



Aleix Beneyto⁽¹⁾, Iván Contreras^(1,2) y Josep Vehí^(1,3)

⁽¹⁾Modeling, Identification and Control Laboratory, Institut d'Informàtica i Aplicacions, Universitat de Girona, España

⁽²⁾Profesor Serra Hünter, Universitat de Girona, España

⁽³⁾Centro de Investigación Biomédica en Red de Diabetes y Enfermedades Metabólicas Asociadas (CIBERDEM), Girona, España



Inteligencia artificial y diabetes

En los últimos años, la INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) ha emergido como un tema de gran relevancia en diversos sectores, incluyendo el ámbito de la atención médica. A pesar del uso generalizado y cotidiano de las tecnologías inteligentes y de los esfuerzos para regular su uso, aún no existe un consenso general sobre la definición de IA. En general, la podemos definir como la capacidad que tienen los sistemas artificiales, como un

ordenador, de resolver problemas que se consideran exclusivos de los seres inteligentes. Hoy en día hay aplicaciones que usan IA para una amplia variedad de propósitos. Algunos algoritmos se usan para sugerir el producto más adecuado a un potencial comprador, para mantener conversaciones (como Chat GPT), componer piezas musicales, ganar a ajedrecistas expertos o reconocer objetos específicos en videos o imágenes.

Es evidente que la IA ha revolucionado muchos campos de la ciencia y la medicina, y la diabetes no es una excepción. Con el creciente número de personas que viven con diabetes en todo el mundo, encontrar formas más efectivas de diagnosticar o gestionar esta enfermedad se ha convertido en toda una prioridad. La IA puede suponer un cambio de paradigma en la forma en la que abordamos la diabetes, desde el paciente hasta la atención hospitalaria, permitiendo un enfoque que promete ser más personalizado y preciso.

Todo empieza con los datos y es por ello por lo que la IA en diabetes experimentó un auge al mismo tiempo en que avanzaba la monitorización continua de glucosa (MCG) [1]. Esto se vio especialmente impulsado desde el 2016, con la aprobación por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) del primer MCG para la toma de decisiones en el tratamiento, prescindiendo de la confirmación de un glucómetro. El uso de estos sistemas ha mejorado significativamente el control glucémico gracias a la gran cantidad de información proveniente de los datos. Sin embargo, tal cantidad de información es difícil de manejar para las personas, tanto para el paciente como para el profesional sanitario. Además, esto se ha visto amplificado por datos adicionales al MCG provenientes de diferentes dispositivos, como los bolígrafos inteligen-

tes/plumas conectadas de insulina o los relojes inteligentes.

Aquí es donde los algoritmos de IA pueden desempeñar un papel fundamental, ya que ofrecen la capacidad de procesar los datos recopilados en tiempo real y proporcionar información automatizada sobre la detección de eventos específicos. Por ejemplo, un área muy estudiada en diabetes es la de diseñar sistemas de alertas para detectar episodios de hiperglucemia, hipoglucemia o futuras fluctuaciones en los niveles de glucosa [2]. Esto permite a los pacientes y profesionales de la salud tomar decisiones informadas sobre la administración de insulina, la ingesta de alimentos y la actividad física, para mantener los niveles de glucosa dentro del rango deseado.

Cuando hoy en día escuchamos hablar de IA, con mucha probabilidad, nos estamos refiriendo a alguna técnica de aprendizaje automático o *"machine learning"*. Las técnicas de aprendizaje automático son capaces de adaptar su comportamiento y aprender basándose en los datos, en función de su desempeño previo, ya sea exitoso o no. Es en esta área de la IA donde encontramos algoritmos para la predicción de eventos glucémicos, de detección de complicaciones o incluso para diagnóstico. Aunque el diseño de estos sistemas es complejo, podemos resumir su desarrollo en los pasos siguientes (Fig. 1)

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DIABETES TIPO 1

Las personas con diabetes tipo 1 se ven obligadas a tomar hasta 180 decisiones relacionadas con la diabetes al día [3]. La medición precisa de la dosis de insulina, el cálculo de la ingesta de carbohidratos y el control de la actividad física en función de los valores de glucosa en sangre forman parte del proceso de toma de decisiones diario. Por este motivo, las herramientas que pueden facilitar este proceso pueden tener un alto impacto en la calidad de vida de estas personas. Hablamos de sistemas de ayuda a la toma de decisiones que usualmente vienen relacionados con algún que otro tipo de algoritmo de IA [4].

Uno de los avances más significativos en el uso de tecnología en la diabetes tipo 1 es el desarrollo de sistemas de lazo cerrado o sistemas de páncreas artificial (PA). Estos sistemas son capaces de administrar automáticamente insulina gracias al uso combinado de las bombas de infusión subcutánea de insulina, los sistemas de MCG y un algoritmo de control. Actualmente ya han entrado con fuerza en el mercado varios sistemas de este tipo como los sistemas MiniMed 780G de Medtronic, el Control IQ de Tandem, el sistema CamAPS FX, el sistema Omnipod 5 de Insulet o el sistema DBLG1 de DiabeLoop [5]. Algunos sistemas ya han incluido elementos de IA, como el sistema de »

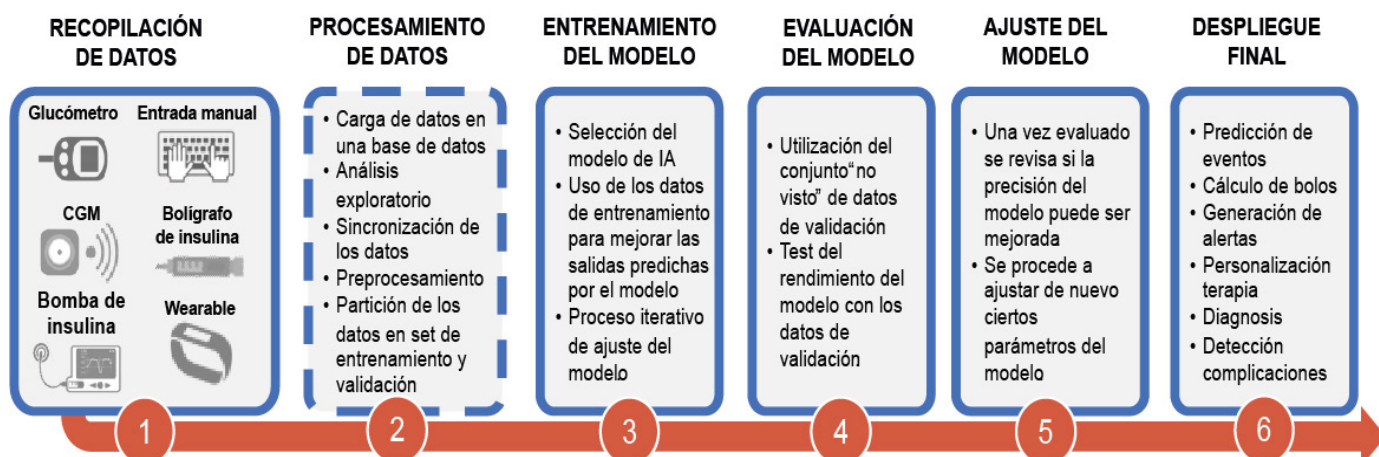


FIGURA 1. Proceso general para la generación de modelos de aprendizaje automático en diabetes

LAS PERSONAS CON DIABETES TIPO 1 SE VEN OBLIGADAS A TOMAR HASTA 180 DECISIONES RELACIONADAS CON LA DIABETES AL DÍA. LA MEDICIÓN PRECISA DE LA DOSIS DE INSULINA, EL CÁLCULO DE LA INGESTA DE CARBOHIDRATOS Y EL CONTROL DE LA ACTIVIDAD FÍSICA EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE GLUCOSA EN SANGRE FORMAN PARTE DEL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES DIARIO

» Diabeloop que usa aprendizaje profundo en su controlador predictivo basado en redes neuronales.

Por una parte, la IA permite una personalización sin precedentes en el tratamiento de la diabetes tipo 1, hecho que permitirá llevar la individualización de los sistemas PA al próximo nivel. El análisis de grandes cantidades de datos, como registros de glucosa, patrones de alimentación, niveles de actividad y respuestas individuales a la insulina, hace que los algoritmos de IA puedan servir de ayuda al ajuste preciso de parámetros de la terapia.

El siguiente paso, mucho más atrevido, es aún un área muy experimental en constante crecimiento y consiste en sustituir directamente los controladores tradicionales por algoritmos sofisticados de IA. Aunque hay cierta preocupación en la seguridad de estos algoritmos y en la explicabilidad de sus decisiones, ya empezamos a tener resultados más que interesantes e ilusionantes. Una de las tipologías de modelos más prometedoras y que han aparecido últimamente son aquellos basados en *aprendizaje por refuerzo* [6]. La idea del aprendizaje por refuerzo es hacer aprender que acciones debe tomar un algoritmo de software para maximizar alguna recompensa o premio que dependerá del efecto que tenga esta acción en el entorno. Ahmad, S. y cols. [7] demostraron en simulación la capacidad de la IA para sustituir a los calculadores de bolos estándar. En este estudio se diseñó un calculador de bolos con aprendizaje por refuerzo, que no

requería ninguna información relacionada con la ingesta de carbohidratos más que el hecho de informar cuando se iba a comer, y se comparó con el calculador de bolo estándar en terapia con bomba de insulina. Los resultados fueron que el tiempo en que la glucosa en sangre se mantuvo entre 70 y 180 mg/dl fue prácticamente igual para la terapia en bomba (72.4%) respecto al algoritmo de IA (73.4%). Esto es un avance para el paciente ya que, a falta de corroboración clínica, obtiene la misma seguridad y control sin tener que contar carbohidratos. Aunque no haremos una revisión extensa de todos los algoritmos investigados, es de esperar que en los próximos años las nuevas generaciones de sistemas PA incorporen cada vez más algoritmos de IA.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DIABETES TIPO 2

La IA puede desempeñar un papel crucial en el diagnóstico temprano de la diabetes tipo 2. Los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar grandes cantidades de datos de pacientes, incluyendo historiales médicos, resultados de pruebas de laboratorio y factores de riesgo, para identificar patrones y predecir el riesgo de desarrollar la enfermedad. Esto permite una detección temprana y la implementación de intervenciones preventivas. Estas predicciones tempranas pueden marcar la diferencia en la vida de los pacientes, ya que proporcionan la oportunidad de realizar cambios en el estilo de vida y recibir intervenciones médicas adecuadas antes de que la diabetes cause daños significativos.

Hace unos años el desafío de la IA ya fue aceptado por los grandes jugadores del área. La aprobación por parte de la agencia estadounidense FDA del primer dispositivo médico para el diagnóstico totalmente automatizado de la retinopatía diabética sin necesidad de intervención humana dio el pistoletazo de salida para la comercialización de este tipo de sistemas [8].

Un caso de éxito destacado en la diabetes tipo 2 es el estudio llevado a cabo por investigadores de la Icahn School of Medicine de Mount Sinai [9]. En este estudio, los investigadores utilizaron datos de registros médicos electrónicos de más de 70,000 pacientes para entrenar un modelo de aprendizaje automático. Este modelo fue capaz de identificar patrones y factores de riesgo vinculados con más de 78 enfermedades distintas y, especialmente en la diabetes tipo 2, que consiguió un rendimiento excepcional, demostrando un gran potencial para la identificación temprana de la enfermedad y la implementación de medidas preventivas.

La IA puede brindar una educación continua y un apoyo personalizado a los pacientes con diabetes tipo 2. Los chatbots (*programa informático que utiliza IA y el procesamiento del lenguaje natural para comprender las preguntas y mantener una conversación en tiempo real*) y las aplicaciones de salud basadas en IA pueden proporcionar información sobre la enfermedad, consejos de estilo de vida saludable y recordatorios para tomar medicamentos o realizar seguimiento de »

» los niveles de glucosa. Además, pueden ofrecer un canal de comunicación accesible para que los pacientes resuelvan sus dudas y se sientan respaldados en la gestión de la enfermedad.

UN GRAN PODER CONLLEVA UNA GRAN RESPONSABILIDAD

Es importante destacar que la implementación de la IA en el campo de la diabetes no está exenta de desafíos. La confiabilidad y la seguridad de los algoritmos son cuestiones críticas que deben abordarse adecuadamente. Además, la incorporación de la IA en la atención médica requiere una estrecha colaboración entre médicos, científicos de datos y fabricantes de tecnología para garantizar que los modelos sean precisos, éticos y estén respaldados por evidencia científica sólida. Por tanto, si bien la IA promete beneficios significativos, también plantea desafíos y preocupaciones que deben abordarse cuidadosamente junto con una reflexión de los actores que juegan un rol crítico en los pacientes y en la atención médica en general.

Uno de los principales desafíos de la IA en el contexto de la diabetes es que los modelos de aprendizaje automático se basan en correlaciones y patrones de datos, sin una comprensión intrínseca de la causalidad. Esto significa que los algoritmos pueden identificar relaciones entre variables, como niveles de glucosa en

sangre y actividad física, pero no pueden determinar las verdaderas causas subyacentes. Esto puede llevar a decisiones erróneas o a conclusiones inexactas si no se tiene en cuenta el contexto clínico adecuado.

Los algoritmos de IA aprenden de los datos con los que se les alimenta, y si estos datos contienen sesgos o correlaciones espurias, los modelos resultantes pueden generar resultados incorrectos o engañosos. En el caso de la diabetes, donde existen numerosos factores que pueden afectar los niveles de glucosa, es crucial asegurarse de que los modelos de IA estén entrenados con conjuntos de datos representativos y libres de sesgos. De lo contrario, podríamos encontrarnos con situaciones en las que se tomen decisiones inapropiadas o se pasen por alto problemas importantes. Un ejemplo reconocido es el sesgo racial que pueden ocasionar en su aplicación a diferentes poblaciones, donde un algoritmo de IA destinado a la predicción de un riesgo objetivo podría verse afectado por disminuciones significativas de su rendimiento en etnias específicas [10].

Otro de los problemas de la IA es su falta de interpretabilidad. La mayoría de los algoritmos de IA se consideran “cajas negras” debido a la dificultad de comprender cómo llegan a sus conclusiones. Esto plantea un desafío importante en el contexto de la diabetes, ya que los médicos

y los pacientes necesitan entender y confiar en las recomendaciones y decisiones que se derivan de los modelos de IA. La interpretabilidad y la transparencia son fundamentales para que la IA sea aceptada y adoptada de manera segura en el ámbito clínico.

A este último punto se une las consideraciones éticas y de privacidad que plantea el uso de estas tecnologías en el tratamiento de la diabetes. Para que los sistemas de IA sean efectivos, es necesario recopilar y analizar grandes cantidades de datos de los pacientes, que incluyen información sensible. Es por tanto crucial implementar medidas de seguridad sólidas, como la anonimización de datos y la encriptación, para evitar la divulgación no autorizada y el uso indebido de la información personal de los pacientes.

A medida que los sistemas de IA se vuelven más sofisticados en el manejo de la diabetes, surge la cuestión de quién es responsable de las decisiones tomadas por estos sistemas. Especialmente en medicina, donde un error en un algoritmo puede tener consecuencias graves, es importante cuidar los datos y asegurar la transparencia del modelo utilizado. Además, se deben establecer mecanismos adecuados para que los pacientes comprendan las recomendaciones de la IA y puedan participar activamente en el proceso de toma de decisiones. **D**

REFERENCIAS

1. Contreras, I., & Vehi, J. (2018). Artificial intelligence for diabetes management and decision support: literature review. *Journal of Medical Internet Research*, 20(5), e10775.
2. Vehi, J., Mujahid, O., & Contreras, I. (2022). Artificial Intelligence and Machine Learning for Diabetes Decision Support. In *Advanced Bioscience and Biosystems for Detection and Management of Diabetes* (pp. 259-272). Cham: Springer International Publishing.
3. Tack, C. J., Lancee, G. J., Heeren, B., Engelen, L. J., Hendriks, S., Zimmerman, L., ... & van de Belt, T. H. (2018). Glucose control, disease burden, and educational gaps in people with type 1 diabetes: exploratory study of an integrated mobile diabetes app. *JMIR diabetes*, 3(4), e9531.
4. Contreras, I., Bertachi, A., Biagi, L., Oviedo, S., Ramkissoon, C., & Vehi, J. (2020). Artificial intelligence-based decision support systems for diabetes. In *Artificial Intelligence in Precision Health* (pp. 329-357). Academic Press.
5. Peacock, S., Frizelle, I., & Hussain, S. (2023). A Systematic Review of Commercial Hybrid Closed-Loop Automated Insulin Delivery Systems. *Diabetes Therapy*, 14(5), 839-855.
6. Zhu, T., Li, K., Herrero, P., & Georgiou, P. (2020). Deep learning for diabetes: a systematic review. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25(7), 2744-2757.
7. Ahmad, S., Beneyto, A., Contreras, I., & Vehi, J. (2022). Bolus Insulin calculation without meal information. A reinforcement learning approach. *Artificial Intelligence in Medicine*, 134, 102436.
8. Grzybowski, A., Brona, P., Lim, G., Ruamviboonsuk, P., Tan, G. S., Abramoff, M., & Ting, D. S. (2020). Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye*, 34(3), 451-460.
9. Miotto R, Li L, Kidd BA, Dudley JT. (2016) Deep Patient: An Unsupervised Representation to Predict the Future of Patients from the Electronic Health Records. *Science Reports*, 6(26094).
10. Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453.