

Sistema IoT para la Monitorización de Glucosa en Tiempo Real: Empoderando el Cuidado y la Prevención de Diabetes

José L. López Ruiz¹, Juan F. Gaitán Guerrero¹, Carmen Martínez Cruz¹, David Díaz Jiménez¹, Jesús González Lama² y Macarena Espinilla Estévez¹

Resumen—El uso extendido de dispositivos pertenecientes al Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado los sistemas de monitorización, impulsando avances en diversos ámbitos sociales. Este estudio presenta una arquitectura IoT de vanguardia para la monitorización de la glucosa en tiempo real en el contexto del Internet de las Cosas Médicas, enfatizando su capacidad para permitir una recogida rigurosa de muestras, en tiempo y precisión. El objetivo principal de este sistema es monitorizar de forma continua los niveles de glucosa utilizando el sensor Freestyle Libre 3, logrando así un impacto significativo en la gestión de la salud de los pacientes afectados por diabetes y previniendo de forma proactiva la aparición de la enfermedad. Para garantizar la eficacia del sistema, se lleva a cabo una evaluación cuantitativa, centrada tanto en la duración de la batería como en la recogida sin interrupciones de muestras en tiempo real. Esta evaluación garantiza la fiabilidad, eficiencia y capacidad del sistema para proporcionar datos sanitarios vitales de manera temprana. Además, esta contribución incluye una evaluación de la alineación del sistema con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que demuestra sus posibles contribuciones a objetivos sociales, económicos y medioambientales más amplios. Esta investigación pone de manifiesto el potencial transformador de la tecnología IoT en la atención sanitaria, que ofrece oportunidades sin precedentes para el seguimiento continuo de la salud y la intervención proactiva.

Palabras clave—Internet de las Cosas Médicas, Monitorización de Glucosa en Tiempo Real, Sistema de Monitorización, Diabetes, Tecnología para la Salud, Sensor Freestyle Libre 3

I. INTRODUCCIÓN

ACTUALMENTE, el Internet de las Cosas (IoT) está siendo ampliamente utilizado en diversos campos. El IoT, como tecnología que permite la comunicación entre distintos dispositivos conectados a Internet, ha logrado alcanzar una transformación en numerosos servicios, traduciéndose en una mejora en la calidad de los mismos.

La prevalencia de la tecnología IoT es evidente en numerosos ámbitos, incluyendo el hogar [1], las ciudades inteligentes [2], la agricultura [3], y notablemente, la salud [4][5]. Por ejemplo, en entornos domésticos, estos sistemas pueden utilizarse para garantizar el seguimiento en tiempo real de la ubicación de los pacientes [6], evitando incidentes indeseables como las caídas.

La tecnología IoT sirve de base para los sistemas de monitorización, con la pretensión de controlar ca-

racterísticas específicas a través de dispositivos inteligentes y/o sensores. Estos sistemas abarcan la recopilación y limpieza de datos, su almacenamiento, e incluso el procesamiento inteligente de los mismos para una valiosa extracción de información. En el campo de la salud, esta adquisición de conocimiento ayuda a los profesionales sanitarios al diagnóstico y control de la enfermedad.

Mientras que este tipo de sistemas facilitan varios aspectos sociales, existe una creciente necesidad de analizar su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a menudo pasados por alto en algunos estudios, tal y como indican Espinosa et al. [7].

En el presente, la diabetes está haciéndose cada vez más frecuente en todo el mundo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la diabetes es una enfermedad crónica [8] causada bien por una insuficiente producción, por parte del páncreas, de insulina, o por una utilización ineficiente de la misma por parte del organismo. Consecuentemente, los pacientes con diabetes experimentan episodios de hiperglucemia, caracterizados por aumentos en los niveles de azúcar en sangre descontrolados que pueden derivar en complicaciones severas si no se tratan.

En 2021, la Federación Internacional de Diabetes [9] reportó que 537 millones de adultos (en edades de 20 a 79 años) padecieron la enfermedad (1 de cada 10 pacientes). Se prevé que esta cifra aumente hasta alcanzar los 643 millones de personas en 2030, e incluso 783 millones para 2045. Sólo Europa cuenta con 61 millones de adultos con diabetes (1 de cada 11), de los cuales el 36 % desconoce el diagnóstico. Los costes sanitarios en relación a la diabetes supusieron un total de 189 billones de dólares en 2021, a la vez que 1,1 millones de muertes fueron registradas a causa de esta enfermedad.

La diabetes se clasifica en tres tipos comúnmente. El primer tipo es la diabetes gestacional, donde los pacientes experimentan episodios de hiperglucemia con niveles de azúcar por encima de los normales, pero por debajo de aquellos asociados al padecimiento de diabetes. El segundo tipo es la diabetes mellitus de tipo 2, causante de altos niveles de glucemia a causa de un uso ineficaz de la insulina por parte del organismo. En ambos casos, el tratamiento a través de pastillas o, incluso inyecciones de insulina suele requerirse. Finalmente, la diabetes mellitus de tipo 1 envuelve la deficiente producción de insulina por el páncreas, emergiendo así la necesidad diaria de administración de insulina en el paciente.

¹Dpto. de Ingeniería Informática, Universidad de Jaén, e-mail: {llopez, jgaitan, cmcruz, ddjimene, mestevez}@ujaen.es

²Hospital Universitario Reina Sofía, e-mail: jegonla@telefonica.net

Los sistemas de monitorización, combinados con el IoT, pueden convertirse en una poderosa herramienta para ensalzar la calidad de vida de los pacientes con diabetes, ayudando al diagnóstico de esta condición, e incluso previniendo su inicio. Ello conduce a una reducción de la mortalidad y de los costes en sanidad asociados a la diabetes. Así, este artículo introduce un sistema IoT de monitorización en tiempo real, diseñado para el control de los niveles de glucosa en pacientes a través del uso del sensor Freestyle Libre 3 [10]. Además, se incluye una aplicación web para el acceso a los últimos valores de glucosa registrados, así como los datos históricos relativos al paciente. En comparación con otras aplicaciones como Nightscout, permite que los datos de cualquier paciente que quiera hacer uso del sistema puedan ser enviados y consultados. Igualmente, la robustez del sistema es evaluada en relación a la vida útil de la batería y al número de muestras recogidas, siendo estas dos características cruciales en los pacientes con diabetes.

Por último, la evaluación de este sistema propuesto en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es de suma importancia, ya que nos permite valorar su posible impacto positivo en aspectos sociales, económicos y medioambientales más amplios. Además, esta evaluación presenta la alineación del sistema propuesto con ODS específicos, lo que nos permite comprender cómo aborda cuestiones clave de sostenibilidad y contribuye a la consecución de la agenda global para un futuro más sostenible e inclusivo.

A continuación se exponen las secciones que componen el documento. En primer lugar, en la Sección II se realiza una breve revisión bibliográfica de los trabajos relacionados. Seguidamente, en la Sección III, el sistema de monitorización de glucosa es presentado. Después, en la Sección IV, una evaluación cuantitativa del sistema es llevada a cabo en relación a la duración de la batería y las muestras recogidas. Finalmente, en la Sección V se lleva a cabo una alineación del sistema con los ODS y, en la Sección VI, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro derivados de esta propuesta.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

En el ámbito de la salud, numerosos trabajos [4] pretenden la monitorización y control de diversos problemas de salud con la meta común de mejorar la calidad de vida de las personas. Dentro de este dominio, el IoT es comúnmente referido como el Internet de las Cosas Médicas (IoMT). Una entre estas investigaciones, de Bhardwaj et al. [5], alude a un sistema diseñado para identificar pacientes con COVID-19 a través de la monitorización de la presión sanguínea, el ritmo cardíaco, el nivel de oxígeno y la temperatura.

En cuanto al tema abordado en esta investigación, algunos trabajos ponen el foco en la diabetes [11]. Por un lado, algunos optan por tecnologías no invasivas que abarcan la utilización de sensores basados

en resonadores múltiples de anillo partido [12], o por fotoplethysmogramas a través de un teléfono inteligente (PPG) [13]. Sin embargo, estas tecnologías experimentales pueden no proporcionar muestras fiables y carecen de una arquitectura y un método de muestreo de datos aplicables al mundo real.

Por otra parte, la literatura incluye trabajos que hacen uso de sensores invasivos. En estos casos, la investigación está focalizada en metodologías para el procesamiento inteligente de la información, sin incluir la adquisición continua de valores de glucosa en tiempo real. Por ejemplo, el estudio de Whelan et al. [14] evalúa la experiencia de diabéticos con el sensor Freestyle Libre 2, pero esta versión del dispositivo no proporciona datos continuos y requiere la interacción del paciente con el sensor. También, Nasser et al. [15] proponen un prototipo para la monitorización continua de glucosa, propuesta que no incluye un sistema real.

Modelos basados en aprendizaje automático [15][16] o aprendizaje profundo [15] son principalmente utilizados para dos tipos diferentes de predicción. El primer tipo predice valores de glucosa a futuro, para anticipar episodios de hipoglucemia o hiperglucemia que puedan ser perjudiciales para el paciente. La predicción de glucosa a menudo se realiza a corto plazo (entre 30 y 60 minutos). Por ejemplo, Nasser et al. [15] presentan una metodología para la predicción de los niveles de glucosa en un futuro próximo de 30 minutos a través del uso de un modelo de aprendizaje profundo. El segundo tipo de predicción focaliza en si una persona padece diabetes o no [17][16]. En este caso, otras características son usualmente usadas además de los niveles de glucosa para determinar si una persona es diabética. En el trabajo de Padhy et al. [17], un total de 14 atributos son utilizados, como la edad, el género, el historial familiar, la actividad física y la presión sanguínea, entre otros.

En última instancia, cabe destacar como todos estos trabajos de investigación carecen de una evaluación desde el punto de vista sostenible. Si bien algunos trabajos de los mencionados contribuyen con la sostenibilidad en los ámbitos de la energía, la industria, el crecimiento económico e incluso la sanidad, ninguna de ellas aborda explícitamente los ODS.

III. PROPUESTA DE SISTEMA PARA LA MONITORIZACIÓN DE GLUCOSA EN TIEMPO REAL

En esta sección, proponemos un sistema IoT de monitorización para el control de glucosa en tiempo real.

Ante todo, es esencial definir qué es la glucosa y cómo se mide. La glucosa en sangre se refiere al azúcar presente en sangre en un momento determinado, y es medida en miligramos de azúcar por decilitro (mg/dL).

Actualmente, los pacientes con diabetes, especialmente aquellos con diabetes mellitus de tipo 1 y tipo 2, utilizan un glucómetro para la medición de sus

niveles de azúcar. Un glucómetro es un dispositivo que mide la glucosa capilar utilizando una gota de sangre obtenida del dedo. Este proceso involucra dos elementos: la lanceta y la tira reactiva. La lanceta se utiliza para pinchar el dedo y extraer una pequeña gota de sangre, mientras que la tira reactiva reacciona con la sangre para determinar el nivel de glucosa. Por último, el glucómetro analiza la tira reactiva para proporcionar la lectura de glucosa en sangre en mg/dL. Todos estos elementos son presentados en la Figura 1.



Fig. 1: Elementos necesarios para medir glucosa: a) aguja, b) lanceta, c) tira reactiva y d) glucómetro.

El proceso para la medida de glucosa en sangre es doloroso, especialmente para pacientes con diabetes mellitus de tipo 1, los cuales necesitan obtener una muestra 10 veces al día. Adicionalmente, esto supone un gasto importante en materiales no reutilizables, como lancetas y tiras reactivas. Por tanto, este proceso podría beneficiarse de una perspectiva más sostenible.

A. Sensor de glucosa

Para la obtención de medidas de glucosa en intervalos regulares, existen soluciones comerciales que, a diferencia de los glucómetros tradicionales que miden la glucosa capilar, estos dispositivos utilizan la glucosa proveniente del flujo intersticial, el cual se origina en el intercambio entre las células del tejido y la sangre.

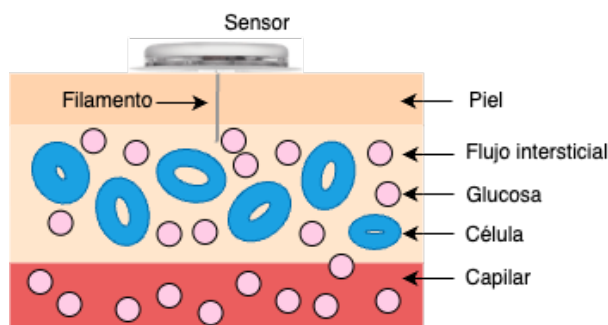


Fig. 2: Ejemplo de un sensor colocado en la piel de una persona.

La principal diferencia es que presenta un retraso de 5 a 10 minutos con respecto a las lecturas de

glucosa capilar, y ambas mediciones sólo coinciden durante los momentos estables. Por ejemplo, cuando un usuario consume una comida, los valores no coincidirán y presentarán un ligero retraso.

Este tipo de sensores están compuestos por un electrodo o filamento. Este elemento se coloca a nivel subcutáneo mediante un aplicador, y mide los valores de glucosa intersticial a través de una reacción enzimática, proporcionando lecturas a intervalos regulares. Un ejemplo del sensor aplicado en la piel de una persona puede observarse en la Figura 2.

En este trabajo de investigación, se hace uso del sensor comercial Freestyle Libre 3 [10], cuyas características son reflejadas en la Tabla I.

Tabla I: Características del sensor de glucosa.

Tamaño (diámetro x grosor)	21 × 2,9 mm
Batería	14 días
Reutilizable	No
Frecuencia de transmisión de datos	5 minutos
Tipo de conexión	Bluetooth Low Energy (BLE)
Coste aproximado	59.91€

B. Arquitectura del sistema

Para monitorizar al usuario que lleva colocado el sensor, es necesario establecer una arquitectura para el envío y almacenamiento de los datos. La arquitectura del sistema consiste en dos capas: la capa en la niebla y la capa en la nube, tal y como se ilustra en la Figura 3.

En la capa en la niebla el sensor de glucosa se fija al cuerpo del usuario, junto con un nodo *fog*. Se recomienda colocar el sensor en la parte superior del brazo, en una zona con una mínima actividad muscular para evitar cualquier molestia durante los posibles movimientos del paciente. Este sensor envía las muestras generadas de glucosa cada 5 minutos.

Por otra parte, el nodo *fog* consiste en un teléfono inteligente equipado con las tecnologías *Near-Field Communication* (NFC) y *Bluetooth Low Energy* (BLE). El primer paso para iniciar la comunicación con el sensor es utilizar NFC colocando el teléfono cerca del sensor; la conexión una vez establecida derivará en el envío por parte del sensor de las medidas de glucosa de forma continuada, sin el requerimiento de cualquier otra acción. Todos los datos son recibidos, procesados y enviados a un servicio RESTful a través de la aplicación de Diabox [18], la cual es exclusiva para dispositivos Android.

Para establecer la comunicación con el servicio RESTful desplegado en la nube, es necesario seguir el esquema proporcionado por Nightscout [19]. Este servicio recoge los datos enviados por el nodo *fog* y los almacena de forma persistente en una base de datos de tipo MongoDB.

Cada muestra de glucosa se almacena en la base de datos de MongoDB en un documento con formato

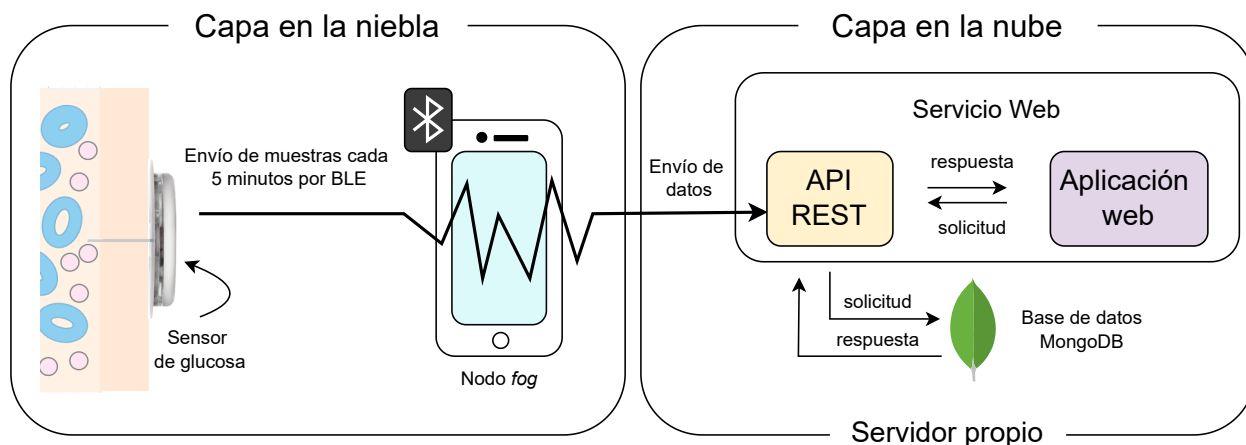


Fig. 3: Arquitectura propuesta para la Comunicación con el Sistema de Monitorización.

JSON. Por cada muestra, los campos más relevantes se refieren a:

- **sgv**: indica el nivel de glucosa en mg/dL.
- **dateString**: indica el instante de tiempo en que se ha recogido la muestra.
- **utcOffset**: offset en minutos que se aplicará a la fecha. En este caso la fecha real sería: "2022-12-24T16:41:17".

No obstante, se incluye a continuación el listado con una ejemplificación de una muestra aleatoria recogida:

- **"date"**: 1671896477434,
- **"dateString"**: "2022-12-24T15:41:17.434Z",
- **"sgv"**: 115,
- **"delta"**: 8.007,
- **"direction"**: "FortyFiveUp",
- **"type"**: "sgv",
- **"filtered"**: 127000,
- **"unfiltered"**: 127000,
- **"rssi"**: 100,
- **"noise"**: 1
- **"sysTime"**: "2022-12-24T15:41:17.434Z",
- **"utcOffset"**: 60

De forma adicional, se ha desarrollado una aplicación web para mostrar los datos de glucosa a los pacientes. A diferencia de otros servicios como Nightscout, esta aplicación permite el acceso remoto centralizado a los datos de glucosa para cualquier persona que desee enviar sus datos a través de nuestra plataforma. Aunque dicha herramienta está limitada, cuenta con integración en aplicaciones de terceros como xDrip+ o Diabox que permiten la comunicación con el sensor y la recogida de datos. Por tanto, nuestro prototipo implementa el mismo tipo de peticiones establecidas por el servicio RESTful API de Nightscout [19] para poder reutilizar este tipo de aplicaciones.

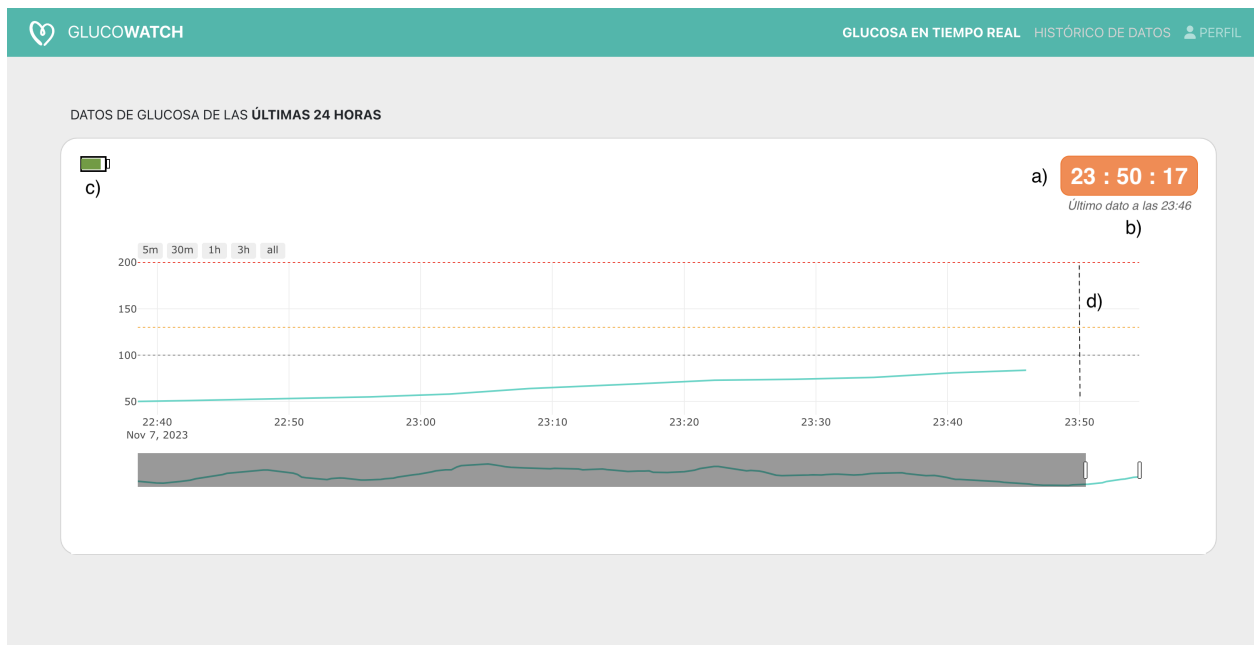
Para poder identificar al paciente se utiliza el código de seguridad solicitado en la herramienta Nightscout. En nuestro caso, este código alfanumérico de 12 caracteres (por ejemplo, wyQ9e9jFY5rt) sirve para

identificar al paciente. Este código se facilita cuando el usuario se registra y es único. Aunque el sistema puede admitir un gran número de pacientes, el prototipo se ha probado con un grupo reducido de personas, ya que el sistema cuenta con recursos limitados.

Esta aplicación web ofrece dos tipos de monitorización: la glucosa en tiempo real y los datos históricos para el usuario. La monitorización en tiempo real ofrece una vista inmediata de los datos de la última hora, junto con la fecha de la última muestra enviada y el estado de la batería del teléfono inteligente utilizada para la transmisión de datos. El gráfico en tiempo real también incluye un control deslizante para ver los datos de las últimas 24 horas, y se actualiza automáticamente con los nuevos datos de glucosa. Este tipo de monitorización se ilustra en la Figura 4.

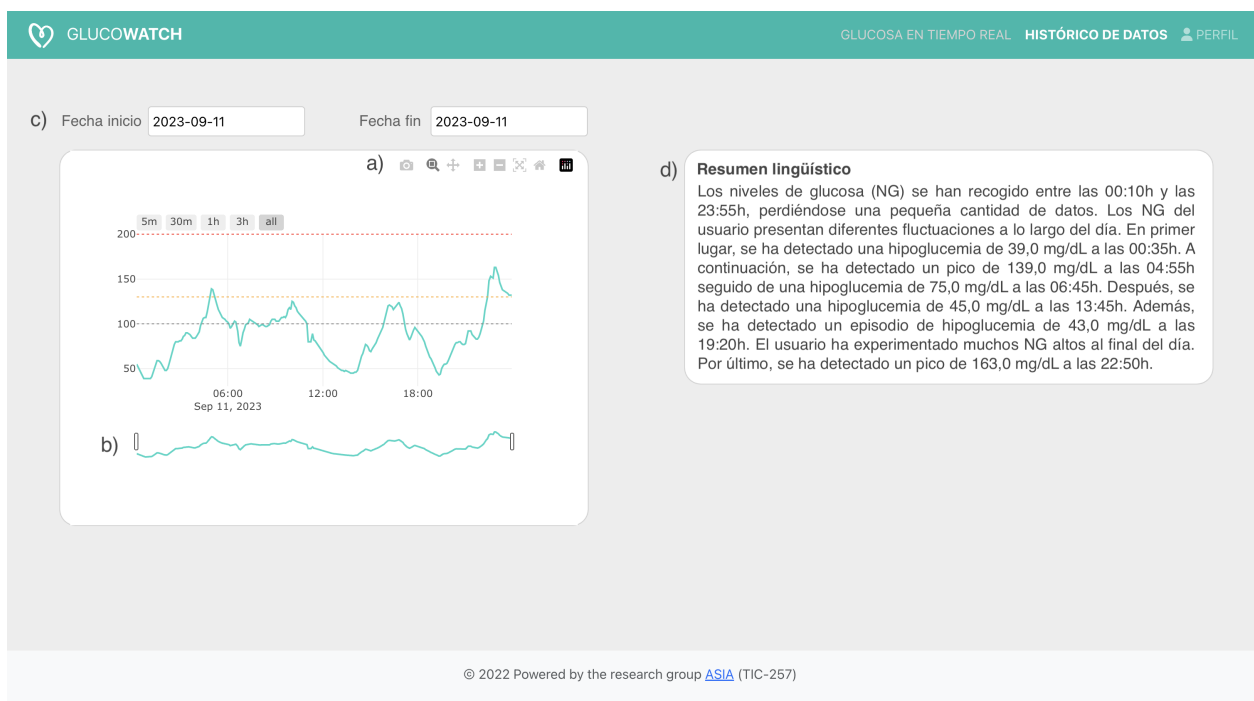
El segundo tipo de monitorización permite a los usuarios consultar datos históricos de glucosa. Estas consultas permiten filtrar intervalos de tiempo entre dos fechas. Si los días de inicio y final coinciden, sólo se mostrarán los datos históricos de ese día en concreto. Además, se incluye un resumen lingüístico de los eventos más relevantes dentro de ese intervalo de tiempo. Este segundo tipo de seguimiento se ilustra en la Figura 5.

En ambos casos, los datos de glucosa se visualizan mediante gráficos de líneas, con los que los usuarios pueden interactuar mediante diversas acciones: desplazamiento en el eje X, zoom, un control deslizante para acotar el intervalo de tiempo con diferentes opciones de paso (5 minutos, 1 hora o sin límite), reinicio al estado inicial y exportación del gráfico como imagen PNG. Además, se incluyen tres líneas horizontales para representar los niveles de glucosa definidos por la Asociación Americana de Diabetes (ADA) [20]: normal (gris), medio (naranja) y alto (rojo).



© 2022 Powered by the research group ASIA (TIC-257)

Fig. 4: Interfaz de la aplicación web (propia) para el primer tipo de monitorización: a) Hora actual, b) Instante en que se recibió la última muestra, c) Batería restante del smartphone y d) Barra vertical que muestra el minuto actual.



© 2022 Powered by the research group ASIA (TIC-257)

Fig. 5: Interfaz de la aplicación web (propia) para el segundo tipo de seguimiento: a) Acciones disponibles, b) Control deslizante para modificar el intervalo de tiempo, c) Formulario de consulta entre dos fechas y d) Resumen lingüístico del intervalo de tiempo filtrado.

IV. EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EFICACIA DEL SISTEMA PROPUESTO DE MONITORIZACIÓN DE LA GLUCOSA EN TIEMPO REAL

En esta sección se llevará a cabo una evaluación cuantitativa de la eficacia del sistema de monitorización de glucosa en tiempo real propuesto. Esta evaluación tendrá en cuenta varios factores, como el número de muestras perdidas, la duración real de la batería del sensor y el rendimiento global del sistema. Para probar la arquitectura, se utilizó un sensor

en un usuario y se recogieron muestras hasta que se agotó la batería del sensor (de forma continua durante 14 días).

El periodo de recogida de datos abarca desde el 24 de diciembre de 2022 (15:36h) hasta el 7 de enero de 2023 (13:21h), definido en función de la primera y la última muestra recibida. En total, el sensor ha funcionado durante el 99,33 % del tiempo establecido por el fabricante (14 días).

En cuanto a las muestras, considerando una frecuencia de muestreo de 5 minutos, se esperaban 4005

muestras en ese lapso de tiempo. El sistema ha recogido con éxito un total del 91,3% de las muestras previstas. Del 8,7% de muestras perdidas, el 7,1% se omitieron intencionadamente para comprobar si el sensor podía almacenar datos temporalmente hasta volver a conectarse con el nodo de niebla. Así pues, el sistema capturó efectivamente el 98,4% del total de muestras. Además, se observó que, en ocasiones, las lecturas del sensor experimentaban ligeros retrasos, lo que provocaba una pérdida parcial de las muestras esperadas.

En base a los resultados, se puede concluir que el sensor ha funcionado como se esperaba según las especificaciones del fabricante (99,33%). Además, la conexión y la transmisión de muestras han sido sólidas y fiables (98,4%), lo cual es crucial para los pacientes diabéticos de tipo 1, ya que necesitan un sistema fiable en todo momento. Una limitación es que el sensor no puede almacenar muestras cuando el nodo fog no está disponible.

Estos hallazgos están reflejados en la Figura 6 y los datos usados para la evaluación se presentan en la Tabla II.

Tabla II: Datos utilizados para la evaluación.

Lapso de recogida de datos			
Start	2022-12-24 15:36	End	2023-01-07 13:21
Nº muestras estimadas		4005	
Nº muestras recogidas		3656	

Periodos de prueba	
Comienzo	Fin
2023-1-3 00:50	2023-1-3 07:48
2023-1-4 22:35	2023-1-5 07:29
2023-1-5 23:32	2023-1-6 07:23
Nº muestras perdidas	
284	

Ej. muestras con frecuencia alterada		
Timestamp 1	Timestamp 2	Intervalo
2022-12-25 17:17	2022-12-25 17:24	7
2022-12-25 18:05	2022-12-25 18:13	8
2022-12-25 22:58	2022-12-25 23:04	6

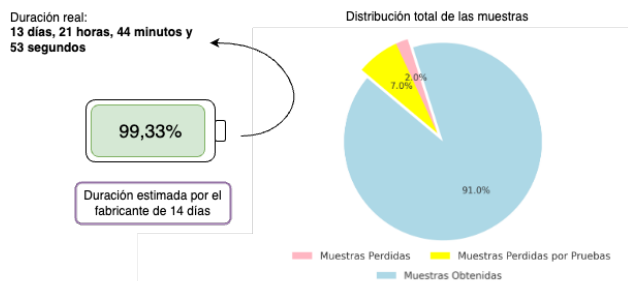


Fig. 6: Resumen de los resultados obtenidos en el análisis cuantitativo.

V. ALINEAMIENTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En el año 2015, las Naciones Unidas (NU) establecieron en la Agenda 2023 la necesidad de realizar un llamamiento urgente a la acción por parte de todos los países. Esta agenda abarca un total de 17 ODS, 169 metas, y 232 indicadores. Por lo tanto, es esencial llevar a cabo una evaluación de este trabajo desde una perspectiva sostenible.

Se trata de una evaluación crucial para la implementación del sistema en el mundo real, pues nos permite saber cómo afecta a nuestra sociedad y al medio ambiente. Además, proporciona otro tipo de métrica para comparar sistemas existentes. En la literatura, hay estudios [21][22] que proponen metodologías para la evaluación de este tipo de sistemas de forma exhaustiva. En cambio, este artículo realiza una evaluación generalista de este sistema enumerando los principales ODS con los que se considera que el sistema de monitorización propuesto está alineado.

Primeramente, consideramos que el sistema propuesto en este documento pretende reemplazar los métodos tradicionales de muestreo de glucosa a través del uso de un glucómetro. Por una parte, creemos que la propuesta presentada establece un nuevo servicio en el contexto sociosanitario para asistir a los pacientes y proporcionar un medio para la gestión de la enfermedad por parte de los profesionales médicos. Consecuentemente, consideramos la alineación del sistema con el ODS 3: Salud y bienestar.

Por otro lado, se estima que los pacientes que padecen diabetes de tipo 1 usen un glucómetro 10 veces al día. A través de la sustitución de este método por el sistema propuesto, se abolirá la necesidad de uso de 140 agujas y tiras reactivas en un período de 14 días. Por lo tanto, consideramos que el sistema se alinea con el ODS 12: Producción y Consumo Responsable.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este documento presenta un sistema de monitorización de la glucosa en tiempo real para pacientes con diabetes. El sistema propuesto utiliza un sensor de glucosa invasivo que lee los niveles de glucosa del flujo intersticial. Al permitir la recogida de muestras en tiempo real, este innovador sistema capacita tanto a los profesionales sanitarios como a los pacientes para tomar decisiones informadas, lo que se traduce en mejores resultados sanitarios y una mayor calidad de vida. Para ello, el sensor se conecta a un smartphone mediante NFC y BLE, y envía continuamente lecturas de glucosa sin requerir ninguna acción por parte del usuario. Además, los valores de glucosa se almacenan de forma persistente en una base de datos MongoDB. Estos datos se recuperan y muestran en una aplicación web, permitiendo la visualización en tiempo real de los niveles de glucosa, datos históricos con capacidad de filtrado temporal y resúmenes lingüísticos de los marcos temporales seleccionados. El sistema se sometió a una evaluación de 14 días y alcanzó una tasa de captura del 98,4% de las muestras previstas. Además, la batería del sensor

duró el 99,33 % de la duración especificada por el fabricante. Por lo tanto, creemos que el sistema cumple los requisitos y necesidades previstos. Por último, teniendo en cuenta los ODS, podemos calibrar mejor la importancia de este sistema para promover la Salud y Bienestar (ODS 3) y apoyar prácticas de Producción y Consumo Responsables (ODS 12), orientando así futuros avances hacia un mundo más sostenible.

Nuestro trabajo futuro en este campo se centrará en proporcionar resúmenes descriptivos en tiempo real de los niveles de glucosa en sangre para concienciar a los pacientes sobre el impacto de sus elecciones dietéticas y hábitos de ejercicio en su salud. Al integrar los datos del sistema de monitorización con los registros de nutrición y actividad física, el sistema propuesto pretende ofrecer información personalizada a los pacientes para que tomen decisiones informadas y adopten estilos de vida más saludables. Los resúmenes descriptivos no sólo facilitarán el autocontrol, sino que también fomentarán una comprensión más profunda de la relación entre los niveles de glucosa y los hábitos diarios, animando a los pacientes a adoptar un enfoque proactivo para gestionar su enfermedad y, en última instancia, mejorar su bienestar general. Este aspecto del sistema encierra un inmenso potencial para fomentar el compromiso de los pacientes y el cumplimiento de los planes de tratamiento, lo que redundará en una gestión más eficaz de la diabetes y mejores resultados en la asistencia sanitaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través de la ayuda PID2021-127275OB-I00 por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 por “FEDER Una manera de hacer Europa”.

REFERENCIAS

- [1] Nur-A-Alam, M. Ahsan, A. Based, J. Haider, and E.M.G. Rodrigues, “Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System” *Designs 2021*, Vol. 5, Page 17, vol. 5, no. 1, pp. 17, 3 2021.
- [2] P.S. Mali, Arti S. Patil, S. Gavade Pratibha, Mane Mrunal A., and Patil Aniket A., “IoT Based Battery Monitoring System for Electric Vehicle” *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 37–43, 6 2022.
- [3] Faris A. Almalki, Ben Othman Soufiene, Saeed H. Alsamhi, and Hedi Sakli, “A Low-Cost Platform for Environmental Smart Farming Monitoring System Based on IoT and UAVs” *Sustainability 2021*, Vol. 13, Page 5908, vol. 13, no. 11, pp. 5908, 5 2021.
- [4] S. Abdulmalek, A. Nasir, W.A. Jabbar, M.A.M Almuhaaya, A.K. Bairagi, A-M. Khan, and S-M. Kee, “IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review” *Healthcare 2022*, Vol. 10, Page 1993, vol. 10, no. 10, pp. 1993, 10 2022.
- [5] V. Bhardwaj, R. Joshi, and M.G. Anshu, “IoT-Based Smart Health Monitoring System for COVID-19” *SN Computer Science 2022 3:2*, vol. 3, no. 2, pp. 1–11, 1 2022.
- [6] José L. López Ruiz, A. Verdejo Espinosa, Alicia Montoro Lendínez, and Macarena Espinilla Estévez, “OBLEA: A New Methodology to Optimise Bluetooth Low Energy Anchors in Multi-occupancy Location Systems” *JUCS - Journal of Universal Computer Science*, vol. 29, no. 6, pp. 627–646, 6 2023.
- [7] A. Verdejo, José Luis López, Francisco Mata Mata, and Macarena Espinilla Estevez, “Application of IoT in Healthcare: Keys to Implementation of the Sustainable

- Development Goals” *Sensors 2021*, Vol. 21, Page 2330, vol. 21, no. 7, pp. 2330, 3 2021.
- [8] World Health Organization, “Diabetes disease” <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>.
- [9] International Diabetes Federation, “Diabetes around the world in 2021” <https://diabetesatlas.org/>.
- [10] Abbott, “Freestyle Libre 3 sensor” <https://www.freestyle.abbott/es-es/productos/freestylelibre-3.html>.
- [11] C. Rodríguez León, C. Villalonga, M. Muñoz Torres, J.R. Ruiz, and O. Baños, “Mobile and Wearable Technology for the Monitoring of Diabetes-Related Parameters: Systematic Review” *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 9, no. 6, pp. e25138, 6 2021.
- [12] Masoud Baghelani, Zahra Abbasi, Mojgan Daneshmand, and Peter E. Light, “Non-invasive continuous-time glucose monitoring system using a chipless printable sensor based on split ring microwave resonators” *Scientific Reports 2020 10:1*, vol. 10, no. 1, pp. 1–15, 7 2020.
- [13] Gaobo Zhang, Zhen Mei, Yuan Zhang, Xuesheng Ma, Benny Lo, Dongyi Chen, and Yuanting Zhang, “A Non-invasive Blood Glucose Monitoring System Based on Smartphone PPG Signal Processing and Machine Learning” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 11, pp. 7209–7218, 11 2020.
- [14] M.E. Whelan, M.W. Orme, A.P. Kingsnorth, L.B. Shearer, F.L. Denton, and D.W. Esliger, “Examining the Use of Glucose and Physical Activity Self-Monitoring Technologies in Individuals at Moderate to High Risk of Developing Type 2 Diabetes: Randomized Trial” *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 7, no. 10, pp. e14195, 10 2019.
- [15] Ahmed R. Nasser, Ahmed M. Hasan, Amjad J. Humaidi, Ahmed Alkhayyat, Laith Alzubaidi, Mohammed A. Fadhel, José Santamaría, and Ye Duan, “IoT and Cloud Computing in Health-Care: A New Wearable Device and Cloud-Based Deep Learning Algorithm for Monitoring of Diabetes” *Electronics 2021*, Vol. 10, Page 2719, vol. 10, no. 21, pp. 2719, 11 2021.
- [16] Navneet Verma, Sukhdip Singh, and Devendra Prasad, “Machine learning and IoT-based model for patient monitoring and early prediction of diabetes” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 34, no. 24, pp. e7219, 11 2022.
- [17] S. Padhy, S. Dash, S. Routray, S. Ahmad, J. Nazeer, and A. Alam, “IoT-Based Hybrid Ensemble Machine Learning Model for Efficient Diabetes Mellitus Prediction” *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, 2022.
- [18] Bubblandevteam, “Diabox Application” <https://github.com/Bubblandevteam/\diabox.git>.
- [19] The Nightscout Foundation, “Nightscout RESTful service framework” .
- [20] American Diabetes Association, “Glucose levels for the diagnosis of diabetes” <https://diabetes.org/diabetes/a1c/diagnosis>.
- [21] A. Verdejo, Macarena Espinilla, Jose Luis López, and Francisco Jurado, “Assessment of sustainable development objectives in Smart Labs: technology and sustainability at the service of society” *Sustainable Cities and Society*, vol. 77, pp. 103559, 2 2022.
- [22] José L. López, Macarena Espinilla, and A. Verdejo, “Evaluation of the Impact of the Sustainable Development Goals on an Activity Recognition Platform for Healthcare Systems” *Sensors 2023*, Vol. 23, Page 3563, vol. 23, no. 7, pp. 3563, 3 2023.