

Dr. Pedro José Pinés Corrales.
Servicio de Endocrinología y Nutrición.
Complejo Hospitalario Universitario de Albacete.



Anticiparse a la hipoglucemia:

el valor de los sistemas predictivos en la monitorización continua de glucosa

LA HIPOGLUCEMIA: UN PROBLEMA TODAVÍA NO RESUELTO

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad crónica con un manejo complicado y exigente que asocia una importante carga para los pacientes, especialmente cuando el plan de tratamiento debe incluir la insulina. Durante décadas, las personas con diabetes tratadas con insulina sólo disponían de las determinaciones de glucosa capilar para obtener información de sus niveles de glucosa, de manera similar al fotograma aislado de una película. La monitorización continua de glucosa (MCG) permitió transformar ese fotograma en una película completa, al mostrar de forma prácticamente continua la evolución de los niveles de glucosa (1).

»

» En nuestro país, los sistemas de MCG se han incorporado progresivamente al Sistema Nacional de Salud a través de acuerdos del Consejo Interterritorial y resoluciones del Ministerio de Sanidad, estando actualmente financiados para cualquier persona en tratamiento con "múltiples dosis de insulina" o "bomba de insulina" independientemente del tipo de diabetes (1).

Sin embargo, a pesar de la importante mejora que supone la MCG y el resto de los avances terapéuticos y tecnológicos de los últimos años, **la hipoglucemia continúa siendo una de las principales limitaciones para alcanzar un control glucémico óptimo en las personas con diabetes tratadas con insulina**. La *American Diabetes Association* (ADA) establece tres niveles de gravedad: nivel 1, glucosa menor de 70 y mayor o igual a 54 mg/dL; nivel 2, glucosa menor de 54 mg/dL, umbral a partir del cual pueden aparecer síntomas neurológicos importantes y que requiere una actuación inmediata; y nivel 3 o hipoglucemia grave, definida por la alteración del estado mental o físico que requiere la ayuda de otra persona, independientemente del valor de glucosa (2).

Conocer la verdadera frecuencia de la hipoglucemia resulta muy complejo, ya que la mayoría de los episodios leves o moderados son tratados por la propia persona y no generan ningún contacto con el sistema sanitario, e incluso los episodios graves no siempre quedan reflejados adecuadamente en las historias clínicas de los pacientes. A pesar de ello, sabemos que la hipoglucemia tiene un impacto muy importante en la utilización de recursos sanitarios, y que afecta de manera considerable a la calidad de vida y a la percepción que el paciente tiene sobre su propia enfermedad (3).

Por esta razón, los objetivos de control glucémico actuales no incluyen únicamente alcanzar un determinado valor de HbA1c. La ADA recomienda que, en la mayoría de los adultos que utilizan MCG, el tiempo por debajo de 70 mg/dL sea menor del 4 % y el tiempo por debajo de 54 mg/dL menor del 1 %, poniendo de manifiesto que evitar la hipoglucemia constituye en sí mismo un objetivo fundamental del tratamiento de la diabetes (2).

LA HIPOGLUCEMIA NOCTURNA: UN RETO ESPECIALMENTE DIFÍCIL DE PREVENIR

La noche representa un periodo de especial vulnerabilidad frente a la hipoglucemia. Durante el sueño disminuye la capacidad para percibir los síntomas y responder adecuadamente ante un descenso de glucosa, mientras que factores ocurridos muchas horas antes, como el ejercicio, el consumo de alcohol, la alimentación o la administración de insulina, pueden seguir condicionando el riesgo. Como consecuencia, una hipoglucemia puede pasar inadvertida y prolongarse antes de que la persona se despierte y pueda actuar para resolverla (4).

La MCG ha permitido conocer mucho mejor este fenómeno, mostrando episodios que anteriormente podían permanecer ocultos al realizar únicamente controles de glucosa capilar. Los datos disponibles aportan, además, un hallazgo especialmente interesante: la principal particularidad de la hipoglucemia nocturna no parece ser una mayor frecuencia, sino su mayor duración y una recuperación más lenta. En un estudio realizado en 185 adultos con DM tipo 1 tratados con múltiples dosis de insulina, los episodios con menos de 70 mg/dL duraron una mediana de 60 minutos durante la noche, frente a 35 minutos durante el día (5).

Resultados más recientes obtenidos en condiciones de vida real confirman esta observación. En más de 4.100 personas con DM tipo 1 o tipo 2 tratadas con múltiples dosis de insulina, las hipoglucemias nocturnas fueron menos frecuentes que las diurnas, pero considerablemente más prolongadas. Además, haber presentado hipoglucemia durante la noche se asoció con alteraciones del perfil glucémico durante el día siguiente y un mayor riesgo de hipoglucemia durante la mañana (6).

Las consecuencias de la hipoglucemia nocturna tampoco terminan necesariamente al recuperar los niveles adecuados de glucosa. La hipoglucemia nocturna puede alterar el sueño y afectar al bienestar, la concentración y el rendimiento durante el día siguiente, además de generar preocupación en las personas con diabetes y sus familiares. Por ello, el reto no consiste únicamente en detectar la hipoglucemia nocturna cuando ya está ocurriendo, sino en disponer de herramientas capaces de anticipar qué noches presentan mayor riesgo y permitir actuar antes de que aparezca.

EVOLUCIÓN DE LA MCG: AVANZANDO HACIA LA PREDICCIÓN

La incorporación de la MCG al manejo de las personas con diabetes ha supuesto un cambio profundo en la forma de gestionar esta enfermedad. Frente a la información puntual proporcionada por la glucemia capilar, los sistemas actuales permiten conocer no solo cuál es el nivel de glucosa en un determinado momento, sino también cómo ha evolucionado durante las horas anteriores y hacia dónde parece dirigirse. De esta forma, a la cifra de glucosa aislada se añadieron las curvas, las flechas de tendencia y las alarmas ante valores altos o bajos.

Las alarmas permiten advertir cuando la glucosa ha alcanzado un determinado umbral y, en algunos sistemas, cuando se prevé que lo alcanzará próximamente. Sin embargo, una flecha de tendencia sigue exigiendo que sea la propia persona quien interprete la información disponible: debe considerar el valor actual de glucosa, la velocidad y dirección del cambio y, en muchas ocasiones, otros factores como la insulina administrada recientemente, la ingesta de hidratos de carbono o la actividad física. Toda esta cantidad de información puede convertirse así, paradójicamente, en una nueva fuente de carga cognitiva.

De este modo, el siguiente paso lógico consistiría en intentar que parte de esa interpretación sea realizada por el propio sistema. La inteligencia artificial puede utilizar la información generada por la MCG y combinarla con otras variables para estimar qué es probable que ocurra con la glucosa antes de que ocurra. De esta forma, **existen modelos de MCG que permiten anticipar el riesgo de glucosa baja durante los siguientes 30 minutos, estimar su evolución durante las** »

LAS ALARMAS PERMITEN ADVERTIR CUANDO LA GLUCOSA HA ALCANZADO UN DETERMINADO UMBRAL Y, EN ALGUNOS SISTEMAS, CUANDO SE PREVÉ QUE LO ALCANZARÁ PRÓXIMAMENTE

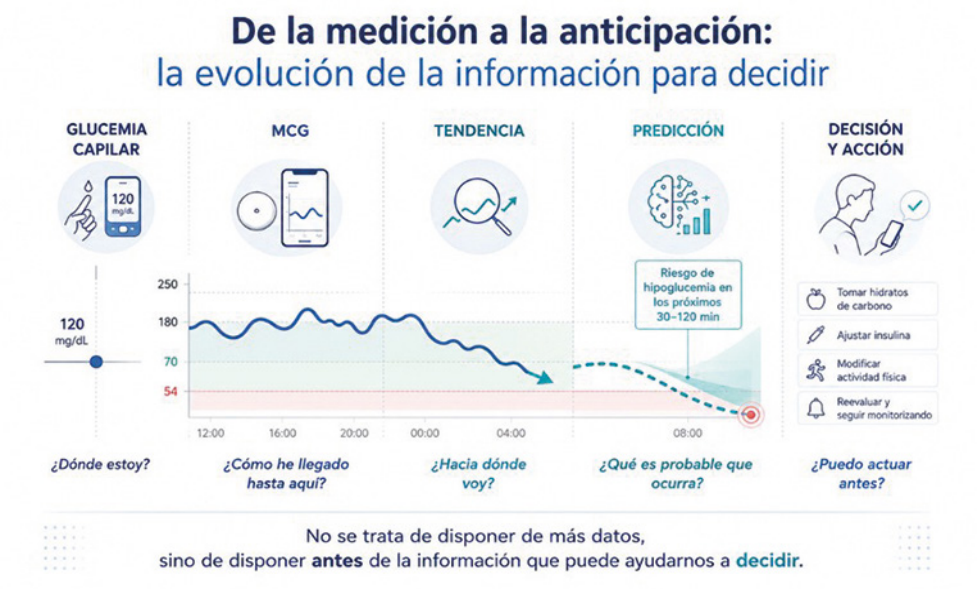


FIGURA 1. De la medición a la anticipación: evolución de la información proporcionada por la monitorización de glucosa. Imagen elaborada mediante inteligencia artificial generativa (ChatGPT, OpenAI), a partir de indicaciones de los autores.

» **próximas horas o calcular antes de acostarse el riesgo de presentar hipoglucemia durante la noche**.

Esta diferencia supone un cambio conceptual importante al pasar de mostrar datos sobre lo que está ocurriendo a proporcionar información sobre lo que probablemente ocurrirá. Así, el objetivo no debería ser añadir nuevas cifras, gráficos o alarmas a las muchas que ya recibe una persona con diabetes, sino transformar los datos disponibles en información sencilla, anticipada y útil para tomar decisiones.

¿PUEDE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL ASOCIADA A LA MCG PREDECIR UNA HIPOGLUCEMIA?

La respuesta inmediata es sí, aunque no todas las predicciones serán igual de sencillas ni ofrecerán el mismo grado de certeza. Estos sistemas predictivos pueden analizar de forma simultánea el valor de glucosa, su evolución reciente y su velocidad de cambio y, en algunos modelos, incorporar además información como la insulina activa, los hidratos de carbono o el momento del día para, de ese modo, predecir la hipoglucemia (7).

El modelo de predicción mejor estudiado es el de glucosa baja durante los siguientes 30 minutos. En una primera evaluación realizada en diferentes poblaciones de personas con DM tipo 1 o tipo 2 y distintas modalidades de tratamiento con insulina, el algoritmo alcanzó una sensibilidad del 95,2 %, una especificidad del 98,9 % y permitió anticipar los episodios de hipoglucemia una media de aproximadamente 16 minutos. Los resultados fueron diferentes cuando se intentó predecir, antes de acostarse, el riesgo de hipoglucemia durante toda la noche: la sensibilidad fue del 55,3 %, con una especificidad del 91,6 %. Estos datos muestran una característica fundamental de los algoritmos predictivos: cuanto más lejano es el horizonte temporal y mayor es la incertidumbre sobre lo que ocurrirá durante ese periodo, más difícil resulta realizar una predicción precisa (8).

Más recientemente, la capacidad para anticipar una glucosa baja durante los siguientes 30 minutos se ha evaluado utilizando como referencia no solo los valores de MCG, sino también determinaciones de glucosa capilar. En un análisis que agrupó 2.709 días de registro de 85 personas, el algoritmo mostró frente a glucemia capilar una sensibilidad del 87,1 % y una especificidad del 97,4 %. Cuan- »

CONOCER LA VERDADERA FRECUENCIA DE LA HIPOGLUCEMIA RESULTA MUY COMPLEJO, YA QUE LA MAYORÍA DE LOS EPISODIOS LEVES O MODERADOS SON TRATADOS POR LA PROPIA PERSONA Y NO GENERAN NINGÚN CONTACTO CON EL SISTEMA SANITARIO, E INCLUSO LOS EPISODIOS GRAVES NO SIEMPRE QUEDAN REFLEJADOS ADECUADAMENTE EN LAS HISTORIAS CLÍNICAS DE LOS PACIENTES

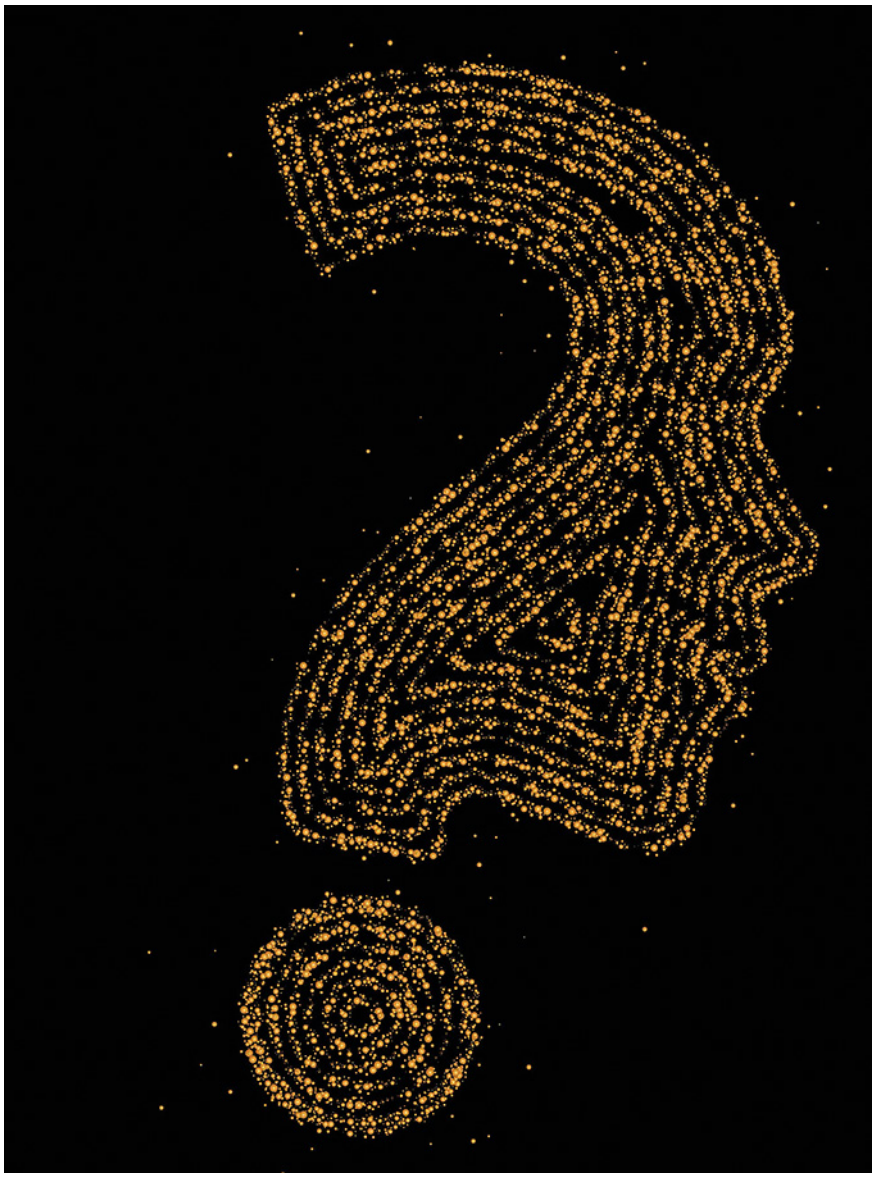
» do la referencia utilizada fue la propia MCG, la sensibilidad alcanzó el 94,4 % y la especificidad el 98,3 %, con un tiempo medio de anticipación cercano a 15 minutos (9).

De este modo, estos resultados muestran que **es técnicamente posible identificar con una precisión elevada muchas situaciones de riesgo antes de que la glucosa alcance valores bajos**.

DE LA PREDICCIÓN A LA PREVENCIÓN: ¿QUÉ SABEMOS HASTA AHORA?

Demostrar que un algoritmo puede anticipar una hipoglucemia es importante, sin embargo, no debemos olvidar que el objetivo final no es predecir la hipoglucemia sino prevenirla. Para ello, la información debe llegar con suficiente antelación, ser interpretada correctamente y permitir una actuación que evite o reduzca la intensidad del episodio sin provocar, por ejemplo, una hiperglucemia posterior.

Una primera aproximación a esta cuestión se ha realizado mediante simulación. En un estudio reciente se utilizaron 204 gemelos digitales de personas con diabetes tipo 1, construidos a partir de datos de un estudio clínico y que reprodujeron cerca de 30.000 días de monitorización. Cuando se simularon actuaciones de los usuarios basadas en diferentes predicciones, el tiempo por debajo de 70 mg/dL disminuyó 2,9 puntos porcentuales, mientras que el tiempo en rango aumentó más de 3,6 puntos porcentuales. »





» Además, el número de alarmas convencionales por glucosa baja se redujo un 67 % (10). Estos resultados permiten plantear que disponer de información predictiva podría ayudar no solo a prevenir hipoglucemias, sino también a disminuir algunas de las alarmas generadas cuando la glucosa ya está baja. Sin embargo, se trata de una simulación y no de intervenciones realizadas por personas en condiciones de vida real.

Precisamente, los primeros datos procedentes de la práctica clínica habitual muestran, en un análisis retrospectivo de 249 personas con diabetes, que las noches en las que se utilizó la predicción del riesgo de hipoglucemia para las siete horas siguientes se asociaron con una menor exposición a glucosa baja. Además, es importante destacar que esta reducción no se acompañó de un incremento aparente de la hiperglucemia nocturna (11).

De este modo, los resultados actuales son prometedores, pero deben ser interpretados con cautela por las limitaciones propias de los estudios descritos. A estas limitaciones de la evidencia científica actual se añaden otras relacionadas con la propia utilización de la tecnología. **Las predicciones deben siempre interpretarse como una probabilidad y no como una certeza**, al igual que ocurre con las predicciones de buen tiempo durante el próximo puente. Los falsos positivos (una indicación de riesgo de hipoglucemia que finalmente no ocurre) pueden generar alarmas innecesarias y favorecer actuaciones excesivas, como una ingesta preventiva de hidratos de carbono que termine provocando hiperglucemia. Por el contrario, una predicción que no identifique un episodio de hipoglucemia puede generar una falsa sensación de seguridad. Así, el equilibrio entre sensibilidad y especificidad, la personalización de las alertas y una adecuada educación de las personas con diabetes serán determinantes.

Finalmente, disponer de más información no debería traducirse en una mayor carga de enfermedad para las personas con diabetes. La MCG aporta numerosos datos que deben ser analizados e interpretados por el paciente, por lo que añadir predicciones, aprovechando la utilidad de sistemas de inteligencia artificial, podría facilitar la toma de decisiones sin aumentar la carga asociada de enfermedad. El verdadero avance no consiste en aportar un mayor número de datos, sino en aportar al paciente información comprensible, personalizada y clínicamente útil. D

ESTOS RESULTADOS PERMITEN PLANTEAR QUE DISPONER DE INFORMACIÓN PREDICTIVA PODRÍA AYUDAR NO SOLO A PREVENIR HIPOGLUCEMIAS, SINO TAMBIÉN A DISMINUIR ALGUNAS DE LAS ALARMAS GENERADAS CUANDO LA GLUCOSA YA ESTÁ BAJA

CONCLUSIONES

1. La hipoglucemia continúa siendo una importante limitación del tratamiento con insulina, especialmente durante la noche.
2. La MCG ha evolucionado desde mostrar qué está ocurriendo hasta permitir anticipar qué puede ocurrir.
3. Los algoritmos predictivos pueden identificar con antelación situaciones de riesgo de hipoglucemia, aunque su precisión disminuye al aumentar el horizonte temporal.
4. Los primeros datos de simulación y vida real son prometedores, pero necesitamos estudios prospectivos que confirmen su capacidad para prevenir la hipoglucemia.
5. El verdadero valor de la predicción no será ofrecer más datos, sino información anticipada, sencilla y útil para tomar mejores decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Actualización en los sistemas de monitorización continua de glucosa en diabetes. Eva Solá Izquierdo. Consultado el 28-08-2026. Disponible en: https://www.revistadiabetes.org/tecnologia/actualizacion-en-los-sistemas-de-monitorizacion-continua-de-glucosa-en-diabetes/
2. American Diabetes Association Professional Practice Committee for Diabetes. Glycemic Goals, Hypoglycemia, and Hyperglycemic Crises: Standards of Care in Diabetes-2026. Diabetes Care. 2026; 49 (Supplement_1): S132-S149. doi: 10.2337/dc26-S006.
3. Kaur J, Seaquist ER. Hypoglycaemia in type 1 diabetes mellitus: risks and practical prevention strategies. Nat Rev Endocrinol 2023;19(3):177–86.
4. Kulzer B, Freckmann G, Ziegler R, Schnell O, Glatzer T, Heinemann L. Nocturnal Hypoglycemia in the Era of Continuous Glucose Monitoring. J Diabetes Sci Technol. 2024; 18: 1052-1060. doi: 10.1177/19322968241267823.
5. Eichenlaub M, Öter S, Waldenmaier D, Kulzer B, Heinemann L, Ziegler R, Schnell O, Glatzer T, Freckmann G. Characteristics of Nocturnal Hypoglycaemic Events and Their Impact on Glycaemia. J Diabetes Sci Technol. 2024; 18: 1035-1043. doi: 10.1177/19322968241267765.
6. Mitter M, Theodorou D, Ruch B, Glatzer T, Zivkovic J. Nocturnal Hypoglycemia: Characterization with Continuous Glucose Monitoring in a Real-World Setting. Diabetes Technol Ther. 2025; 27: 890-898. doi: 10.1177/15209156251369884.
7. Glatzer T, Ringemann C, Militz D, Mueller-Hoffmann W. Concept and Implementation of a Novel Continuous Glucose Monitoring Solution With Glucose Predictions on Board. J Diabetes Sci Technol. 2024; 18: 1004-1008. doi: 10.1177/19322968241269927.
8. Herrero P, Andorrà M, Babion N, Bos H, Koehler M, Klopfenstein Y, Leppäaho E, Lustenberger P, Peak A, Ringemann C, Glatzer T. Enhancing the Capabilities of Continuous Glucose Monitoring With a Predictive App. J Diabetes Sci Technol. 2024; 18: 1014-1026. doi: 10.1177/19322968241267818.
9. Glatzer T, Peak A, Leppäaho E, Lustenberger P, Herrero P, Andorrà M, van Maren E. Efficacy of an AI-Enabled Low Glucose Prediction: A Pooled Performance Analysis With Capillary Blood Glucose as Ground Truth. J Diabetes Sci Technol. 2026: 19322968251412451. doi: 10.1177/19322968251412451.
10. Herrero P, Andorrà M, Breton MD, Peak A, Koehler M, Klopfenstein Y, Leppäaho E, Zanon M, Ringemann C, Lustenberger P, Glatzer T. Glucose Predictions Improve Glycemic Control: A Digital Twin Evaluation. Diabetes Technol Ther. 2026:15209156261432144. doi: 10.1177/15209156261432144.
11. Bogaarts G, Mitter M, Bailey TS, Glatzer T, Theodorou D. Control of nocturnal hypoglycemia by CGM-based AI-enabled nocturnal hypoglycemia prediction: A retrospective analysis of real-world data. Diabetes Res Clin Pract. 2026; 234: 113188. doi: 10.1016/j.diabres.2026.113188.