resultado una mejor calidad en la atención a los pacientes⁶.

Ejemplos prácticos

Un ejemplo de tecnología implementada en hospitales de varios países es Savana[®]. Esta plataforma utiliza la inteligencia artificial y big data para

extraer la información procedente de las historias clínicas electrónicas de una manera automatizada y anonimizada. Aplicando procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático sobre datos de la práctica clínica, se genera evidencia científica que puede ser empleada en investigación como complemento de los ensayos clínicos, así como información de utilidad para la administración sanitaria⁷.

A nivel de gestión sanitaria, la aplicación de procesamiento de lenguaje natural para analizar información obtenida de historias clínicas en el contexto de contratos innovadores puede ser sumamente beneficiosa, ya que permite la evaluación en tiempo real de la respuesta al tratamiento y el impacto financiero en entornos del mundo real⁸.

Por otra parte, en relación con la optimización de la asignación de recursos y con el objetivo de reducir la duración de la estancia y abordar la saturación de los servicios de urgencias, se han desarrollado varios modelos basados en aprendizaje automático. Uno de ellos simulado en un servicio de urgencias de un hospital público, demostró reducir la duración media de la estancia un 14 %⁹. En la misma línea, se evaluó un sistema de triaje electrónico basado en aprendizaje automático, obteniendo como resultado una mejor detección de aquellos pacientes de nivel 3 del Índice de Severidad de Emergencia (ESI), pudiéndose considerar esta herramienta como una alternativa de utilidad en la toma de decisiones y estratificación de pacientes¹⁰.

Aplicación de IA en atención al paciente

La transformación digital también puede ofrecer soluciones innovadoras ante la creciente demanda asistencial y la escasez de recursos. Esta revolución digital se manifiesta a través de la integración de tecnologías como la telemedicina, Internet of Things (IoT), y algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático que facilitan la implementación del modelo de atención médica de las 5P¹¹.

Un aspecto notable de esta transformación es la incorporación de chatbots diseñados para realizar tareas como responder a consultas básicas de pacientes o incluso para resumir, interpretar y traducir textos médicos a un lenguaje más accesible. Estos asistentes virtuales están ganando terreno en la gestión sanitaria, no solo mejorando la comunicación entre pacientes y profesionales, sino también optimizando la eficiencia del sistema. Entre las funcionalidades de los chatbots también se incluyen la programación de citas y el envío de recordatorios, la verificación de seguros y el seguimiento post-cita¹². Si se implementan correctamente, estos sistemas podrían optimizar el flujo de trabajo clínico, reduciendo costes y tiempo, y mejorando la educación sanitaria de la población¹³.

Ejemplos prácticos

Desde un punto de vista práctico, un ejemplo ilustrativo de la aplicación de la IA en la atención al paciente es el proyecto desarrollado por la Universidad Jaume I de Castellón y el Hospital Universitari i Politècnic La Fe de València. Este proyecto

se centra en la reescritura de informes de alta hospitalaria utilizando técnicas de lingüística computacional para facilitar la comprensión del paciente, mejorando así la humanización de la asistencia y el empoderamiento del paciente¹⁴.

Herramientas como Symptomate[®], un chatbot que evalúa el estado de salud del paciente a partir de síntomas y cuestionarios, o ClinApp[®], una aplicación para la gestión de citas médicas, son ejemplos de aplicación de estas tecnologías^{15, 16}.

El conocido ChatGPT también ha sido probado en este sentido. Un estudio de junio de 2023 evaluó su capacidad para generar respuestas empáticas y de alta calidad en comparación con las proporcionadas por personal médico, con una preferencia del 78.6% por las respuestas del chatbot¹⁷.

Sin embargo, es crucial tener en cuenta que no toda la información proporcionada por los chatbots es fiable. Las respuestas incorrectas o “alucinaciones” pueden ser especialmente peligrosas en el ámbito sanitario, lo que subraya la necesidad de una revisión por parte de profesionales médicos antes de su uso. Además, existen preocupaciones éticas y legales, incluyendo la privacidad de los datos, el riesgo de sesgo, la ciberseguridad y la transparencia de la información. Es importante reconocer que, a pesar de los avances tecnológicos, estos asistentes virtuales no pueden comprender completamente la complejidad de los sistemas biológicos humanos, un aspecto fundamental en la atención y toma de decisiones sanitarias^{13,17,18}.

Aplicación de IA en el diagnóstico y ayuda en la toma de decisiones

La incorporación de algoritmos avanzados y de aprendizaje automático puede resultar de utilidad en el proceso de diagnóstico de enfermedades y la toma de decisiones clínicas. Esta tecnología, al evaluar datos clínicos en tiempo real, es capaz de proporcionar recomendaciones personalizadas basadas en la evidencia científica y en las características específicas de cada paciente. Este enfoque no solo agiliza el proceso de toma de decisiones, sino que también mejora la precisión y eficacia de los tratamientos.

Un campo destacado de aplicación de IA en la práctica clínica es la radiología y el diagnóstico por imagen. En este sector, la mayoría de los estudios se enfocan en la segmentación y clasificación de tumores y nódulos, utilizando técnicas de aprendizaje profundo y visión artificial, contribuyendo significativamente al flujo de trabajo de los radiólogos.

Ejemplos prácticos

Un ejemplo de aplicación de IA generativa en este ámbito es el proyecto piloto DxGPT en el Servicio Madrileño de Salud. Este proyecto, basado en GPT4, surge de un acuerdo de colaboración entre la Consejería de Digitalización de la Comunidad de Madrid, Microsoft y la Fundación 29 y tiene como objetivo asistir en la toma de decisiones al ofrecer un listado de posibles diagnósticos tras la introducción de una breve descripción del paciente por parte del médico¹⁹.

En el contexto de la pandemia de COVID-19, Smart Blood Analytics® desarrolló un modelo de aprendizaje automático para facilitar el diagnóstico de esta enfermedad a partir de muestras de

sangre rutinarias. Basado en el método CRISP-DM y empleando el algoritmo de “Extreme Gradient Boosting”, este modelo representa un avance, particularmente en situaciones donde la técnica estándar RT-PCR no esté disponible temporalmente. Aunque la evidencia aún es limitada, este enfoque ofrece una opción viable para un diagnóstico preliminar, siempre con la necesidad de confirmación posterior mediante técnicas de referencia²⁰.

En el contexto de oncología, la Iniciativa Europea de Imagen del Cáncer, proyecto dentro del Plan Europeo de Lucha contra el Cáncer, tiene como objetivo fomentar la innovación y el despliegue de tecnologías digitales en el tratamiento y la atención de esta enfermedad. Para alcanzarlo, se basa en una infraestructura europea federada (EUCAIM) de datos e imágenes de cáncer fácilmente accesibles, en consonancia con la Estrategia Europea de Datos y apoyando los objetivos del Espacio Europeo de Datos. La plataforma conecta estos datos de imágenes con expertos en IA facilitando la colaboración y acelerando el desarrollo de soluciones para el diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades²¹.

En un ensayo clínico llevado a cabo en Suecia, se evaluó la seguridad clínica de un protocolo de lectura de mamografías con soporte de IA en comparación con la lectura estándar realizada por radiólogos. Se incluyeron más de 80.000 mujeres de entre 40-80 años, candidatas a cribado mamográfico de cáncer de mama, que fueron asignadas al azar en el grupo de intervención (empleando el soporte de IA) o en el grupo control. En este estudio, la tasa de detección de cáncer fue similar entre los grupos, con una reducción significativa

en la carga de trabajo (44.3% menos) en el grupo de intervención. Estos resultados respaldarían la implementación de inteligencia artificial en el proceso de detección temprana del cáncer de mama²².

Con respecto al cribado de cáncer de pulmón, Riverain Technologies[®] ha desarrollado un modelo basado en IA para ayudar a los radiólogos en la detección y caracterización de nódulos pulmonares en las imágenes obtenidas mediante tomografía computerizada (TC) de tórax. El software, que utiliza técnicas patentadas de aprendizaje automático, está aprobado para uso comercial por la Food and Drugs Administration en Estados Unidos y permite una mejor detección y una categorización más precisa de los nódulos gracias a la supresión de vasos pulmonares que, en condiciones normales, dificultan el diagnóstico en las imágenes estándar de TC tórax (ocultan los nódulos pulmonares)²³.

En el ámbito de la gastroenterología, se están implementando algoritmos basados en redes neuronales convolucionales y aprendizaje profundo que permiten la viabilidad técnica de la detección asistida por ordenador en tiempo real de pólipos durante las colonoscopias. Hassan, y col. llevaron a cabo un metaanálisis en el que se concluyó que la incorporación de la IA como ayuda para la detección de neoplasias colorrectales conlleva a un notable incremento en la detección de dichas neoplasias independientemente de las características principales de estas lesiones²⁴.

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología es GI Genius[®]. Se trata de un módulo de endoscopia

inteligente asistido por ordenador, aprobado en los Estados Unidos y en la Unión Europea, que ha demostrado aumentar la tasa de detección de adenomas, ayudando al gastroenterólogo en la detección precoz del cáncer colorrectal al resaltar las lesiones sospechosas. En un ensayo clínico multicéntrico, se comparó la realización de colonoscopias con y sin este dispositivo, observando una reducción de aproximadamente el 50% de la tasa de omisión de neoplasias colorrectales, principalmente debido a una disminución en la tasa de omisión de lesiones planas y pequeñas²⁵.

En general, de los estudios publicados, sólo unos pocos cuentan con validación externa. Aunque necesaria, no es muy frecuente. Con el fin de asegurar una mayor aplicación y crear herramientas clínicas robustas, es importante validar el modelo utilizando distintos conjuntos de datos y fomentar que los profesionales médicos se involucren en el proceso. Al contrastar las observaciones efectuadas por profesionales con aquellas llevadas a cabo mediante inteligencia artificial, se garantiza una mejora de la calidad y seguridad de estas tecnologías²⁶.

Lograr una implementación exitosa de estos modelos y, en definitiva, la adopción de herramientas de diagnóstico asistidas por inteligencia artificial en la práctica clínica requerirá de la capacidad de aprovechar de manera efectiva la información generada por éstos junto con la evaluación y juicio de las personas.

Aplicación de IA en prevención, seguimiento y pronóstico de enfermedades

En las fases de prevención y seguimiento, la IA utiliza el análisis continuo de datos de salud para detectar cambios sutiles, identificar patrones de riesgo y generar alertas tempranas, facilitando así la implementación de intervenciones personalizadas. Por otra parte, los modelos predictivos basados en aprendizaje profundo contribuyen en la predicción del pronóstico de enfermedades analizando diversas variables y generando estimaciones precisas sobre la evolución de las condiciones médicas.

Ejemplos prácticos

Un caso concreto de aplicación de IA en este ámbito se encuentra en la red de hospitales Apollo de la India, la cual ha creado un algoritmo de estratificación de pacientes según el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares a diez años. Esta herramienta basada en aprendizaje profundo y construida a partir de datos de más de 400.000 pacientes desde 2008, ha sido validada por instituciones nacionales e internacionales y ha demostrado ser más precisa que otras escalas tra-

dicionalmente empleadas como la escala Framingham. Según los autores, no pretende reemplazar el criterio médico, sino proporcionar ayuda en la toma de decisiones clínicas²⁷.

En el ámbito de la epilepsia, destaca una técnica basada en aprendizaje profundo aplicada a registros de electroencefalograma cuyo objetivo es predecir de manera temprana y precisa las posibles crisis epilépticas en tiempo real. En su validación se obtuvieron datos de exactitud, sensibilidad y especificidad mayores al 99%²⁸.

La IA también se puede utilizar en la predicción del pronóstico de enfermedades. Kang, et al. desarrollaron un algoritmo capaz de predecir la necesidad de cuidados intensivos a partir de datos de 8.981.181 pacientes procedentes de 151 servicios de urgencias. Este algoritmo es capaz de predecir con mayor precisión que otras escalas convencionales el riesgo de ingreso en unidades de cuidados intensivos (UCI). Esta aplicación de la IA podría aprovecharse en la optimización de procesos y recursos²⁹.

Aplicación de IA en investigación

Durante todo el proceso de investigación y especialmente en la redacción y publicación de resultados, pueden emplearse herramientas basadas en procesamiento de lenguaje natural. Estas herramientas tienen la capacidad de realizar revisiones exhaustivas de la literatura, ordenar o clasificar referencias bibliográficas, resumir el conocimiento sobre un determinado tema o identificar posibles lagunas que deban abordarse³⁰.

En el ámbito de ensayos clínicos, este tipo de aplicaciones pueden aumentar la eficiencia al lograr la consecución de objetivos en menor tiempo y facilitar la gestión de los resultados obtenidos para utilizarlos en la práctica clínica con la finalidad de conseguir tratamientos más personalizados³¹. La aplicación de IA sobre datos procedentes de estudios de investigación y entornos del mundo real se revela como un recurso valioso para los equipos de investigación. Este enfoque facilita la delineación y definición de objetivos, así como la identificación de la población específica a la que se dirige. Además, la aplicación de IA contribuye a optimizar el reclutamiento de pacientes y a anticipar posibles desafíos que podrían surgir durante la ejecución de los ensayos clínicos. Mediante el uso de herramientas de salud digital, los ensayos clínicos pueden descentralizarse al recopilar información de forma remota, lo que facilita la participación y el compromiso de los pacientes.

Ejemplos prácticos

Además de los chatbots mencionados anteriormente, algunas aplicaciones desarrolladas para facilitar la búsqueda de información clave en documentos y proporcionar respuestas precisas son

Humata.ai o Explainpaper®. Éstas utilizan algoritmos avanzados de procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático para la búsqueda y análisis de información procedente de archivos PDF. Su utilización podría mejorar la eficiencia y la productividad^{32,33}.

Un ejemplo de plataforma empleada en este ámbito es Oncoshot®, que permite el intercambio de datos de salud en tiempo real entre hospitales e industria, ayudando en la toma de decisiones o acelerando el acceso al tratamiento de pacientes en los ensayos clínicos³⁴.

Por último, otra aplicación que emplea IA para analizar los datos de salud es Trials360.ai. Esta herramienta ayuda a refinar los criterios de selección, optimizar la viabilidad y participación del sitio y facilitar el reclutamiento de pacientes en los ensayos clínicos³⁵.

Aplicación de IA en el descubrimiento y desarrollo de medicamentos_

Una de las aplicaciones más destacadas de la IA en la investigación es su uso en el descubrimiento y desarrollo de medicamentos. La implementación de técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo puede acelerar el proceso de identificación y validación de moléculas diana y biomarcadores facilitando el diseño y desarrollo de fármacos³⁶.

Las compañías farmacéuticas están adoptando cada vez más modelos de IA en todas las etapas del proceso, pero para el entrenamiento y desarrollo de estas técnicas, se necesita una gran cantidad de datos que sean precisos y de calidad³⁶. Éstos se obtienen mayoritariamente de bases de datos

como ChEMBL, PubChem o STITCH que integran información relativa a vías moleculares, estructuras cristalinas, afinidades, dianas farmacológicas, propiedades químicas y actividad biológica³⁷.

Entre las técnicas de IA más utilizadas en el descubrimiento de fármacos se encuentran las redes neuronales gráficas, convolucionales en 3D y equivariantes así como enfoques de procesamiento de lenguaje natural, enfoques sin reglas o enfoques híbridos y la utilización del árbol de búsqueda Monte Carlo³⁸. Mediante la aplicación de estas técnicas, se han desarrollado herramientas capaces de predecir la estructura, posibles interacciones, propiedades fisicoquímicas o toxicidad de determinadas moléculas, dando lugar a descubrimiento o reposicionamiento de fármacos.

Ejemplos prácticos

Un caso real de aplicación en este ámbito es AlphaFold[®], desarrollado por DeepMind[®], que se trata de un sistema basado en redes neuronales capaz de predecir estructuras de proteínas en 3D con una precisión elevada. En colaboración con el Instituto Europeo de Bioinformática del Laboratorio Europeo de Biología Molecular (EMBL-EBI), han publicado más de 200 millones predicciones de estructuras de proteínas disponibles de manera gratuita³⁹.

También se han logrado avances notables en el modelado basado en la relación cuantitativa estructura-actividad (QSAR), el diseño molecular de novo y la planificación de síntesis de manera automatizada gracias a la aplicación de IA. DeepNeuralNet-QSAR[®] se trata de una aplicación que predice la actividad molecular de determinados compuestos involucrando redes neuronales profundas. Para el diseño molecular de novo, se pueden utilizar herramientas como Reinvent[®], Organic[®] y Ranc[®] que son capaces de generar moléculas con atributos deseados utilizando esquemas de aprendizaje automático como redes neuronales recurrentes y aprendizaje por refuerzo^{40,41}.

DeepChem[®] es una biblioteca Python de código

abierto basada en la aplicación de aprendizaje automático y aprendizaje profundo sobre conjuntos de datos moleculares y cuánticos. Fomenta la colaboración e innovación ya que proporciona interfaces para la exportación e implementación de modelos. Sus funcionalidades permiten realizar tareas relacionadas con el descubrimiento de medicamentos, diseño de moléculas y predicción de propiedades químicas⁴².

Algunas técnicas de aprendizaje automático como bosques aleatorios y redes neuronales sencillas pueden aprender información química y predictores de actividad a partir algunos compuestos ya conocidos y compararlos con nuevos candidatos de fármacos para predecir las propiedades de estos últimos (bioactividad, toxicidad, características fisicoquímicas y afinidad proteína-ligando)⁴³. DeepTox[®], desarrollada por Mayr et al., se trata de una herramienta capaz de realizar predicciones de toxicidad de moléculas químicas utilizando un algoritmo de aprendizaje profundo⁴⁴.

Por otro lado, a nivel europeo, se ha creado un consorcio de diez compañías farmacéuticas, MELLODDY, que utiliza arquitectura blockchain sobre datos descentralizados con el objetivo de obtener modelos predictivos más precisos y aumentar la eficiencia en el descubrimiento de fármacos ya que se espera que reduzcan el tiempo y coste asociados en este proceso⁴⁵.

En julio de 2023, la Agencia Europea del Medicamento publicó una propuesta de documento de reflexión donde se detalla la perspectiva actual en torno a la aplicación de IA en todas las etapas de un medicamento. En este documento se concluye que la aplicación de IA y concretamente ML tiene un gran potencial en la mejora de cada una de las fases de la trayectoria de los medicamentos, desde su descubrimiento hasta después de su comercialización. Destaca que es necesario el cumplimiento de la legislación vigente, consideraciones éticas y respeto de los derechos fundamentales, recomendando un enfoque centrado en el paciente para el desarrollo e implantación de estas tecnologías⁴⁶.

Aplicación en Farmacia Hospitalaria

En el ámbito de la farmacia, la IA se muestra especialmente útil en el perfeccionamiento de procesos relacionados con la medicación como la elaboración y dispensación o la gestión de inventarios, mediante la previsión de las necesidades y la optimización de stock. También resulta de utilidad en la mejora de la atención al paciente, educación sanitaria, adherencia al tratamiento y por lo tanto en la optimización de los resultados de la terapia farmacológica.

Aplicación de IA en la validación de la prescripción y detección de problemas relacionados con la medicación_

Se han desarrollado numerosas herramientas y sistemas de alerta y ayuda a la prescripción con el objetivo de evitar problemas relacionados con la medicación. Sin embargo, estos recursos no están exentos de limitaciones y pueden llegar a ser ineficaces por generar la conocida fatiga de alertas. La revisión de la prescripción por parte de un farmacéutico se considera actualmente el mejor método para la prevención de eventos adversos relacionados con medicamentos. Esta revisión normalmente viene sucedida de una intervención farmacéutica en respuesta para prevenir un problema relacionado con la medicación. La aplicación de IA en este proceso, podría mejorar la eficiencia y optimizar el sistema.

Ejemplos prácticos

La plataforma de inteligencia artificial SurveyorAI® aplica interferencia probabilística bayesiana

para identificar pacientes con riesgo de padecer problemas relacionados con la medicación y posteriormente facilitar las intervenciones farmacéuticas. En un estudio observacional retrospectivo de la Universidad de Standford se evaluó el impacto de esta plataforma en la atención a pacientes. El estudio incluyó datos de 2150 pacientes polimedicados y concluyó que la plataforma redujo el coste total de la atención en casi un 20%^{47,48}.

Lumio Medication® se trata de un sistema híbrido de ayuda en la toma de decisiones basado en IA que combina el aprendizaje automático y un sistema experto basado en reglas en un entorno típico de hospital. Este sistema realiza predicciones a nivel del paciente, en lugar de realizar predicciones sobre órdenes individuales de prescripción. Para nutrir y entrenar el algoritmo, se emplean datos pseudoanonimizados procedentes de la historia clínica electrónica, incluyendo prescripciones médicas, analíticas de laboratorio, datos demográficos y constantes vitales. En un estudio publicado en 2020, se evaluó la precisión de esta herramienta en la priorización de prescripciones a revisar por parte de un farmacéutico comparándola con un sistema de apoyo a la toma de decisiones clínicas y una técnica de priorización basada en análisis multivariable. En este estudio se concluyó que el algoritmo era más preciso interceptando potenciales errores de prescripción que los comparadores⁴⁹.

Aplicación de IA en la elaboración de medicamentos_

Resulta fundamental asegurar que los medica-

mentos se preparen en condiciones óptimas y siguiendo rigurosamente la prescripción médica. Un error en la elaboración puede tener graves consecuencias, no solo para la salud del paciente, sino también para el profesional y el hospital desde un punto de vista legal. La aplicación de IA en este ámbito, podría prevenir los errores asociados a la elaboración y asegurar la adecuación a las órdenes de prescripción.

Ejemplos prácticos

Como ejemplo de aplicación de IA en la elaboración de medicamentos, destaca Drugcam® de la empresa Eureka, con la finalidad de prevenir errores en la preparación de quimioterapia y garantizar el producto correcto, la dosis correcta y el paciente correcto. Se trata de un dispositivo con reconocimiento visual inteligente que permite identificar de inmediato y corregir cualquier error en la preparación. Esta tecnología se ha puesto en práctica en hospitales a nivel internacional con exitosos resultados⁵⁰.

Aplicación de IA en la dispensación de medicamentos_

La aplicación de IA en la dispensación de medicamentos podría mejorar la eficiencia y la seguridad de este proceso, al disminuir los tiempos de espera especialmente en las Unidades de Atención Farmacéutica a Pacientes Externos (UFPE) y los errores de dispensación generados por la similitud de presentaciones de fármacos.

Ejemplos prácticos

Un ejemplo de posible aplicación de IA en la dispensación de medicamentos es el modelo creado por Alhorishi et al.. Este algoritmo está diseñado para predecir las necesidades de los pacientes antes de su llegada a la UFPE con la finalidad de la preparación anticipada de la medicación y la disminución del tiempo de espera. Aunque este modelo no se ha implementado en la práctica real,

según los resultados del estudio previsiblemente mejoraría la satisfacción de los pacientes⁵¹.

Por otra parte, con el objetivo de disminuir los errores de dispensación, se desarrolló un modelo basado en aprendizaje profundo que obtuvo una precisión superior al 90% en la identificación de medicamentos similares envasados en blíster. Este modelo fue creado a partir de más de 36000 fotos de 250 medicamentos y los autores sugieren que podría aplicarse en la práctica real integrándolo al software de los robots de dispensación en las UFPE⁵².

Aplicación de IA en farmacometría_

El empleo de algoritmos de aprendizaje automático permite el desarrollo de modelos predictivos avanzados. Estos modelos, al considerar tanto la farmacocinética del fármaco como las características individuales de los pacientes, ofrecen una visión integral que puede guiar decisiones clínicas fundamentales. La capacidad para anticipar cómo un paciente responderá a un tratamiento específico puede influir significativamente en la selección y ajuste de terapias, optimizando así los resultados clínicos.

Ejemplos prácticos

Un ejemplo concreto de esta aplicación es Strategic Anemia Advisor®. Esta herramienta personaliza la dosificación de agentes estimulantes de la eritropoyesis al analizar las dosis previas del paciente, los niveles de hemoglobina y el rango objetivo de hemoglobina. Su propósito principal es ofrecer recomendaciones de dosificación para estos medicamentos, buscando aumentar la eficiencia del tratamiento y reducir el riesgo de efectos adversos⁵³.

Adicionalmente, se encuentran en desarrollo proyectos de investigación que prometen ampliar el espectro de aplicaciones de IA en el ámbito clínico. Un ejemplo destacado es el sistema IOSC3 (Sistema Inteligente basado en Ontologías en Cuidados Críticos) desarrollado por la Universidade da

Coruña. Este sistema de apoyo a la decisión clínica, basado en IA, ha sido implementado con éxito en una Unidad de Cuidados Intensivos, logrando una aceptación de las recomendaciones de dosis propuestas en aproximadamente el 90% de los casos, subrayando así su utilidad y aceptación por parte de los profesionales⁵⁴.

Estos avances en la aplicación de la IA en farmacometría no solo representan un hito en la personalización de tratamientos, sino que también abren nuevas perspectivas para la mejora continua de la práctica clínica, consolidando así la posición de la IA como aliada en la toma de decisiones.

Conclusiones

En conclusión, la aplicación de la IA en el campo de la salud presenta una serie de ventajas significativas. Estas ventajas abarcan desde la mejora en la calidad de atención al paciente hasta la recomendación de tratamientos más efectivos. Además, la IA puede proporcionar apoyo a los profesionales de la salud en la toma de decisiones y en la realización de tareas administrativas, como el registro de pacientes y la gestión de la información clínica.

Sin embargo, no podemos pasar por alto los desafíos y limitaciones que la IA plantea en el ámbito sanitario. Uno de los problemas más destacados es el riesgo de daño al paciente debido a errores del sistema, así como las preocupaciones sobre la privacidad que pueden restringir el acceso a datos cruciales. La protección y seguridad de los datos médicos son aspectos críticos que deben abordarse rigurosamente para salvaguardar la confidencialidad de la información del paciente.

También surgen dilemas éticos y legales en la toma de decisiones médicas basadas exclusiva-

mente en la IA. La implementación exitosa de la IA requiere la colaboración activa y la capacitación de los profesionales de la salud para comprender y utilizar eficazmente estas herramientas.

En definitiva, teniendo en cuenta las limitaciones, la cooperación entre la inteligencia humana y la inteligencia artificial puede ser altamente beneficiosa y necesaria en la transformación del sector salud. Aplicada correctamente, favorece al sistema sanitario ya que contribuye en la optimización de procesos y recursos. Se ha demostrado su utilidad en numerosos estudios, ofreciendo resultados prometedores en áreas como la medicina personalizada, la investigación de nuevos fármacos y dianas terapéuticas, así como el análisis de grandes conjuntos de datos. Además, su potencial para mejorar el diagnóstico y la toma de decisiones en la atención médica sugiere un futuro prometedor en la búsqueda de mejores estándares de atención y salud para todos.

Bibliografía

1. Ali O, Abdelbaki W, Shrestha A, et al. A systematic literature review of artificial intelligence in the healthcare sector: Benefits, challenges, methodologies, and functionalities. *J Innov Knowl.* 2023;8(1):100333.
2. Khan ZF, Alotaibi SR. Applications of Artificial Intelligence and Big Data Analytics in m-Health: A Healthcare System Perspective. *J Healthc Eng.* 2020 Aug 30;2020:8894694.
3. Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, Gobierno de España. Estrategia digital de la UE. [Internet]. [consultado 2023 Oct 8]. Disponible en: <https://espanadigital.gob.es/estrategia-digital-de-la-ue>.
4. Ministerio de Sanidad, Gobierno de España. Estrategia de Salud Digital del SNS. [Internet]. [consultado 2023 Oct 8]. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pdf/Estrategia_de_Salud_Digital_del_SNS.pdf
5. Zia A, Aziz M, Popa I, et al. Artificial Intelligence-Based Medical Data Mining. *J Pers Med.* 2022 Aug 24;12(9):1359.
6. Subrahmanya SVG, Shetty DK, Patil V, et al. The role of data science in healthcare advancements: applications, benefits, and future prospects. *Ir J Med Sci.* 2022 Aug;191(4):1473-1483.
7. Savana Médica. [Internet]. [consultado 2023 Oct 8]. Disponible en: <https://savana-med.com/>.
8. Poveda, J.L., Bretón-Romero, R., Del Rio-Bermudez, C. et al. How can artificial intelligence optimize value-based contracting?. *J of Pharm Policy and Pract* 15, 85 (2022).
9. Yousefi M, Yousefi M, Ferreira RPM, et al. Chaotic genetic algorithm and Adaboost ensemble metamodeling approach for optimum resource planning in emergency departments. *Artif Intell Med.* 2018 Jan;84:23-33.
10. Levin S, Toerper M, Hamrock E, et al. Machine-Learning-Based Electronic Triage More Accurately Differentiates Patients With Respect to Clinical Outcomes Compared With the Emergency Severity Index. *Ann Emerg Med.* 2018 May;71(5):565-574.e2.
11. Nazir T, Mushhood Ur Rehman M, Asghar MR, et al. Artificial intelligence assisted acute patient journey. *Front Artif Intell.* 2022 Oct 4;5:962165.
12. Dammavalam, N. Chandana, T. R. Rao, et al. AI Based Chatbot for Hospital Management System. 2022 3rd International Conference on Computing, Analytics and Networks (ICAN), Rajpura, Punjab, India, 2022, pp. 1-5.

13. Sallam M. ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice: Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. *Healthcare (Basel)*. 2023 Mar 19;11(6):887.
14. Hospital Universitario y Politécnico La Fe. La Fe reescribe con inteligencia artificial informes de alta médica para hacerlos más comprensibles. [Internet]. [consultado 2023 Oct 16]. Disponible en: http://www.lafe.san.gva.es/noticias/-/asset_publisher/D6Zy/content/la-fe-reescribe-con-inteligencia-artificial-informes-de-alta-medica-para-hacerlos-mas-comprensibles/maximized.
15. Symptomate. [Internet]. [consultado 2023 Oct 16]. Disponible en: www.symptomate.com.
16. Lagakis P, Logaras E, Billis A, et al. ClinApp: A Microservices-Based Platform for Efficient Medical Visit Scheduling. *Stud Health Technol Inform*. 2023 Jun 29;305:339-340.
17. Ayers JW, Poliak A, Dredze M, et al. Comparing Physician and Artificial Intelligence Chatbot Responses to Patient Questions Posted to a Public Social Media Forum. *JAMA Intern Med*. 2023 Jun 1;183(6):589-596.
18. Lee P, Bubeck S, Petro J. Benefits, Limits, and Risks of GPT-4 as an AI Chatbot for Medicine. *N Engl J Med*. 2023 Mar 30;388(13):1233-1239.
19. DXGPT. [Internet]. [consultado 2023 Oct 15]. Disponible en: <https://dxgpt.app/>.
20. Kukar M, Gunčar G, Vovko T, et al. COVID-19 diagnosis by routine blood tests using machine learning. *Sci Rep*. 2021 May 24;11(1):10738.
21. Comisión Europea. Políticas de estrategia digital. Imágenes de cáncer. [Internet]. [consultado 2023 Oct 15]. Disponible en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/policies/cancer-imaging>.
22. Lång K, Josefsson V, Larsson AM, et al. Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study. *Lancet Oncol*. 2023 Aug;24(8):936-944.
23. Singh R, Kalra MK, Homayounieh F, et al. Artificial intelligence-based vessel suppression for detection of sub-solid nodules in lung cancer screening computed tomography. *Quant Imaging Med Surg*. 2021 Apr;11(4):1134-1143.
24. Hassan C, Spadaccini M, Iannone A, et al. Performance of artificial intelligence in colonoscopy for adenoma and polyp detection: a systematic review and meta-analysis. *Gastrointest Endosc*. 2021 Jan;93(1):77-85.e6.
25. Wallace MB, Sharma P, Bhandari P, et al. Impact of Artificial Intelligence on Miss Rate of Colorectal Neoplasia. *Gastroenterology*. 2022 Jul;163(1):295-304.e5.
26. Jacobson FL, Krupinski EA. Clinical Validation Is the Key to Adopting AI in Clinical Practice. *Radiol Artif Intell*. 2021 Jun 16;3(4):e210104
27. Jallepalli, Shivkumar and Gupta, Prashant and Kar, Sujoy, Multicenter Retrospective and Comparative Study on a Novel Artificial Intelligence Based Cardiovascular Risk Score (AICVD) (March 4, 2020). Available at

SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3548790>
or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3548790>

28. H. Daoud and M. A. Bayoumi. Efficient Epileptic Seizure Prediction Based on Deep Learning,” in *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 13, no. 5, pp. 804-813, Oct. 2019
29. Kang DY, Cho KJ, Kwon O, et al. Artificial intelligence algorithm to predict the need for critical care in prehospital emergency medical services. *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* 2020; 28:17.
30. Hutson M. Could AI help you to write your next paper? *Nature.* 2022 Nov;611(7934):192-193.
31. Paul D, Sanap G, Shenoy S, et al. Artificial intelligence in drug discovery and development. *Drug Discov Today.* 2021 Jan;26(1):80-93.
32. Humata AI. [Internet]. [consultado 2023 Oct 22]. Disponible en: <https://www.humata.ai/>.
33. ExplainPaper. [Internet]. [consultado 2023 Oct 22]. Disponible en: <https://www.explainpaper.com>.
34. OncoShot. [Internet]. [consultado 2023 Oct 22]. Disponible en: <https://www.oncoshot.com/>.
35. Trials360.ai. [Internet]. [consultado 2023 Oct 22]. Disponible en: <https://www.trials360.ai/>.
36. Vamathevan J, Clark D, Czodrowski P, et al. Applications of machine learning in drug discovery and development. *Nat Rev Drug Discov.* 2019 Jun;18(6):463-477.
37. Mak KK, Pichika MR. Artificial intelligence in drug development: present status and future prospects. *Drug Discov Today.* 2019 Mar;24(3):773-780.
38. Jiménez-Luna J, Grisoni F, Weskamp N, et al. Artificial intelligence in drug discovery: recent advances and future perspectives. *Expert Opin Drug Discov.* 2021 Sep;16(9):949-959.
39. Jumper J, Evans R, Pritzel A, et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature.* 2021 Aug;596(7873):583-589.
40. Sanchez-Lengeling B, Outeiral C, Guimaraes GL, et al. Optimizing distributions over molecular space. An objective-reinforced generative adversarial network for inverse-design chemistry (ORGANIC). *ChemRxiv* 2017, 1-18.
41. Putin E, Asadulaev A, Ivanenkov Y, et al. Reinforced Adversarial Neural Computer for de Novo Molecular Design. *J Chem Inf Model.* 2018 Jun 25;58(6):1194-1204.
42. DeepChem. About DeepChem [Internet]. [consultado 2023 Oct 29]. Disponible en: <https://deepchem.io/about/>
43. Sarkar C, Das B, Rawat VS, et al. Artificial Intelligence and Machine Learning Technology Driven Modern Drug Discovery and Development. *Int J Mol Sci.* 2023 Jan 19;24(3):2026.
44. Mayr A, Klambauer G, Unterthiner T, et al. DeepTox: Toxicity Prediction using Deep Learning. *Front. Environ. Sci.* 2016, 3, 80

45. MELLODDY. [Internet]. [consultado 2023 Oct 29]. Disponible en: <https://www.melloddy.eu/>.
46. European Medicines Agency. Reflection paper on the use of Artificial Intelligence (AI) in the medicinal product lifecycle. Draft. EMA/CHMP/CVMP/83833/2023. [consultado 2023 Oct 29]. Disponible en: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/draft-reflection-paper-use-artificial-intelligence-ai-medicinal-product-lifecycle_en.pdf
47. Surveyor Health. [Internet]. [consultado 2023 Oct 29]. Disponible en: <https://www.surveyorhealth.com/>
48. Kessler S, Desai M, McConnell W, et al. Economic and utilization outcomes of medication management at a large Medicaid plan with disease management pharmacists using a novel artificial intelligence platform from 2018 to 2019: a retrospective observational study using regression methods. *J Manag Care Spec Pharm*. 2021 Sep;27(9):1186-1196.
49. Corny J, Rajkumar A, Martin O, et al. A machine learning-based clinical decision support system to identify prescriptions with a high risk of medication error. *J Am Med Inform Assoc*. 2020 Nov 1;27(11):1688-1694.
50. Benizri F, Dalifard B, Zemmour C, et al. DrugCam®-An intelligent video camera system to make safe cytotoxic drug preparations. *Int J Pharm*. 2016 Apr 11;502(1-2):198-207
51. Alhorishi N, Almeziny M, Alshammari R. Using Machine Learning to Predict Early Preparation of Pharmacy Prescriptions at PSMC - a Comparison of Four Machine Learning Algorithms. *Acta Inform Med*. 2021 Mar;29(1):21-25.
52. Ting HW, Chung SL, Chen CF, et al. A drug identification model developed using deep learning technologies: experience of a medical center in Taiwan. *BMC Health Serv Res*. 2020 Apr 15;20(1):312.
53. DOSIS. [Internet]. [consultado 2023 Oct 22]. Disponible en: <https://dosisinc.com/>.
54. Universidade da Coruña. Repositorio Institucional da UDC [Internet]. [consultado 2023 Nov 5]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/33487/>.



03

Inteligencia Artificial en Oftalmología

Patricia Udaondo Mirete



35 **Introducción**

37 **Aplicaciones de la inteligencia artificial en las enfermedades oculares**

Retinopatía diabética

Degeneración macular asociada a la edad

Glaucoma

Otros

40 **¿Cuál es el futuro de la Inteligencia artificial en oftalmología?**

41 **Bibliografía**

Introducción

La IA es un término amplio que engloba muchos campos diferentes con el objetivo común de desarrollar sistemas capaces de manifestar comportamientos inteligentes. El modelo deep learning (DL) es una rama del machine learning (ML), compuesta por redes neuronales que son buenas en visión

por ordenador, percepción y reconocimiento de imágenes. El modelo DL utiliza módulos de procesamiento de información no lineal multicapa para extraer características supervisadas o no supervisadas de un conjunto de datos de entrenamiento y realizar la predicción correcta. En los últimos años,

	Blindness			Moderate and severe vision impairment			Moderate and severe vision impairment		
	Number, millions	Crude prevalence	Age-standardised prevalence	Number, millions	Crude prevalence	Age-standardised prevalence	Number, millions	Crude prevalence	Age-standardised prevalence
All									
All ages	43.28 (37.57-48.36)	0.55% (0.48-0.61)	0.52% (0.46-0.59)	295.09 (567.32-324.60)	3.74% (3.39-4.12)	3.58% (3.24-3.92)	257.83 (232.66-285.34)	3.27% (2.95-3.62)	3.20% (2.89-3.54)
≥50 years	33.61 (28.58-38.54)	1.77% (1.51-2.03)	1.85% (1.57-2.11)	206.42 (182.37-233.16)	10.87% (9.61-12.28)	11.18% (9.90-12.61)	206.42 (182.37-233.16)	7.53% (6.43-8.59)	7.73% (6.62-8.82)
Men									
All ages	19.40 (16.95-21.70)	0.49% (0.43-0.55)	0.50% (0.44-0.56)	132.12 (119.77-145.68)	3.34% (3.03-3.68)	3.37% (3.05-3.70)	115.54 (104.37-127.95)	2.92% (2.64-3.23)	2.97% (2.68-3.28)
≥50 years	14.56 (12.38-16.73)	1.61% (1.37-1.85)	1.76% (1.49-2.01)	89.44 (78.70-101.43)	9.87% (8.68-11.19)	10.49% (9.30-11.83)	60.56 (51.60-69.25)	6.68% (5.69-7.64)	7.11% (6.07-8.11)
Women									
All ages	23.88 (20.83-26.82)	0.61% (0.53-0.68)	0.54% (0.47-0.61)	162.97 (147.43-179.21)	4.15% (3.75-4.56)	3.77% (3.42-4.13)	142.29 (128.45-157.36)	3.62% (3.27-4.00)	3.42% (3.10-3.78)
≥50 years	19.05 (16.22-21.82)	1.92% (1.64-2.20)	1.92% (1.63-2.20)	116.98 (103.72-131.93)	11.79% (10.46-13.30)	11.78% (10.44-13.30)	82.32 (70.52-93.83)	8.30% (7.11-9.46)	8.29% (7.10-9.45)

Data are n (95% uncertainty interval) or % (95% uncertainty interval). Data taken from VLEG-GBD, 2020.

Table 3: Global number, crude prevalence, and age-adjusted prevalence of vision impairment in 2020

los modelos DL se han utilizado ampliamente en oftalmología, dermatología, radiología y muchas otras especialidades centradas en la imagen. En la investigación relacionada con la oftalmología, los modelos DL están empezando a utilizarse ampliamente en el diagnóstico y reconocimiento de enfermedades como la retinopatía diabética (RD), la degeneración macular asociada a edad (DMAE), el glaucoma, los errores de refracción y la retinopatía del prematuro.

Para entender la magnitud y la repercusión de los problemas oculares es importante conocer algunas cifras acerca de la carga de la discapacidad visual mundial en 2020 según el informe de Lancet Global Health Commission on Global Eye Health publicado en 2021¹. Como se puede observar el riesgo aumenta con la edad y es importante recordar que gran parte de los problemas visuales serían controlables o incluso reversibles si se diagnostican a tiempo.

El aumento de la esperanza de vida supone también que la incidencia de enfermedades como la DMAE y RD² que son las principales causas de ceguera en mayores y menores de 65 años respectivamente, seguirá aumentando, lo que supondrá una carga cada vez mayor para el ya saturado sistema sanitario. A medida que la población envejece y los países en desarrollo avanzan, los sistemas basados en IA pueden ser clave en la oftalmología tanto para agilizar el cribado, la estadificación y la planificación del tratamiento de las enfermedades oculares que amenazan la vista, descargando a los expertos de las tareas más tediosas, permitiendo una mayor cobertura de la población y ofreciendo la mejor atención posible a cada paciente. A su

vez puede ser también importante en los países de ingresos bajos y medios, donde los sistemas sanitarios son más frágiles y no suele haber suficientes especialistas formados

La inteligencia artificial ha avanzado de forma exponencial en los últimos años y la oftalmología encaja particularmente bien uno de sus campos más consolidados como es el reconocimiento de imágenes ya que la oftalmología es una especialidad médica que se fundamenta principalmente en imágenes lo que supone un enorme potencial para el análisis y la cuantificación automáticos.

En la práctica, los sistemas de IA ya han demostrado rendimientos iguales o superiores a los niveles de expertos para la clasificación de RD³⁻⁵, la clasificación de DMAE⁶ y el diagnóstico general a partir de imágenes de tomografía de coherencia óptica (OCT) que es herramienta gold standard para el diagnóstico y seguimiento de patologías de la retina⁷. En 2018 la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA) aprobó el IDx-DR⁸, un sistema basado en IA para la detección de RD, y el primer sistema de diagnóstico autónomo de IA autorizado por la FDA en cualquier campo de la medicina.

En los próximos años, el campo de la oftalmología al igual que otros se verá profundamente transformado por la adopción universal de estas tecnologías⁹. Por lo tanto, es fundamental que los médicos tengan un conocimiento sólido de los algoritmos básicos que están impulsando esta revolución (al igual que es fundamental que los científicos de datos comprendan también el problema médico subyacente).

Aplicaciones de la inteligencia artificial en las enfermedades oculares

Retinopatía diabética

La retinopatía diabética (RD) es una de las principales causas de ceguera entre las personas de mediana y avanzada edad en todo el mundo. Como complicación frecuente de la diabetes, se calcula que hasta el 30% de los pacientes diabéticos acabarán desarrollando diversos tipos de RD (3), y el 10% de los pacientes diabéticos corren riesgo de ceguera¹⁰.

La detección precoz y el tratamiento oportuno de la retinopatía diabética que pone en peligro la visión pueden evitar el 95% de las cegueras por esta causa. Las nuevas tecnologías, como la teleoftalmología y la inteligencia artificial, ofrecen nuevas soluciones potenciales¹¹.

La fotografía en color del fondo del ojo son la clave para el cribado de la RD aunque también empiezan a incluir imágenes de tomografía de coherencia óptica (OCT) que permiten visualizar mejor la presencia de edema macular diabético.

Como método potencial para ayudar a los oftalmólogos clínicos en el diagnóstico y tratamiento de la RD, una de las ventajas obvias de la IA es su alta precisión diagnóstica. Los estudios han demostrado que la precisión del diagnóstico de la RD puede alcanzar hasta el 90 % utilizando un modo de Deep learning (12-14), y el 80 % o más con un modelo de machine learning (15-17). Una de las limitaciones importantes de gran parte de los estudios y algoritmos publicados es que son retrospectivos. Procedente de un meta-análisis (nivel de evidencia 1) algunas de las conclusiones más importantes con relación a la RD y la IA serían¹⁸:

- El efecto diagnóstico de la IA varía significa-

tivamente entre los distintos estudios según la calidad de las imágenes de las fotografías en color del fondo del ojo, los algoritmos utilizados por los modelos de IA y el rendimiento de las cámaras utilizadas.

- La IA tuvo un alto rendimiento diagnóstico para la RD es decir si la IA mostraba un resultado positivo basado en la fotografía en color del fondo de ojo, la probabilidad de que el paciente tuviera RD era del 93%. Si el diagnóstico de IA era negativo, el paciente tenía un 3% de probabilidades de padecer RD.
- El origen de las imágenes a partir de las cuales se aplicaba el algoritmo es importante; los estudios con pacientes procedentes de clínicas, hospitales o centros de investigación médica tuvieron mayor eficacia diagnóstica que los realizados con pacientes de otras procedencias.
- Cuanto mayor sea el número de ojos incluidos en el estudio, mayor será la eficacia diagnóstica.
- Cuanto mejor sea la calidad de la imagen, mayor será el valor DOR (diagnostic odds ratio) del resultado del diagnóstico.

Aunque la IA está mejorando en el diagnóstico de enfermedades oculares, en nuestro estudio la tasa de falsos negativos (FNR) fue del 12% y la de falsos positivos (FPR) del 8,8%, lo que no puede ignorarse. Esto se mejoraría con la calidad y el nú-

mero de las imágenes, así como de las cámaras que las obtienen, teniendo en cuenta el origen de las imágenes y el algoritmo utilizado.

Degeneración macular asociada a la edad

Con relación a la DMAE hay dos modelos diferenciados de la aplicación de la AI:

- El diagnóstico precoz o screening.
- El seguimiento de pacientes ya diagnosticados. En este último destaca el análisis de biomarcadores de imagen (principalmente OCT) para determinar el riesgo de progresión de la enfermedad y poder establecer estrategias terapéuticas precoces que condicionan el pronóstico visual final o la posible respuesta terapéutica si se decide iniciar algún tratamiento.

Aunque la mayoría de los modelos de DL muestran una precisión diagnóstica eficaz, los especialistas en DL siguen intentando explorar las mejores redes, diámetros y capas de la red para lograr una mayor precisión.

Situación actual de DL en diagnóstico de DMAE según meta-análisis de algoritmos publicados (nivel de evidencia 1) y teniendo en cuenta aquellos estudios que incluyeran modelos de diagnóstico de DMAE donde se pudieron obtener o transferir del estudio verdaderos positivos (TP), falsos positivos (FP), verdaderos negativos (TN) y falsos negativos (FN). La primera conclusión es que existen más de 1000 referencias pero que cumplan los criterios mínimos para intentar evaluar su validez no son tantos (menos de 100). Conclusiones¹⁹:

- La sensibilidad y especificidad agrupadas en este meta-análisis fueron del 94% (P = 0, IC del 95%: 0,94-0,94; I2 = 99,7%) y del 97% (P = 0, IC del 95%: 0,97-0,97; I2 = 99,6%) respectivamente.
- Los resultados de los meta-análisis indican una gran precisión en la detección de

la DMAE, pero con una gran heterogeneidad. Las fuentes de heterogeneidad fueron los tipos de DMAE y las capas de la red según la metarregresión.

- Los tipos de imágenes y la calidad de las mismas estuvieron relacionados con la precisión diagnóstica al igual que el número de imágenes incluidas que en DMAE es muy inferior a los modelos de RD.

Evidencia de la detección del riesgo de progresión basado en OCT durante su historia natural y después del tratamiento en términos de estructura morfológica de la OCT y función visual se encuentra sólo en su fase inicial y no se pueden establecer conclusiones ya que seguimos necesitando conjuntos de datos de OCT más amplios, diversos y accesibles al público para pacientes con DMAE con múltiples visitas de seguimiento²⁰.

Glaucoma

La FDA ha aprobado dos modelos autónomos de IA para detectar retinopatía diabética y edema macular diabético; sin embargo, no existe ningún instrumento autónomo de IA aprobado por la FDA para detectar glaucoma. Por lo tanto, el desarrollo de modelos de IA innovadores para evaluar y detectar el glaucoma de forma autónoma sigue siendo un objetivo importante para mejorar los resultados del tratamiento de este importante trastorno que causa ceguera. Parte de las limitaciones o razones para que aun no se haya conseguido un modelo como en RD puede ser la falta de definiciones coherentes y objetivas del glaucoma y su progresión lo que conduce a evaluaciones inadecuadas de los modelos de IA. Por ello, abordar este reto es un paso fundamental para mejorar la integración de la investigación del glaucoma con IA y las aplicaciones clínicas. Una posible solución podría ser el uso de parámetros cuantificados a partir de datos de FV y OCT para crear criterios objetivos para la definición del glaucoma.

Otros

El desarrollo de modelos de IA para el diagnós-

tico de patologías del segmento anterior como la catarata o el queratocono están en marcha así como de retinopatía del prematuro pero aún no están al nivel de las patologías retinianas como RD y DMAE.

¿Cuál es el futuro de la inteligencia artificial en oftalmología?

- Ayudar a diagnosticar con precisión enfermedades oculares y determinar si un paciente debe ser monitoreado o remitido para un tratamiento adicional.
 - Facilitar el tratamiento, seguimiento y evolución.
 - Reducir el número de referencias innecesarias a hospitales especializados y disminuir la demanda en los servicios de oftalmología, lo que a su vez ayudará a reducir las listas de espera para los pacientes.
 - Aliviar la carga administrativa al analizar rápidamente escaneos y detectar patrones que pueden ser difíciles o llevar más tiempo para que los optometristas/oftalmólogos detecten.
 - Ayudar a los técnicos a diagnosticar y priorizar enfermedades oculares en países donde hay altos niveles de enfermedades oculares pero bajos números de optometristas/oftalmólogos.
 - Eliminar la posibilidad de errores humanos.
- El desafío será asegurar la precisión y confiabilidad de los algoritmos de IA validándolos con conjuntos de datos grandes y diversos. Abordar las preocupaciones de privacidad relacionadas con la recopilación y el análisis de datos de los pacientes. Integrar herramientas de cribado basadas en IA en los sistemas y flujos de trabajo de atención médica existentes de manera efectiva.
- En relación con el seguimiento o monitorización de los pacientes puede ser de gran ayuda dispositivos portátiles y las aplicaciones para teléfonos inteligentes que puedan evaluar la función visual y la progresión de la enfermedad de los pacientes, lo que permite a los profesionales de la salud realizar un seguimiento de los cambios y ajustar los planes de tratamiento en consecuencia. El gran desafío aquí sería fomentar la adherencia de los pacientes a este novedoso método de monitorización.

Bibliografía

1. Burton m, et al. The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020 Lancet Glob Health. 2021 Apr;9(4):e489-e551.doi: 10.1016/S2214-109X(20)30488-5
2. Williams R, Karuranga S, Malanda B, et al.. Global and regional estimates and projections of diabetes-related health expenditure: results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 162. 9th edition. Diabetes Res Clin Pract; 2020. doi:10.1016/j.diabres.2020.108072.
3. Varadarajan AV, Bavishi P, Ruamviboonsuk P, et al. Predicting optical coherence tomography-derived diabetic macular edema grades from fundus photographs using deep learning. Nat Commun. 2020;11(1):1-8. doi:10.1038/s41467-019-13922-8.
4. [6]. Sayres R, Taly A, Rahimy E, et al. Using a deep learning algorithm and integrated gradients explanation to assist grading for diabetic retinopathy. Ophthalmology. 2019;126(4):552-64. doi:10.1016/j.ophtha.2018.11.016.
5. [7]. Krause J, Gulshan V, Rahimy E, et al. Grader variability and the importance of reference standards for evaluating machine learning models for diabetic retinopathy. Ophthalmology. 2018;125(8):1264-72. doi:10.1016/j.ophtha.2018.01.034.
6. [8]. Peng Y, Dharssi S, Chen Q, et al. DeepSeeNet: a deep learning model for automated classification of patient-based age-related macular degeneration severity from color fundus photographs. Ophthalmology. 2019;126(4):565-75. doi:10.1016/j.ophtha.2018.11.015.
7. [9]. De Fauw J, Ledsam JR, Romera-Paredes B, et al. Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease. Nat Med. 2018;24(9):1342-50 Accessed: June 23, 2020. doi:10.1038/s41591-018-0107-6.
8. [10]. Abramoff M.D., Lavin P.T., Birch M., Shah N., Folk J.C. Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices. npj Digit Med. 2018;1(1). doi:10.1038/s41746-018-0040-6
9. Peng Y, Dharssi S, Chen Q, et al. DeepSeeNet: a deep learning model for automated classification of patient-based age-related macular degeneration severity from color fundus photographs. Ophthalmology. 2019;126(4):565-75. doi:10.1016/j.ophtha.2018.11.015.
10. Microvascular complications and foot care: standards of medical care in diabetes-2018. Diabetes Care (2018) 41(Suppl 1):S105-18. doi: 10.2337/dc18-S010.

11. Vujosevic S, Aldington SJ, Silva P, Hernández C, Scanlon P, Peto T, Simó R. Screening for diabetic retinopathy: new perspectives and challenges. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2020 Apr;8(4):337-347. doi: 10.1016/S2213-8587(19)30411-5
12. Dai L, Wu L, Li H, Cai C, Wu Q, Kong H, et al. A deep learning system for detecting diabetic retinopathy across the disease spectrum. *Nat Commun* (2021) 12 (1):3242. doi: 10.1038/s41467-021-23458-5
13. Dong L, He W, Zhang R, Ge Z, Wang YX, Zhou J, et al. Artificial intelligence for screening of multiple retinal and optic nerve diseases. *JAMA Netw Open* (2022) 5(5): e229960. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.9960
14. Nadeem MW, Goh HG, Hussain M, Liew SY, Andonovic I, Khan MA. Deep learning for diabetic retinopathy analysis: a review, research challenges, and future directions. *Sensors* (2022) 22(18). doi: 10.3390/s22186780
15. Ogunyemi OI, Gandhi M, Lee M, Teklehaimanot S, Daskivich LP, Hindman D, et al. Detecting diabetic retinopathy through machine learning on electronic health record data from an urban, safety net healthcare system. *JAMIA Open* (2021) 4(3):b66. doi: 10.1093/jamiaopen/ooab066
16. Yang C, Liu Q, Guo H, Zhang M, Zhang L, Zhang G, et al. Usefulness of machine learning for identification of referable diabetic retinopathy in a large-scale population-based study. *Front Med* (2021) 8:773881. doi: 10.3389/fmed.2021.773881
17. Cao B, Zhang N, Zhang Y, Fu Y, Zhao D. Plasma cytokines for predicting diabetic retinopathy among type 2 diabetic patients via machine learning algorithms. *Aging (Albany NY)* (2020) 13(2):1972-88. doi: 10.18632/aging.202168
18. Wang Z, et al. Performance of artificial intelligence in diabetic retinopathy screening: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2023 Jun 13;14:1197783. doi: 10.3389/fendo.2023.1197783.
19. Leng X, Shi R, Wu Y, Zhu S, Cai X, Lu X, et al. (2023) Deep learning for detection of age-related macular degeneration: A systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy studies. *PLoS ONE* 18(4): e0284060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284060>
20. Muntean, G.A.; Marginean, A.; Groza, A.; Damian, I.; Roman, S.A.; Hapca, M.C.; Muntean, M.V.; Nicoara, S.D. The Predictive Capabilities of Artificial Intelligence-Based OCT Analysis for Age-Related Macular Degeneration Progression—A Systematic Review. *Diagnostics* 2023, 13, 2464. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13142464>

|

|



Asociación para la Investigación, Desarrollo
e Innovación en Farmacia Hospitalaria (AIDIFH)
c/ La Plana, 5 46183 L'Elia
(Valencia), España.