

Los gemelos digitales y su impacto en la práctica clínica



Omer Mujahid¹



Oriol Bustos²

Pese a los avances en sensores continuos, bombas y nuevos fármacos, una parte considerable de las personas con diabetes sigue lejos de los objetivos clínicos diarios [1,2]. A la vez, alrededor de seis de cada diez adultos con diabetes tipo 1 no realizan ningún ejercicio estructurado y menos de uno de cada cinco consigue entrenar dos veces por semana [3]. Estas brechas entre recomendación y realidad no solo comprometen la salud, sino que también evidencian la falta de herramientas que ofrezcan seguridad a pacientes y profesionales.

¿Qué son los gemelos digitales?

Un gemelo digital es la representación virtual dinámica de un sistema físico, conectada en tiempo real con dicho sistema. Para diferenciarlo de un simulador estático clásico, debe actualizarse de forma continua con cada dato nuevo, reflejar la fisiología y los hábitos específicos de la persona y permitir la interacción terapéutica, de modo que profesional sanitario y paciente puedan probar intervenciones virtuales y recibir una respuesta inmediata.

En diabetes, estos requisitos se cumplen gracias a modelos basados en inteligencia artificial que aprenden

de enormes volúmenes de datos como los registros de glucosa, insulina, ingesta y actividad física. El enfoque impulsado por datos hace posible que el gemelo digital se adapte de forma constante y capture los cambios fisiológicos diarios.

La Cátedra UdG-Dexcom de Inteligencia Artificial en diabetes y patologías asociadas ha desarrollado prototipos de aprendizaje profundo, término en inglés conocido como *deep learning*, entrenados con millones de registros reales. Con esta estrategia, los gemelos digitales superan las limitaciones de los modelos clásicos definidos por ecuaciones, y ofrecen una representación viva y evolutiva de cada paciente.

¿Uso de gemelos digitales en la práctica clínica?

Imaginemos a un paciente que planea retomar el ciclismo de fin de semana después de años de sedentarismo, o que prevé unas vacaciones familiares con cambios en la rutina diaria y las comidas. El endocrino configura el gemelo digital del paciente y simula distintos horarios, ingestas de comida y ajustes de insulina. El sistema propone cambios de terapia que reducen riesgos y el profesional sanitario los puede validar en tiempo real, de manera remota o en consulta. Así, el plan está op-



timizado antes de que el paciente retome el ciclismo o se vaya de vacaciones. No se trata de predecir minuto a minuto lo que sucederá en la vida real, sino de comparar escenarios y respaldar decisiones terapéuticas a medio plazo con un coste nulo y sin exponer al paciente. También podrá permitir reducir la carga asistencial, especialmente en diabetes tipo 2, donde muchos pacientes no acuden con frecuencia al endocrino. En estos casos, el gemelo digital actuará como una herramienta

que haga de puente entre el profesional sanitario y el paciente, permitiendo un seguimiento más continuo y personalizado de la terapia, facilitando intervenciones proactivas sin necesidad de consultas presenciales frecuentes.

Potencial para el futuro

El valor de los gemelos digitales crecerá a medida que se acerquen más y más a la rutina diaria de las personas con diabetes. Conforme aumente la recolección y disponibilidad de más datos, se fortalecerá el modelo y abre la puerta a variables adicionales: patrones de sueño, clima, ciclos hormonales... Las versiones más preliminares únicamente incorporaban insulina [4]. Actualmente ya suman la ingesta de carbohidratos [5] y la actividad física aeróbica [6].

El camino no está exento de retos: interoperabilidad, aplicabilidad, validación clínica y protección de datos, pero el potencial es claro: acercar la medicina de precisión a la consulta diaria, reducir la incertidumbre terapéutica mediante simulaciones personalizadas, y dar pie a la experimentación sin poner en juego la salud del paciente.

Bibliografía

1. Hanksosky, E. R., Schapiro, D., Gunn, K. B., Lubelczyk, E. B., Mitroi, J., C Nelson, D. R. (2023). Gaps remain for achieving HbA1c targets for people with Type 1 or type 2 diabetes using insulin: Results from NHANES 2009–2020. *Diabetes Therapy*, 14(6), 967-975.
2. Foster, N. C., Beck, R. W., Miller, K. M., Clements, M. A., Rickels, M. R., DiMeglio, L. A., ... C T1D Exchange Clinic Network. (2019). State of type 1 diabetes management and outcomes from the T1D exchange in 2016–2018. *Diabetes technology & therapeutics*, 21(2), 66-72.
3. Farrell, C., John, A. S., Siddiqui, M. K., Barnett, A., McCrimmon, R., C McNeilly, A. (2024). Fear of hypoglycaemia remains a barrier to exercise in type 1 diabetes: a real-world study of barriers and predictive factors. *Diabetologia*, c7(1), LBA-56.
4. Mujahid, O., Contreras, I., Beneyto, A., Conget, I., Giménez, M., C Vehi, J. (2022). Conditional synthesis of blood glucose profiles for T1D patients using deep generative models. *Mathematics*, 10(20), 3741.
5. Mujahid, O., Contreras, I., Beneyto, A., C Vehi, J. (2024). Generative deep learning for the development of a type 1 diabetes simulator. *Communications Medicine*, 4(1), 51.
6. Bustos, O., Soler, J., Mujahid, O., Vehí, J. (2024). Predictive Modeling of Exercise-Induced Glycemic Outcomes Using Generative Deep Learning [Abstract]. *Journal of Diabetes Science and Technology*.

¹ Investigador asociado en el laboratorio de Modelado y Control Inteligente MiceLab (Universitat de Girona). Doctorado en Tecnología. ²Data Scientist en Micelab. Graduado en Ingeniería Biomédica por la Universitat de Barcelona y actualmente cursando un máster en Ciencia de Datos en la Universitat de Girona.