



Control inteligente del perfil glucémico para diabéticos

León Francisco Garzón Mohammed

Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
Sistemas de comunicación

Raúl Parada Medina

Carlos Monzo Sánchez

22/01/2017



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Título del trabajo: | <i>Control inteligente del perfil glucémico para diabéticos</i> |
| Nombre del autor: | <i>León Francisco Garzón Mohammed</i> |
| Nombre del consultor: | <i>Raúl Parada Medina</i> |
| Nombre del PRA: | <i>Carlos Monzo Sánchez</i> |
| Fecha de entrega: | 01/2017 |
| Titulación: | <i>Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación</i> |
| Área del Trabajo Final: | <i>Sistemas de comunicación</i> |
| Idioma del trabajo: | <i>Castellano</i> |
| Palabras clave | <i>Diabetes, Perfil glucémico, Gestión inteligente. Diabetes, Glucose patterns, Smart management.</i> |
| Resumen del Trabajo: | |
| <p>La diabetes es una afección crónica desencadenada en personas que no pueden producir suficiente insulina o no pueden utilizarla eficazmente. Es por ello que los diabéticos no son capaces de utilizar la glucosa de los alimentos ingeridos, causando efectos peligrosos que pueden resultar en la muerte del paciente.</p> <p>El reto principal de la diabetes es el control glucémico. Cada diabético presenta un perfil glucémico único. Desgraciadamente, los pacientes no siempre son conscientes de las consecuencias de los cambios en sus niveles de glucosa en sangre hasta que son extremos, normalmente con consecuencias serias, sobre todo para los de Tipo 1. Por ello, el nivel de glucosa se debe medir de manera fiable y rigurosa para obtener el control necesario. Además, estudios recientes demuestran que existe la posibilidad de controlar la diabetes de Tipo 2 mediante una rutina correcta de ejercicio físico y una alimentación sana y apropiada. En el caso de diabéticos de Tipo 1, estas rutinas pueden reducir el número de inyecciones necesarias.</p> <p>Así pues, se concibe una aplicación multiplataforma que permite almacenar de forma sencilla un histórico de información necesaria de glucosa en sangre, actividad física y alimentación. En esta aplicación se emplea un algoritmo inteligente que combina estos datos para obtener un control glucémico evolutivo, basado en la información recogida de cada usuario. Este algoritmo mejora su precisión con el incremento del volumen de datos almacenados. Como resultado, esta aplicación ofrece una mejora potencial en la salud de los enfermos de diabetes de Tipo 2.</p> | |

Abstract:

Diabetes is a chronic disease that appears in humans who can't produce enough insulin or can't use it efficiently. This is why diabetics are not able to utilize the glucose in the food they eat, and therefore experience dangerous effects which may result in death.

The main challenge in relation to diabetes is glycemic management. Each diabetic has a unique glycemic profile. Unfortunately, patients are not always aware of the consequences of changes in glucose levels in their blood until extreme situations arise, with often serious consequences, especially for Type 1 diabetics. That is why reliable and rigorous glucose level measurements must be taken in order to achieve glucose management. Moreover, recent studies have proven that the control of Type 2 diabetes is possible through correct physical exercise and healthy nutrition routines. In Type 1 sufferers, these routines can reduce the number of insulin injections required.

Therefore, a multiplatform application that allows easy storage of important history data has been devised for blood glucose levels, physical activity and nutrition. In this application, an intelligent algorithm is employed that combines this data to obtain an evolving glycemic management, based on the information gathered for each user. This algorithm improves precision due to the increase in saved data. As a result, this application offers a potential improvement in health status for sufferers of Type 2 diabetes.

Índice

| | |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Contexto y justificación del Trabajo | 1 |
| 1.2 Objetivos del Trabajo | 3 |
| 1.3 Enfoque y método seguido | 3 |
| 1.4 Planificación del Trabajo | 4 |
| 1.5 Breve resumen de productos obtenidos | 6 |
| 1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria | 6 |
| 2. Estado del arte | 8 |
| 2.1 El control glucémico | 8 |
| 2.1.1 Introducción | 8 |
| 2.1.2 Historia | 9 |
| 2.1.3 Comparativa entre glucómetros | 11 |
| 2.2 Internet de las cosas | 12 |
| 2.3 Antecedentes | 12 |
| 2.3.1 iHealth Wireless Smart Gluco-Monitoring System | 13 |
| 2.3.2 Dexcom G5 Mobile | 13 |
| 2.3.3 Accu-Chek Insight CGM | 14 |
| 2.3.4 GlucoTrack | 15 |
| 2.3.5 Glooko | 16 |
| 2.3.6 Comparativa con el presente TFM | 17 |
| 3. Arquitectura del sistema | 19 |
| 3.1 Diseño de la arquitectura | 19 |
| 3.1.1 Arquitectura del sistema | 19 |
| 3.1.2 Elección de tecnologías | 21 |
| 3.2 Implementación de la aplicación | 24 |
| 3.2.1 Base de datos | 24 |
| 3.2.2 Front-end | 29 |
| 3.2.3 Back-end | 30 |
| 3.3 Pantallas principales de la aplicación | 31 |
| 4. Sistema de control glucémico | 38 |
| 4.1 Hardware | 38 |
| 4.1.1 Glucómetro Accu-Chek Aviva | 38 |
| 4.1.2 Pulsera Xiaomi Mi Band | 39 |
| 4.2 Software | 40 |
| 4.2.1 JS-Fuzzy | 40 |
| 4.2.2 Google Fit | 42 |
| 4.2.3 Google Charts | 44 |
| 4.2.4 Bootstrap notify | 45 |
| 4.3 Algoritmo inteligente | 46 |
| 4.4 Notificaciones inteligentes | 54 |
| 4.5 Gamificación | 55 |
| 5. Diseño final y simulaciones | 58 |
| 5.1 Diseño final | 58 |
| 5.2 Pruebas del algoritmo inteligente | 58 |

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| 5.3 Pruebas de las notificaciones inteligentes | 60 |
| 5.3.1 Glucosa óptima..... | 60 |
| 5.3.2 Glucosa baja o alta..... | 62 |
| 5.4 Pruebas de Gamificación..... | 63 |
| 5.5 Comparativa de métodos de gestión glucémica | 68 |
| 6. Conclusiones..... | 72 |
| 7. Líneas futuras..... | 74 |
| 8. Glosario..... | 75 |
| 9. Bibliografía | 77 |
| 10. Anexos..... | 81 |
| 10.1 Manual de usuario Glucontrol..... | 81 |
| 10.2 Definición de gráficas con Google Charts | 99 |
| 10.3 Código Fuzzy logic para obtener el bienestar | 100 |

Lista de figuras

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Niveles de glucosa con y sin diabetes [6] | 2 |
| Figura 2 Diagrama de Gantt con la planificación del TFM | 5 |
| Figura 3 Medida de glucemia capilar con tira reactiva y glucómetro [8] | 8 |
| Figura 4 Registro manual de niveles de glucosa, alimentación y ejercicio físico de una diabética tipo 2 | 9 |
| Figura 5 Izquierda: Primer lector electrónico de 1970. Derecha: Primer dispositivo de medida electroquímica [10] | 10 |
| Figura 6 Sensor de glucosa midiendo en el líquido intersticial [16] | 11 |
| Figura 7 Glucómetro inalámbrico iHealth y su app para smartphone [19] | 13 |
| Figura 8 Sistema CGM de Dexcom G5 Mobile [20] | 14 |
| Figura 9 Presentación del sistema CGM Accu-Chek Insight de Roche [22] | 15 |
| Figura 10 Izquierda: Pinza GlucoTrack midiendo. Derecha: Dispositivo GlucoTrack. [24] | 16 |
| Figura 11 Izquierda: Glooko MeterSync Blue. Derecha: Glooko App vía web. [26] | 17 |
| Figura 12 Modelo arquitectura cliente-servidor. [31] | 22 |
| Figura 13 Lista de usuarios registrados en la base de datos. | 29 |
| Figura 14 Carga de la base de datos de alimentos. [51] | 29 |
| Figura 15 Pantalla de inicio de sesión. | 32 |
| Figura 16 Pantalla de registro de nuevo usuario. | 32 |
| Figura 17 Pantalla principal de la aplicación Glucontrole tras el inicio de sesión. | 33 |
| Figura 18 Vista del menú desplegable al pasar el ratón. | 34 |
| Figura 19 Pantalla de histórico de glucosa. | 34 |
| Figura 20 Pantalla de histórico de ejercicio. | 35 |
| Figura 21 Pantalla de histórico de alimentación. | 35 |
| Figura 22 Despliegue y detalle de comidas de un día. | 36 |
| Figura 23 Pantalla de clasificación. | 37 |
| Figura 24 Glucómetro Accu-Chek Aviva con tira reactiva y dispositivo de punción. [55] | 38 |
| Figura 25 Formulario de inserción de nueva medida de glucosa. | 39 |
| Figura 26 Pulsera Xiaomi Mi Band. [60] | 39 |
| Figura 27 Flujo de datos de ejercicio desde la pulsera de actividad hasta Glucontrole. | 40 |
| Figura 28 Página de inicio de Google Fit. [62] | 42 |
| Figura 29 Izquierda: Vista calendario Google Fit. Derecha: Detalle de agrupación de pasos en Google Fit. [62] | 43 |
| Figura 30 Formulario Nuevo entrenamiento en Glucontrole. | 43 |
| Figura 31 Notificación gamificación por superar más de 1000 calorías quemadas en el día. | 44 |
| Figura 32 Detalle relojes de último valor con Google Charts. | 44 |
| Figura 33 Detalle gráficas lineales con Google Charts. | 45 |
| Figura 34 Ejemplo notificación con Bootstrap notify. | 45 |
| Figura 35 Ejemplo definición de variable lingüística para Fuzzy logic. [65] | 47 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 36 Izquierda: Histórico de glucosa, ejercicio y Carga glucémica del usuario analizado. Derecha: Relación entre minutos de ejercicio y calorías consumidas. | 48 |
| Figura 37 Clasificación del histórico por tipo de medida y tipo de comida. | 49 |
| Figura 38 Clasificación del histórico por tipo de medida y de comida en las 24 horas de un día. | 50 |
| Figura 39 Histórico de carga glucémica y media por comida. | 50 |
| Figura 40 Izquierda: Funciones de pertenencia con los umbrales por defecto de cada variable de entrada. Derecha: Funciones de pertenencia con los umbrales adaptados al histórico del usuario. | 52 |
| Figura 41 Funciones de pertenencia del bienestar, la variable de salida. | 53 |
| Figura 42 Influencias en la salida de las variables de entrada del algoritmo Fuzzy logic. | 54 |
| Figura 43 Diagrama de estados de avisos personalizados a partir del resultado de Fuzzy logic. | 55 |
| Figura 44 Arquitectura Glucontrol completa con las tecnologías utilizadas. ... | 58 |
| Figura 45 Evolución del bienestar con umbrales por defecto para distintos valores de glucosa, ejercicio y dieta. | 59 |
| Figura 46 Evolución del bienestar calculado con umbrales adaptados al usuario para distintos valores de glucosa, ejercicio y dieta. | 59 |
| Figura 47 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa óptima, ejercicio bajo y alimentación relativamente sana. | 60 |
| Figura 48 Nuevo entrenamiento con altas calorías quemadas. | 61 |
| Figura 49 Notificación del algoritmo inteligente con un nivel de bienestar óptimo. | 62 |
| Figura 50 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa óptima, alimentación muy sana y ejercicio bajo. | 62 |
| Figura 51 Comida con carga glucémica elevada. | 62 |
| Figura 52 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa óptima, ejercicio alto y alimentación poco saludable. | 62 |
| Figura 53 Formulario de Nueva medida con una medida de glucosa baja. | 63 |
| Figura 54 Notificación de gamificación para una medida de glucosa baja. | 63 |
| Figura 55 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa demasiado baja. | 63 |
| Figura 56 Recomendación del algoritmo inteligente para una glucosa demasiado alta. | 63 |
| Figura 57 Pruebas Gamificación: Inserción de medida alta de glucosa. | 64 |
| Figura 58 Pruebas Gamificación: Notificación de medida alta de glucosa. | 64 |
| Figura 59 Pruebas Gamificación: Tabla de clasificación actualizada. | 65 |
| Figura 60 Pruebas Gamificación: Notificación medida de glucosa óptima. | 65 |
| Figura 61 Pruebas Gamificación: Dos notificaciones a la vez. | 65 |
| Figura 62 Pruebas Gamificación: Notificación por realizar tres medidas un mismo día. | 66 |
| Figura 63 Pruebas Gamificación: Notificación por una medida subóptima de glucosa. | 66 |
| Figura 64 Pruebas Gamificación: Notificación por realizar más de 3 medidas el mismo día. | 66 |
| Figura 65 Pruebas Gamificación: Tabla Clasificación tras las pruebas realizadas. | 66 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 66 Pruebas Gamificación: Notificaciones al eliminar medidas de glucosa insertadas..... | 67 |
| Figura 67 Pruebas Gamificación: Lista tras eliminar todas las medidas nuevas insertadas..... | 67 |
| Figura 68 Pruebas Gamificación: Notificación medalla conseguida. | 68 |
| Figura 69 Pruebas Gamificación: Lista de medallas con nueva medalla obtenida. | 68 |
| Figura 70 Medidas de glucosa ejercicio y dieta sana vs control por medicación. | 70 |
| Figura 71 Número de mediciones diarias de control por medicamentos vs ejercicio y dieta sana..... | 70 |
| Figura 72 Envío automático de datos mediante APIs del glucómetro iHeath a la izquierda y de Google Fit a la derecha..... | 74 |
| Figura 73 Pantalla de inicio de Glucontrole..... | 81 |
| Figura 74 Formulario de registro de nuevo usuario. | 82 |
| Figura 75 Inicio de sesión de usuario registrado..... | 82 |
| Figura 76 Primer inicio de sesión de un usuario: Tablero y notificación de medalla conseguida. | 83 |
| Figura 77 Pantalla de clasificación..... | 83 |
| Figura 78 Menú lateral desplegable. | 84 |
| Figura 79 Tablero de usuario con histórico en la base de datos..... | 85 |
| Figura 80 Pantalla histórico de glucosa. | 86 |
| Figura 81 Formulario nueva medida de glucosa. | 86 |
| Figura 82 Notificación de gamificación de buena medida de glucosa. | 87 |
| Figura 83 Notificación inteligente considerando los últimos valores de cada variable de entrada..... | 87 |
| Figura 84 Notificación de gamificación al eliminar una medida de glucosa. | 88 |
| Figura 85 Notificación inteligente adaptada al valor eliminado de glucosa. | 88 |
| Figura 86 Pantalla de ejercicio. | 89 |
| Figura 87 Agrupación diaria de entrenamientos desplegada..... | 90 |
| Figura 88 Formulario de inserción de nuevo entrenamiento..... | 90 |
| Figura 89 Nuevo entrenamiento insertado. | 91 |
| Figura 90 Inserción de segundo entrenamiento del día. | 91 |
| Figura 91 Actualización automática del histórico de entrenamientos. | 92 |
| Figura 92 Actualización de las gráficas del tablero con los últimos datos de entrenamiento. | 92 |
| Figura 93 Pantalla comidas..... | 93 |
| Figura 94 Agrupación diaria de comidas desplegada. | 93 |
| Figura 95 Formulario de inserción de nueva comida. | 94 |
| Figura 96 Filtrado de base de datos de alimentación. | 94 |
| Figura 97 Formulario de selección de alimento de la base de datos. | 95 |
| Figura 98 Modificación automática de datos alimenticios según la cantidad. | 95 |
| Figura 99 Alimento añadido a la comida. | 96 |
| Figura 100 Buscador de alimentos en la base de datos. | 96 |
| Figura 101 Cantidades decimales en la selección de alimento. | 97 |
| Figura 102 Selección de varios alimentos para una comida. | 97 |
| Figura 103 Nueva comida añadida con notificación de gamificación..... | 98 |
| Figura 104 Alimento eliminado de comida. | 98 |
| Figura 105 Comida eliminada de un día determinado y notificación de gamificación. | 99 |

1. Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

La diabetes es una afección crónica que se desencadena cuando el organismo no puede producir insulina correctamente o pierde la capacidad de utilizarla eficazmente. Esta hormona se encarga de asimilar la glucosa, por lo que en una persona con diabetes la glucosa se queda en el torrente sanguíneo, provocando deterioro en los tejidos y complicaciones letales para la salud.

La diabetes se puede clasificar en cuatro tipos, según su origen [1]:

- **Diabetes tipo 1:** El organismo no produce la insulina que necesita, por lo que los pacientes necesitan inyecciones diarias de esta hormona para controlar los niveles de glucosa en sangre, sin las cuales corren el riesgo de morir.
- **Diabetes tipo 2:** El organismo produce insulina, pero no responde bien a sus efectos, por lo que se produce acumulación de glucosa en sangre. Es el tipo más común.
- **Diabetes gestacional:** Son los casos en los que se desarrolla una intolerancia a la glucosa durante el embarazo. Estos síntomas pueden desaparecer después de dar a luz, pero suponen un factor de riesgo y se debe realizar un seguimiento y llevar unas pautas de vida especiales para evitar riesgos.
- **Diabetes tipo LADA (*Latent Autoimmune Diabetes of Adults*):** Son unos pacientes que en los últimos años parece que tienen una diabetes de tipo 2, pero con características de tipo 1, por lo que necesitan insulina.

La diabetes es una enfermedad que mata silenciosamente a más de 25.000 españoles cada año [2]. Y el número de personas afectadas por la diabetes aumenta cada año: entre 2011 y 2013 aumentaron en 16 millones los casos de esta enfermedad, en dos años solamente. Actualmente, en 2016, 415 millones de adultos sufren diabetes y la IDF (*International Diabetes Federation*) [3] estima que este número crecerá hasta 642 millones en 2040. Algunos de los mensajes clave que envía la IDF en su Atlas de la Diabetes [4] se enumeran a continuación:

- 1 de cada 11 adultos tiene diabetes.
- En 2040, 1 de cada 10 tendrá diabetes.
- 1 de cada 7 nacimientos sufre de diabetes gestacional.
- Cada 6 segundos una persona muere debido a la diabetes.

Es por estas cifras que la IDF intenta alertar a la población de esta enfermedad, que empeora debido a la falta de datos de las personas y de estilos de vida poco saludables. Indican que se deberían adoptar políticas más ambiciosas y adaptadas a las particularidades de cada región y cada persona. Es por ello que se busca apostar por una buena educación y por concienciar a la población sobre las muertes producidas por esta enfermedad, ya que normalmente se piensa que las defunciones por diabetes son por fallos orgánicos y la gente no la teme porque es una enfermedad que no duele ni se contagia.

Para los diabéticos es indispensable mantener un control estricto de sus niveles de glucosa en sangre (gestión del nivel glucémico), ya que tanto un nivel muy alto (hiperglucemia) como uno muy bajo pueden derivar en la muerte del paciente (hipoglucemia). Para ello, el método más común es pincharse en el dedo con una aguja especial, denominada lanceta, para depositar una gota de sangre en una tira reactiva que a su vez se introduce en un medidor de glucosa o glucómetro [5]. Para tener una visión aproximada, en el siguiente gráfico se pueden observar los niveles típicos de glucosa en la sangre para no diabéticos y diabéticos en ayunas y dos horas después de comer (posprandial):

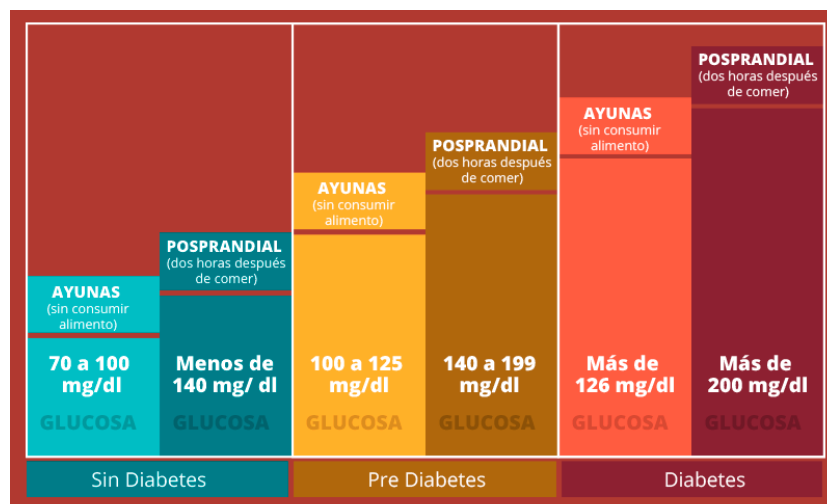


Figura 1 Niveles de glucosa con y sin diabetes [6]

Cada diabético tiene sus particularidades y la realidad es que la misma alimentación, horas de ejercicio o inyecciones de insulina que sirven para un paciente pueden ser letales para otro. Es por ello que resulta de gran importancia que cada paciente se conozca a sí mismo y realice un seguimiento diario de su condición.

Este trabajo tiene como objetivo aportar una ayuda al conocimiento personal de cada enfermo de diabetes con los tres pilares básicos a tener en cuenta en el control de esta dolencia: La monitorización de los niveles de glucosa en sangre, el ejercicio físico y la alimentación saludable.

La solución desarrollada busca crecer dentro del IoT (*Internet of Things – Internet de las Cosas*), un nuevo paradigma que utiliza Internet para extender la interacción en el mundo digital de objetos físicos. En este caso, una base de datos en la nube servirá de repositorio central para que los usuarios accedan a su información almacenada de manera automática a través de una aplicación web accesible desde cualquier dispositivo con conectividad a Internet y un navegador.

Mediante la conectividad inalámbrica se busca facilitar el registro de las medidas obtenidas del glucómetro, haciendo la tarea menos tediosa para los usuarios. Además, los sensores que tenemos disponibles en las últimas tecnologías se pueden utilizar dentro de este paradigma para registrar de manera sencilla y transparente las actividades físicas realizadas y, junto con la información que

facilite el paciente sobre su alimentación se podrán buscar sinergias entre los datos del histórico para así poner al alcance de su mano datos que permitan conocer mejor las cualidades únicas de la diabetes de cada usuario. Estas sinergias se obtendrán con la aplicación de un algoritmo inteligente con el paradigma Fuzzy Logic, que simula el razonamiento humano para tomar decisiones que no sean booleanas (verdadero o falso) [50]. Así, se consigue tomar decisiones que incluyen un rango de posibilidades entre el sí y el no. Además, se buscará incrementar la motivación del usuario aplicando un sistema de gamificación.

Este proyecto forma parte de una gran familia de trabajos de investigación y desarrollo cuyo objetivo común es luchar contra una de las enfermedades más extendidas y a la vez más desconocidas del mundo. Si, de alguna forma, con este TFM se llega a facilitar, aunque sea sólo un poco la vida de algún diabético, ya se habrá conseguido el mayor objetivo y el más importante de todos.

1.2 Objetivos del Trabajo

Los objetivos del trabajo son los siguientes:

- Crear un sistema de recopilación de datos importantes para la gestión glucémica, es decir:
 - **Nivel de glucosa en sangre**, para lo que se utilizará un glucómetro.
 - **Ejercicio físico**, mediante los sensores disponibles en distintos dispositivos que se utilizan en el día a día.
 - **Alimentación**, mediante un sistema de introducción sencillo y amigable para el usuario.
- Desarrollar una aplicación web multiplataforma para almacenar los datos de las medidas del usuario, consultar la información disponible en la base de datos y obtener alertas e informes útiles.
 - Crear el *front-end* (capa de presentación con la que interaccionará el usuario).
 - Crear el *back-end* (capa de acceso a los datos).
 - Crear la base de datos que almacenará toda la información.
- Estudiar el mejor algoritmo que permita combinar los datos del histórico de la base de datos, de forma que se presenten al usuario informes y avisos inteligentes.
- Utilizar la gamificación para motivar e implicar más a los usuarios en el cuidado de su perfil glucémico.
- Ayudar a los voluntarios a adaptarse a la aplicación para obtener datos fehacientes sobre los que aplicar el algoritmo inteligente y el sistema de gamificación.

1.3 Enfoque y método seguido

Para la consecución de los objetivos de este proyecto se utiliza como estrategia el desarrollo de un sistema de recogida de los datos importantes para cada usuario, es decir, medidas de glucosa en sangre, ejercicio realizado y alimentación.

Este sistema debe funcionar automáticamente en la medida de lo posible, facilitando la vida de los diabéticos que lo utilicen. Para ello, se utilizará un glucómetro con conectividad inalámbrica que registrará automáticamente las medidas que desee realizar el usuario (cuantas más se realicen, más detallado será su perfil glucémico). Por otro lado, se utilizará la información capturada por los sensores disponibles en distintos dispositivos (p.e. el acelerómetro del Smartphone) para enviar los datos de actividad física realizada y almacenarlos de forma automática. Finalmente, se pondrá a disposición del usuario una base de datos de alimentos con información nutricional relevante, facilitando la introducción de los datos mediante una interfaz amigable y fácil de utilizar.

Para la interfaz se desarrollará una aplicación web, accesible desde cualquier dispositivo con conectividad a Internet y un navegador, que permitirá al usuario visualizar su histórico de datos y otra información útil para su día a día. Además, desde la aplicación se realizará la conexión con la base de datos para almacenar la información requerida y se permitirá al usuario insertar otros datos de interés, por ejemplo, los datos nutricionales.

Una vez desarrollada la recolecta de datos, se utilizará un algoritmo Fuzzy logic que analice la información recopilada, para obtener alertas y conclusiones que permitan al usuario entender mejor su enfermedad, y su condición particular, lo que se traducirá en un control mayor de la diabetes, sea del tipo que sea.

Además, para buscar la motivación de los usuarios, se utilizará un sistema de gamificación que intentará convertir el cuidado del perfil glucémico en una experiencia divertida.

Se trata, por tanto, de un enfoque práctico que se traducirá en un producto operativo, con datos recolectados a lo largo de la duración del proyecto de pacientes reales con diabetes de tipo 2, ya que son los que, en primera instancia, se beneficiarán del control de su perfil glucémico con los datos obtenidos de su propio histórico.

1.4 Planificación del Trabajo

Este TFM se divide en cinco grandes tareas planificadas que terminan con la entrega de cinco PECs (Pruebas de Evaluación Continua), que cumplen con las siguientes descripciones:

- **PEC1 (Introducción y planificación):** Esta primera tarea consiste en completar los apartados de introducción al proyecto, es decir, el resumen, contexto, motivación, objetivos, planificación, enfoque y método. Además, implica también una etapa importante de investigación inicial y aprendizaje de conceptos básicos tanto de la propia diabetes como del día a día de los afectados por esta enfermedad, con entrevistas y reuniones con distintos pacientes.
- **PEC2 (Estado del arte):** Para poder llevar a cabo el proyecto, se debe realizar una tarea de investigación exhaustiva para conocer el estado del arte en cuestión de sistemas de medición de glucosa en sangre y de

cuantificación de la actividad física, comparando los más adecuados para este TFM, barajando las distintas posibilidades existentes de otros autores y fabricantes. Para ello, se describirán los aspectos más importantes y las razones de las elecciones realizadas en la comparación.

- **PEC3 (Implementación):** Para conseguir implementar la aplicación de este TFM, es necesario realizar el diseño de toda la arquitectura tanto a nivel de *hardware* como de *software*, definiendo las tecnologías que se utilizarán para cada elemento.

Tras esto, se diseñará la base de datos, y se iniciará la carga de datos mediante una implementación preliminar de la aplicación y con la ayuda de usuarios diabéticos.

Una vez iniciada la carga de datos, se trabajará de forma conjunta en la programación y diseño de la aplicación web (*front-end* y *back-end*), definiendo también las operaciones sobre la base de datos e implementando el algoritmo inteligente de recomendaciones y avisos, junto con el sistema de gamificación.

Finalmente, se realizarán simulaciones y pruebas de todo el conjunto creado.

- **PEC4 (Memoria):** En esta tarea se redacta toda la memoria, incluyendo todo el trabajo realizado y definiendo las conclusiones y las líneas futuras que quedarán abiertas tras la finalización de este proyecto.
- **PEC5 (Defensa TFM):** Se reserva esta tarea para preparar la defensa del proyecto realizado, lo que implicará la síntesis con la información más importante para incluir en la presentación que se realizará. Se incluirá en esta tarea la realización de una demo de la aplicación mediante la grabación y edición de varios vídeos.

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt con la planificación de las tareas arriba descritas:

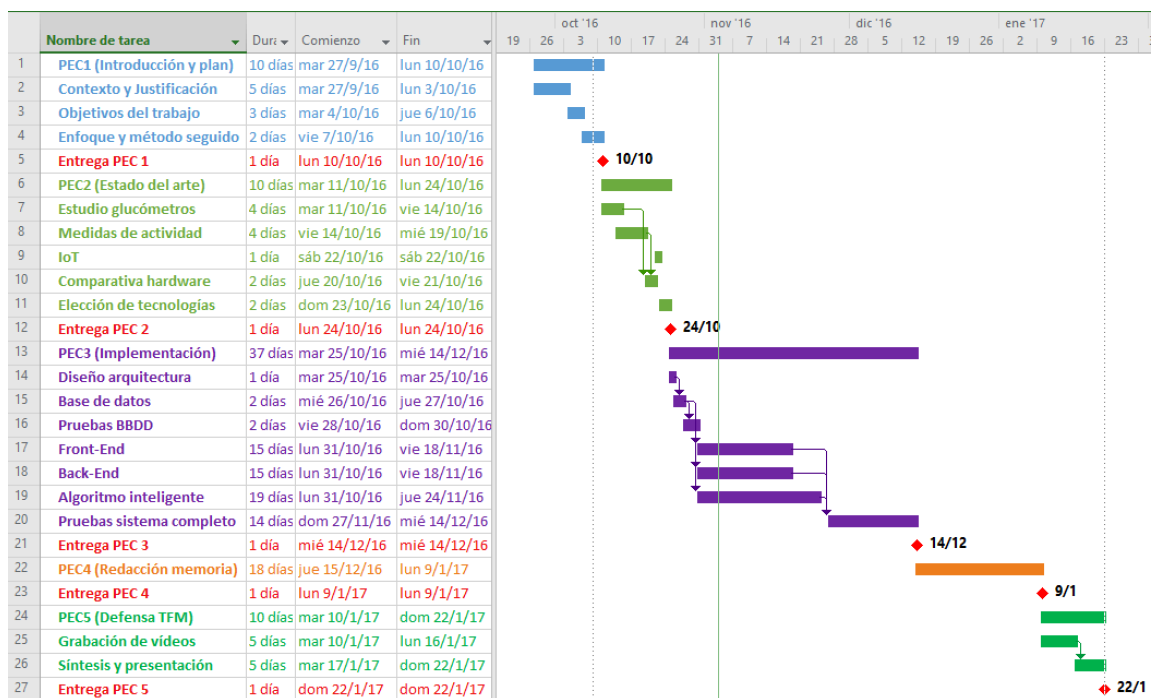


Figura 2 Diagrama de Gantt con la planificación del TFM

1.5 Breve resumen de productos obtenidos

En este proyecto se ha implementado un sistema de control glucémico para pacientes de diabetes de tipo 2, denominado Glucontrol, con el objetivo de facilitar el control de la enfermedad de una forma natural, evitando la ingestión de medicamentos y las inyecciones de insulina, mediante ejercicio físico y controlando la dieta. Este método no sólo funciona para mantener la enfermedad a raya, sino que además permite evitar efectos secundarios resultantes de los medicamentos.

Para conseguir esto, se ha desarrollado una aplicación web multiplataforma que presenta un *front-end*, un *back-end* y una base de datos diseñados totalmente para el presente trabajo, y que ponen a disposición del usuario una interfaz amigable y sencilla de utilizar para mantener la información diaria necesaria para llevar a cabo esta gestión. Además, se ha implementado un algoritmo inteligente que interpreta los datos insertados en la base de datos y realiza un análisis para presentar al usuario notificaciones con consejos para mejorar sus niveles de glucosa en sangre, todo basado en el histórico de datos, por lo que estas notificaciones serán personalizadas para cada paciente con su perfil glucémico concreto.

Además, se incluye un sistema de gamificación para aumentar y mantener la motivación necesaria para poder llevar a cabo este control sin consumo de medicamentos, mediante la asignación de medallas y puntos al conseguir ciertos hitos definidos en el sistema. Glucontrol presentará una clasificación general de todos los usuarios de la aplicación para fomentar la competitividad y así, mejorar la cantidad de datos incluidos en el sistema y, por tanto, la precisión de las recomendaciones del algoritmo inteligente.

1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

En el capítulo de **introducción**, se define la motivación de este trabajo y se presenta una primera idea del sistema propuesto, planificando las diferentes actividades que se llevaron a cabo para este proyecto.

A continuación, el capítulo de **estado del arte**, se realiza un trabajo de investigación sobre la historia de la diabetes y del control glucémico, para entrar en un análisis de los distintos sistemas de control del perfil glucémico existentes en la actualidad, desarrollados por diferentes fabricantes, para luego compararlos con el sistema presentado en este trabajo.

Después, en el capítulo de **arquitectura del sistema** se diseña la arquitectura del sistema, eligiendo las tecnologías que darán forma a la aplicación web. Además, se detalla cómo se ha llevado a cabo la implementación de la aplicación, es decir, el *front-end*, el *back-end* y la base de datos.

Se continúa con el capítulo titulado **sistema de control glucémico**, en el que se describe primero el hardware elegido para llevar a cabo este proyecto, para seguir con el software de terceros que se ha utilizado para hacer posible tanto la aplicación web como la recopilación de datos de periféricos propietarios.

Seguidamente, en el capítulo **diseño final y simulaciones** se presenta el sistema final en conjunto, se compara un caso de control glucémico mediante medicamentos frente a un caso de control mediante el sistema del presente trabajo y se presentan las simulaciones y análisis realizados para la selección del algoritmo inteligente, así como las pruebas del sistema de gamificación que se llevaron a cabo.

Después, en el capítulo **conclusiones** se exponen las conclusiones a las que se han llegado tras desarrollar este proyecto, indicando si se han conseguido los objetivos definidos y todos los conceptos que se han aprendido durante la duración del trabajo.

Finalmente, en el capítulo **líneas futuras** se indican las líneas de investigación y desarrollo que quedan abiertas tras la finalización de este Trabajo Fin de Máster.

2. Estado del arte

2.1 El control glucémico

2.1.1 Introducción

Para los pacientes con diabetes, medirse la concentración de glucosa que tienen en la sangre es la principal forma que tienen para controlar su enfermedad. El mantenimiento de los niveles de glucosa dentro de los rangos saludables sirve para prevenir o retrasar las complicaciones de salud propias de la diabetes, entre las cuales destacan las lesiones renales, vasculares u oculares. Por ello, es de suma importancia apuntar los resultados para compartirlos con el médico, que dirigirá un análisis de las reacciones del paciente al plan de cuidado definido. Según este análisis, se podrán realizar los cambios que el médico considere para seguir con la lucha contra la enfermedad.

Actualmente, la forma más extendida de obtener los valores de azúcar en la sangre es mediante el uso de glucómetros. Los pasos seguidos para realizar una medida son los siguientes:

- Introducir una tira reactiva en el medidor (glucómetro).
- Con un dispositivo de punción, obtener una gota de sangre de la yema del dedo.
- Poner la gota de sangre en contacto con el borde de la tira reactiva.
- Esperar hasta que el resultado se muestre en la pantalla del glucómetro.



Figura 3 Medida de glucemia capilar con tira reactiva y glucómetro [8]

Tal como se indicó en la sección 1.1 de esta memoria, los niveles sugeridos por la Asociación Americana de la Diabetes para adultos que padecen la enfermedad son los siguientes:

- Antes de comer (Glucosa plasmática preprandial): entre 80 y 130 mg/dl.
- 1-2 horas después de empezar a comer (Glucosa plasmática posprandial): menos de 180 mg/dl.

Tras obtener la medida de glucosa, la Asociación insiste en la importancia de apuntar los resultados y examinarlos con detenimiento para poder entender el efecto de la dieta del paciente, junto a su actividad física y niveles de estrés. En la Figura 4 se puede observar un ejemplo del registro manual que mantiene una usuaria con diabetes de tipo 2, con la información clave que siempre debe tener en cuenta un paciente.

GLUCOSE PROFILE - AMINA APRIL 2016

| DATE | MORNING | | | PM | | | AFTERNOON - EVENING | | | |
|------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| | P.M. FASTING | POST EXERCISE | BEFORE BREAKFAST | POST FOOD | PRE FOOD | POST FOOD | PRE FOOD | POST FOOD | BED | |
| 3/4 | 158 | 122 <i>45 min. exer.</i> | - | 94 | 101 <i>Dinner</i> | 167 <i>Dinner</i> | | | 167 | |
| 4/4 | 134 | <i>+45 min exer. 6 min. exer.</i> | | 114 <i>2h. 30m after food</i> | 101 <i>Had snack of corn cobs + water before dinner</i> | 90 <i>2h. after</i> | 89 | 90 <i>2.5h later</i> | 90 | |
| 5/4 | 144 <i>I had 2kins at 2 am 9.45 am</i> | 136 <i>1/2 hr exercise</i> | 127 | 111 | 95 | 79 <i>3.25h later At work... Could not 2h after</i> | | 86 <i>2.75h later</i> | 86 | |
| 6/4 | 130 | <i>No exercise Wants to bank and back to Victoria</i> | 130 | 145 <i>1 egg + black coffee No exercise yet</i> | <i>Driving, could not take blood glucose count</i> | 142 <i>1 egg + Rice milk a cup black coffee</i> | 142 | <i>cucumber juice salad + avocado 84 + apple 8.45 pm</i> | 103 <i>2:15 am</i> | |
| 7/4 | 139 | <i>1h walking up/down hills on side of road 112 + grapefruit juice hard walk</i> | <i>Black coffee Cucumber juice 1 boiled egg</i> | 112 <i>1/2 avocado</i> | <i>water + breakfast as described in table Herb tea</i> | 93 <i>Nuts / Beans / chicken / Avocado</i> | <i>forgot machine at home! black coffee</i> | <i>Shows after eating!!! 73 Ate chicken + drink coconut Cucumber juice had 2 glasses!!</i> | <i>After 1h exercise + sweating Salad / Nuts / water 83</i> | <i>Cucumber juice before bed. 83</i> |
| 8/4 | 130 | <i>1/2 h exercise up/downhill</i> | 98 <i>2 pm</i> | 98 | <i>forgot machine so did not take a reading too</i> | 71 <i>Breakfast / Brand of avocado / salmon salad, black coffee</i> | <i>9:30 pm last meal at 2:30 ago</i> | <i>71 9:30 pm last meal 2h ago</i> | <i>139 Rice milk, salad 11:30 pm cushaw's, avocado chicken, NO exercise now.</i> | 139 <i>1:15 pm</i> |
| 9/4 | 133 | <i>1h exercise up/downhill</i> | 105 | 87 <i>5h later</i> | 87 <i>5h later</i> | <i>at work could not check - cheese Broccoli / Beans chicken / tomato</i> | <i>6h later Rice milk 1/2 glass 81 1/2 h water + shago</i> | 116 <i>2h later</i> | | |
| 10/4 | 135 | | <i>Egg / Salad / cheese / Avocado 1 pm Brunch</i> | <i>2 glasses Rice milk Cushaw's No reading taken 2h after</i> | <i>5 pm lunch 121 1/2 h walk before this reading - just before walking!</i> | | <i>11:10 pm 98 1/2 h walk 2h ago</i> | | | |

Figura 4 Registro manual de niveles de glucosa, alimentación y ejercicio físico de una diabética tipo 2

Aunque recopilar toda esta información resulta tedioso, permite realizar un análisis tanto personal como con la ayuda de un profesional de la salud, que llevará a un entendimiento mayor de la enfermedad y de las acciones que se deban realizar, ya que los resultados pueden implicar un cambio a un plan de diabetes más eficaz. La gran importancia de esta retroalimentación y evolución del enfoque de la enfermedad para cada paciente es lo que motiva e impulsa mucha de la investigación que se está llevando a cabo en el campo de la diabetes, tratando de mejorar el registro de datos para su posterior análisis por parte de un experto.

2.1.2 Historia

Hoy en día, la mayoría de glucómetros realiza las lecturas a base de una reacción a la enzima glucosa oxidasa, que se encuentra en las tiras reactivas. El contacto con la sangre provoca la oxidación de la glucosa, lo que genera un cambio de color, que se oscurece más a mayor concentración de glucosa en la gota de sangre analizada [15].

Para medir los resultados, algunos glucómetros utilizan una corriente eléctrica que atraviesa la tira. La cantidad de glucosa en sangre es proporcional a la cantidad de corriente que pasa. Otros utilizan un sistema que se basa en la cantidad de luz reflejada por la tira tras la reacción de la sangre y, según el color adoptado, obtiene el valor de la medida. El sistema más fiable y más utilizado hoy en día es el basado en las medidas eléctricas [9].

Estos sistemas ya implantados, junto con todos los sistemas nuevos e innovadores que se están investigando actualmente, están todos basados en los descubrimientos realizados antiguamente [10]. Debido a que un nivel alto de glucosa en sangre supone que los riñones depositen glucosa en la orina, se sabe que en el siglo III los chinos observaban si la concentración de azúcar atraía a las hormigas para diagnosticar si el paciente tenía diabetes [11]. Otras pruebas menos ortodoxas se utilizaban con la orina, como por ejemplo hacer que los pacientes probaran una muestra de su propia orina [12], hasta que en 1941 los laboratorios Miles [10] crearon unas pastillas que, añadidas a unas gotas de orina, cambiaban su color obteniendo así un valor aproximado de los niveles de glucosa al comparar con una hoja informativa que asociaba los colores con los niveles determinados.

Aun así, realizar las medidas de glucosa a partir de la orina tiene el grave problema de que se puede captar si el nivel de azúcar en sangre es alto, pero no si es un nivel normal o bajo, ya que en estos dos últimos casos el resultado es la ausencia de glucosa en la orina. Por ello, estas pruebas no eran válidas para prevenir los casos de hipoglucemia, y mucho menos para obtener un control detallado de los niveles reales.

La realidad es que la única prueba que realmente daba valores exactos era medir la glucosa directamente en la sangre, que únicamente se podía realizar en el médico o en los laboratorios. Pero esto no era suficiente, ya que es de gran importancia para un diabético mantener un control sobre sus niveles en sangre con pruebas que pueda realizar desde cualquier lugar.

Por ello, en 1964 Ames [10] desarrolló una tira de prueba para medir la glucosa en la sangre que llamó Dextrostix. Fue la primera vez que se utilizó la reacción bioquímica mediante la enzima oxidasa, que modificaba el color de la sangre en función de la cantidad de glucosa. Mediante la comparación con una tabla de colores y concentraciones de glucosa se obtenía la medida deseada. Este sistema presentaba muchas limitaciones, que se fueron mejorando con la creación y comercialización de dispositivos electrónicos que realizaban la lectura del color obtenido en la prueba. Estos dispositivos fueron mejorando desde 1970 hasta 1987, momento en el que se introdujo el concepto de medida electroquímica (dispositivo de Baxter y tira reactiva de MediSense) [10] que se mantiene hasta la actualidad, en la que se deja de medir el color para medir la intensidad de la corriente eléctrica que atraviesa la gota de sangre de la muestra.



Figura 5 Izquierda: Primer lector electrónico de 1970. Derecha: Primer dispositivo de medida electroquímica [10]

En los últimos 35 años, los dispositivos de medida y las tiras reactivas han evolucionado buscando mejoras en el tiempo que tarda en obtenerse el valor de glucosa y la cantidad de sangre necesaria para realizar la prueba. Hoy en día, el mercado del control glucémico está liderado por cuatro grandes empresas: LifeScan, Roche, Bayer y Abbott. Tal como se ha indicado en este apartado, los sistemas más utilizados están basados en electroquímica, en los que las ganancias vienen dadas sobre todo por la venta de las tiras reactivas, de precios demasiado elevados si se tiene en cuenta que para un diabético suponen artículos de primera necesidad, teniendo que utilizar al menos cuatro al día (en ayunas y dos horas después de cada comida) [5] para obtener un buen control y conocimiento de su enfermedad.

2.1.3 Comparativa entre glucómetros

Tal como se ha indicado en el apartado anterior, existen básicamente dos tipos de glucómetros, que se diferencian entre ellos por el método que utilizan para obtener el valor de glucosa en sangre:

- **Basados en fotometría:** Miden la modificación del color de la gota de sangre analizada tras la reacción con el contacto con la enzima oxidasa. Según el color obtenido, se realiza la conversión al valor de glucosa en sangre para la muestra utilizada.
- **Basados en electroquímica:** Miden la intensidad de la corriente que atraviesa la sangre oxidada, de forma que a más glucosa presente en la gota de sangre, mayor es la conducción de la corriente eléctrica. Con ese dato, realizan una conversión interna para obtener el valor de glucemia.

Además, para poder realizar sistemas de medida continua (CGM – *Continuous Glucose Monitoring*), no se pueden utilizar los glucómetros arriba indicados. Para ello, se utilizan sensores con un filamento flexible implantados bajo la piel que realizan las medidas en el líquido intersticial, es decir, miden la glucosa en los tejidos no en la sangre. Estos valores no tienen por qué ser necesariamente los mismos, pero se pueden medir de forma muy exacta las fluctuaciones (tanto el aumento como el descenso), por lo que resultan muy útiles para los sistemas CGM y los pacientes con diabetes tipo 1.

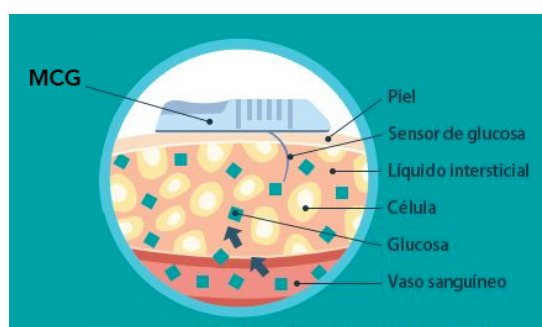


Figura 6 Sensor de glucosa midiendo en el líquido intersticial [16]

En cuanto a las unidades de medida, existen diferencias entre distintos países:

- EEUU y Reino Unido, sistema anglosajón: Se mide en mmol/L.
- Resto del mundo, sistema métrico decimal: Se mide en mg/dL.

No obstante, para facilitar la vida a los usuarios de estos medidores se venden calibrados para dar los resultados en ambos sistemas de medida. La relación entre ambos sistemas es la siguiente:

- $Y \text{ (en mg/dl)} = 17,5 * X \text{ (en mmol/l)} + 3,75$

2.2 Internet de las cosas

El IoT es un nuevo paradigma de la industria tecnológica en la que se busca la interconexión entre los productos y objetos físicos que nos rodean en el día a día con Internet, de forma que se puedan comunicar entre sí con inteligencia y buscando una independencia frente a la interacción humana. Esta interacción permitirá grandes cambios económicos como sociales [17].

Ejemplos de aplicación tangible del IoT son los frigoríficos conectados con capacidad para medir los alimentos restantes, pudiendo realizar pedidos directamente al supermercado cuando se agoten determinados productos. También todas las innovaciones creadas en el ámbito de dispositivos *wearables*, que permiten que pulseras, relojes o incluso la ropa esté conectada y nos ofrezcan datos interesantes a través de sensores e informes en la nube. Los hogares inteligentes son otro ejemplo del Internet de las Cosas, de forma que aplican también sensores y procesadores para automatizar tareas del día a día sin la necesidad de actuar manualmente o de estar en nuestro domicilio, con la información útil y el ahorro que este tipo de gestiones supone. Este mismo paradigma del hogar se está llevando al ámbito de las ciudades, buscando obtener entes mucho más inteligentes y eficientes [18].

Son muchas las posibilidades que este concepto supone, y si se tiene en cuenta la historia de las tecnologías de control y medida de la glucosa en sangre expuesta en el apartado 2.1.2 de este documento, y se combinan con el paradigma del IoT, se puede dar el siguiente paso en la evolución de la monitorización y entendimiento de una enfermedad como la diabetes. De hecho, las investigaciones actuales en este ámbito se basan en glucómetros conectados mediante tecnologías inalámbricas, el uso de *wearables* tanto para lectura de datos mediante sensores como para investigar métodos de medida que no impliquen agujas, y el almacenamiento de toda la información en la nube para permitir el acceso desde cualquier dispositivo o lugar.

2.3 Antecedentes

Tal como se ha indicado en el apartado anterior, el paradigma del IoT supone un antes y un después en la forma de enfrentarse al día a día. La diabetes no es una excepción y tanto los pacientes como los profesionales de la salud se pueden aprovechar y beneficiar de las ventajas que la interconexión del Internet de las Cosas ofrece.

En este apartado se describen y analizan algunos de los proyectos que actualmente están intentando aplicar estas innovaciones al control glucémico y a la lucha contra la diabetes, objetivo que comparten con el presente trabajo.

2.3.1 iHealth Wireless Smart Gluco-Monitoring System

Se trata de un glucómetro inalámbrico desarrollado por iHealth Labs [19], que se conecta con los *smartphones* y *tablets* a través de Bluetooth, almacenando automáticamente las medidas de glucosa realizadas en la aplicación que han desarrollado para ello. De esta forma, eliminan la necesidad y el tedioso trabajo de llevar un registro manual como el presentado en la Figura 4 del apartado 2.1.1. Además, permite llevar un control de la cantidad y fecha de caducidad de las tiras reactivas, que deben ser de la marca iHealth y se venden por separado.



Figura 7 Glucómetro inalámbrico iHealth y su app para smartphone [19]

Es un glucómetro de diseño agradable, portable y que realiza las medidas en 5 segundos, permitiendo ver los resultados tanto en el dispositivo como en la aplicación del dispositivo móvil con el que se empareje. Esta aplicación pone a disposición de los usuarios todas las medidas, con información adicional como si se tratan de medidas en ayunas, posteriores a una comida o a una dosis de insulina. Además, la aplicación (que está disponible tanto para iOS como para Android) ofrece la opción de compartir la información del histórico de datos almacenado con un profesional de la salud. Aun así, si el usuario decide no utilizar un dispositivo móvil, el glucómetro permite almacenar información de hasta 500 medidas, aunque de este modo pierde su acercamiento al paradigma del Internet de las Cosas.

2.3.2 Dexcom G5 Mobile

Dexcom presenta su sistema CGM (*Continuous Glucose Monitoring*) [20], que proporciona información relativa a la glucosa de una manera dinámica, a diferencia de los glucómetros tradicionales, que producen una única lectura cuando la gota de sangre se pone en contacto con la tira reactiva. De esta forma, se presenta información en tiempo real del nivel de glucosa, la tendencia que tiene y la velocidad de cambio que presenta. Las medidas se realizan mediante un sensor que se sitúa bajo la piel y mediante conectividad inalámbrica Bluetooth integrada en un transmisor sujeto a la parte superior del sensor, este dispositivo permite enviar y visualizar los datos captados de forma remota en el *smartphone* del paciente. En caso de que el usuario no disponga de dispositivo móvil, Dexcom facilita un receptor con pantalla para poder consultar las tendencias de glucosa en sangre. Destacar que el sensor realiza 188 lecturas diarias, es decir, cada 8 minutos.



Figura 8 Sistema CGM de Dexcom G5 Mobile [20]

Este sistema se integra aún más en el paradigma del IoT, ya dota de inteligencia a los dispositivos mediante el envío de alertas directamente en el teléfono cuando la glucosa tienda a elevarse o a disminuir demasiado. Además, pone a disposición del paciente una plataforma para introducir eventos personalizables, con actividades del día a día, para seguir así el efecto que dichas actividades tienen en las tendencias de glucosa en sangre. Finalmente, toda esta información está disponible para el acceso de forma segura de familiares y seres queridos, que podrán estar actualizados en todo momento del estado de salud del paciente.

Cabe destacar que, aunque Dexcom publicita que el usuario de su sistema CGM podrá prescindir de las punciones de confirmación en el dedo para la toma de decisiones en cuanto a la gestión glucémica, el sistema no es tan preciso como las lecturas en sangre con tiras reactivas, por lo que para efectos de calibración se precisarán un mínimo de dos punciones diarias en el dedo [21]. Aun así, se trata de una gran mejora en comparación con las 4 o 5 punciones necesarias sin este tipo de dispositivos, aunque sigue resultando bastante intrusivo por la necesidad de llevar el parche con el sensor y el transmisor continuamente pegado a la piel, normalmente a la zona abdominal, con la incomodidad que implica para las actividades del día a día. Esto implica posibles problemas con el agua y el sudor, que pueden hacer que el sensor se despreque. Además, los usuarios que lo han probado hablan de problemas de conectividad con el dispositivo móvil que emparejan, perdiendo así datos de las lecturas realizadas por el sensor.

2.3.3 Accu-Chek Insight CGM

En septiembre de 2016, la compañía Roche Diabetes Care presentó el Accu-Chek Insight, su CGM (*Continuous Glucose Monitor*) [22]. El concepto es el mismo creado por Dexcom (apartado 2.3.2), basándose en el paradigma de la medida continua del nivel de glucosa, sobre todo para los pacientes de diabetes tipo 1 (dependientes de las inyecciones de insulina). La idea que baraja Roche, y que les diferencia de Dexcom, es que pretenden combinar la información continua medida por su CGM con una bomba de insulina inteligente [23], de forma que las medidas captadas por el sensor activen la bomba cuando sea necesario: es decir, un páncreas artificial. Por ahora habrá que esperar hasta mediados de 2017 para poder ver esta combinación que utiliza el paradigma del IoT para sustituir un órgano del cuerpo humano que no funciona correctamente.



Figura 9 Presentación del sistema CGM Accu-Chek Insight de Roche [22]

Se trata pues, de un sistema basado en un sensor, un emisor y un receptor. El sensor es un filamento que se introduce bajo la piel con un aplicador (normalmente en la zona abdominal). A este sensor se acopla el transmisor que empieza a enviar las lecturas cada minuto a un receptor, que puede ser:

- Uno específico creado por Roche
- Un *smartphone* (iOS o Android)
- Un software de gestión web en la nube.

Cabe destacar que la duración del sensor es de siete días, tras los cuales se debe cambiar por otro nuevo.

Los datos que permite almacenar la app son parecidos a los que ofrece la solución de Dexcom: curvas y tendencias de glucosa, alimentación, inyecciones de insulina, análisis estadístico de los datos y avisos en tiempo real para evitar hipoglucemias o hiperglucemias. Pero mejora a dicho sistema en que realiza 1440 lecturas diarias frente a las 188 del Dexcom G5.

No obstante, tiene el mismo problema de no poder eliminar del todo las punciones, necesitando dos diarias para calibrar el dispositivo, y los problemas que implican su contacto con el agua o el sudor. Por otro lado, todavía no se ha comercializado, así que no se sabe el precio que tendrán estos sensores, pero se deberá añadir este gasto por la corta duración del sensor.

2.3.4 GlucoTrack

De la mano de Integrity Applications está GlucoTrack [24], que presenta un nuevo paso en los sistemas de medición de la glucosa en sangre no invasivos, es decir, que no requieren dolorosos pinchazos o parches adheridos con sensores bajo la piel [10]. El sistema se basa en una pinza que se coloca en la oreja para realizar las mediciones. Es importante indicar que no se trata de un CGM como el caso del Dexcom G5 (apartado 2.3.2) o el Accu-Chek Insight (apartado 2.3.3), ya que tiene la limitación de poder realizar medidas cada 10 minutos como máximo, debido a que la oreja en la que se coloca la pinza debe volver a tener su temperatura natural.

El funcionamiento pasa por calibrar el PEC (*Personal Ear Clip*), que tiene una duración de seis meses. Esto implica que los pacientes sólo tendrán que pincharse el dedo dos veces al año para calibrar cada PEC, lo cual resulta una ventaja frente a los dispositivos CGM. Para realizar la lectura, GlucoTrack se basa en tecnología térmica, electromagnética y ultrasónica en una zona de alta capilaridad (lóbulo de la oreja) y tarda 60 segundos en presentar el valor de glucemia.



Figura 10 Izquierda: Pinza GlucoTrack midiendo. Derecha: Dispositivo GlucoTrack. [24]

El dispositivo admite el almacenamiento de 1000 lecturas en memoria. Aunque presenta buena exactitud, no es tan exacto como lo llega a ser una medición capilar (directamente en sangre) y además presenta un desfase con respecto a los glucómetros tradicionales de entre 10 y 15 minutos [25]. No presenta aplicación de *smartphone* ni sistema de almacenamiento en la nube, ya que está pensado para un control personal directamente en el dispositivo.

Además, debido a la tecnología térmica que utiliza para las medidas, todas las lecturas se deben realizar en entornos controlados dentro de unas condiciones ambientales concretas ya que, si se hace en entornos fríos o muy cálidos, las medidas no serán correctas.

2.3.5 Glooko

La empresa californiana Glooko [26] anunció en 2014 su sistema MeterSync Blue que dota de conectividad inalámbrica por Bluetooth a más de 30 glucómetros de marcas populares [27]. Este sistema es básicamente una caja negra a la que se conecta el glucómetro de la marca compatible y que se encarga de reenviar los datos a un dispositivo móvil, que a su vez lo sincroniza con la plataforma de Glooko, que permite también acceso web para visualizar desde cualquier lugar los reportes y la información almacenada. Destacar que en el caso de los glucómetros de marca Accu-Chek no hace falta cable para conectar con MeterSync Blue, ya que viene también con conectividad por infrarrojos [28].

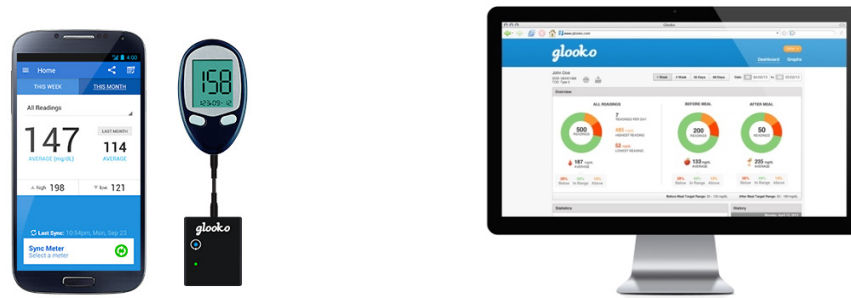


Figura 11 Izquierda: Glooko MeterSync Blue. Derecha: Glooko App vía web. [26]

Además, aplican aún más el paradigma del IoT, ya que no sólo almacena en la nube los datos de las medidas de glucemia con comunicación inalámbrica entre dispositivos, sino que también permite la interconexión con la aplicación móvil de pulseras de actividad y *smartwatches* para almacenar en la misma plataforma la información relativa a la actividad física, tan importante para el control y la gestión de la diabetes. También permite introducir información de alimentación con una base de datos nutricional con detalles por alimentos de carbohidratos de diferentes restaurantes, supermercados y platos preparados en los hogares de los pacientes. Finalmente, permite registrar datos de inyecciones de insulina en los casos de diabetes tipo 1.

La aplicación permite visualizar toda esta información de forma ordenada para intentar obtener datos de valor que tengan como conclusión la adaptación correcta y anticipada del plan de diabetes del paciente. El uso de la aplicación supone una suscripción anual que pone a disposición del usuario todas estas herramientas descritas.

Cabe destacar que, en septiembre 2016, Glooko se ha fusionado con la empresa Diasend [30], encargada de proporcionar una forma sencilla de subir la información a la nube de la mayoría de los glucómetros, bombas de insulina, sistemas CGM y aplicaciones móviles, consolidando toda la información y presentándola en informes ordenados. Esta unión supone llevar al sistema ideado por Glooko información de más de 160 dispositivos diferentes, que incluyen también monitores de actividad, llegando así a cubrir el 95% de los dispositivos utilizados en todo el mundo para la gestión de la diabetes [29].

2.3.6 Comparativa con el presente TFM

Tras presentar en los apartados anteriores los antecedentes a este proyecto y el estado del arte, en esta sección se definen las cualidades innovadoras que presenta este TFM en comparación con estos proyectos ya descritos.

Este proyecto busca utilizar el paradigma del IoT para lograr un almacenamiento en la nube centralizado y accesible desde cualquier lugar y dispositivo. Para ello, se utilizará un glucómetro inalámbrico siguiendo el concepto barajado por iHealth (apartado 2.3.1), pero buscando la mejora del acceso universal a la información del usuario.

Aunque se han presentado y estudiado dos sistemas CGM (*Continuous Glucose Monitoring*), el Dexcom G5 Mobile (apartado 2.3.2) y el Accu-Chek Insight

(apartado 2.3.3), no se busca desarrollar un sistema de medición continua, ya que este proyecto se centrará más en la gestión de la diabetes tipo 2, evitando la necesidad de tomar medicamentos buscando el control en el entendimiento de la combinación de las medidas de glucemia, la actividad física y la alimentación. Aun así, es importante destacar que, una vez desarrollado el proyecto, se podría aplicar a los sistemas CGM modificando el dispositivo de entrada de las medidas de glucosa en sangre y, además, se obtendría una base de datos mucho más rica y se podría llegar a gestionar las diabetes de tipo 1.

El caso de GlucoTrack (apartado 2.3.4) se presentó y analizó para tener en cuenta los dispositivos no invasivos y la lucha contra el dolor y los pinchazos que supone el control del azúcar en la sangre para un diabético. Además, al igual que en el caso de los sistemas CGM, en un futuro se podría aplicar este proyecto con una entrada de datos no invasiva, haciendo que su uso sea más amigable, menos doloroso y, por tanto, mucho más satisfactorio para el usuario.

Tras investigar todos estos sistemas, se llega a la conclusión de que la solución ofrecida por Glooko (apartado 2.3.5) es la que encaja más con el objetivo de este proyecto. Se trata de una plataforma muy bien desarrollada, con una compañía importante tras el proyecto y que han buscado la universalidad y la compatibilidad entre sistemas de diferentes empresas para facilitar así la vida del usuario. Aun así, este proyecto supone un avance que no ha sido conseguido aún por Glooko: dotar de inteligencia a la plataforma, de forma que utilice los datos almacenados en la base de datos para realizar un análisis automático, evitando así la tediosa tarea del usuario de consultar los datos y sacar sus propias conclusiones. El algoritmo que se busca en este TFM pretende utilizar toda la información de las lecturas del glucómetro, de actividad física y de alimentación, y obtener alertas e informes inteligentes que quiten ese trabajo al paciente.

Además, en este proyecto se quiere tratar otro concepto que no ha sido tratado por ningún sistema comercializado a día de hoy: la gamificación [74]. Dentro de las necesidades de salud que obligan a un enfermo de diabetes a mantener un control estricto de su vida, existen muchos pacientes que no muestran interés en controlar su nivel de azúcar o los alimentos que ingieren o el ejercicio realizado. Mediante la gamificación se puede conseguir esa motivación adicional que puede crear un interés más allá de la salud y el bienestar.

Por todo ello, en este proyecto se buscará combinar los algoritmos inteligentes con el nuevo concepto de la gamificación para obtener un resultado diferente a lo existente hoy en día en el mercado.

3. Arquitectura del sistema

3.1 Diseño de la arquitectura

El diseño de la arquitectura y las tecnologías seleccionadas para llevarla a cabo deben cumplir con los objetivos y requisitos marcados para este proyecto, definidos en el apartado 1.2 de este documento. Estos objetivos incluyen los siguientes puntos:

- Crear un sistema de recopilación de datos importantes para la gestión glucémica, es decir:
 - **Nivel de glucosa en sangre**, para lo que se utilizará un glucómetro.
 - **Ejercicio físico**, mediante los sensores disponibles en distintos dispositivos que se utilizan en el día a día.
 - **Alimentación**, mediante un sistema de introducción sencillo y amigable para el usuario.
- Desarrollar una aplicación web multiplataforma para almacenar los datos de las medidas del usuario, consultar la información disponible en la base de datos y obtener alertas e informes útiles.
 - Crear el *front-end* (capa de presentación con la que interaccionará el usuario).
 - Crear el *back-end* (capa de acceso a los datos).
 - Crear la base de datos que almacenará toda la información.
- Estudiar el mejor algoritmo que permita combinar los datos del histórico de la base de datos, de forma que se presenten al usuario informes y avisos inteligentes.
- Utilizar la gamificación para motivar e implicar más a los usuarios en el cuidado de su perfil glucémico.

Por tanto, se trata de una arquitectura que incluirá varios elementos. Estos elementos se detallarán en el apartado 4.1, aunque se tratarán brevemente a continuación para justificar las elecciones realizadas en cuanto a tecnologías.

3.1.1 Arquitectura del sistema

El sistema de control glucémico Glucontrol basa su arquitectura en los siguientes elementos:

- **Glucómetro:** Tal como se ha detallado en apartado 2.1, los glucómetros son dispositivos que permiten al paciente diabético realizar un control de su glucemia sin la necesidad de realizar un análisis de sangre en una clínica u hospital. Basan su funcionamiento en unas tiras reactivas sobre las que se deposita una gota de sangre, que se obtiene normalmente mediante un pinchazo en la yema de un dedo de la mano con la ayuda de un dispositivo de punción automático. El glucómetro entonces mide la cantidad de corriente que atraviesa la gota de sangre, que una vez aplicada a la tira reactiva cierra el circuito eléctrico. Dependiendo de la cantidad de glucosa presente en la gota de sangre, la corriente será mayor o menor y el dispositivo realizará una conversión a mg/dL de glucosa.

En el caso del presente proyecto se utiliza un método de inserción manual, por lo que el usuario no necesitará adquirir un nuevo glucómetro.

- **Pulsera de actividad:** El auge de los wearables está iniciando una nueva era de dispositivos interconectados para ofrecer datos sobre la actividad física de los usuarios. Hoy en día, hay una gran cantidad de pulseras que realizan cálculos basándose en la medida de los pasos realizados por el usuario a lo largo del día. Para ello, estas pulseras cuentan con un acelerómetro interno que calcula el número de pasos. Adicionalmente, disponen de un patrón de movimiento normal para evitar que los movimientos de los brazos que no impliquen un paso se cuenten en el cómputo global. Cabe destacar que este sistema de cálculo únicamente proporciona datos aproximados ya que, dependiendo de la pulsera, no podrán diferenciar entre pasos cortos, largos, zancadas, etc. Aun así, existen pulseras que disponen de características adicionales, como GPS, para ofrecer datos más exactos. A partir de los pasos realizados por el usuario y los minutos de actividad, las pulseras de actividad pueden realizar un cálculo de las calorías quemadas, para lo que será necesario configurar correctamente los datos de altura, peso y edad. A partir de estos datos y unos algoritmos predefinidos, se pueden obtener las calorías quemadas por el usuario de forma aproximada.

Para este proyecto, aunque sería interesante obtener datos lo más precisos posibles, se está buscando un análisis basado en el histórico del usuario, de forma que se tratará con tendencias y no con valores absolutos. Así pues, mientras que el dispositivo de cálculo de calorías quemadas sea el mismo, se obtendrán datos fiables de la influencia del ejercicio sobre la glucemia del usuario de la aplicación. Además, como se detalla en el apartado 4.2.2, para hacer que la aplicación sea transparente a la marca y modelo de pulsera utilizada, se realizará la interconexión a través de Google Fit, que utiliza sus propios algoritmos para calcular las calorías quemadas por el IMB (Índice Metabólico Basal) y así añadirlas al total de calorías. De esta forma, no se restringe al usuario a adquirir una pulsera de actividad determinada, lo cual podría disminuir el uso de Glucontrol.

- **Middleware:** Aunque ha quedado fuera del alcance de este proyecto, la arquitectura definida ha sido pensada para obtener un sistema final que reduzca la inserción manual que deba realizar el usuario a la mínima expresión. Por ello, se ha delegado la conectividad inalámbrica al *smartphone* de cada usuario, ya que todos los dispositivos de medida con conectividad inalámbrica de hoy en día vienen con su propia aplicación desarrollada para los sistemas operativos móviles más utilizados. Así pues, se utilizará la conectividad inalámbrica entre el dispositivo y el *smartphone* para una sincronización en local en la aplicación de cada fabricante, para luego utilizar la API que han puesto a disposición de los desarrolladores para enviar los datos sincronizados automáticamente a la base de datos de Glucontrol. Esto es válido tanto para las pulseras de actividad como para los glucómetros de los distintos fabricantes. No obstante, el desarrollo necesario para utilizar estas APIs en el presente proyecto ha tenido que quedar fuera del alcance debido a falta de tiempo. Cabe destacar que esto no implica que en futuros desarrollos se elimine la posibilidad de una inserción manual ya sea de ejercicio físico o de

niveles de glucosa, porque este proyecto ha sido pensado tanto para los usuarios que pueden permitirse adquirir un glucómetro con conectividad inalámbrica como para aquellos que tienen que utilizar el glucómetro facilitado por la Seguridad Social. En el caso de la pulsera, tampoco es indispensable con este diseño, ya que se pueden utilizar aplicaciones de terceros para medir los pasos mediante el acelerómetro del *smartphone* y, por tanto, las calorías sincronizadas con Google Fit.

- **Servidor y base de datos:** Finalmente, se necesita una base de datos en la que se almacenará la información de cada usuario, incluyendo todas las medidas realizadas, además de los datos relativos a la gamificación. Esta base de datos se alojará en un servidor al que se conectarán todos los usuarios a través de Internet mediante la aplicación web desarrollada.

El hardware seleccionado para llevar a cabo las pruebas del sistema de control glucémico Glucontrol se detalla en el apartado 4.1 de este documento.

3.1.2 Elección de tecnologías

Una vez definida la arquitectura elegida, se deben seleccionar las tecnologías en las que se basará el desarrollo de la aplicación Glucontrol. Es importante tener en cuenta que se busca una aplicación que sea multiplataforma, de forma que los usuarios puedan acceder a ella sin restricciones de Sistema Operativo (SO) o terminal.

Una forma común de conseguir esto es mediante desarrollos diferentes para cada SO, ya sea de equipos de sobre mesa (Windows, MacOS, Linux, etc.) o dispositivos móviles (iOS, Android, Windows Phone, etc.). Aunque este método dispone de muchas ventajas como mejor experiencia de usuario, ya que se adapta el desarrollo al SO, pero supone un gran esfuerzo de desarrollo y mantenimiento para cada versión que se ponga a disposición de los usuarios.

Por todo ello, se decide crear una aplicación web para este proyecto, de forma que cualquier dispositivo con conectividad a Internet pudiera acceder y ejecutar el sistema de control glucémico Glucontrol con sólo tener un navegador web instalado. Este método de desarrollo aumenta la compatibilidad, optimiza el almacenamiento utilizado en el dispositivo y permite simplificar el mantenimiento de la aplicación ya que se trata de un único desarrollo para cualquier usuario [32].

La arquitectura de una aplicación web sigue el modelo cliente-servidor, que necesita de los elementos que se pueden observar en la Figura 12. Como se puede apreciar, la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) se ejecuta en el navegador instalado en el dispositivo que utilice el usuario para acceder a Internet. El navegador es el encargado de comunicarse con el servidor web, en el que se alojan los ficheros desarrollados de la aplicación y que a su vez se comunica con el servidor de base de datos, donde se almacenarán todos los datos que se mostrarán al usuario a través de cada consulta realizada.



Figura 12 Modelo arquitectura cliente-servidor. [31]

Por otro lado, existen dos enfoques diferentes para definir las aplicaciones web:

- *Multi Page web Applications* (MPA), en las que se solicita una nueva página al servidor cada vez que se necesita presentar al usuario nueva información.
- *Single Page web Application* (SPA), en las que toda la aplicación está contenida en una única página, que incluye el código necesario para ejecutar toda la aplicación. De esta forma, tras descargar la página del servidor el navegador del dispositivo utilizado únicamente tendrá que acceder al servidor para buscar el resto de datos para presentarlos en el navegador. De esta forma se consiguen páginas que cargan más rápido y, por tanto, mejor experiencia de usuario. Además, se separa de manera sencilla la capa de presentación y la de datos [33].

Aunque SPA presenta como desventajas que la depuración del código resulta más compleja que en MPA y que presenta un posicionamiento web menos eficiente, al estar desarrollando una aplicación web en vez de una página web, estas desventajas no influyen en el funcionamiento correcto de este sistema de control glucémico. Por ello, se decide implementar un enfoque SPA.

Así pues, sabiendo se puede llevar a cabo la decisión de las tecnologías a utilizar para desarrollar la aplicación, que se dividirá en dos partes, tal como se rige para las aplicaciones web [34]:

- **Front-end:** Es la capa de presentación que ve el usuario en la pantalla del dispositivo que utilice para acceder a la aplicación. Se encarga, no sólo de presentar todo el diseño y el estilo, sino que también recolecta los datos que introduce el sistema para posteriormente comunicarlos al *back-end* y almacenarlos en el servidor. Las tecnologías utilizadas para desarrollar el *front-end* no suponen ningún tipo de elección, ya que están estandarizadas y, por tanto, son compatibles con los navegadores modernos:
 - **HTML** (*Hypertext Markup Language*): Es el lenguaje estándar para la creación de páginas web y se encarga de definir la estructura y el contenido (texto, multimedia, etc.) de la página web. Para este proyecto se utilizará la versión actual del estándar, que es HTML5, ya que está más adaptado a las necesidades de este proyecto en cuanto a gestión desde dispositivos móviles y elementos multimedia se refiere [35].
 - **CSS** (*Cascading Style Sheets*): El estilo de los elementos HTML se puede definir directamente en las etiquetas del cuerpo de las páginas web, pero la mejor manera es mediante un fichero CSS

que se llama desde el fichero HTML. En este fichero se definen todos los estilos que se aplicarán a cada elemento, desde tamaños de texto, fuentes, colores o bordes. En este proyecto también se utiliza la última versión (CSS3) [36].

- **JavaScript:** Es un lenguaje de programación orientado a objetos que permite programar toda la lógica de una aplicación web, poniendo a disposición del usuario páginas web dinámicas. Es necesario que el navegador sea capaz de interpretar el código en el lado del cliente, pero hoy en día todos los navegadores disponen del *plugin* necesario para poder ejecutar código JavaScript [37].

Cabe destacar que, aunque las tecnologías utilizadas son las descritas arriba, para este proyecto se han utilizado librerías y *frameworks* que han facilitado mucho la tarea de definición y desarrollo del código [38].

Por un lado, se ha utilizado un *framework* de Google denominado AngularJS [39], que facilita tanto la definición de la estructura como la comunicación con el servidor, siguiendo el patrón Modelo Vista Controlador (MVC) [40], aislando la interfaz que interacciona con el usuario de la lógica que hace transparentes los procesos de la aplicación. Por otro lado, se ha utilizado otro *framework* de Twitter denominado Bootstrap [41], que dispone de plantillas predefinidas para mejorar el estilo de cada elemento disponible basado en HTML y CSS, desde los botones, hasta tipografías, iconos y menús.

- **Back-end:** Se encarga de acceder a los datos y realizar todas las acciones transparentes para el usuario, ya que procesa los datos introducidos desde el *front-end*, gestiona las operaciones sobre la base de datos y resuelve las peticiones realizadas por los usuarios. En el caso de Glucontrol, los datos almacenados en la base de datos incluyen información de usuario, las medidas de glucosa, ejercicio y dieta y los datos de los puntos obtenidos mediante la gamificación. Para acceder a estos datos se utiliza una API REST (*Representational State Transfer*) [42], que permite operar sobre la base de datos mediante los métodos del protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) [43], es decir, GET para solicitar información, PUT y POST para actualizar o crear y DELETE para borrar. Cabe destacar que, debido a que la información de usuario consultada es confidencial, el *back-end* también se encargará de restringir los accesos únicamente a la información del usuario que ha iniciado sesión en el sistema.

Para la creación del *back-end* se ha utilizado Deployd [44], una herramienta libre que permite crear y gestionar el *back-end* REST de forma sencilla, proporcionando un panel de control para configurar la base de datos y toda la lógica necesaria. Deployd implementa una base de datos MongoDB [45], que se caracteriza por ser NoSQL y no relacional, y basa el almacenamiento de los datos en colecciones y documentos. Esto supone ventajas de optimización de las consultas realizadas, si se realiza el diseño correctamente. El diseño y modelado de datos definido para este proyecto se detalla en el apartado 3.2.1.

Además, Deployd permite ejecutar código JavaScript en el lado del servidor para llevar a cabo las entradas y salidas en la base de datos, gracias a NodeJS [47].

3.2 Implementación de la aplicación

Una vez seleccionadas las tecnologías que se utilizarán para el desarrollo de este proyecto, en los siguientes apartados se detalla el proceso seguido para implementarlas y generar la aplicación final.

3.2.1 Base de datos

Como ya se ha indicado en el apartado 3.1.2, se ha utilizado Deployd para desarrollar el *back-end* de Glucontrole. Para ello, se descarga la última versión disponible de su web y, tras realizar la instalación, se crea la nueva aplicación ejecutando el siguiente comando desde el terminal del ordenador:

```
dpd create glucontrole
```

Una vez creada la aplicación Glucontrole, se debe iniciar mediante el siguiente comando:

```
dpd /Users/Leo/deployd/glucontrole/app.dpd
starting deployd v0.8.9...
listening on port 2403
type help for a list of commands
dpd >
```

Y una vez iniciada la aplicación, se puede acceder al panel de control con este comando:

```
dpd > dashboard
```

Como ya se ha indicado, Deployd genera automáticamente una base de datos MongoDB. Esta base de datos se configura desde el panel del control (*dashboard*). MongoDB es una base de datos no relacional que funciona mediante la definición de colecciones y documentos Binary JSON (BSON), que actúan como las tablas y los registros de las bases de datos tradicionales.

Los documentos BSON son el valor binario de un documento JSON (*JavaScript Object Notation*), que contienen los datos organizados de forma estructurada en texto plano. Estos datos organizados pueden ser de varios tipos, incluyendo números, cadenas de texto, *arrays*, booleanos e incluso otros objetos JSON [57].

Para poder llevar a cabo un proyecto con una base de datos MongoDB, es necesario decidir la estructura que se va a seguir para los documentos y, sobre todo, cómo se van a relacionar entre ellos. Se pueden relacionar de las siguientes maneras [58]:

- **Modelado de datos normalizado mediante referencias:** Utiliza referencias entre distintos documentos, siguiendo el modelo de las bases de datos tradicionales. Se utiliza sobre todo para estructuras muy jerarquizadas con relaciones complejas entre tablas.
- **Modelado de datos mediante documentos incrustados:** Permite a la aplicación almacenar fragmentos diferentes de información relacionados entre sí en un mismo documento. Se suele utilizar para las relaciones de

uno a muchos, de forma que se consiguen realizar lecturas rápidas sin que haga falta realizar uniones entre diferentes tablas.

Para la base de datos de este proyecto se utilizará el modelado mediante documentos incrustados, ya que las relaciones serán de uno a muchos, siempre de un usuario a muchas medidas de glucosa, ejercicio o dieta. De esta forma, se aumentará la velocidad de consulta al obtener toda la información disponible de un usuario al solicitar el objeto que contiene todos sus datos registrados.

La base de datos creada para la aplicación Glucontrole dispondrá de tres colecciones:

- **Users:** colección encargada de almacenar los datos de los usuarios del sistema. Como ya se ha indicado, se ha realizado un modelado de datos mediante documentos incrustados, de forma que toda la información relativa a un usuario estará incluida en las propiedades de tipo *array* habilitadas para ello. Un usuario dispondrá de las siguientes propiedades:

| Nombre | Tipo | Descripción |
|---------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| id | string | Identificador único del usuario creado automáticamente por MongoDB. |
| username | string | Nombre de usuario para acceder a la aplicación. |
| password | string | Contraseña creada por el usuario. |
| firstName | string | Nombre del usuario. |
| secondName | string | Apellidos del usuario. |
| birthDate | string | Fecha de nacimiento. |
| weight | number | Peso en kilogramos. |
| height | number | Altura en centímetros. |
| glucoseLevels | array | Información de medidas de glucosa del usuario en una lista de objetos JSON. Cada objeto contiene la fecha en formato <i>timestamp</i> de Unix, el tipo de medida y el nivel de glucosa medido: <pre> { "date": 1478158800000, "mType": "Ayunas", "gLevel": 158 }, </pre> |
| meals | array | Información de los alimentos ingeridos por el usuario en una lista de objetos JSON. Cada objeto incluye la fecha en formato <i>timestamp</i> de Unix, el tipo de comida, y otro <i>array</i> de objetos con una lista de los distintos alimentos que formaron la comida, con toda la información de tipo, nombre, cantidad, gramos de Hidratos de carbono, |

| | | |
|----------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>Índice glucémico del alimento y la Carga glucémica calculada mediante $(HC \cdot IG) / 100$:</p> <pre> { "date": 1479895200000, "type": "Desayuno", "food": [{ "type": "Lácteos", "name": "Queso fresco", "amount": 1, "gCarbs": 3, "gIndex": 35, "gLoad": 1.05 }, { "type": "Frutas", "name": "Aguacate", "amount": 1, "gCarbs": 1, "gIndex": 10, "gLoad": 0.1 }] }, </pre> |
| exercise | array | <p>Datos de calorías quemadas obtenidas desde la pulsera de actividad y almacenados en una lista de objetos JSON. Cada objeto incluye una hora de inicio y hora de fin de ejercicio en formato <i>timestamp</i> de Unix y las calorías quemadas:</p> <pre> { "startTime": 1480755840000, "endTime": 1480761840000, "calories": 462 }, </pre> |
| ranking | array | <p>Lista de objetos JSON con la puntuación diaria obtenida por el usuario con la gamificación. Estos objetos incluyen una fecha en formato <i>timestamp</i> de Unix, el número de medidas de glucosa realizadas en esa fecha por el usuario (ya que se dan puntos por realizar varias medidas diarias), y los puntos obtenidos mediante la gamificación para esa fecha concreta:</p> <pre> { "date": 1481497200000, "gCount": 1, "points": 1 }, </pre> |

| | | |
|--------|-------|---------------------------------------------------------------------------------|
| medals | array | Lista de booleanos que indican si un usuario ha ganado una determinada medalla. |
|--------|-------|---------------------------------------------------------------------------------|

- **Ranking:** Colección encargada de almacenar los puntos totales de cada usuario. Este total se obtiene a partir de los puntos almacenados en la propiedad “*ranking*” de cada usuario, pero se define una nueva colección ya que la clasificación resultante de la gamificación es visible para todos los usuarios de la aplicación. Así pues, con la separación de estos totales, se evita que un usuario del sistema tenga acceso a los datos de carácter privado de otros usuarios, como medidas de glucosa o ejercicio. La colección Ranking contiene una única fila de información, con las siguientes propiedades:

| Nombre | Tipo | Descripción |
|----------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| id | string | Identificador único de la fila creado automáticamente por MongoDB. |
| rankings | array | Incluye un objeto por usuario registrado en el sistema. Los datos almacenados son el id del usuario en MongoDB, el nombre de usuario, el nombre completo y la puntuación total de ese usuario: <pre>{ "userid": "f615044ca911d84e", "username": "amina", "name": "Amina Siddiqa Mohammed", "points": 41.5 },</pre> |
| medals | array | Incluye un objeto por medalla que se puede conseguir en el sistema. Los datos almacenados son el nombre de la medalla, el nombre del fichero PNG con la imagen de la medalla que se muestra en la pantalla de Clasificación y un texto explicativo de cómo conseguirla: <pre>{ "name": "¡Bienvenido!", "badge": "firstLogin", "text": "Inicia sesión por primera vez" },</pre> |

- **Food:** Colección destinada a almacenar los datos de los alimentos disponibles para seleccionar por el usuario para almacenar en su propiedad “*meals*” con las cantidades ingeridas. Dispone de las siguientes propiedades:

| Nombre | Tipo | Descripción |
|---------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| id | string | Identificador único del alimento creado automáticamente por MongoDB. |
| type | string | Tipo de alimento. |
| name | string | Nombre del alimento. |
| serving | array | Lista de objetos que definen las cantidades predefinidas de los alimentos disponibles en la base de datos. Para cada cantidad se define un nombre, que se mostrará en el formulario de selección, y una cantidad de Hidratos de carbono, en gramos: <pre>[{ "name": "Cucharada postre o sobre (8 g)", "gCarbs": 8 }, { "name": "Cucharada sopera (20 g)", "gCarbs": 20 }]</pre> |
| gIndex | number | Índice glucémico del alimento, una propiedad inherente a cada alimento y que no cambia con la cantidad ingerida. A partir de este dato se calculará la Carga glucémica. |

Una vez creada la estructura de la base de datos, con las colecciones y las propiedades ya definidas, se inicia la creación de usuarios a través de la aplicación. Una lista preliminar de usuarios creados se puede observar en la Figura 13. Por otro lado, tras realizar una conversión de formato y obtener un JSON de alimentos con su información nutricional de la Base de datos “*Diet Database*” [51], se realiza una carga de datos en la colección *Food*. En la Figura 14 se pueden apreciar los datos almacenados. Esta información se ha enriquecido durante la elaboración del proyecto con más alimentos obtenidos de las bases de datos de la tabla internacional de valores de índice glucémico y carga glucémica de 2002 [52] y la información nutricional de la web Mujer de élite [53], según fue necesario registrarlos durante las pruebas realizadas.

| A id | A username | A password | A firstName | A |
|------------------|------------|------------|---------------|-----|
| 8a083aef2b1a9b0e | lgarzon | ... | León | Gai |
| f615044ca911d84e | amina | ... | Amina Siddiqa | Mo |
| 63a12409d8280845 | omar | ... | Omar | Gai |
| 3970a141b61dd89a | aida | ... | Aida | Hid |
| 59a417ed6ba6b8af | zaleena | ... | Zaleena | Chi |
| * | username | password | firstName | sec |

Figura 13 Lista de usuarios registrados en la base de datos.

| A id | A type | A name | [] serving |
|-------------------|---------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| cd1e5d3a4519cd88c | Bebidas | Bebida de soja | [{"name": "Vaso o brick", "gCarb... 30 |
| 6351c9aed79cc8e1 | Bebidas | Bebida refrescante tipo cola o s... | [{"name": "Lata de 330 cc", "gCa... 70 |
| 0cf6712ac6a6a8c7 | Bebidas | Bebida isotónica | [{"name": "Botella", "gCarbs":38}... 78 |
| c4d9a9f57c7be802 | Bebidas | Bebida energética | [{"name": "Lata de 250 cc", "gCa... 70 |
| b582950ab20f9b19 | Bebidas | Bitter | [{"name": "Vaso o botellín", "gCa... 70 |
| 8454aa479cead8cf | Bebidas | Cava seco o semisecco | [{"name": "Copa", "gCarbs":4}] 0 |
| 89037d8725d5b836 | Bebidas | Cerveza sin alcohol | [{"name": "Vaso o caña", "gCarb... 11C |
| f593e91121291aad | Bebidas | Cerveza | [{"name": "Vaso o caña", "gCarb... 11C |
| 9201e25d4db108fd | Bebidas | Sidra | [{"name": "Copa", "gCarbs":5}] 0 |
| c67014cf974d5a91 | Bebidas | Tónica | [{"name": "Vaso o botellín", "gCa... 70 |
| * | type | name | serving |

Figura 14 Carga de la base de datos de alimentos. [51]

3.2.2 Front-end

Como ya se ha indicado, para implementar el *front-end* se ha utilizado AngularJS para crear una SPA. Todo el código de la aplicación se puede descargar del repositorio de GitHub disponible en [49]. Para ello, se ha seguido la siguiente estructura de ficheros:

- **index.html:** Es el fichero HTML que define la única página que carga siempre el navegador y, por tanto, desde donde se inicia la aplicación. Desde este fichero se llaman las distintas librerías y hojas de estilo utilizadas.
- **css:** Carpeta que contiene tres hojas de estilo, una para los estilos de la aplicación, otra para la barra de navegación y otra para las notificaciones.
- **images:** Carpeta que contiene todas las imágenes de las medallas del sistema de gamificación.

- **js:** Carpeta que contiene los ficheros JavaScript desarrollados. Se dividen en dos carpetas:
 - **main.js:** Es el fichero que crea la aplicación AngularJS, de forma que se definen las rutas para que para cada fichero HTML de la carpeta *partials* disponga de un controlador definido en JavaScript.
 - **controllers:** Contiene todos los controladores de la aplicación, que se encargan de ejecutar la lógica para cada fichero de la carpeta *partials*, por lo que habrá un controlador por cada uno de ellos.
 - **others:** Contiene el resto de ficheros JavaScript que no son controladores pero que gestionan aspectos como las notificaciones, el algoritmo inteligente o el menú de navegación.
 - **libs:** Carpeta que almacena las librerías de AngularJS y de jquery. El resto de librerías utilizadas se definen en el fichero *index.html* y se detallan en el apartado 4.2 de este documento.
- partials:** Es una carpeta que contiene los ficheros HTML que definen cada una de las secciones de la aplicación, por lo que incluye los siguientes ficheros en su interior:
- **dashboard.html:** define la página de inicio con el tablero del usuario, en el que se muestran los últimos datos de glucosa, ejercicio, dieta y bienestar, además de las gráficas que representan el histórico disponible en la base de datos.
 - **exercise.html:** muestra los datos del histórico de ejercicio y permite añadir o eliminar datos.
 - **glucose.html:** muestra el histórico de medidas de glucosa y también permite añadir o eliminar.
 - **login.html:** define la pantalla de inicio de sesión.
 - **meals.html:** muestra el histórico de alimentación del usuario, permitiendo añadir comidas o eliminarlas.
 - **navbar.html:** define la barra de navegación y su adaptación a los diferentes tamaños de pantalla.
 - **ranking.html:** muestra los datos de gamificación del usuario y la tabla de clasificación global de Glucontrol.
 - **register.html:** presenta el formulario de registro para nuevos usuarios.

Tras el desarrollo de estos ficheros, se consigue que la aplicación tenga el aspecto de las capturas de pantalla del apartado 3.3.

3.2.3 Back-end

Tal como se ha indicado, en este proyecto se utiliza Deployd para dotar al *back-end* de la capacidad de gestionar las colecciones de usuarios disponibles en la base de datos, que a su vez incluyen toda la información de cada uno de ellos en colecciones anidadas, lo que hace que la lectura de los datos sea más rápida y eficiente y, además, más segura ya que cada usuario sólo puede acceder a sus propios datos.

Para ello, se crean operaciones de lectura y escritura que permitirán gestionar los documentos de la base de datos, mediante métodos http y validaciones según el evento que se lance, ya sea de consulta, creación, modificación o borrado. En el código siguiente se puede observar cómo se consulta mediante

el método GET y se obtiene el documento (fila) que contiene toda la información del usuario que ha iniciado sesión, solicitando la URL /users/me. Con la respuesta de la base de datos, se almacena toda la información en la variable \$scope.user, de forma que será accesible desde los ficheros HTML de la carpeta *partials* para que mediante AngularJS se puedan crear elementos dinámicos con la información obtenida de la base de datos, como tablas o listas de objetos.

```
$http.get('/users/me').success(function(data){
  $scope.user = data;
});
```

Una vez se obtiene toda la información disponible en la base de datos, se pueden utilizar los eventos para añadir otras propiedades interesantes a los objetos como, por ejemplo, calcular el máximo, mínimo y la media de todo el histórico disponible de medidas de glucosa de ese usuario. Para ello, primero se comprueba si existe histórico, ya que si es la primera vez que un usuario inicia sesión, se define el valor 0 para las tres propiedades. En caso contrario, se llama a la función `getMinMaxAvg`, desarrollada e incluida en el evento GET del *back-end* para realizar los cálculos necesarios y devolver el resultado esperado.

```
if(this.glucoseLevels.length){
  this.glucoseValues=getMinMaxAvg(this.glucoseLevels, "glucosa");
}
else{
  this.glucoseValues=[0, 0, 0];
}
```

Cabe destacar que, mediante las siguientes líneas de código incluidas en el método GET del *back-end*, se evita que un usuario pueda obtener información de otros usuarios del sistema, manteniendo siempre la privacidad de los contenidos tan sensibles que se almacenan.

```
if (me.username != this.username){
  cancel();
}
```

3.3 Pantallas principales de la aplicación

A continuación, se presentan las pantallas principales de la aplicación. En la Figura 15 se puede observar la pantalla de inicio de sesión. Si se hace clic en el botón de registro se muestra el formulario de registro de la Figura 16, en el que, tras rellenar todos los campos, se crea un nuevo usuario en el sistema.

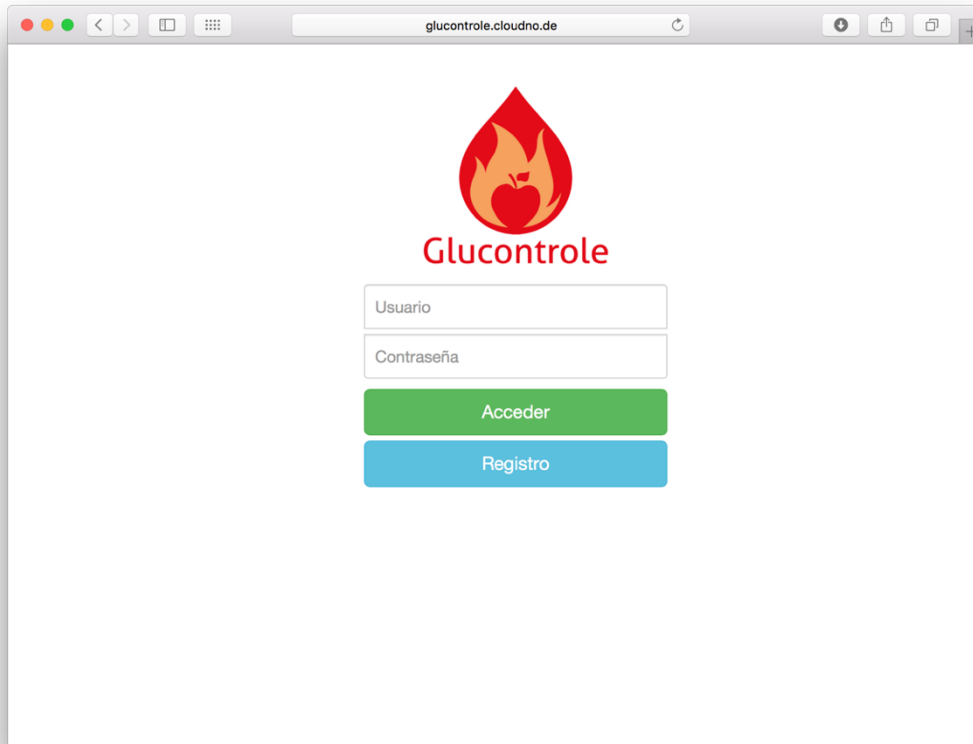


Figura 15 Pantalla de inicio de sesión.

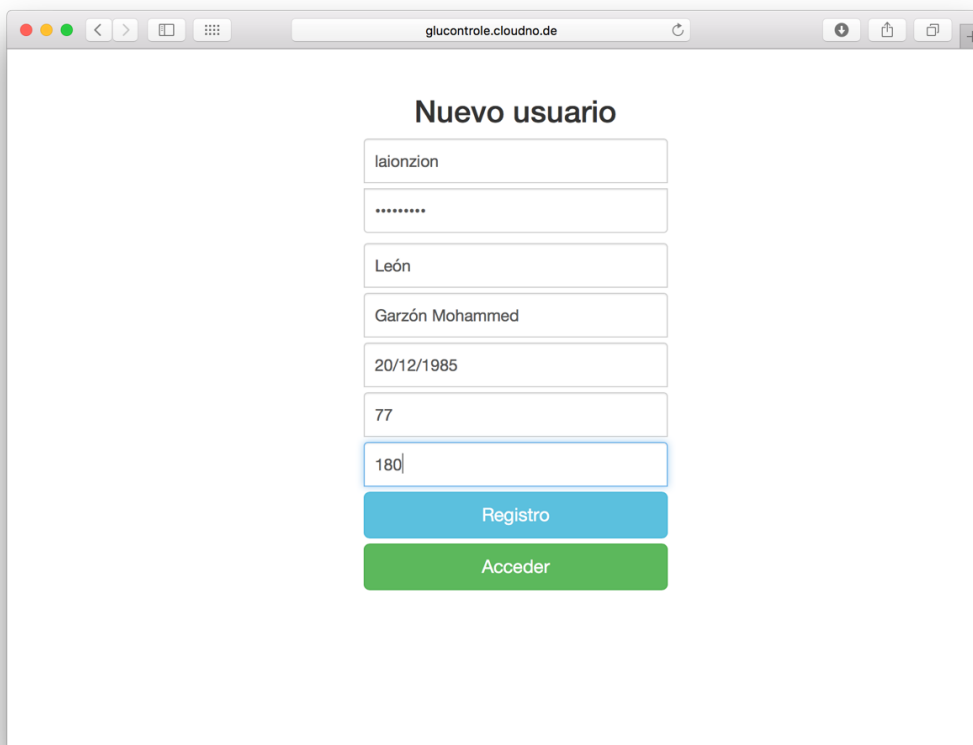


Figura 16 Pantalla de registro de nuevo usuario.

Una vez insertados un usuario y una contraseña correctos, se accede al tablero informativo de la aplicación (Figura 17), en la que se puede ver el nombre del usuario que ha iniciado sesión (1), sobre el título de la sección. Debajo se pueden ver relojes de control de últimos valores de cada variable (2) y valores máximos, mínimos y medias que aportan información de interés sobre el histórico del usuario (3). Además, se presentan también al usuario las gráficas que representan las últimas dos semanas de datos disponibles en la base de datos, enfrentando glucosa con calorías consumidas con ejercicio físico (4) y glucosa con carga glucémica de la comida ingerida (5). Finalmente, a la izquierda se ha situado el menú (6) para acceder a las diferentes secciones de la aplicación. Este menú se despliega al pasar el ratón sobre él, de forma que se observa cada opción con su título, tal como se puede observar en la Figura 18. Además, permitir acceder a todas las secciones, se presenta un botón para cerrar la sesión.

Al hacer clic en el botón “Glucosa” del menú se accede a la sección con el histórico de medidas de glucosa (Figura 19), en la que se listan todas las medidas almacenadas en una tabla para facilitar su lectura. Además, se permite añadir una nueva medida o eliminar las medidas ya existentes si fuera necesario.



Figura 17 Pantalla principal de la aplicación Glucontrol tras el inicio de sesión.



Figura 18 Vista del menú desplegable al pasar el ratón.

| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|----------------|--------|
| 03/01/2017 | 09:30 | Ayunas | 147 |
| 02/01/2017 | 18:31 | Post ejercicio | 90 |
| 02/01/2017 | 09:26 | Ayunas | 140 |
| 01/01/2017 | 19:23 | Post ejercicio | 103 |
| 01/01/2017 | 06:34 | Ayunas | 156 |
| 31/12/2016 | 22:22 | Postprandial | 116 |
| 31/12/2016 | 09:06 | Ayunas | 150 |
| 30/12/2016 | 16:18 | Postprandial | 90 |
| 30/12/2016 | 09:04 | Ayunas | 147 |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |

Figura 19 Pantalla de histórico de glucosa.

La sección de “Ejercicio” se puede observar en la Figura 20, en la que se ve el histórico de ejercicio organizado por días, en orden descendente, y con un resumen del total de calorías quemadas cada día.

En la Figura 21 se presenta la sección “Comidas”, también con la lista de alimentación organizada por días.

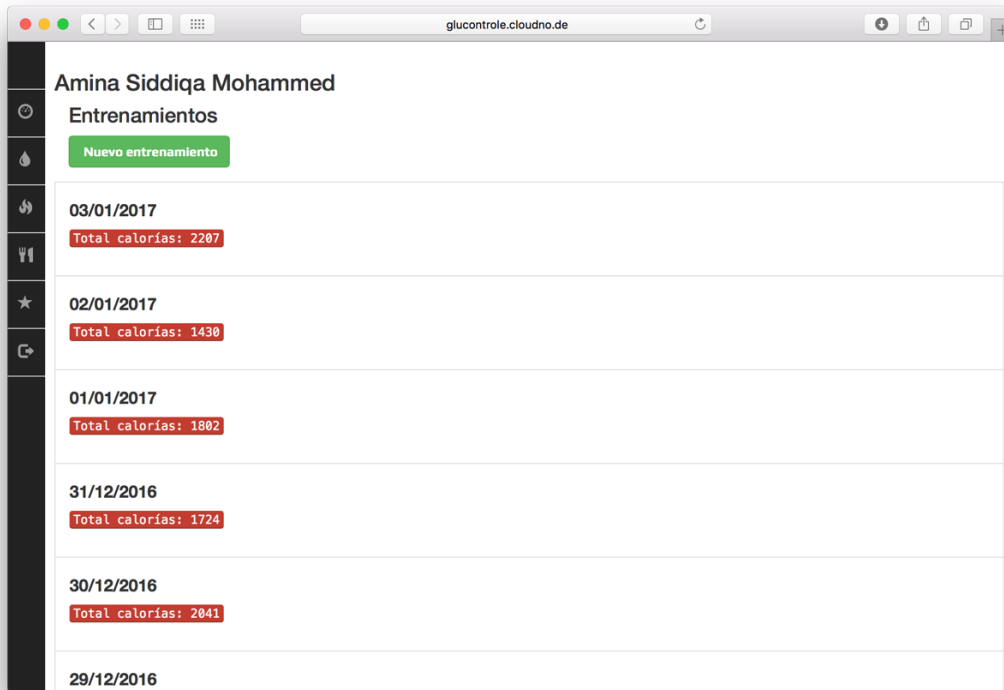


Figura 20 Pantalla de histórico de ejercicio.

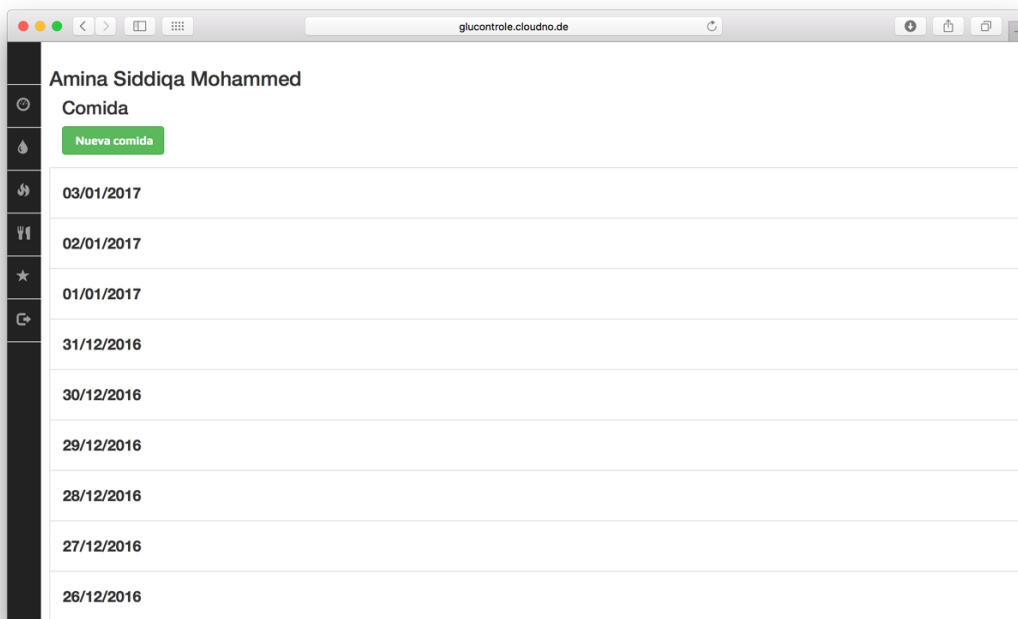


Figura 21 Pantalla de histórico de alimentación.

Al hacer clic en uno de los días, se despliega la información disponible de la alimentación de ese día (Figura 22), con información relativa al tipo de comida, la hora, la carga glucémica total en rojo y una tabla con todos los alimentos ingeridos. Además, se permite eliminar la comida entera o sólo los alimentos que se desee.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'glucontrol.cloudno.de'. The user is 'Amina Siddiqa Mohammed'. The page is titled 'Comida' and has a green button for 'Nueva comida'. The date '03/01/2017' is selected. A summary bar shows 'Desayuno (10:00)' and 'Total CG: 40.05' in red. Below is a table of food items:

| Cantidad | Alimento | HC | IG | CG | |
|----------|--------------|----|----|------|-----|
| 3.0 | Papaya | 60 | 55 | 33 | [X] |
| 1.0 | Nuez | 0 | 15 | 0 | [X] |
| 2.0 | Leche entera | 20 | 30 | 6 | [X] |
| 1.0 | Queso fresco | 3 | 35 | 1.05 | [X] |

Below the table, there are dates for other days: 02/01/2017, 01/01/2017, and 31/12/2016.

Figura 22 Despliegue y detalle de comidas de un día.

Finalmente, en la Figura 23 se puede observar la pantalla de “Clasificación”, en la que el usuario puede consultar las medallas que ha ganado hasta la fecha (en color), junto a las que puede ganar (en escala de grises), además de la tabla con la clasificación general de todos los usuarios de Glucontrol, con el total de puntos obtenidos a partir de la inserción de datos y del tipo de datos insertados.

En el apartado 4.2 se detallan los distintos *plugins* utilizados para las gráficas que se presentan en el Tablero, así como la información detallada del algoritmo inteligente implementado para el cálculo del bienestar y el sistema de gamificación incluido. Además, en el anexo del apartado 10.1 se incluye un manual de usuario en el que se entra a fondo en todas las funcionalidades disponibles en la aplicación, de las cuales se han presentado en este apartado las pantallas principales.

The screenshot shows a web browser window with the address bar set to 'localhost'. The page title is 'Amina Siddiqa Mohammed'. Below the title is a 'Medallas' section with eight icons and their corresponding labels: '¡Bienvenido!', 'Constante', 'Dedicación', 'Sheriff', 'Saludable', '¡Ligerito, ligerito!', 'Atleta', and 'Espartano'. The 'Saludable' icon is highlighted in yellow. Below the medals is a 'Clasificación' section with a table showing the top 5 users.

| Posición | Usuario | Nombre | Puntos |
|----------|---------|------------------------|--------|
| 1 | zaleena | Zaleena Chin Yuen Kee | 49 |
| 2 | amina | Amina Siddiqa Mohammed | 47 |
| 3 | aida | Aida Hidalgo López | 25 |
| 4 | omar | Omar Garzón Mohammed | 12.5 |
| 5 | lgarzon | León Garzón Mohammed | 12.5 |

Figura 23 Pantalla de clasificación.

4. Sistema de control glucémico

En este capítulo se detallan los recursos tanto *hardware* como *software* utilizados para hacer posible este proyecto, además de los módulos implementados con el algoritmo inteligente y la gamificación.

Idealmente, el sistema de control glucémico inteligente Glucontrolé contará con un *hardware* que permita la escritura de los datos en la base de datos del *back-end* en tiempo real, obteniendo así notificaciones inteligentes en tiempo real que permitirán al usuario olvidar las tareas de inserción de datos y centrarse en la gestión de la diabetes. Para esta primera versión de la aplicación se dispone de una interfaz intuitiva, creada con el objetivo de facilitar al máximo la inserción de los datos y el entendimiento de las complejas operaciones que se desarrollan de forma totalmente transparente al usuario. El principal objetivo de este proyecto y su aportación con respecto a otros ya implementados en el mismo ámbito es el algoritmo inteligente de análisis de datos que, junto con el uso del concepto de la gamificación, define una nueva forma de entender las aplicaciones dedicadas a la gestión de la diabetes.

Todas las mejoras que han quedado fuera del ámbito de este proyecto se detallan en el capítulo 7 de este documento.

4.1 Hardware

4.1.1 Glucómetro Accu-Chek Aviva

Todo sistema de control glucémico necesita un método para obtener las medidas de glucosa en sangre. Debido a la gran envergadura del presente proyecto, se decide dejar las mediciones en tiempo real fuera del alcance, por lo que en este primer prototipo se utiliza el glucómetro Accu-Chek Aviva [54] para obtener las medidas de glucosa de los usuarios de prueba de la aplicación. En la Figura 24 se puede apreciar este glucómetro a la derecha, con una tira reactiva insertada y el dispositivo de punción a la izquierda.



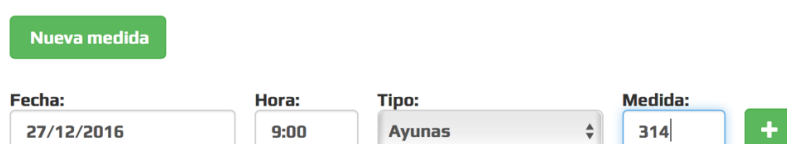
Figura 24 Glucómetro Accu-Chek Aviva con tira reactiva y dispositivo de punción. [55]

El proceso de obtención de lecturas de glucosa en sangre se inicia insertando una nueva tira reactiva en el glucómetro. A continuación, se obtiene una gota de sangre de un dedo del paciente con la liberación del dispositivo de punción, que contiene un muelle para realizar un pinchazo rápido tras pulsar el botón lateral. Finalmente, se debe aplicar la gota de sangre en la tira reactiva y esperar a que el glucómetro presente la cantidad de glucosa en sangre (en mg/dL).

Existen varios tipos de medidas según cuando se realice y, aunque depende de cada paciente, se definen unos umbrales genéricos según la medida [7]:

- **Ayunas:** Antes de cualquier comida, entre 80–130 mg/dL.
- **Postprandial:** Dos horas después de comer, menos 180 mg/dl.
- **Antes de dormir:** Si se realiza la medida más de dos horas después de la cena, se debe medir antes de dormir, con los umbrales en ayunas.
- **Post ejercicio:** Se debe controlar también después de actividades físicas para evitar hipoglucemias, con umbral según se haya comido o no.

Una vez obtenida la nueva medida, el usuario deberá introducirla en la base de datos del sistema Glucontrol mediante el formulario de la sección Glucosa, haciendo clic en el botón “Nueva medida”. Un ejemplo puede observarse en la Figura 25.



El formulario muestra un botón verde "Nueva medida" en la parte superior. Debajo, hay cuatro campos de entrada: "Fecha:" con el valor "27/12/2016", "Hora:" con el valor "9:00", "Tipo:" con un menú desplegable que muestra "Ayunas", y "Medida:" con el valor "314". A la derecha de los campos hay un botón verde con un signo "+".

Figura 25 Formulario de inserción de nueva medida de glucosa.

Una vez introducida, el sistema iniciará el proceso de análisis de los últimos datos del usuario de forma transparente mediante la aplicación del algoritmo inteligente. Este algoritmo se describe detalladamente en el apartado 4.3.

4.1.2 Pulsera Xiaomi Mi Band

Durante el desarrollo de este proyecto se han barajado varias opciones para la recolección de los datos de ejercicio físico. En una primera etapa, se intentó utilizar el acelerómetro del dispositivo móvil para medir los pasos realizados por el usuario y, convertirlos en calorías consumidas. Se concluyó que ese desarrollo llevaría demasiado tiempo y se decidió utilizar una pulsera de actividad ya existente, que se encargaría de medir y recopilar estos datos. Entre todas las opciones existentes en el mercado, se eligió la Xiaomi Mi Band [59] por su buena relación calidad-precio.



Figura 26 Pulsera Xiaomi Mi Band. [60]

Una vez adquirida, se intentó comunicar la pulsera directamente por Bluetooth con el sistema de control glucémico. Debido a la decisión de obtener una aplicación multiplataforma y móvil, se realizaron investigaciones sobre la nueva API de Web Bluetooth [61], que permite a las páginas web descubrir y comunicarse con dispositivos a través del estándar inalámbrico Bluetooth 4, utilizando el GATT (*Generic Attribute Profile*). El problema que se encontró es que las pulseras comerciales tienen sus propios protocolos de comunicación con sus aplicaciones propietarias, además de que Web Bluetooth está todavía en

desarrollo y sólo está disponible para Android M, Chrome OS, Linux y Mac. Esto entraba directamente en conflicto con la característica multiplataforma que se buscaba para esta aplicación, por lo que esta implementación también se descartó.

Finalmente, se decidió utilizar la conectividad con Google Fit [62] implementada en la aplicación nativa de Xiaomi, Mi Fit, ya que para ambas aplicaciones existe versión para cualquier tipo de dispositivo móvil. Además de la ventaja multiplataforma de esta solución, Google Fit utiliza una combinación de la actividad física, sexo, altura y peso del usuario para estimar la cantidad de calorías que se han quemado. Este cálculo incluye tanto las calorías totales quemadas por ejercicio físico (aportadas por la pulsera de actividad) como el IMB (Índice Metabólico Basal) [63]. Este dato es mucho más completo que el aportado únicamente por la pulsera, por lo que resulta mucho más interesante para los cálculos realizados por el algoritmo inteligente.

Por tanto, los datos de actividad física se recopilan en la pulsera Xiaomi, que se sincroniza automáticamente por Bluetooth cuando el usuario abre la aplicación Mi Fit en su dispositivo móvil y, a su vez, Google Fit recopila los datos periódicamente, almacenándolos en la nube a disposición del usuario desde su cuenta de Google o desde la aplicación móvil. Una vez almacenados, pueden consultarse tanto desde la aplicación móvil como desde la web de Google Fit e introducirlos manualmente en la aplicación de control glucémico para mantener la base de datos actualizada. En las líneas futuras del capítulo 7 se indica el desarrollo necesario para automatizar el reenvío de los datos desde Google Fit a Glucontrole para ahorrar una tarea al usuario de la aplicación.

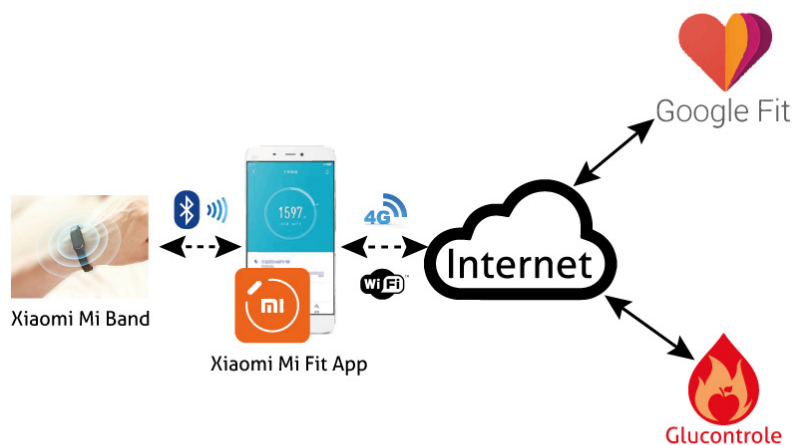


Figura 27 Flujo de datos de ejercicio desde la pulsera de actividad hasta Glucontrole.

4.2 Software

4.2.1 JS-Fuzzy

En este proyecto se aplica Fuzzy logic para obtener datos inteligentes a partir de las variables de entrada (glucosa, ejercicio y dieta). El detalle de cómo funciona se presenta en el apartado 4.3 pero, para adaptar Fuzzy logic a la arquitectura de la aplicación definida en el capítulo 3, se analizaron varias implementaciones, en distintos lenguajes y, finalmente, se implementó JS-Fuzzy, un plugin de Fuzzy

Logic desarrollado en Javascript por marcolanaro, cuyo código está disponible en GitHub [66]. La principal razón para esta elección fue el lenguaje en el que está desarrollado, ya que facilitaba su inclusión en Glucontrol. En esta librería se utiliza el Método Combs, propuesto por William Combs en 1997 para habilitar un crecimiento lineal del número de reglas en lugar de exponencialmente [67] [68]. Este método se basa en la equivalencia lógica en la que:

SI (A Y B) ENTONCES C = (SI A ENTONCES C) O (SI B ENTONCES C)

Mediante el uso de este *plugin*, se puede instanciar un objeto de tipo FuzzyLogic mediante la siguiente línea de código:

```
var ai = new FuzzyLogic();
```

Una vez creado un objeto FuzzyLogic, se puede obtener el resultado del algoritmo mediante el siguiente método:

```
ai.getResult(object);
```

Este método necesita como entrada un objeto que contiene las siguientes propiedades:

- **crisp_input:** es un *array* de números que contiene los valores de las variables de entrada del algoritmo. En el caso de este proyecto, se incluirán en este *array* los últimos valores de glucosa, ejercicio y dieta disponibles.
- **variables_input:** es un *array* de objetos. Se debe incluir un objeto por cada variable de entrada, en el que se definirán los nombres de los distintos umbrales en la propiedad **setsName** y los umbrales numéricos en la propiedad **sets**. Se entrará en más detalle sobre los valores definidos para estos umbrales y la forma de las variables de entrada en el apartado 5.2.
- **variable_output:** es un objeto con el mismo formato que el caso anterior, pero que define los umbrales tanto lingüísticos como numéricos de la variable de salida. En el caso del presente proyecto, se transformarán las variables de entrada (glucosa, ejercicio y dieta) en un valor numérico de **Bienestar** del usuario.
- **inferences:** se trata de un *array* de *arrays* de números que identifican para cada umbral de una variable de entrada, en qué conjunto de la variable de salida está. Así pues, se puede definir que para un nivel de glucosa bajo, el bienestar a la salida será bajo y que, para un nivel de glucosa óptimo, el bienestar de ese usuario será alto.

```
{
  crisp_input: [NUMBER, ...],
  variables_input: [
    {
      name: STRING,
      setsName: [STRING, STRING, STRING, ...],
      sets: [
        [NUMBER, NUMBER, NUMBER, NUMBER],
        [NUMBER, NUMBER, NUMBER, NUMBER],
        [NUMBER, NUMBER, NUMBER, NUMBER],
        ...
      ]
    }
  ]
}
```

```

    ],
    ...
  ],
  variable_output: {
    name: STRING,
    setName: [STRING, STRING, ...],
    sets: [
      [NUMBER, NUMBER, NUMBER, NUMBER],
      [NUMBER, NUMBER, NUMBER, NUMBER],
      ...
    ]
  },
  inferences: [
    [id_Ref_Output_Set, id_Ref_Output_Set, id_Ref_Output_Set, ...],
    ...
  ]
}

```

La implementación de este *plugin* para dotar a la aplicación de un algoritmo inteligente para obtener el nivel de bienestar del usuario no era suficiente. JS-Fuzzy no permite utilizar toda la información del histórico del usuario para obtener datos reales de bienestar para cada paciente de diabetes Tipo 2, ya que cada uno presenta un perfil glucémico diferente y, por tanto, no se pueden aplicar las mismas reglas a todos por igual. El análisis realizado, la solución a este problema y los parámetros definidos para el cálculo del bienestar del usuario mediante Fuzzy logic se detallan en el apartado 5.2 de esta memoria.

4.2.2 Google Fit

Google Fit es la solución de Google para medir, registrar y almacenar la información de *fitness* del usuario. Es multiplataforma, por lo que permite acceder a ella desde cualquier lugar con cualquier dispositivo con conectividad a Internet.

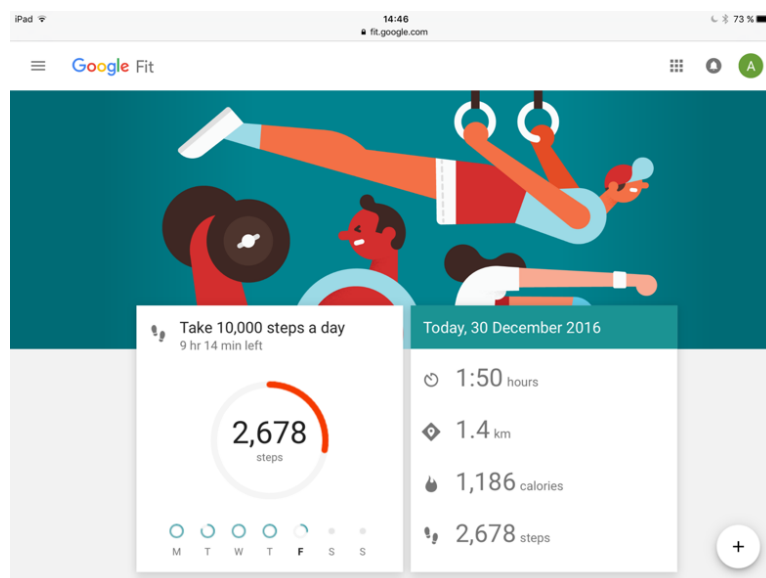


Figura 28 Página de inicio de Google Fit. [62]

Google Fit permite, entre otras cosas:

- Establecer objetivos personales y medir automáticamente cuánto te queda para alcanzarlos.
- Comparar tu histórico de actividad para buscar puntos de mejora.
- Guardar y consultar los datos de otras aplicaciones que hayas conectado a Google Fit.

Esta última opción es la utilizada en este proyecto ya que, tal como se detalla en el apartado 4.1.2, se utiliza la conectividad de Google Fit con otras aplicaciones para obtener los datos de la pulsera de actividad del usuario, sea la que sea. Así se consigue una flexibilidad grande en el hardware que se puede utilizar con Glucontrole.

Para introducir los datos en la base de datos, se debe acceder a la web de Google Fit y en la vista mensual (Figura 29) se debe seleccionar el día del que se quiere obtener la información y seleccionar el entrenamiento que se desea insertar. A la derecha de la Figura 29 se selecciona una caminata de 2 horas y 2 minutos para la que Google Fit ha calculado 525 calorías quemadas, con la información de la pulsera de actividad y las calorías quemadas por el Índice Metabólico Basal (IMB), tal como se describe en el apartado 4.1.2.

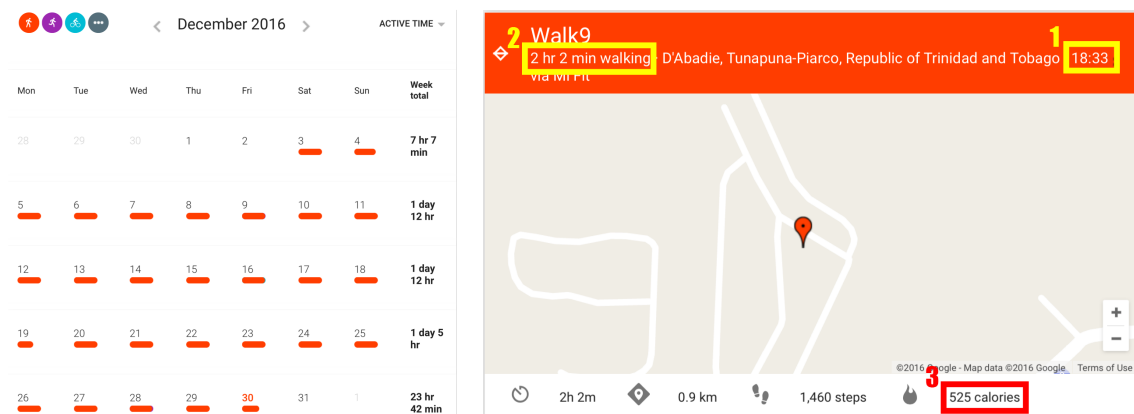


Figura 29 Izquierda: Vista calendario Google Fit. Derecha: Detalle de agrupación de pasos en Google Fit. [62]

Para añadir esta información a la aplicación Glucontrole, basta con hacer clic en el botón “Nuevo entrenamiento” de la sección Ejercicio para que aparezca el formulario de la Figura 30. La fecha que aparece por defecto es la actual, pero se puede modificar si se desea añadir al histórico un entrenamiento de una fecha anterior. Sólo hace falta añadir la hora de inicio que aparece en Google Fit, los minutos totales del entrenamiento, las calorías quemadas calculadas por Fit y hacer clic en el botón “Añadir”.

Entrenamientos

Nuevo entrenamiento

Fecha: **1** Hora inicio: **2** Minutos: **3** Calorías:

Figura 30 Formulario Nuevo entrenamiento en Glucontrole.

El nuevo entrenamiento aparecerá automáticamente en la tabla de entrenamientos, organizados por fecha y con un cálculo total de las calorías quemadas en ese día. Además, si se supera el hito de gamificación de 1000 calorías quemadas en ese día, se obtiene una notificación como la de la Figura 31, que informa al usuario que ha ganado un punto por su buen trabajo físico.

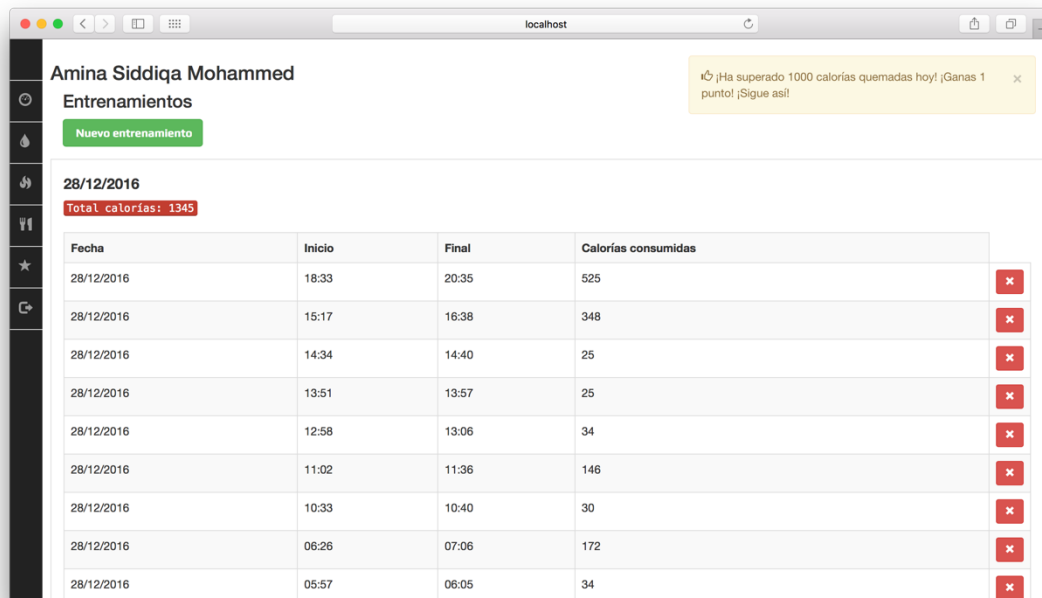


Figura 31 Notificación gamificación por superar más de 1000 calorías quemadas en el día.

4.2.3 Google Charts

Google Charts es un *plugin* gratuito que permite visualizar datos en una página web de una forma dinámica. Ofrece todo tipo de gráficos, desde simples gráficos lineales hasta mapas jerárquicos más complejos.

Hay varias formas de añadir Google Charts a una web. En el caso de este proyecto, se ha incluido una librería JavaScript que permite llamar a los métodos necesarios para definir los datos que se quieren dibujar y las diferentes opciones para definir el estilo de los gráficos a mostrar. Para este TFM se han utilizado dos tipos de gráficos. En primer lugar, se dibujan los relojes (Figura 32) que dan un resumen muy rápido de los últimos datos disponibles de cada variable de entrada al sistema y el resultado que estos datos dan en la variable de salida que define el bienestar del usuario.



Figura 32 Detalle relojes de último valor con Google Charts.

Después, se utiliza el histórico del usuario para dibujar los gráficos de tipo lineal de la Figura 33, en los que se enfrenta la variable más importante para el control del perfil glucémico, la glucosa, con las calorías quemadas en la primera y con

la carga glucémica de la dieta del usuario. Tal como se detallará en el apartado 5.2, se puede observar una relación directa de ejercicios realizados con alto consumo de calorías con bajadas drásticas de las medidas de glucosa en sangre. En el caso de la alimentación es más difícil observar la relación, ya que se necesitaría una mayor cantidad de medidas de glucosa para ver el resultado en sangre de una determinada carga glucémica.

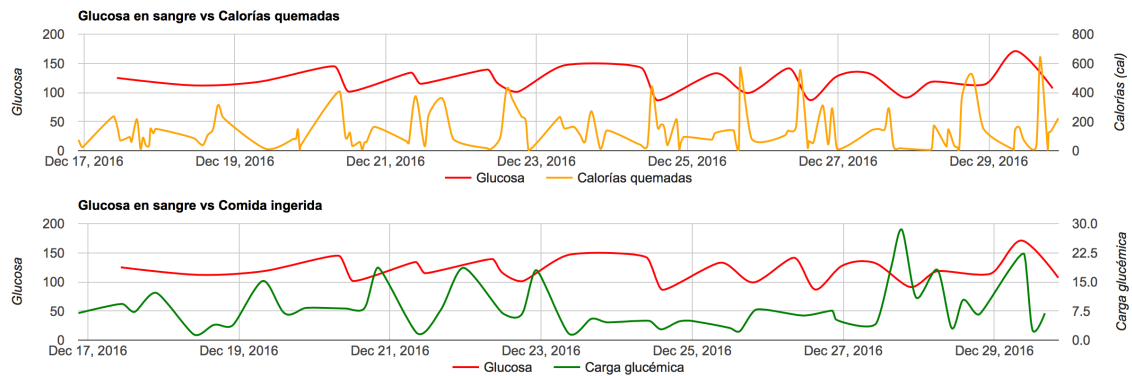


Figura 33 Detalle gráficas lineales con Google Charts.

En el anexo del apartado 10.2 se detalla el proceso seguido para definir estas gráficas de Google Charts, con información reseñable del código implementado.

4.2.4 Bootstrap notify

Bootstrap notify es un *plugin* que permite añadir a las notificaciones de Bootstrap un formato con más estilo y opciones de personalización. Con este *plugin*, se puede definir la posición de las notificaciones, el icono que las acompañe (que puede ser una imagen también), el título, el mensaje, el color y otras muchas opciones.

| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|-----------------|--------|
| 31/12/2016 | 09:06 | Ayunas | 150 |
| 30/12/2016 | 16:18 | Postprandial | 90 |
| 30/12/2016 | 09:04 | Ayunas | 147 |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |
| 28/12/2016 | 23:09 | Antes de dormir | 115 |
| 28/12/2016 | 05:30 | Ayunas | 118 |
| 27/12/2016 | 21:28 | Postprandial | 91 |
| 27/12/2016 | 09:43 | Ayunas | 133 |
| 26/12/2016 | 23:43 | Postprandial | 128 |
| 26/12/2016 | 14:56 | Post ejercicio | 87 |

Figura 34 Ejemplo notificación con Bootstrap notify.

En la Figura 34 se puede observar un ejemplo de notificación definida con Bootstrap notify. Será la lógica de la aplicación la que se encargará de definir las distintas opciones de personalización dependiendo del tipo de mensaje que se quiera hacer llegar al usuario. Se ha definido también un sistema de temporización que brinda suficiente tiempo para leer cada notificación antes de que aparezca la siguiente, en caso de que exista más de una notificación para un evento del sistema, como introducir una nueva medida de glucosa.

4.3 Algoritmo inteligente

Uno de los objetivos principales de este proyecto era el desarrollo de un sistema automático de análisis de los datos registrados en el histórico del perfil del usuario. De esta forma, el usuario podrá dedicar tiempo al cuidado de su perfil diabético en vez de dedicarse a analizar su propio histórico para sacar conclusiones.

Para este proyecto se barajaron dos opciones de algoritmos inteligentes: el primero basado en calcular las relaciones entre glucosa-ejercicio y glucosa-dieta a partir del histórico para realizar predicciones según los últimos datos disponibles, y el segundo basado en aplicar Fuzzy logic. Al final se aplicó un algoritmo de tipo Fuzzy logic [65].

Fuzzy logic fue inventado por Lotfi Zadeh a mediados de los años sesenta y permite llevar a una aplicación un razonamiento en reglas y términos lingüísticos similares a los del razonamiento humano. Fuzzy logic no habla en términos discretos, sino más bien en conceptos difusos como “lejos” o “poco”. Así, Fuzzy logic proporciona una flexibilidad de razonamiento que hace posible tener en cuenta incertidumbres e imprecisiones [65].

Una de las ventajas de Fuzzy logic es que las reglas del algoritmo se definen en lenguaje natural, por ejemplo, “Si la comida es de calidad y el servicio es bueno, entonces deja una propina alta”. Para poder definir los sistemas de tipo Fuzzy a partir de lenguaje natural, se utilizan las funciones de pertenencia para definir las variables lingüísticas que servirán para definir los umbrales de las variables de entrada y de salida. Existen varios tipos de funciones de pertenencia, pero las más utilizadas suelen ser las de tipo trapezoidal, como las que se pueden observar en la Figura 35 para definir los umbrales de la calidad de una comida en un restaurante. Lingüísticamente se definen los valores “horrible” y “delicioso”, pero se indica que, si la variable de entrada “comida” tiene un valor entre 0 y 1, supondrá que la comida es horrible en un 100% de probabilidad, por lo que el valor de la función de pertenencia en ese intervalo es 1. Entre 1 y 3 la probabilidad de que la comida sea “horrible” disminuye hasta llegar a 0. Entre 3 y 7 no se define un valor a la variable lingüística (aunque podría haberse definido un valor de, por ejemplo, “mediocre”) y de 7 a 9 se aumenta paulatinamente la probabilidad de que sea “delicioso” hasta que la función de pertenencia llega al valor 1 en el intervalo entre 9 y 10. De esta forma, la variable lingüística queda totalmente definida para servir de entrada a las reglas que definirán la salida de Fuzzy logic [65].

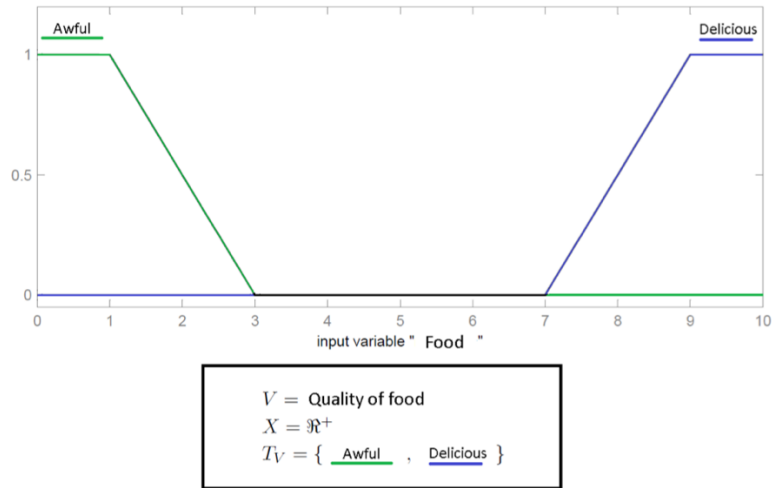


Figura 35 Ejemplo definición de variable lingüística para Fuzzy logic. [65]

Las reglas de razonamiento de Fuzzy, como ya se ha indicado, expresan con lenguaje natural el resultado que se obtendrá a partir de las variables lingüísticas definidas, de forma que la variable de salida “propina” pertenecerá al umbral “alta” en un nivel que dependerá del valor y la función de pertenencia definida para la variable “comida” [65].

En el caso de este Sistema de control glucémico, nuestras variables de entrada serán los niveles de glucosa, ejercicio y dieta y la variable de salida será el valor de bienestar del usuario.

Para obtener la mejor solución para implementar este algoritmo inteligente, se analizaron dos opciones. En un primer lugar, la investigación del estado del arte dejó patente el uso de Fuzzy logic en muchos ámbitos [70], en concreto en proyectos de análisis y gestión de la diabetes [71] [72] [73]. Por ello, se inició el proceso con Fuzzy logic como primera opción y se decidió utilizar las variables de entrada de glucosa, ejercicio y dieta para obtener un valor de bienestar del usuario. Tras los primeros intentos, se llegó a la conclusión de que con Fuzzy logic se podría obtener el bienestar puntual del usuario, pero no sería teniendo en cuenta el histórico disponible, por lo que perdía la capacidad de adaptación que se buscaba en el algoritmo inteligente.

Por todo ello, se inició la investigación de la segunda opción. En la base de datos ya se tenía una cantidad razonable de datos para poder obtener un perfil personalizado del sujeto de prueba. Así pues, se realizó un análisis estadístico de los datos disponibles para intentar encontrar una relación en dos grandes subconjuntos:

- **Relación entre glucosa y ejercicio físico:** Gracias a la información medida por la pulsera de actividad y las medidas de glucosa realizadas por el sujeto de estudio, se trató de buscar una relación que permitiera obtener una media de unidades de glucosa disminuidas en un minuto de ejercicio. De esta forma, se podrían obtener notificaciones basadas en el nivel de glucosa obtenido en la última medida, indicando el número de

minutos de ejercicio recomendados, según el histórico disponible, para disminuir la glucosa en sangre las unidades que hiciera falta.

- **Relación entre glucosa y dieta:** Esta aplicación dispone de una base de datos de alimentos que permite al usuario realizar un registro rápido de la Carga Glucémica ingerida en cada comida. En este caso, se buscaba encontrar una media que se correspondiera con las unidades de glucosa en sangre que sube una unidad de Carga Glucémica. De esta forma se podría aconsejar al usuario evitar alimentos de Carga Glucémica superior a una cantidad o ingerir determinados alimentos para aumentar el nivel de glucosa desde niveles bajos.

A la izquierda de la Figura 36 se puede apreciar el histórico completo del sujeto sobre el que se han realizado todas las pruebas de la aplicación. En la gráfica superior se representa la glucosa (mg/dL), en la del medio los minutos de ejercicio y en la inferior la carga glucémica de los alimentos ingeridos. Observando estas gráficas se puede ver una relación directa entre una cantidad alta de ejercicio físico y la disminución de los niveles de glucosa. En el caso de la dieta no es una relación tan directa, por lo que se llevaron a cabo más análisis.

Para obtener la relación entre la glucosa y el ejercicio físico se intentó entender la relación entre el ejercicio y las calorías consumidas. Esta relación se puede observar a la derecha de la Figura 36, en la que se llega a la conclusión de que existe una muy buena relación entre ambos datos. Se trata de una ecuación lineal de tipo $y = a + bx + \varepsilon$, siendo a la ordenada en el origen, b la pendiente y ε el error. Se obtiene que el ajuste de la recta a los puntos es muy elevado, llegando a un $R^2 = 0.978$ (teniendo en cuenta que un ajuste perfecto de los puntos sería un $R^2 = 1$). Esto es debido a que las pulseras de actividad y Google Fit calculan las calorías consumidas a partir de los pasos realizados y otras variables de entrada como la edad o el peso, por lo que la salida en calorías quemadas depende de esos factores y de los algoritmos aplicados. En este caso, con el histórico del usuario, la expresión de la recta obtenida es $cal = 0.22 + 4.38Min_{exer} + \varepsilon$.

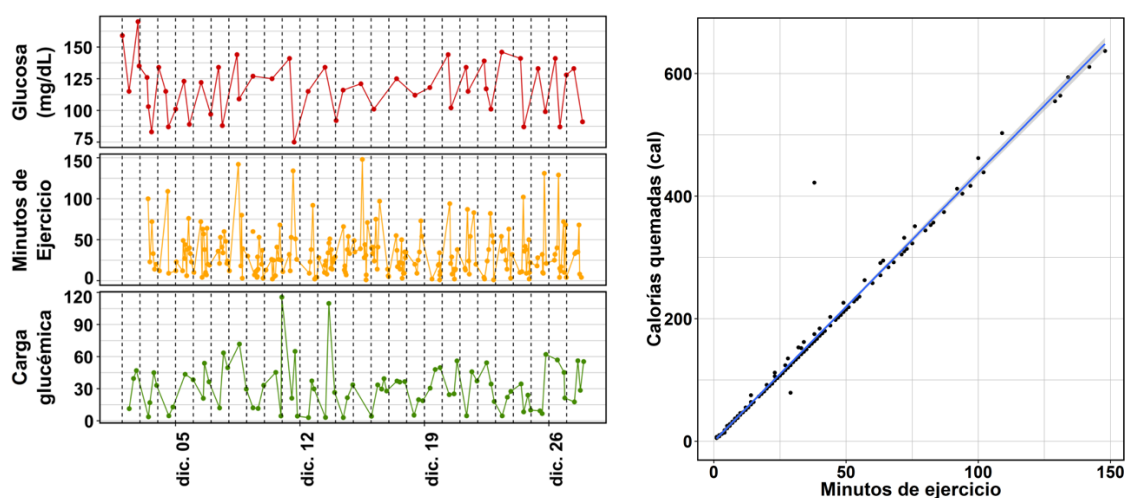


Figura 36 Izquierda: Histórico de glucosa, ejercicio y Carga glucémica del usuario analizado. Derecha: Relación entre minutos de ejercicio y calorías consumidas.

La relación entre la Carga Glucémica (CG) y los niveles de glucosa tiene una mayor complicación, ya que es muy difícil saber qué efecto tienen los distintos alimentos en el azúcar de la sangre, ni cuánto tardan en afectar. Aun así, la Carga Glucémica da un dato más fehaciente de este efecto que el Índice glucémico (IG), ya que tiene en cuenta también la influencia de los Hidratos de Carbono (HC). El cálculo de este dato se realiza de la siguiente manera:

$$CG = \frac{HC \times IG}{100}$$

En un intento exploratorio de los datos, se realiza en la Figura 37 un análisis clasificando por tipo de medida (ayunas, post ejercicio, postprandial, es decir, dos horas después de una comida, o antes de dormir) y tipo de comida (desayuno, almuerzo, merienda o cena).

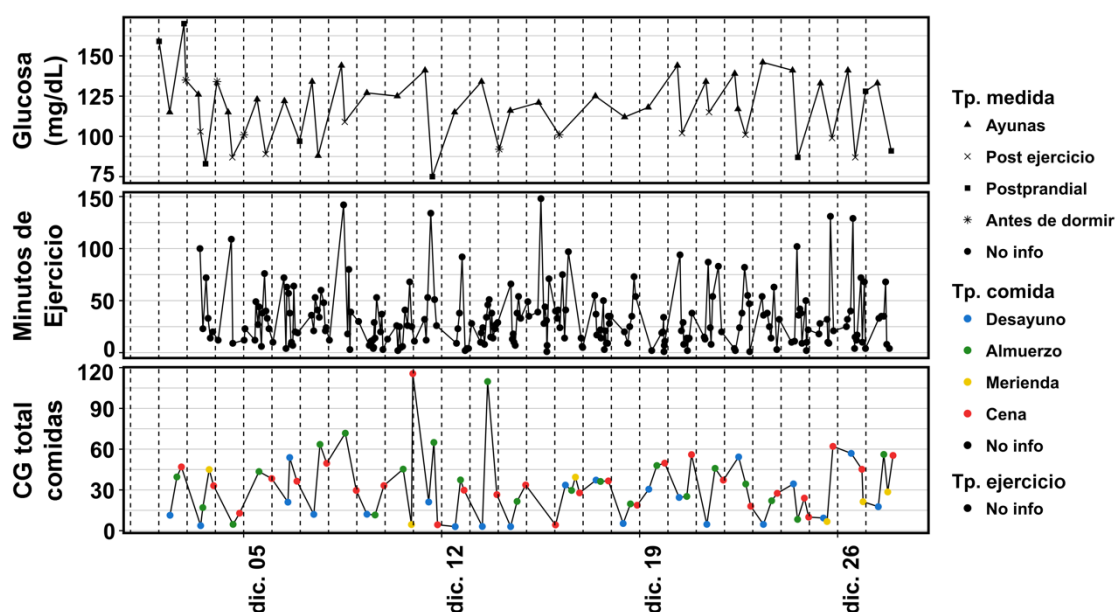


Figura 37 Clasificación del histórico por tipo de medida y tipo de comida.

Este análisis se combina con una exploración de los datos del histórico organizando las medidas por horas del día en la Figura 38. De esta figura se llega a la conclusión de que las medidas más elevadas del histórico fueron tomadas durante las primeras horas del día en ayunas, después de dormir. Esto puede ser debido a la inactividad del cuerpo durante la noche, junto con los alimentos ingeridos durante la cena, aunque los alimentos consumidos para cenar no suponen un aumento de la media de la carga glucémica. Esto se puede observar también en la Figura 39, en la que se representa todo el histórico de comidas agrupada por tipo. Se ve con claridad que la media (los puntos más gruesos con las barras que representan los intervalos de confianza al 95%) es superior en los almuerzos que en las cenas, lo que implica una gran influencia de la ausencia de ejercicio durante la noche para obtener las medidas de glucosa más elevadas durante la mañana, en ayunas.

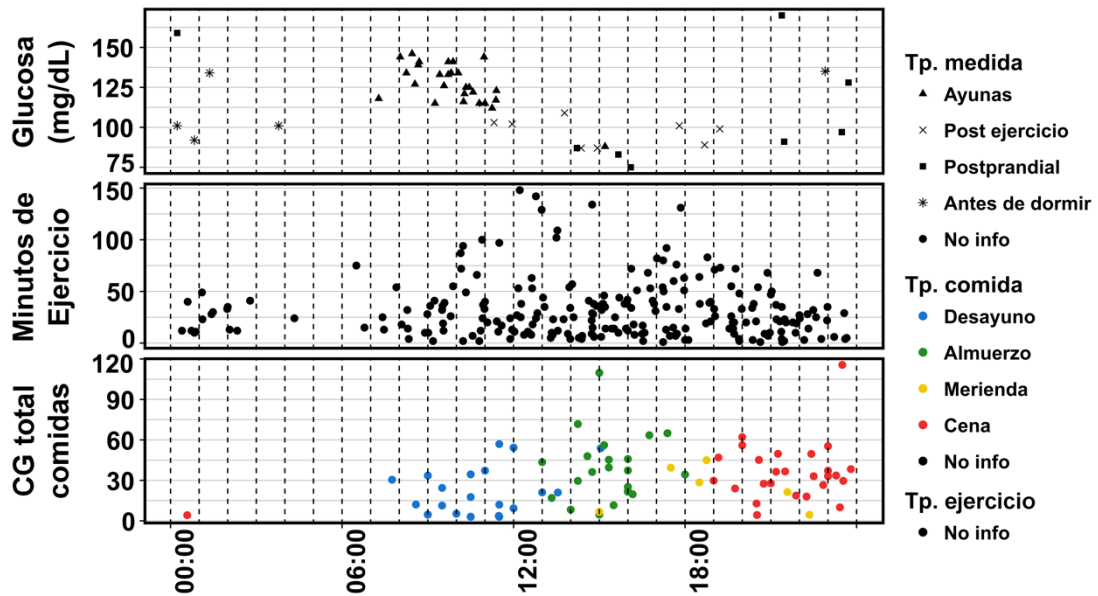


Figura 38 Clasificación del histórico por tipo de medida y de comida en las 24 horas de un día.

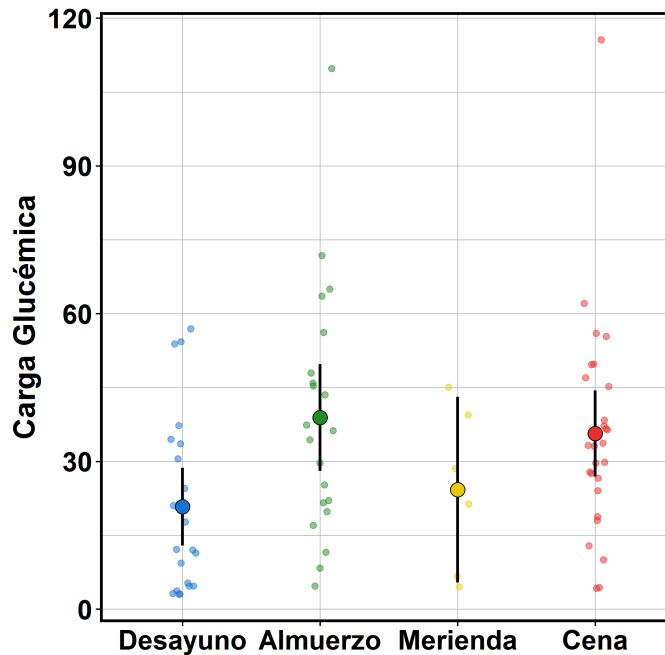


Figura 39 Histórico de carga glucémica y media por comida.

Con este análisis se concluye que, con más medidas de glucosa en sangre antes y después de hacer ejercicio, siempre en ayunas, se podría obtener una medida basándose en la media de disminución de glucosa en función de los minutos de ejercicio realizados. Aun así, esto obligaría al usuario a realizar una cantidad mínima de este tipo de medidas para calibrar el sistema, necesitando repetir la calibración cada cierto tiempo para tener en cuenta los cambios debidos a agentes externos como la edad o la propia evolución de la enfermedad. Esto supone ya una razón de peso para descartar este tipo de algoritmo, que se suma al intento fallido de encontrar una relación también directa entre la carga glucémica de los alimentos consumidos y la subida de glucosa en sangre.

Por estas razones se decidió volver a la opción de implementar Fuzzy logic como algoritmo inteligente del sistema. Para resolver el problema con la ausencia de una adaptación del algoritmo al histórico del usuario se analizó el funcionamiento de Fuzzy, que se basa en la definición de las variables lingüísticas de entrada mediante unas funciones de pertenencia que definen el grado de veracidad de la afirmación para ese umbral de la variable [65]. Así pues, si se consigue adaptar los umbrales de las funciones de pertenencia de cada una de las variables de entrada (glucosa, ejercicio y dieta) con la información del histórico de cada usuario, las decisiones tomadas por el algoritmo inteligente estarían totalmente basadas en el perfil de cada paciente.

Para ello, se definen unos umbrales por defecto, basados en criterios genéricos para cada variable de entrada:

- **Glucosa:** Nivel bajo menor que 70, óptimo entre 70 y 160 y alto mayor que 160.
- **Ejercicio (calorías quemadas):** Nivel bajo con menos de 125 calorías quemadas, medio entre 125 y 275 y alto con más de 275 por agrupación de ejercicio, periodo que dependerá de cada usuario.
- **Dieta (Carga glucémica):** Nivel bajo con CG menor que 10, medio entre 10 y 20 y alto superior a 20.

Estos umbrales por defecto se utilizan para los usuarios que son nuevos en el sistema, hasta que se disponga de un histórico suficiente para poder adaptar los umbrales al perfil de cada paciente. Se ha definido un mínimo de 20 medidas de cada una de las variables de entrada para iniciar la adaptación de los umbrales. A la izquierda de la Figura 40 se pueden observar las funciones de pertenencia que definen los umbrales por defecto para cada variable de entrada al sistema, y a la derecha de la Figura 40 se puede apreciar cómo se modifican los valores de los umbrales con un histórico de más de un mes para cada variable. Esta adaptación a cada usuario es muy necesaria para este tipo de proyectos, ya que un valor de 140 de glucosa puede ser óptimo o alto dependiendo de la persona que se esté analizando. Así se consigue un valor más realista del bienestar de un paciente que inicie sesión en el sistema.

Para llevar a cabo esta adaptación se decidió utilizar la mediana, ya que es mucho más resistente a los valores pico que la media. Así se evita obtener valores de umbrales alejados de la realidad del usuario por una medida demasiado alta o demasiado baja un día determinado. Además, se buscó en todo momento mantener la proporción de los trapecoides que se definen en los umbrales por defecto.

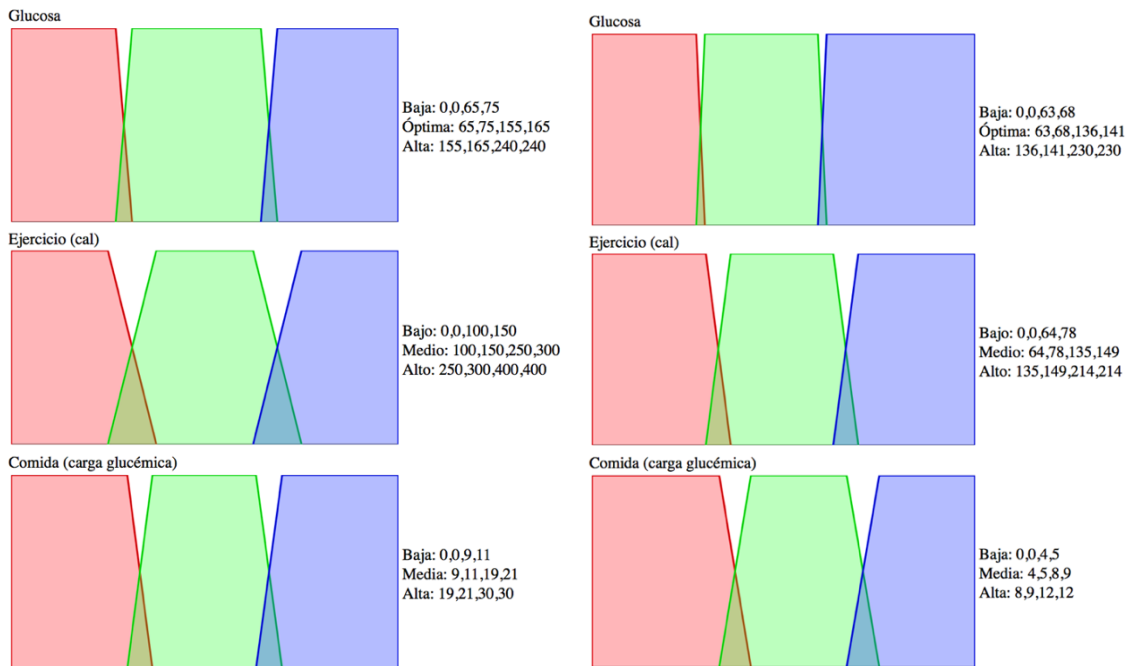


Figura 40 Izquierda: Funciones de pertenencia con los umbrales por defecto de cada variable de entrada. Derecha: Funciones de pertenencia con los umbrales adaptados al histórico del usuario.

Los cálculos realizados para la adaptación de los umbrales son los siguientes:

- Se obtiene la mediana de todos los datos almacenados en el histórico. Cuantos más datos estén disponibles, más preciso será el cálculo de los nuevos umbrales.
- Se calcula el incremento que se utilizará para el cálculo de los puntos que definen los trapecoides, mediante el doble de la mediana y dividiendo entre los siguientes valores, seleccionados tras varias pruebas para mantener la proporción de los trapecoides definidos por defecto:
 - 50 para la glucosa.
 - 30 para el ejercicio.
 - 15 para la comida.
- Una vez se dispone del incremento para cada variable, se realiza el cálculo de los cuatro puntos de corte con el eje X para cada trapecio. Tal como se ha indicado, estos cálculos se han definido también buscando mantener la proporción de los trapecios de los umbrales por defecto:

○ **Glucosa:**

```
var trapGlucosaA = Math.round((medianaGlucosa/2)+incrementoGlucosa);
var trapGlucosaB = Math.round((medianaGlucosa/2)+(2*incrementoGlucosa));
var trapGlucosaC = trapGlucosaB*2;
var trapGlucosaD = trapGlucosaC+incrementoGlucosa;
```

○ **Ejercicio:**

```
var trapEjercicioA = Math.round(((medianaEjercicio*2)/3)-incrementoEjercicio);
var trapEjercicioB = trapEjercicioA+2*incrementoEjercicio;
var trapEjercicioC = medianaEjercicio+4*incrementoEjercicio;
var trapEjercicioD = trapEjercicioC+2*incrementoEjercicio;
```

- **Comida:**

```
var trapCglucemicaA = Math.round(((medianaCglucemica*2)/3)-
incrementoCglucemica/2);
var trapCglucemicaB = trapCglucemicaA+incrementoCglucemica;
var trapCglucemicaC = medianaCglucemica+2*incrementoCglucemica;
var trapCglucemicaD = trapCglucemicaC+incrementoCglucemica;
```

- Finalmente, con los puntos A, B, C y D de cada variable, se definen los trapecios con el siguiente *array* de *arrays*:

```
[[[0,0,A,B],[A,B,C,D],[C,D,2*MEDIANA,2*MEDIANA]]
```

Para el caso de la variable de salida, es decir, el bienestar del usuario, se definen las funciones de pertenencia que se pueden observar en la Figura 41. En este caso, no es necesario que los umbrales se adapten a cada persona, ya que se considera el bienestar como un valor absoluto. Se define como máximo 90 ya que el máximo de bienestar alcanzado durante las pruebas realizadas fue de 80. El bienestar bajo se define como menor a 30, el bienestar medio entre 30 y 60 y un bienestar alto por encima de 60.

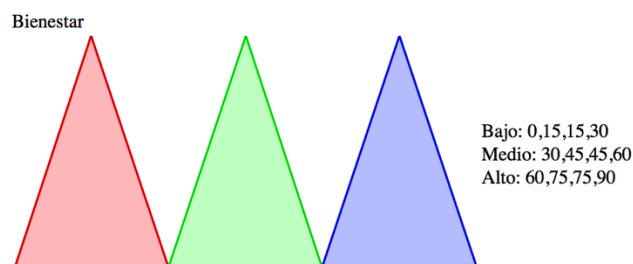


Figura 41 Funciones de pertenencia del bienestar, la variable de salida.

Finalmente, se debe indicar JS-Fuzzy cuáles son las inferencias, es decir, la influencia de cada umbral de las variables de entrada en la variable de salida. Para ello, se definen unos *arrays* con los siguientes posibles valores:

- Un 0 implica un nivel bajo a la salida.
- Un 1 implica un nivel medio a la salida.
- Un 2 implica un nivel alto a la salida.

El array de inferencias sigue el siguiente formato:

```
inferencias: [
    [0,2,0],
    [0,1,2],
    [2,1,0]
]
```

De esta forma, en el primer *array*, que se corresponde con el de la variable de entrada de glucosa, se indica que un nivel bajo de glucosa es un nivel bajo a la salida, al igual que un nivel alto de glucosa, que también es peligroso para el paciente. Sin embargo, un nivel medio (óptimo) de glucosa implica un nivel alto de bienestar a la salida. Con el *array* de inferencias anterior, se obtienen las influencias a la salida que se pueden observar en la Figura 42.

| | |
|--------------------------------------------|-------------------|
| If [Glucosa].Baja | Then Bajo |
| If [Glucosa].Óptima | Then Alto |
| If [Glucosa].Alta | Then Bajo |
| If [Ejercicio (kcal)].Bajo | Then Bajo |
| If [Ejercicio (kcal)].Medio | Then Medio |
| If [Ejercicio (kcal)].Alto | Then Alto |
| If [Comida (carga glucémica)].Baja | Then Alto |
| If [Comida (carga glucémica)].Media | Then Medio |
| If [Comida (carga glucémica)].Alta | Then Bajo |

Figura 42 Influencias en la salida de las variables de entrada del algoritmo Fuzzy logic.

Con todo estos estos datos, el *plugin* aplica Fuzzy logic para calcular el bienestar del usuario.

4.4 Notificaciones inteligentes

En la aplicación Glucontrol, cualquier inserción o eliminación de datos dispara el cálculo del bienestar, de forma que esté siempre actualizado con los últimos datos disponibles en la base de datos.

El valor del bienestar calculado mediante Fuzzy logic realmente no significa nada para el usuario, ya que se trata de un valor numérico. Es cierto que lo ideal es buscar un valor de bienestar cuanto más alto mejor, pero no queda claro qué puede hacer un usuario que obtiene un valor bajo de bienestar para mejorarlo.

Para generar una lógica de notificaciones transparente al usuario y que se base también en toda la información útil del histórico, se realizaron pruebas con distintos valores extremos de entrada para obtener diferentes valores de bienestar a la salida. La lógica generada toma decisiones para los distintos casos posibles de bienestar para presentar al usuario notificaciones diferentes con consejos relevantes basados en su perfil particular. Esto es posible gracias a la buena relación descubierta entre los minutos de ejercicio y las calorías quemadas que se observó en la Figura 36. Por ello, se decide utilizar el histórico de ejercicio para calcular la media de calorías consumidas por minuto. Así, se realizan llamadas en bucle a la función de cálculo de bienestar con el dato disponible de glucosa y jugando con los valores de carga glucémica mientras se aumenta de diez en diez las calorías a consumir para mejorar el bienestar. Con el valor obtenido de calorías y la media de calorías consumidas por minuto, se calcula el tiempo de ejercicio necesario estimado.

Cabe destacar que el sistema se ha definido de forma que, si una de las variables de entrada tiene un efecto negativo definido en las inferencias (valor 0 en el *array inferences*), no permitirá tener nunca un valor alto de bienestar. Este es un dato importante a tener en cuenta a la hora de calcular las calorías que el usuario necesitaría quemar para obtener un nivel de bienestar de mínimo 60, ya que ningún valor de calorías a quemar, por alto que sea, permitirá subir el bienestar hasta que no se obtenga un nuevo valor de glucosa, ya que el bucle sería infinito. Esto se soluciona definiendo un máximo de 300 calorías a quemar, indicando al usuario cuántos minutos necesita, según su histórico, para quemarlas e

insistiendo para que se vuelva a medir la glucosa en sangre tras el ejercicio para actualizar el valor de bienestar.

Así pues, el sistema de decisiones desarrollado se puede observar en la Figura 43.

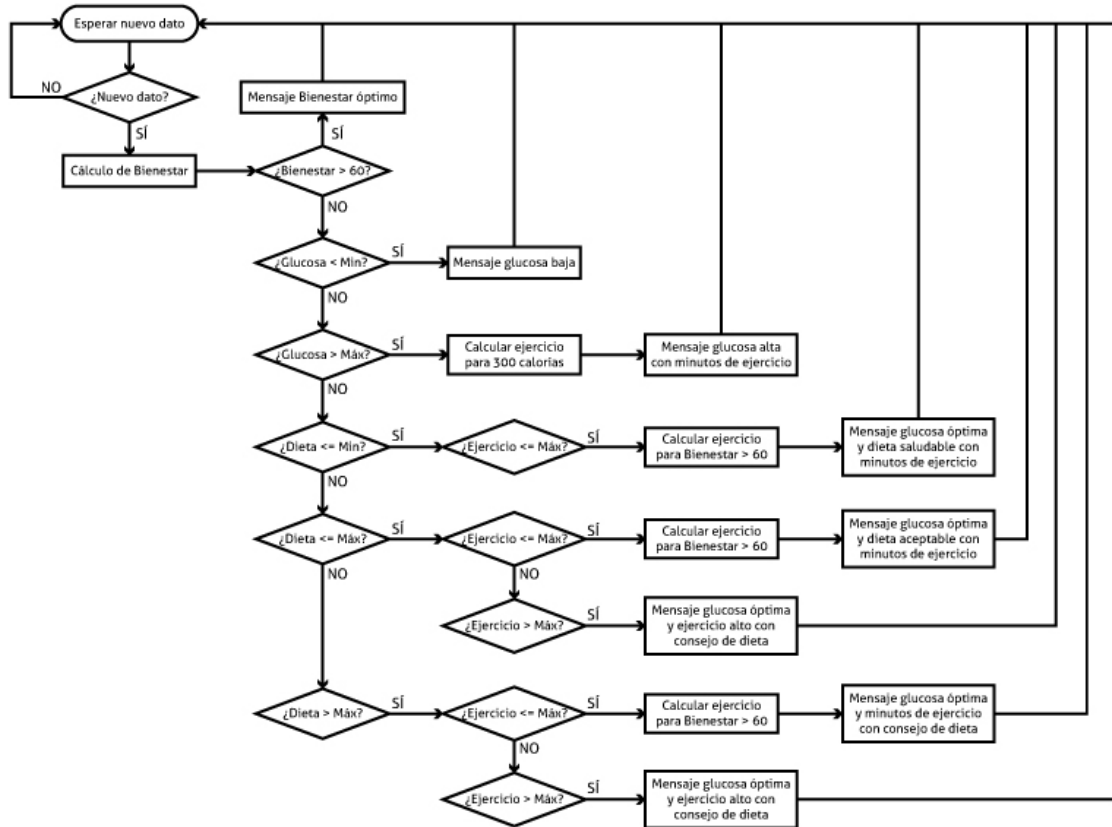


Figura 43 Diagrama de estados de avisos personalizados a partir del resultado de Fuzzy logic.

4.5 Gamificación

La gamificación [74] es una piedra angular de este proyecto, ya que con este concepto se consigue motivar a los usuarios a introducir los datos en la base de datos, apelando a su competitividad al poder ver su posición en el ranking de usuarios de la aplicación y las puntuaciones totales de cada uno. Así pues, se pueden ganar puntos por buenas medidas de glucosa, por quemar más de un determinado número de calorías diarias o por alimentarse de forma saludable, buscando cargas glucémicas bajas. Por otro lado, una de las tareas más incómodas para un diabético es la necesidad de pincharse para obtener la sangre para realizar la medida de glucosa. Aunque las tiras reactivas de los glucómetros necesitan cada vez menos cantidad de sangre, la forma de conseguirla no ha cambiado y la importancia de realizar el mayor número de medidas al día para controlar el perfil glucémico es crucial. De hecho, se recomienda realizar siempre una medida en ayunas al despertarse, otra medida dos horas después de cada comida (postprandial) y una antes de dormir si esta no coincide con la de dos horas después de cenar. Por ello, en este proyecto se ha decidido premiar mediante gamificación a los usuarios que se enfrenten a

más de tres pinchazos diarios mediante puntos extra para la clasificación total, buscando la motivación más allá del momento incómodo.

En la siguiente tabla se listan los hitos para conseguir los puntos para la clasificación:

| Tipo | Hito | Puntos |
|-----------|------------------------------------------|--------|
| Glucosa | 70 < Medida < 145 | +1 |
| | 145 <= Medida <= 160 | +0.5 |
| | Medida > 160 | -1 |
| | Medida <= 70 | -1 |
| | 3 medidas en un día | +1 |
| | Cada medida a partir de 3 al día | +0.5 |
| Ejercicio | Más de 1000 calorías quemadas un día | +1 |
| | Más de 2000 calorías quemadas en un día | +1 |
| Dieta | Media de carga glucémica de comida < 10 | +1 |
| | Media de carga glucémica de comida <= 20 | +0.5 |
| | Media de carga glucémica de comida > 20 | -1 |

Además, dentro del sistema diseñado de gamificación, existe la posibilidad de conseguir medallas por superar determinados hitos, como una semana de alimentación saludable o un mes en el que el usuario consiga realizar al menos 3 medidas de glucosa diarias. Los hitos para conseguir las medallas son los siguientes:

| Medalla | Nombre | Hito |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  | ¡Bienvenido! | Iniciar sesión por primera vez. |
|  | Constante | Medir la glucosa al menos 3 veces al día durante 1 semana. |
|  | Dedicación | Medir la glucosa al menos 3 veces al día durante 2 semanas. |
|  | Sheriff | Medir la glucosa al menos 3 veces al día durante 1 mes. |
|  | Saludable | Comer alimentos por debajo de 20 de carga glucémica durante 1 semana. |
|  | ¡Ligerito, ligerito! | Comer alimentos por debajo de 10 de carga glucémica durante 1 semana. |
|  | Atleta | Quemar más de 1.000 calorías al día durante 1 semana. |
|  | Espartano | Quemar más de 2.000 calorías al día durante una semana. |

En la Figura 23 se pudo observar la pantalla de la sección de Clasificación de la aplicación, en la que se aprecia una sección diferenciada para las medallas que pueden conseguirse en Glucontrol, en escala de grises, con las medallas obtenidas por el usuario que ha iniciado sesión, en color. Debajo de las medallas, se encuentra la tabla de clasificación, en la que todos los usuarios del sistema aparecen por orden de puntuaciones globales. Cabe destacar que la puntuación global es la única información que un usuario que haya iniciado sesión puede ver de otros usuarios. Se ha cuidado mucho el diseño del sistema desde su núcleo para evitar que puedan ver información personal, como medidas de glucosa o cualquier histórico disponible. No será accesible tampoco qué acciones han permitido al usuario tener la puntuación global visible desde la tabla de clasificación. Para ello, como ya se indicó en el apartado 3.2.1, se ha creado una colección externa con las puntuaciones globales de cada usuario, que se actualiza desde la sesión de cada usuario accediendo mediante el identificador único asignado por MongoDB.

5. Diseño final y simulaciones

5.1 Diseño final

Después de entrar en detalle en el desarrollo de la aplicación de control del perfil glucémico diseñada, y todas las tecnologías utilizadas en el proceso, el diseño final obtenido es el que se puede observar en la Figura 44.

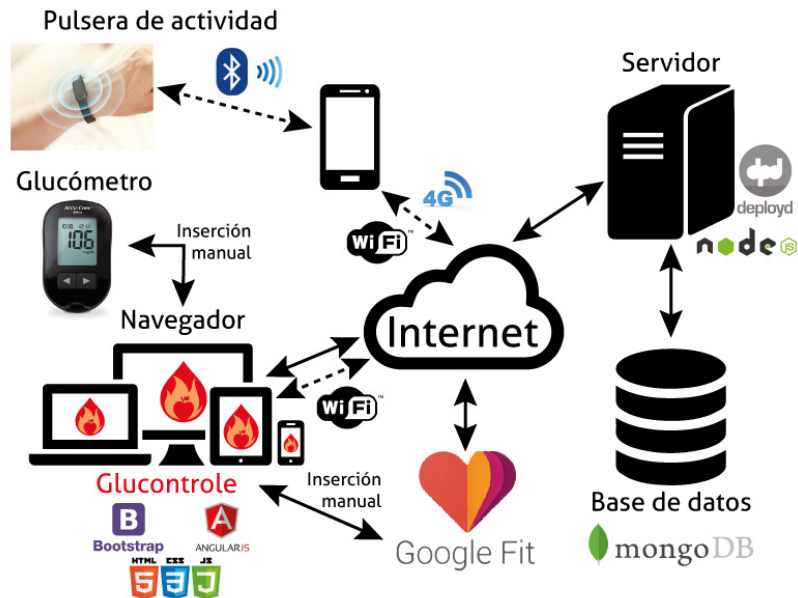


Figura 44 Arquitectura Glucontrol completa con las tecnologías utilizadas.

Cabe destacar que la explicación de todas las pruebas realizadas tanto del algoritmo inteligente como del sistema de gamificación se detallan en los próximos apartados.

5.2 Pruebas del algoritmo inteligente

La mayor tarea de este TFM ha sido la obtención de un algoritmo inteligente que realice un análisis totalmente transparente para el usuario de los datos almacenados en la base de datos de Glucontrol y ponga a su disposición conclusiones basadas en la información facilitada. De esta forma, conseguir una gestión del perfil glucémico de forma natural y sin la necesidad de medicación no sólo es posible, sino que además resulta más sencillo.

En la Figura 45 se puede observar cómo evoluciona el valor del bienestar calculado con Fuzzy logic y los umbrales por defecto. En las pruebas realizadas se han aplicado al algoritmo todas las combinaciones posibles de las variables de entrada, es decir, glucosa, ejercicio y dieta, para así obtener todo el rango de valores de bienestar y cómo reacciona la salida del algoritmo inteligente a los distintos valores de entrada. En estas pruebas los valores de ejercicio y dieta oscilan continuamente entre valores desaconsejados y valores óptimos para combinarse con los valores de glucosa, que suben paulatinamente de valores bajos a valores altos. Cabe destacar que los valores de bienestar más elevados se obtienen en la franja de medidas de glucosa óptimas, alcanzando el máximo

de bienestar con los máximos de ejercicio y los mínimos de carga glucémica de la dieta. Este comportamiento es el esperado, ya que el objetivo principal es mantener la glucosa dentro de la franja de valores óptimos, por lo que un valor alto o bajo siempre afectará al bienestar de manera negativa. Es por ello que los valores de bienestar más bajos se obtienen con glucosa baja o alta, ejercicio bajo y carga glucémica elevada.

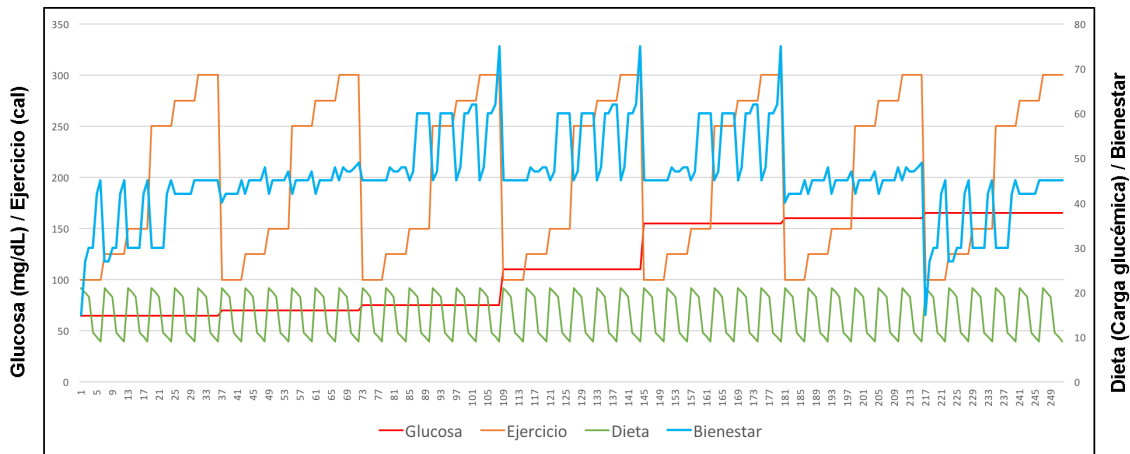


Figura 45 Evolución del bienestar con umbrales por defecto para distintos valores de glucosa, ejercicio y dieta.

Tal como se ha indicado, otra de las características obtenidas en este proyecto ha sido la personalización de los umbrales de las variables de entrada según el histórico de cada usuario, obteniendo así un algoritmo inteligente que se adapta a cada paciente de diabetes, con las características únicas de su enfermedad y su perfil glucémico. En la Figura 46 se puede observar la evolución del bienestar con los umbrales adaptados a una de las usuarias de prueba de este proyecto. En estos resultados se puede apreciar una evolución del bienestar similar al caso anterior, pero con niveles de variables de entrada adaptados a los niveles normales para este caso concreto. Además, se observa una menor oscilación en las decisiones realizadas por el algoritmo inteligente, sobre todo en los picos superiores, lo que indica que la adaptación está funcionando correctamente.

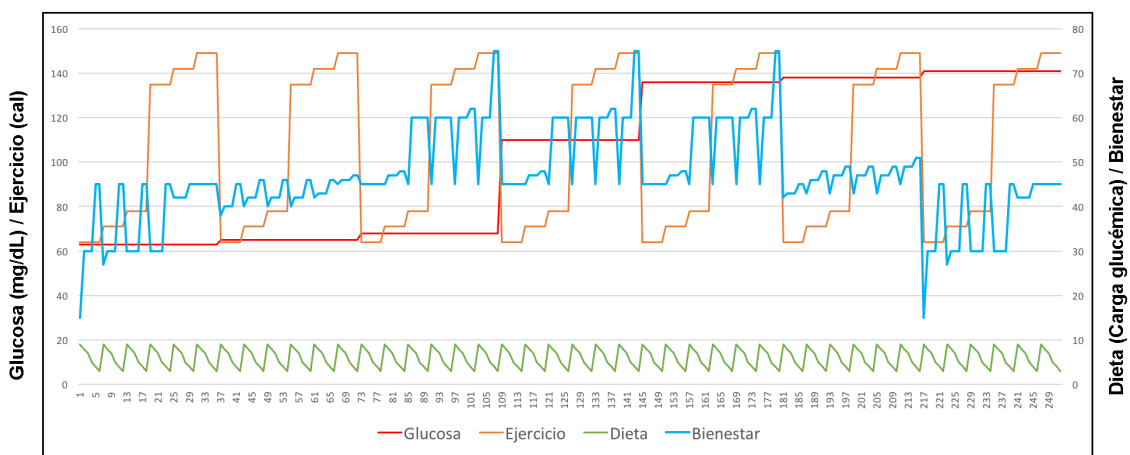


Figura 46 Evolución del bienestar calculado con umbrales adaptados al usuario para distintos valores de glucosa, ejercicio y dieta.

5.3 Pruebas de las notificaciones inteligentes

A continuación, se presentan las pruebas realizadas con distintos valores de las variables de entrada y los distintos valores de bienestar obtenidos, con sus notificaciones personalizadas tanto de consejos para mejorar el bienestar como informativos de gamificación. Se dividen las pruebas según los valores de glucosa, ya que es el valor más importante y que rige el bienestar del usuario.

5.3.1 Glucosa óptima

Al registrar una medida óptima de glucosa (según los umbrales adaptados a cada usuario), se inicia el cálculo del bienestar mediante JS-Fuzzy, de forma transparente al usuario y automáticamente se recibe una notificación en la parte superior de la pantalla. En la primera prueba, con una medida de glucosa de 110, un último ejercicio registrado de 50 calorías quemadas y una carga glucémica de la última comida de 6.9 de media, se informa al usuario a través de la notificación de la Figura 47 que su nivel de glucosa es bueno, pero que podría mejorar la alimentación. Así pues, la aplicación calcula, con las condiciones actuales, cuántas calorías necesitaría quemar y, con la media de calorías consumidas por minuto, aproxima la cantidad de minutos de ejercicio que debería realizar el usuario para obtener un bienestar óptimo. Además, recomienda mantener su dieta en niveles más saludables con alimentos con carga glucémica menor que 10 que conformen las comidas, para así disminuir la media obtenida en la última medida. Para este usuario concreto una dieta de carga glucémica media estaría comprendida entre 4 y 9 de media, por lo que la recomendación se centra más en el ejercicio físico.

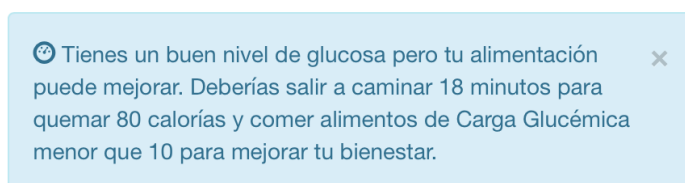


Figura 47 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa óptima, ejercicio bajo y alimentación relativamente sana.

Ante esta recomendación, si el usuario realiza un ejercicio que consuma, al menos, las calorías recomendadas por el algoritmo, podrá mejorar su bienestar. En la Figura 48 se puede observar cómo se introduce al sistema un conjunto de Google Fit de 81 minutos que ha consumido 348 calorías.

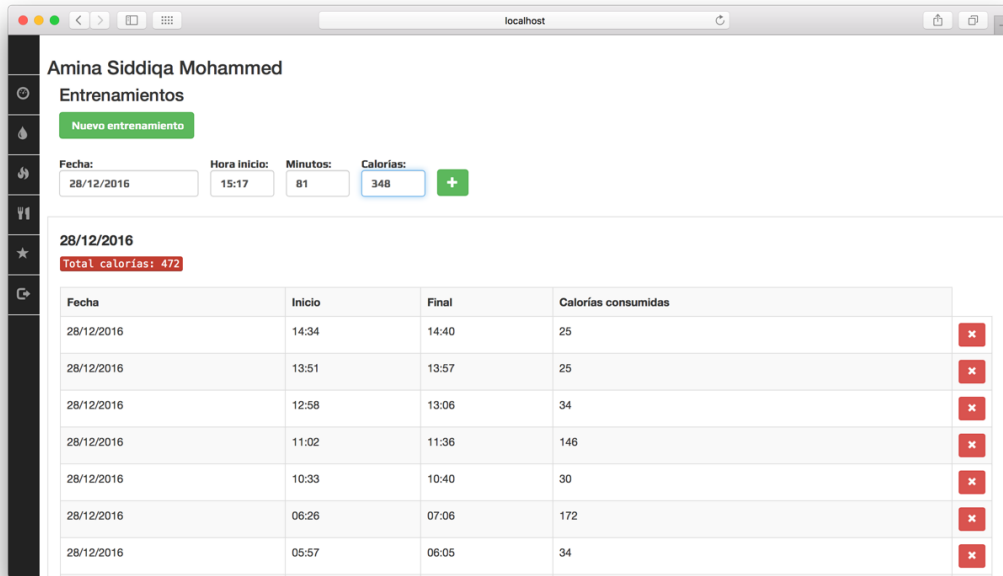
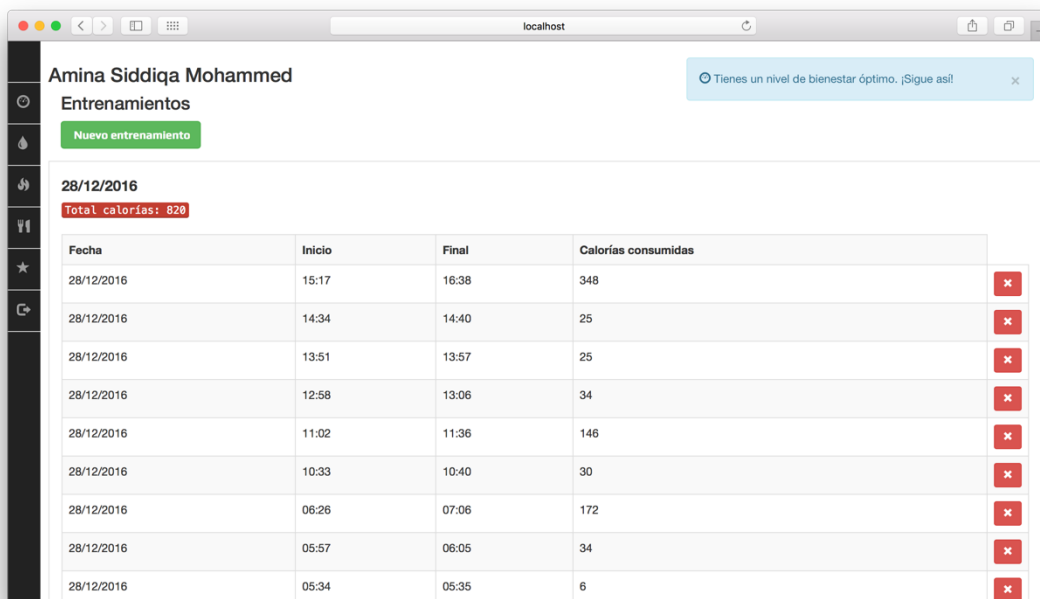


Figura 48 Nuevo entrenamiento con altas calorías quemadas.

En el momento que se inserta este nuevo entrenamiento en el sistema, se recalcula el bienestar con los nuevos datos y se comunica al usuario con una notificación en la parte superior derecha de la pantalla, tal como se puede apreciar en la Figura 49.



En la Figura 49 se presenta el detalle de la nueva notificación, que indica que el usuario, con los nuevos datos de ejercicio realizado, ha obtenido un nivel de bienestar óptimo.

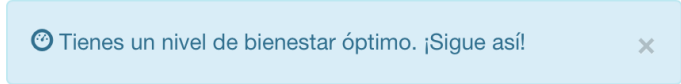


Figura 49 Notificación del algoritmo inteligente con un nivel de bienestar óptimo.

La siguiente prueba realizada incluyó un buen nivel de glucosa y una alimentación con una media de carga glucémica correspondiente al umbral bajo, pero con poco ejercicio físico en el último registro. En este caso, la notificación obtenida se puede observar en la Figura 50, en la que se recomiendan las calorías que se deben quemar y los minutos necesarios para conseguir llegar a un nivel de bienestar óptimo.

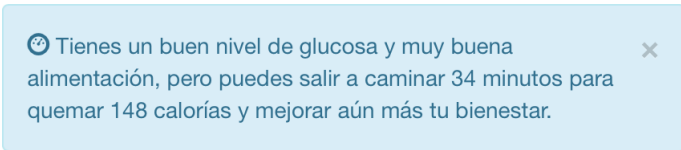


Figura 50 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa óptima, alimentación muy sana y ejercicio bajo.

En la última prueba realizada se basó en un escenario con una medida de glucosa óptima, ejercicio físico elevado y una cena de carga glucémica muy elevada como la que se puede apreciar en la Figura 51.

| Cena (22:26) | | Total CG: 42.00 | | | |
|--------------|-----------|-----------------|----|----|--|
| Cantidad | Alimento | HC | IG | CG | |
| 2.0 | Croissant | 60 | 70 | 42 | |

Figura 51 Comida con carga glucémica elevada.

Al añadir esta nueva información de la dieta del usuario, se presenta la notificación de la Figura 52, en la que se halaga el buen nivel de glucosa y de ejercicio, pero se indica que la dieta es poco saludable y se recomienda que se mantenga la carga glucémica de los alimentos consumidos por debajo de 10.

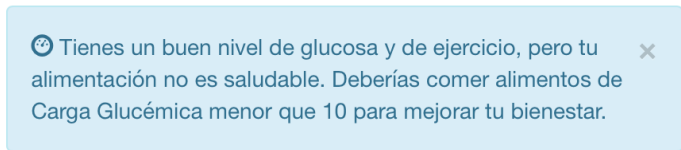
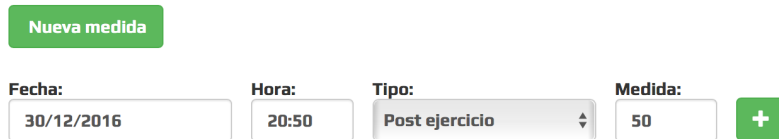


Figura 52 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa óptima, ejercicio alto y alimentación poco saludable.

5.3.2 Glucosa baja o alta

Para llevar a cabo la prueba de una medida de glucosa baja, se inserta un valor de 50 después de una actividad física, tal como se puede observar en la Figura 53.

Niveles de glucosa



Formulario de Nueva medida con una medida de glucosa baja. El formulario tiene un botón verde "Nueva medida" en la parte superior. Debajo, hay cuatro campos de entrada: "Fecha:" con el valor "30/12/2016", "Hora:" con el valor "20:50", "Tipo:" con un menú desplegable que muestra "Post ejercicio", y "Medida:" con el valor "50". A la derecha de los campos de entrada hay un botón verde con un signo "+".

Figura 53 Formulario de Nueva medida con una medida de glucosa baja.

Una vez añadida la nueva medida, el usuario recibe una notificación de gamificación (Figura 54), en la que se indica que pierde un punto en la clasificación general debido a la medida baja obtenida.

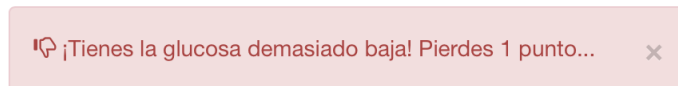


Figura 54 Notificación de gamificación para una medida de glucosa baja.

A continuación, se presenta el resultado del cálculo del bienestar, que es bajo debido a la mala medida de glucosa. Por ello, en la Figura 55 se notifica esta situación al usuario y se le recomienda que ingiera alimentos y vuelva a medirse la glucosa dos horas después de la comida.

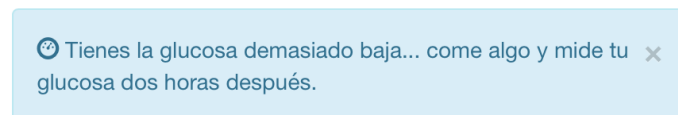


Figura 55 Recomendación del algoritmo inteligente con glucosa demasiado baja.

Sin embargo, en el caso de añadir un nivel de glucosa incluido en la función de pertenencia del umbral alto, la aplicación lo indica mediante una notificación como la de la Figura 56, en la que se impera al usuario a salir a hacer ejercicio durante los minutos necesarios para quemar 300 calorías. Tal como se ha indicado en los apartados anteriores, esta cantidad de minutos se calcula dinámicamente a partir de la media de calorías consumidas por minuto del usuario que ha iniciado sesión, adaptándose así a la realidad de esa persona concreta. Además, se recomienda evitar los alimentos de carga glucémica elevada para facilitar la disminución de la glucosa en sangre.

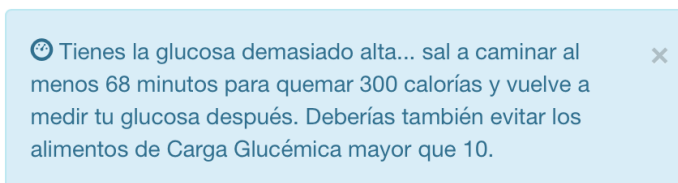


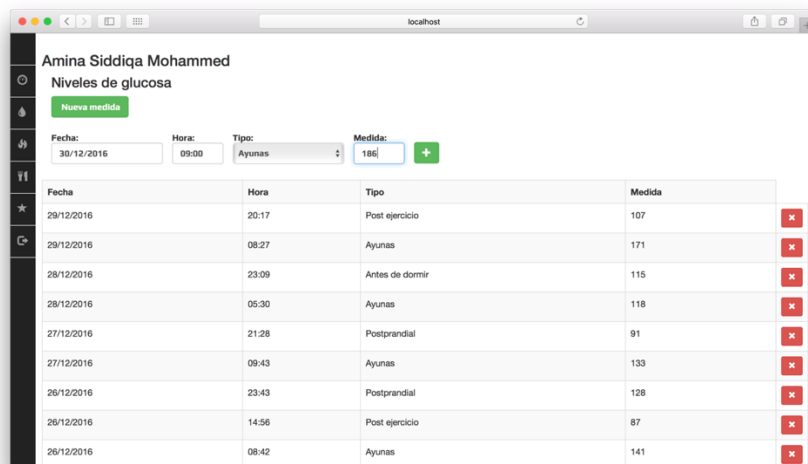
Figura 56 Recomendación del algoritmo inteligente para una glucosa demasiado alta.

5.4 Pruebas de Gamificación

Ya se ha adelantado en apartados anteriores alguna de las notificaciones recibidas relacionadas con la gamificación para, por ejemplo, una medida de glucosa demasiado baja en la Figura 54, pero en este apartado se detallarán las

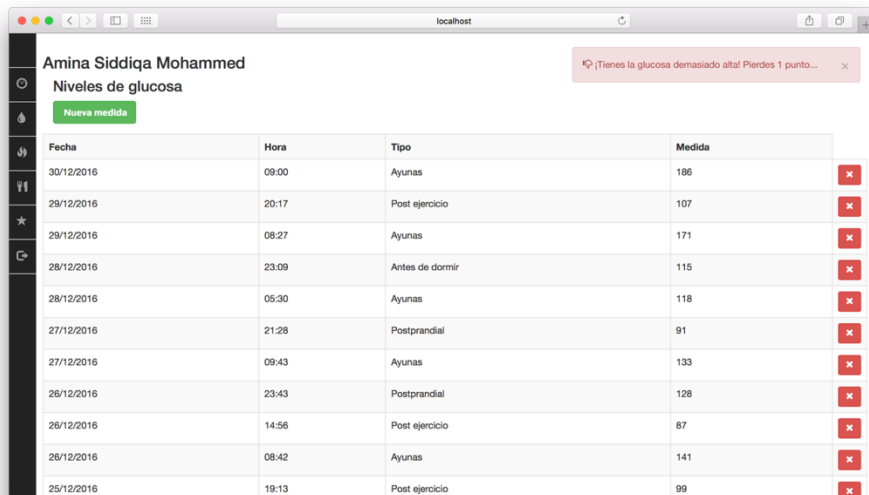
pruebas realizadas para comprobar que el sistema de gamificación definido en el apartado 4.5 funciona correctamente.

El escenario del que partimos es uno con una puntuación global de 47 puntos para la usuaria que ha iniciado sesión. Para poner a prueba la gamificación de la sección de glucosa se añaden cuatro medidas diferentes para comprobar que se asignan y suman los puntos correctos en cada situación. La primera medida de 186 se puede observar en la Figura 57, que al añadirla presenta la notificación de color rojo e icono negativo de la Figura 58, en la que se indica que se ha perdido un punto por la medida de glucosa demasiado alta. Se puede observar también que la nueva medida se ha añadido correctamente a la tabla del histórico.



| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|-----------------|--------|
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |
| 28/12/2016 | 23:09 | Antes de dormir | 115 |
| 28/12/2016 | 05:30 | Ayunas | 118 |
| 27/12/2016 | 21:28 | Postprandial | 91 |
| 27/12/2016 | 09:43 | Ayunas | 133 |
| 28/12/2016 | 23:43 | Postprandial | 128 |
| 26/12/2016 | 14:56 | Post ejercicio | 87 |
| 26/12/2016 | 08:42 | Ayunas | 141 |

Figura 57 Pruebas Gamificación: Inserción de medida alta de glucosa.



| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|-----------------|--------|
| 30/12/2016 | 09:00 | Ayunas | 186 |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |
| 28/12/2016 | 23:09 | Antes de dormir | 115 |
| 28/12/2016 | 05:30 | Ayunas | 118 |
| 27/12/2016 | 21:28 | Postprandial | 91 |
| 27/12/2016 | 09:43 | Ayunas | 133 |
| 26/12/2016 | 23:43 | Postprandial | 128 |
| 26/12/2016 | 14:56 | Post ejercicio | 87 |
| 26/12/2016 | 08:42 | Ayunas | 141 |
| 25/12/2016 | 19:13 | Post ejercicio | 99 |

Figura 58 Pruebas Gamificación: Notificación de medida alta de glucosa.

Accediendo a través del menú lateral a la sección de Clasificación, se puede observar que la tabla con las puntuaciones globales se ha actualizado con el punto que ha perdido la usuaria por la medida de 186. Así pues, baja a 46 puntos en la clasificación, tal como se puede apreciar en la Figura 59.

| Posición | Usuario | Nombre | Puntos |
|----------|---------|------------------------|--------|
| 1 | zaleena | Zaleena Chin Yuen Kee | 49 |
| 2 | amina | Amina Siddiqa Mohammed | 46 |
| 3 | aida | Aida Hidalgo López | 25 |
| 4 | omar | Omar Garzón Mohammed | 12.5 |
| 5 | lgarzon | León Garzón Mohammed | 12.5 |

Figura 59 Pruebas Gamificación: Tabla de clasificación actualizada.

A continuación, se vuelve a la sección de Glucosa para seguir añadiendo medidas. Se añade una medida de 120 tras hacer ejercicio y el sistema muestra la notificación verde de la Figura 60, indicando que se ha ganado un punto y animando a seguir con el control.

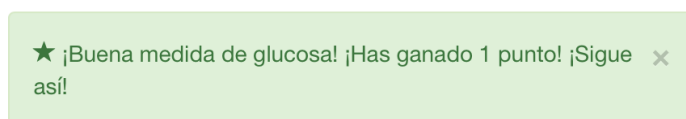


Figura 60 Pruebas Gamificación: Notificación medida de glucosa óptima.

Al añadir la tercera medida, de 134 dos horas después de una comida, se reciben las dos notificaciones de la Figura 61, la primera igual que la anterior indicando el punto ganado, y la segunda indicando que se gana otro punto adicional por realizar tres medidas en el mismo día. De esta forma se busca motivar a los pacientes de diabetes que utilicen esta aplicación a afrontar los pinchazos necesarios para llevar a cabo las medidas desde otro punto de vista.

| Fecha | Hora | Tipo | Puntos |
|------------|-------|-----------------|--------|
| 30/12/2016 | 13:00 | Postprandial | 134 |
| 30/12/2016 | 10:30 | Post ejercicio | 120 |
| 30/12/2016 | 09:00 | Ayunas | 186 |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |
| 28/12/2016 | 23:09 | Antes de dormir | 115 |
| 28/12/2016 | 05:30 | Ayunas | 118 |
| 27/12/2016 | 21:28 | Postprandial | 91 |
| 27/12/2016 | 09:43 | Ayunas | 133 |
| 26/12/2016 | 23:43 | Postprandial | 128 |
| 26/12/2016 | 14:56 | Post ejercicio | 87 |

Figura 61 Pruebas Gamificación: Dos notificaciones a la vez.

En la Figura 62 se puede observar un detalle de la nueva notificación recibida debido al número de medidas realizadas.

★ ¡Bien hecho! ¡Has medido tu glucosa 3 veces hoy! ¡Has ganado 1 punto! ¡Sigue así!

Figura 62 Pruebas Gamificación: Notificación por realizar tres medidas un mismo día.

La última medida añadida, de 157, entra en el rango de glucosa subóptima y, aunque no resulta peligrosa para la salud, al no considerarse óptima se obtiene medio punto en lugar de uno, tal como se puede apreciar en la notificación amarilla de la Figura 63. Además, se ha definido que cada medida realizada a partir de la tercera del día, se conceda medio punto por cada una para premiar el esfuerzo necesario y la fuerza de voluntad de los usuarios. Esta notificación se muestra junto con la anterior en la Figura 64.

👉 ¡No está mal! ¡Has ganado 0.5 puntos! Intenta bajar a menos de 145...

Figura 63 Pruebas Gamificación: Notificación por una medida subóptima de glucosa.

👉 ¡Bien hecho! ¡Has medido tu glucosa 4 veces hoy! ¡Has ganado 0.5 puntos! ¡Sigue así!

Figura 64 Pruebas Gamificación: Notificación por realizar más de 3 medidas el mismo día.

Haciendo recuento de puntos por estas cuatro medidas, se obtienen al final $-1 + 1 + 1 + 1 + 0.5 + 0.5 = 3$ puntos, por lo que el resultado global con los 47 puntos iniciales es de 50 puntos en la clasificación, tal como se puede observar en la tabla de la Figura 65. Cabe destacar que, en este caso, la usuaria de prueba ha adelantado a la que era número uno de la clasificación, lo que no sólo implica una motivación adicional para la usuaria Amina, sino que además significará una motivación también para la usuaria del sistema Zaleena al ver que ha sido superada por su compañera. Mediante esta competencia se pretende fomentar el paradigma de control del perfil glucémico de forma natural mediante ejercicio y alimentación sana y controlada de una forma divertida, apelando a la competitividad de las personas.

| Posición | Usuario | Nombre | Puntos |
|----------|---------|------------------------|--------|
| 1 | amina | Amina Siddiqa Mohammed | 50 |
| 2 | zaleena | Zaleena Chin Yuen Kee | 49 |
| 3 | aida | Aida Hidalgo López | 25 |
| 4 | omar | Omar Garzón Mohammed | 12.5 |
| 5 | lgarzon | León Garzón Mohammed | 12.5 |

Figura 65 Pruebas Gamificación: Tabla Clasificación tras las pruebas realizadas.

Debido a que en el sistema se permite a los usuarios eliminar los datos insertados en la base de datos, ya que se pueden cometer errores a la hora de

insertar los datos, la gamificación debe tener esta situación en cuenta. Por ello, se ha añadido un sistema de reconocimiento de la puntuación aportada por cada medida y, al eliminar cada medida, se tiene en cuenta para la puntuación del día de la medida. Así pues, en la Figura 66 se pueden observar cuatro notificaciones diferentes obtenidas al eliminar las medidas insertadas durante estas pruebas. Cabe destacar que se indica no sólo la razón de la modificación de la puntuación, sino que se indica también el día al que corresponde la puntuación ganada. Por tanto, se pierden 0.5 puntos por la medida de glucosa normal introducida, 0.5 puntos por eliminar la que era la cuarta medida del día, 1 punto por las medidas óptimas añadidas, 1 punto por la tercera medida del día y, finalmente se observa que el histórico queda como antes de las pruebas en la Figura 67.

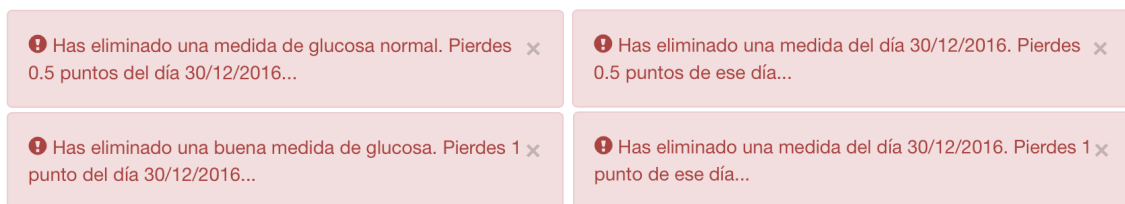


Figura 66 Pruebas Gamificación: Notificaciones al eliminar medidas de glucosa insertadas.

The screenshot shows a web application interface for a user named 'Amina Siddiqa Mohammed'. The page title is 'Niveles de glucosa'. There is a green button labeled 'Nueva medida'. Below this is a table with columns: Fecha, Hora, Tipo, and Medida. The table contains 13 rows of data. Each row has a red 'x' icon in the right margin. A notification box at the top right of the table area says: 'Has eliminado una medida de glucosa alta. Recuperas 1 punto del día 30/12/2016...'. The browser's address bar shows 'localhost'.

| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|-----------------|--------|
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |
| 28/12/2016 | 23:09 | Antes de dormir | 115 |
| 28/12/2016 | 05:30 | Ayunas | 118 |
| 27/12/2016 | 21:28 | Postprandial | 91 |
| 27/12/2016 | 09:43 | Ayunas | 133 |
| 26/12/2016 | 23:43 | Postprandial | 128 |
| 26/12/2016 | 14:56 | Post ejercicio | 87 |
| 26/12/2016 | 08:42 | Ayunas | 141 |
| 25/12/2016 | 19:13 | Post ejercicio | 99 |
| 25/12/2016 | 09:25 | Ayunas | 133 |

Figura 67 Pruebas Gamificación: Lista tras eliminar todas las medidas nuevas insertadas.

La gamificación también incluye asignación de puntos por realizar grupos de 1000 calorías quemadas diarias y por comidas que presenten una carga glucémica adecuada para un diabético, y eliminación de puntos en caso de alimentación poco saludable.

Por otro lado, para probar el sistema de asignación de medallas, se asignan tres medidas diarias durante una semana al usuario de prueba, obteniendo la notificación de la Figura 68 para la medalla "Constante". Se facilita en dicha notificación un enlace para acceder a la sección de Clasificación y ver las

medallas conseguidas, en cuya lista de la Figura 69 se puede observar la nueva medalla obtenida.

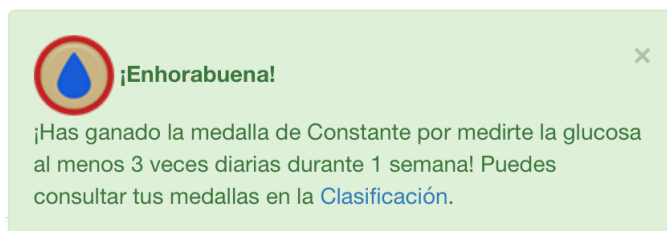


Figura 68 Pruebas Gamificación: Notificación medalla conseguida.

Medallas

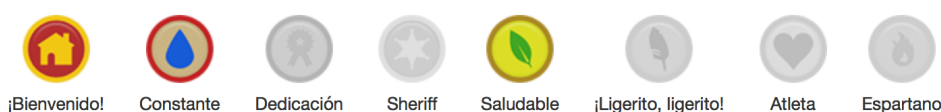


Figura 69 Pruebas Gamificación: Lista de medallas con nueva medalla obtenida.

5.5 Comparativa de métodos de gestión glucémica

Este proyecto se basa en buscar el control del perfil glucémico de los pacientes de diabetes tipo 2 de una forma natural, evitando cualquier tipo de medicación específica mediante el control de la glucosa en sangre mediante ejercicio físico y dieta sana.

La primera ganancia que se obtiene a nivel personal con este método de control glucémico es el aumento de la autoestima del paciente, aunque es cierto que supone un esfuerzo adicional en comparación con un paciente de diabetes que decide controlar su enfermedad mediante medicación diaria. Por ello, se ha realizado un estudio analizando y enfrentando las medidas de glucosa realizadas por una usuaria que aplica el método propuesto en este TFM para controlar su azúcar en sangre con las medidas realizadas por una paciente que está siguiendo las instrucciones de su médico especializado, tomando los medicamentos recetados diariamente. Los medicamentos utilizados por esta paciente son:

- **Glucophage 500 mg:** 4 al día, 2 por la mañana y 2 por la noche. Una caja de 240 pastillas cuesta 73,30€ (0,30€ por pastilla), por lo que con 4 al día el gasto mensual es de 36€.
- **Insulina:** Utiliza una inyección de 10 UI una vez al día por la mañana. 1 vial tiene para 30 inyecciones de 10 UI, es decir, un mes. 5 viales de 3 mL cuestan 57,71€, por lo que el gasto mensual es de 11,54€.

Es decir, el gasto mensual en medicamentos es de 47,54€, lo que supone un gasto de 570,48€ anuales. Esto sin tener en cuenta lo que supone ingerir estas pastillas y utilizar estas inyecciones para su cuerpo, lo que supondría un análisis que está fuera del alcance de este proyecto.

Cabe destacar que, debido al funcionamiento de la Seguridad Social en España, un paciente de diabetes que decide no adaptarse al plan de medicación indicado

por su médico, pierde automáticamente la ayuda económica que se brinda a los diabéticos mediante la financiación de las tiras reactivas, tan necesarias para obtener las medidas de glucosa en sangre para poder llevar a cabo el control de la enfermedad. Así pues, realmente el ahorro conseguido evitando la compra de los medicamentos, innecesarios para el método propuesto, se traduce en un gasto nuevo ya que el usuario deberá pagar cada tira reactiva utilizada. Esto supone una injusticia para los usuarios que deciden llevar a cabo el control de su enfermedad de una forma natural, ya que estos pacientes no sólo suponen un ahorro en medicamentos, sino que además suponen un ahorro a la Seguridad Social, evitando:

- Gastos innecesarios de personal médico: doctores que realizan los análisis y recetan los medicamentos, enfermeras que llevan a cabo extracciones de sangre a pacientes que deciden no medir su glucosa por su cuenta, etc.
- Gastos innecesarios de instalaciones médicas en hospitales, laboratorios y clínicas.

Por ello, para llevar a cabo un análisis detallado y concluyente del beneficio económico del sistema propuesto en este proyecto, se debería tener en cuenta no sólo el gasto personal de cada usuario, sino el gasto que supone un paciente con revisiones médicas y medicación al sistema de la Seguridad Social. A este análisis se debería añadir también el coste de los pacientes de diabetes que deciden acudir a una clínica privada, en la que monitoricen su enfermedad de una forma más detallada que en la Seguridad Social, para así compararlos con los costes de los otros dos escenarios. Este análisis resulta demasiado complejo para realizarlo para este proyecto, por lo que se define como línea futura en el capítulo 7.

Aún con este análisis de coste-beneficio más detallado, no es posible analizar o medir el bienestar obtenido por un usuario al realizar el control de su enfermedad de una forma natural, sin la necesidad de incluir medicamentos en su organismo. No se tiene en cuenta tampoco el deterioro del organismo implícito a este sistema, que permite al usuario ingerir los alimentos que desee ya que los medicamentos mantendrán los niveles de glucosa en sangre a raya. Esto supone la creación de una adicción del paciente a dichos medicamentos, cuyas dosis se tienen que aumentar con el paso del tiempo ya que el cuerpo crea con el tiempo una tolerancia a la medicación. Por ello, el análisis que se ha realizado y que se define en este apartado se ha centrado en la comparativa de los dos perfiles, sin medicación y con medicación, a partir de los datos de medidas de glucosa disponibles en cada caso. En la Figura 70 se puede observar en color verde el caso de estudio basado en el control del perfil glucémico mediante ejercicio y dieta sana frente al caso de control por medicación, en color rojo.

Se puede observar que en la figura se define también la media de los datos obtenidos durante este estudio, dejando patente no sólo que el método mediante ejercicio y dieta sana mantiene la glucosa en sangre realmente controlada a niveles muy parecidos al caso del control por medicación, sino que el método utilizando en este proyecto presenta una media menor con un número de medidas en el histórico muchísimo mayor que en el caso del control con medicamentos.

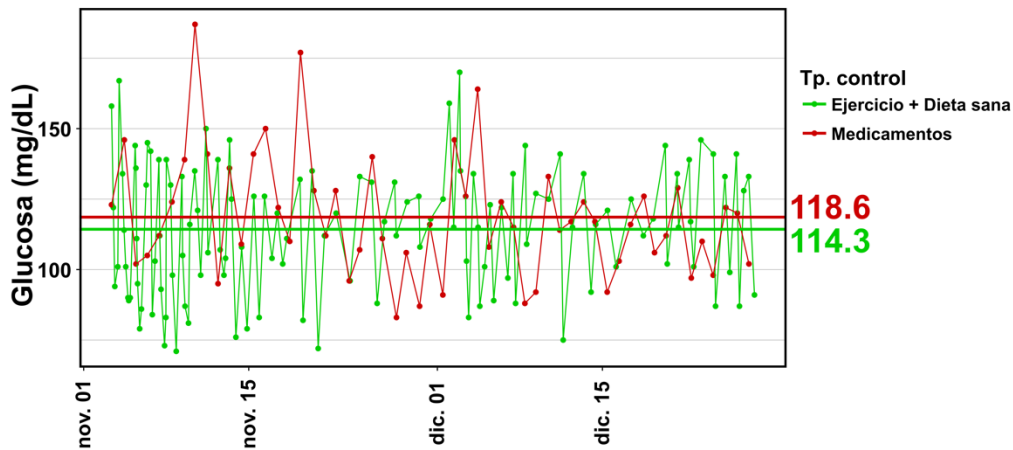


Figura 70 Medidas de glucosa ejercicio y dieta sana vs control por medicación.

En la Figura 71 se puede apreciar esta gran diferencia entre el número de medidas diarias de un método y otro, dejando patente que la paciente controlada por medicamentos realizó un 100% de los días una única medida, lo que implica un menor control del perfil glucémico y los cambios durante el día con las diferentes comidas y actividades. Sin embargo, la paciente que controla su perfil glucémico mediante ejercicio y dieta sana realizó más de un 50% de los días entre una y dos medidas, un 25% entre tres y cuatro medidas y llegó a tener días de hasta 7 medidas, aunque el porcentaje fue lógicamente mucho menor.

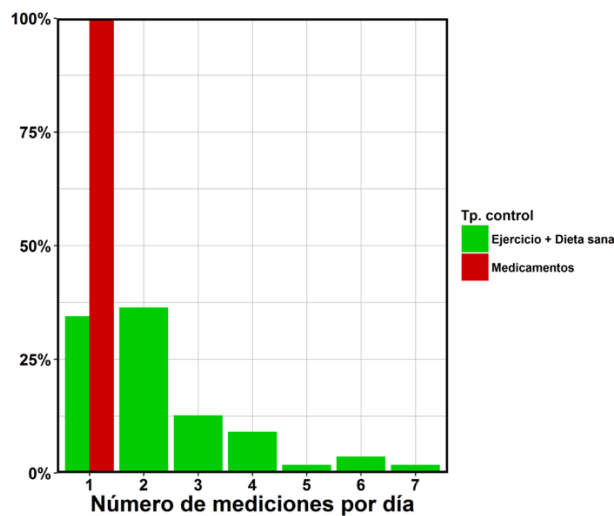


Figura 71 Número de mediciones diarias de control por medicamentos vs ejercicio y dieta sana.

No existe una regla genérica que defina el número de medidas recomendado para cada tipo de diabetes y para cada paciente, pero lo que queda patente es que, cuantas más medidas diarias se realicen, mejor será el conocimiento de la enfermedad y, por tanto, mejor el tratamiento y el control. Es por ello que en este proyecto se premia a los usuarios que se enfrentan a la mala experiencia de pincharse para obtener estas medidas tan necesarias para realizar un control glucémico adecuado.

Este análisis de las pruebas realizadas deja patente que el método de control recomendado en este proyecto, y para el que se desarrolla la presente

aplicación, funciona con la misma efectividad que el control defendido por el sistema y la Seguridad Social mediante medicación, evitando la necesidad de añadir componentes químicos externos al organismo de los pacientes y suponiendo un ahorro que, aunque no se ha definido en este proyecto, supone un ahorro del 100% de todos los gastos que implica atender a un paciente de diabetes en cualquier hospital, ya sea público o privado.

6. Conclusiones

Este trabajo ha supuesto un reto desde el principio ya que, aunque el autor ya disponía de conocimientos de programación web, tuvo que adaptarse y aprender nuevas tecnologías como AngularJS, NodeJS o MongoDB. Por otro lado, existió la dificultad añadida de la temática del proyecto que, al estar relacionado con las Ciencias de la Salud, estaba fuera de los conocimientos adquiridos tanto durante la Ingeniería de Telecomunicaciones, como en la presente titulación. Por ello, el principio supuso mucha investigación y asimilación de conceptos complicados relacionados con la enfermedad de la diabetes.

La primera conclusión que se puede obtener es que existe una ingente cantidad de investigación relacionada con esta enfermedad mortal, cada vez más común entre los países desarrollados. Se han encontrado compañías que basan su plan de negocio en intentar facilitar la gestión del perfil glucémico a los enfermos de diabetes y artículos dedicados a la aplicación sistemas informáticos para obtener toda la información posible para intentar mitigar los efectos de esta enfermedad. Es por ello que, en las primeras etapas del trabajo se tuvo que enfocar los esfuerzos en lo que realmente marcaba la diferencia entre este proyecto y todos los ya existentes: el desarrollo del algoritmo inteligente y la combinación con la gamificación. Estos dos conceptos no se han utilizado nunca en un proyecto relacionado con la diabetes, por lo que se han priorizado frente a otros aspectos que, aunque resultan deseables y útiles para una aplicación de este tipo, no suponían nada nuevo.

Es por ello que, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede concluir que los objetivos planteados inicialmente se han cumplido, aunque la envergadura del proyecto y la dificultad encontrada para fijar los límites del desarrollo han supuesto un reto añadido:

- Se ha creado un sistema de recopilación de datos importantes para la gestión glucémica (glucosa, ejercicio y dieta) mediante el desarrollo de una aplicación web multiplataforma, obteniendo un sistema completamente operativo (*front-end*, *back-end* y base de datos). Esta aplicación permite la inserción de los datos, la consulta del histórico y presenta un tablero inicial con información de interés para el usuario. Se dejó fuera del alcance de este proyecto la recopilación automática de los datos de ejercicio y de glucosa a partir de la conectividad de la pulsera de actividad y del glucómetro directamente con el sistema, ya que suponía un desarrollo adicional por problemas de compatibilidad. Se contactó con diferentes compañías de glucómetros Bluetooth para analizar la compatibilidad de estos dispositivos con la aplicación del presente TFM. En sus respuestas, indicaron que se debía utilizar su API para desarrolladores para consultar sus bases de datos en la nube. Finalmente, debido a la falta de tiempo, estos desarrollos han quedado relegados a las líneas futuras definidas en el capítulo 7
- Se ha implementado un sistema de notificaciones inteligentes que se basan en los datos almacenados en el histórico del usuario para ofrecer

informes útiles a partir del resultado de aplicar un algoritmo que combina los tres tipos de datos insertados para la gestión del perfil glucémico.

- Se ha diseñado un sistema de gamificación que motiva e implica más a los usuarios en el control de su enfermedad. No se han encontrado otros proyectos relacionados con el control de la diabetes que utilicen la gamificación para intentar hacer más llevaderas las actividades que deben sufrir cada día los diabéticos.

En cuanto a la planificación del trabajo, como ya se ha indicado, se han presentado desviaciones con respecto a la planificación inicial, ya que se invirtió tiempo en todas las investigaciones iniciales que llevaron a la conclusión de que había que cambiar el ámbito de este proyecto para evitar realizar desarrollos ya existentes y comercializados y obtener finalmente un producto que resultara innovador en el mundo del control del perfil glucémico.

Por otro lado, la metodología prevista al principio de este proyecto si resultó adecuada, con un planteamiento práctico que permitió obtener un sistema de control glucémico operativo.

Finalmente, una conclusión muy importante que se obtiene del presente trabajo es que el sistema de la Seguridad Social de este país presenta ayuda económica únicamente a los pacientes que decidan realizar un control de la diabetes mediante medicación, ya que anulan las ayudas disponibles para la adquisición de las tiras reactivas, que resultan imprescindibles para cualquier sistema de control glucémico y, por tanto, para cualquier diabético. Esto deja patente que el sistema de salud español es más bien un sistema que busca fomentar la venta de medicamentos antes que la salud de sus pacientes, ya que queda demostrado que se puede evitar el consumo de medicación y de insulina en diabéticos de tipo 2 mediante un control exhaustivo de los niveles de glucosa en sangre, así como de los datos de actividad física y de alimentación. Como ya se ha denunciado en este documento, no se tiene en cuenta el ahorro que supondría para la Seguridad Social que más pacientes llevaran el control de su enfermedad de forma natural, evitando gastos innecesarios de personal médico y de instalaciones hospitalarias.

7. Líneas futuras

Este Trabajo Fin de Máster deja varias líneas de desarrollo futuras:

- **Desarrollo de la recopilación automática de los datos de medidas de glucosa y de ejercicio.** Para el primer caso, se utilizaría un glucómetro con conectividad Bluetooth, como iHealth [19] y, mediante la API que ponen a disposición de los desarrolladores, se consultarían los datos almacenados en la nube creada por esa empresa para sus usuarios. Para el segundo caso, se podrá utilizar la API de Google Fit para obtener los datos de calorías quemadas, ya que de esta forma el usuario podrá utilizar cualquier tipo de pulsera de actividad que permita conectividad con Google Fit. Las arquitecturas a seguir se pueden observar en la Figura 72 para los dos casos.
- **Sustitución del glucómetro por un sistema de MCG (Monitor Continuo de Glucosa),** de forma que se obtengan medidas de glucosa en el líquido intersticial que permitan llevar la monitorización y las notificaciones del sistema de control glucémico de este proyecto a otro nivel, convirtiéndolo en un sistema en tiempo real.
- **Inclusión de otros datos de interés en el sistema y el algoritmo inteligente,** como patrones de sueño medidos por la pulsera de actividad, presión sanguínea del usuario o datos de estrés del paciente, que tienen una influencia también en los niveles de glucosa en sangre.
- **Análisis detallado del coste-beneficio** del proyecto, de forma que se tenga en cuenta no sólo el gasto personal ahorrado por cada usuario al no tener que comprar medicamentos, sino que incluyera también el coste ahorrado a la Seguridad Social al evitar revisiones médicas, visitas a la enfermería para obtener análisis de sangre semanales, consultas con médicos especializados en diabetes. Además, este análisis debería añadir el coste ahorrado para los casos de pacientes que deciden realizar su control glucémico acudiendo a una clínica privada., de forma que se vea realmente el ahorro económico que presenta este sistema de control de la diabetes.

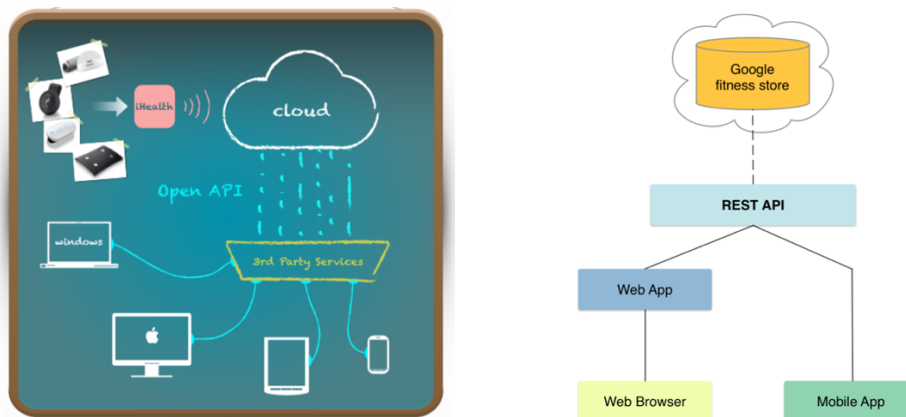


Figura 72 Envío automático de datos mediante APIs del glucómetro iHealth a la izquierda y de Google Fit a la derecha.

8. Glosario

AngularJs: *framework JavaScript* de desarrollo de aplicaciones web del lado del cliente.

Aplicación web: *Software* codificado en un lenguaje ejecutado por un navegador *web*.

Array: Tipo de variable que permite almacenar una lista de objetos.

Back-end: Capa de acceso a datos en una aplicación.

Bluetooth: Tecnología de conectividad inalámbrica para intercambio de información entre distintos dispositivos a corta distancia.

Bootstrap: Framework de diseño web que incluye componentes como botones, formularios, iconos, etc.

BSON (*Binary JSON*): Formato de intercambio de datos utilizado para su almacenamiento y transferencia en las bases de datos *Mongodb*.

CSS (*Cascading Style Sheets*): Lenguaje empleado para definir los estilos de un documento HTML.

Deployd: Plataforma de código abierto para diseñar y construir APIs para aplicaciones *web* y móviles en local.

Framework: Conjunto de herramientas de desarrollo que facilitan la creación de aplicaciones implementando en librerías las tareas más comunes.

Front-end: Capa de presentación e interacción con el usuario en una aplicación.

Github: Plataforma de desarrollo colaborativo de software para alojar proyectos utilizando el sistema de control de versiones *Git*.

Glucómetro: Dispositivo que permite medir el nivel de glucosa en sangre de un usuario al depositar una gota de sangre en una tira reactiva. Transforma la corriente eléctrica que atraviesa la gota en mg/dL de glucosa en sangre.

Glucontrol App (Glucose Control Application): Sistema de control glucémico desarrollado en este Trabajo Fin de Máster.

HTML (*HiperText Markup Language*): Lenguaje empleado para definir la estructura y contenido de una página *web*.

HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*): Protocolo que permite las transferencias de información en la *web*.

IMB (Índice Metabólico Basal): Sistema empleado para calcular cual es el requerimiento energético mínimo para un ser humano para poder mantenerse vivo. Intenta aproximar la cantidad de kilocalorías diarias necesarias para

mantener funcionando el cuerpo humano, para lo que recibe como parámetros el sexo, edad, estatura y peso.

IoT (*Internet of Things*): Interconexión digital de objetos cotidianos con Internet.

Javascript: Lenguaje de programación interpretado que permite mejorar las interfaces de usuario y crear páginas *web* dinámicas. El código es interpretado por el navegador *web*.

Jquery: Biblioteca de JavaScript, que permite simplificar la manera de interactuar con los documentos HTML, manipular el árbol DOM, manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con la técnica AJAX a páginas *web*.

JSON (*JavaScript Object Notation*): Formato ligero y jerarquizado para el intercambio de datos.

Líquido intersticial: Filtrado del plasma sanguíneo proveniente de los capilares, cuyo contenido es menos rico en proteínas que el plasma, por lo que puede utilizarse para obtener medidas de glucosa en sangre aproximadas sin la necesidad de acceder a una gota de sangre.

MCG (Monitor Continuo de Glucosa): Sistema de control de la glucosa en el líquido intersticial mediante un parche con un filamento que permite llevar un control de la glucosa de un paciente de diabetes en tiempo real.

MPA (*Multiple page application*). Aplicación *web* tradicional, cada vez que necesita mostrar o mandar información solicita una nueva página al servidor.

MongoDB: Sistema de base de datos NoSQL de código abierto orientado a documentos.

MVC (Modelo Vista Controlador): Patrón de arquitectura de software que separa los datos y la lógica de negocio de una aplicación, de la interfaz de usuario, y del módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones.

Navegador *web*: Aplicación empleada para acceder a páginas *web* disponibles en Internet.

NodeJS: Entorno de programación en la capa del servidor basado en el lenguaje de programación *Javascript*.

NoSQL (*Not Only SQL*): Sistemas de gestión de bases de datos que difieren del modelo clásico del sistema de gestión de bases de datos relacionales.

SPA (*Single Page Application*): Aplicación *web* en la que los recursos se cargan dinámicamente en una única página, según las acciones del usuario.

WiFi (*Wireless Fidelity*): Mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica.

9. Bibliografía

- [1] Fundación diabetes. “¿Qué es la diabetes?” (<http://www.fundaciondiabetes.org/prensa/296/que-es-la-diabetes-1>). Último acceso: 06/10/2016.
- [2] Sinc. “Un millón más de diabéticos en España en sólo dos años” (<http://www.agenciasinc.es/Reportajes/Un-millon-mas-de-diabeticos-en-Espana-en-solo-dos-anos>). Último acceso: 08/10/2016.
- [3] International Diabetes Federation (<http://www.idf.org>). Último acceso: 06/10/2016.
- [4] IDF Diabetes Atlas (<http://www.diabetesatlas.org>). Último acceso 10/10/2016.
- [5] American Diabetes Association. “Cómo medir la glucosa en sangre” (<http://www.diabetes.org/es/vivir-con-diabetes/tratamiento-y-cuidado/el-control-de-la-glucosa-en-la-sangre/cmo-medir-la-glucosa-en-la.html>). Último acceso: 06/10/2016.
- [6] Diabetes – Bienestar y salud. “¿Cuáles son los niveles óptimos de glucosa?” (<http://www.diabetesbienestarysalud.com/2013/02/cuales-son-los-niveles-optimos-de-glucosa/>). Último acceso: 08/10/2016.
- [7] American Diabetes Association. “Control de la glucosa” (<http://www.diabetes.org/es/vivir-con-diabetes/tratamiento-y-cuidado/el-control-de-la-glucosa-en-la-sangre/control-de-la-glucosa.html>). Último acceso: 23/10/2016.
- [8] Analítica. “Control glucémico disminuye progresión de la diabetes” (<http://www.analitica.com/bienestar/salud/control-glucemico-disminuye-progresion-de-la-diabetes/>). Último acceso 06/11/2016.
- [9] Mendosa. “The most accurate blood glucose meter” (<http://www.mendosa.com/blog/?p=3830>). Último acceso 06/11/2016.
- [10] “The Pursuit of Noninvasive Glucose: Hunting the Deceitful Turkey”. John L. Smith. Último acceso: 23/10/2016.
- [11] Elisabeth Lane Furdell. “Fatal thirst – Diabetes in Britain until Insulin”. ISBN 9789004172500. 2009.
- [12] El País. “Cuando catar la orina te confirmaba una diabetes” (<http://blogs.elpais.com/la-doctora-shora/2011/10/cuando-catar-la-orina-te-confirmaba-una-diabetes.html>). Último acceso 06/11/2016.
- [13] International Diabetes Federation. “Control glucémico: medidas, niveles y monitorización” (https://www.idf.org/sites/default/files/attachments/article_450_es.pdf). Último acceso: 23/10/2016.
- [14] http://www.diabetes.org/es/alimentos-y-actividad-fisica/alimentos/planificacion-de-las-comidas/mtodo-del-plato.html?dorg_201610_es_puz_cyp
- [15] Personas que conviven con la diabetes. “¿Qué tipos de glucómetros existen?” (<https://www.personasque.es/diabetes/salud/diagnostico/tipos-glucometros-2327#>). Último acceso: 23/10/2016.
- [16] Fundación para la diabetes. “Sistemas de monitorización continua de glucosa” (<http://www.fundaciondiabetes.org/general/articulo/173/sistemas-de-monitorizacion-continua-de-glucosa>). Último acceso: 06/11/2016.
- [17] Weber, H., Romana H. “Internet of Things: legal perspectives”. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. ISBN 9781282927445. 2010.

- [18] Hipertextual. “Qué es el Internet of Things y cómo cambiará nuestra vida en el futuro” (<https://hipertextual.com/2015/06/internet-of-things>). Último acceso: 21/10/2016.
- [19] iHealth Labs. “Wireless Smart gluco-monitoring system” (<https://ihealthlabs.com/glucometer/wireless-smart-gluco-monitoring-system/>). Último acceso: 19/10/2016.
- [20] Dexom. “Continuous Glucose Monitoring G5 Mobile” (<http://www.dexcom.com/es-ES>). Último acceso: 19/10/2016.
- [21] Scott Hanselman. “Diabetes technology: Dexcom G5 CGM Review – So much wasted potential” (<http://www.hanselman.com/blog/DiabetesTechnologyDexcomG5CGMReviewSoMuchWastedPotential.aspx>). Último acceso: 19/10/2016.
- [22] Reflexiones de un Jedi azucarado. “Accu-Chek Insight: El MCG de Roche ya está aquí” (<http://www.jediazucarado.com/cgm-roche-ya-esta-aqui-accu-chek-insight/>). Último acceso: 20/10/2016.
- [23] Accu-Chek. “Accu-Chek Insight insulin pump system” (<https://www.accu-chek.co.uk/gb/pumptherapy/insight.html>). Último acceso: 20/10/2016.
- [24] Integrity Applications. “GlucoTrak” (<http://www.integrity-app.com/the-glucotrak/>). Último acceso: 20/10/2016.
- [25] Reflexiones de un Jedi azucarado. “Review GlucoTrack” (<http://www.jediazucarado.com/review-glucotrak/>). Último acceso: 20/10/2016.
- [26] Glooko. “Remote patient monitoring for diabetes” (<https://www.glooko.com>). Último acceso: 23/10/2016.
- [27] Glooko. “Compatibility” (<https://www.glooko.com/compatibility/>). Último acceso: 23/10/2016.
- [28] Healthline. “NewsFlash: Glooko Launches Bluetooth Tool for 30+ Glucose Meters” (<http://www.healthline.com/diabetesmine/newsflash-glooko-launches-bluetooth-tool-for-30x-glucose-meters>). Último acceso: 23/10/2016.
- [29] Glooko. “Glooko and Diasend Join Forces to Make Diabetes Management Easier!” (<https://www.glooko.com/2016/09/glooko-diasend-join-forces-make-diabetes-management-easier/>). Último acceso: 24/10/2016.
- [30] Diasend (<https://www.diasend.com/es/>). Último acceso: 24/10/2016.
- [31] Creative web creatures. “Web application architecture” (<http://www.cwcindia.co.in/index.php/2014-04-23-17-21-21/services/creative-development/web-app-development>). Último acceso: 03/01/2017.
- [32] “Advantages and Disadvantages of Web, Native, and Hybrid Apps” (<http://threefourteen.ie/blog/advantages-and-disadvantages-of-web-native-and-hybrid-apps/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [33] Serge S. “Multi page web applications vs single page web applications” (<http://www.eikospartners.com/blog/multi-page-web-applications-vs.-single-page-web-applications>). Último acceso: 02/01/2017.
- [34] “What's the Difference Between the Front-End and Back-End?” (<http://blog.digitaltutors.com/whats-difference-front-end-back-end/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [35] W3C. “HTML5 A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML” (<https://www.w3.org/TR/2014/REC-html5-20141028/introduction.html#introduction>). Último acceso: 02/01/2017.

- [36] W3C. "CSS3 Introduction" (http://www.w3schools.com/css/css3_intro.asp). Último acceso: 02/01/2017.
- [37] Mozilla Developer Network. "JavaScript" (<https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>). Último acceso: 02/01/2017.
- [38] "¿Qué framework o librería de JavaScript elegir para mis desarrollos?" (<https://carlosazaustre.es/blog/frameworks-de-javascript/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [39] Google. "AngularJS Doc" (<https://angularjs.org/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [40] Tutorialspoint. "AngularJS - MVC Architecture" (http://www.tutorialspoint.com/angularjs/angularjs_mvc_architecture.htm). Último acceso: 02/01/2017.
- [41] Twitter. "Bootstrap 3 Doc" (<http://getbootstrap.com/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [42] Stackoverflow. "What exactly is RESTful programming?" (<http://stackoverflow.com/questions/671118/what-exactly-is-restful-programming>). Último acceso: 02/01/2017.
- [43] The Internet Society. "RFC2616, Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1". 1999.
- [44] Deployd. Inc. "Deployd Doc" (<http://deployd.com/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [45] MongoDB, Inc. "MongoDB Doc" (<https://www.mongodb.org/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [46] "NOSQL vs SQL. Diferencias y cuando elegir cada una" (<http://blog.pandorafms.org/es/nosql-vs-sql-diferencias-y-cuando-elegir-cada-una/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [47] Node.js Foundation. "Node.js Doc" (<https://nodejs.org/en/>). Último acceso: 02/01/2017.
- [48] Deployd. Inc. "Installing Deployd" (<http://docs.deployd.com/docs/getting-started/installing-deployd.html>). Último acceso: 02/01/2017.
- [49] GitHub Gluontrolle (<https://github.com/laionzion/gluontrolle>). Último acceso: 05/01/2017.
- [50] Tutorialspoint. "Artificial intelligence – Fuzzy Logic Systems" (http://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_fuzzy_logic_systems.htm). Último acceso: 04/11/2016.
- [51] Diet Database. "Glycemic Index and Glycemic Load" (<http://dietdatabase.com/glycemic-index-and-glycemic-load/>). Último acceso: 01/12/2016.
- [52] "International table of glycemic index and glycemic load values: 2002" (<http://ajcn.nutrition.org/content/76/1/5.full.pdf>). Último acceso: 01/12/2016.
- [53] Mujer de élite. "Información nutricional / Guía de alimentos" (http://www.mujerdeelite.com/guia_de_alimentos/). Último acceso: 01/12/2016.
- [54] Accu-Check (<https://www.accu-check.es/es/>). Último acceso: 01/12/2016.
- [55] Valentín Cuende Imports. "Accu-Chek Aviva" (<http://www.valentincuendeshop.com/Accu-Chek-AVIVA>). Último acceso: 01/12/2016.
- [56] iHealth Sandbox. "Welcome developers" (<http://sandbox.ihealthlabs.com/index.htm>). Último acceso 16/11/2016.

- [57] MongoDB, Inc. "BSON Types".
(<https://docs.mongodb.org/manual/reference/bson-types/>). Último acceso: 21/11/2016.
- [58] MongoDB, Inc. "Data Modeling Introduction".
(<https://docs.mongodb.org/manual/core/data-modeling-introduction/>). Último acceso: 21/11/2016.
- [59] Xiaomi Mi Band (<http://www.mi.com/my/miband/#s1>). Último acceso: 28/11/2016.
- [60] Tu Xiaomi. "Xiaomi Mi Band" (<http://tuxiaomi.es/tienda/xiaomi-miband/>). Último acceso: 28/11/2016.
- [61] Google Chrome GitHub. "Web Bluetooth"
(<https://googlechrome.github.io/samples/web-bluetooth/device-info.html>). Último acceso: 13/11/2016.
- [62] Google Fit (<https://www.google.com/fit/>). Último acceso: 15/12/2016.
- [63] Ayuda Google Fit. "¿Cómo estima Fit las calorías quemadas?"
(<https://support.google.com/fit/?hl=es>). Último acceso: 23/12/2016.
- [64] Google Fit. "REST API" (<https://developers.google.com/fit/rest/>). Último acceso: 15/12/2016.
- [65] "Introduction to fuzzy logic". Franck Deroncourt. Massachusetts Institute of Technology, January 2013. Último acceso: 02/01/2017.
- [66] Github. "JS-Fuzzy. Fuzzy Logic developed in javascript"
(<https://github.com/marcolanaro/JS-Fuzzy>). Último acceso: 20/12/2016.
- [67] "Fuzzy Logic with Engineering applications". Timothy J. Ross. Wiley. Último acceso: 20/12/2016.
- [68] "Combinatorial rule explosion eliminated by a fuzzy rule configuration". Combs, W.E. and Andrews, J.E. (1998). IEEE. Último acceso: 20/12/2016.
- [69] Remable Designs . "Bootstrap Notify plugin" (<http://bootstrap-notify.remabledesigns.com>). Último acceso: 21/12/2016.
- [70] "A Prediction System Based on Fuzzy Logic". Vaidehi, V. et al. Último acceso 22/12/2016.
- [71] "A fuzzy classification system based on Ant Colony Optimization for diabetes disease diagnosis". Mostafa Fathi Ganji, Mohammad Saniee Abadeh. Elsevier. Último acceso: 22/12/2016.
- [72] "Design of fuzzy classifier for diabetes disease using Modified Artificial Bee Colony algorithm". Faysall Beloufa, M.A. Chikh. Elsevier. Último acceso: 22/12/2016.
- [73] "A Fuzzy Controller for Blood Glucose-Insulin System". Ahmed Y. Ben Sasi, Mahmud A. Elmalki. Scientific Research. Último acceso: 22/12/2016.
- [74] "More than just a game: Improving students' experience of learning programming through gamification". Paul Neve et al. Kingston University London. Último acceso: 24/12/2016.

10. Anexos

10.1 Manual de usuario Glucontrole

La aplicación Glucontrole está desplegada y accesible desde la web <http://glucontrole.cloudno.de>. Al acceder a ella, se presenta la página de inicio del sistema:

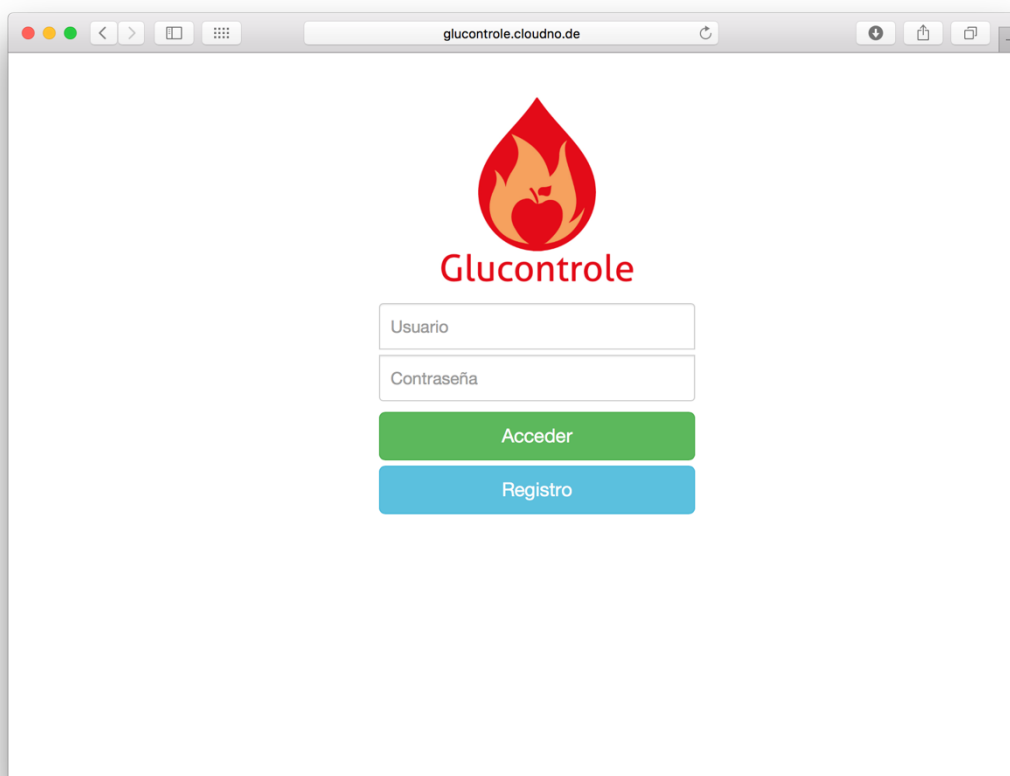


Figura 73 Pantalla de inicio de Glucontrole.

Si se trata de un usuario nuevo, al hacer clic en el botón “Registro” accederá al formulario de registro de la figura Figura 74, en el que deberá rellenar todos los campos solicitados: nombre de usuario, contraseña elegida, nombre, apellidos, fecha de nacimiento, peso en kilogramos y estatura en centímetros. Una vez completados todos los datos, se finaliza el proceso de registro haciendo clic en el botón “Registro”. La aplicación redireccionará automáticamente a la pantalla de inicio de sesión para que el usuario pueda introducir las credenciales recién seleccionadas, tal como se puede observar en la Figura 75. Al hacer clic en el botón “Acceder”, si el usuario y contraseña son correctos se iniciará sesión correctamente en Glucontrole.

La primera pantalla que se presenta al usuario es la del Tablero (Figura 76), en la que se pueden observar, mediante gráficos, los últimos datos disponibles en la base de datos de una forma visual con un reloj para cada variable de entrada y otro para la variable de salida, el bienestar.

laionzion

.....

León

Garzón Mohammed

20/12/1985

77

180

Registro

Acceder

Figura 74 Formulario de registro de nuevo usuario.

Glucontrole

laionzion

.....

Acceder

Registro

Figura 75 Inicio de sesión de usuario registrado.

Se presentan también en el Tablero los valores Máximo, mínimo y la media de cada una de las variables de entrada. En la Figura 76 estos valores están a cero ya que es el primer inicio de sesión del usuario y, por tanto, no dispone de ningún dato en la base de datos. Debajo de estos valores se sitúan las gráficas lineales que presentan la evolución del histórico del usuario que, en este caso también

están vacías. Finalmente, el usuario recibe una notificación indicando que ha ganado una medalla por realizar su primer inicio de sesión en la aplicación, y se pone a su disposición un enlace para acceder directamente a la pantalla de clasificación desde la propia notificación. Al hacer clic en el link, se muestra la pantalla de clasificación de la Figura 77.

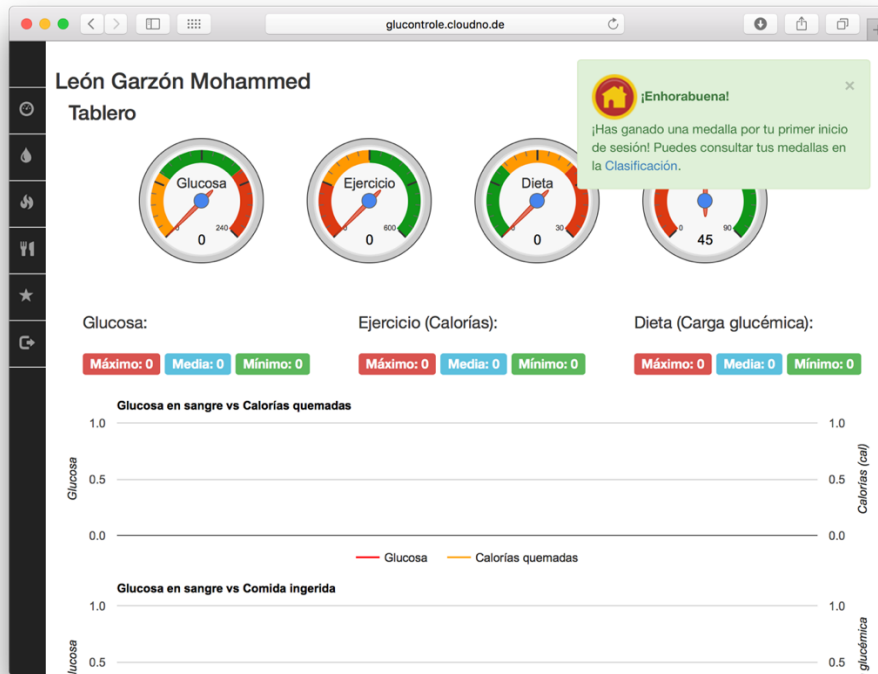


Figura 76 Primer inicio de sesión de un usuario: Tablero y notificación de medalla conseguida.

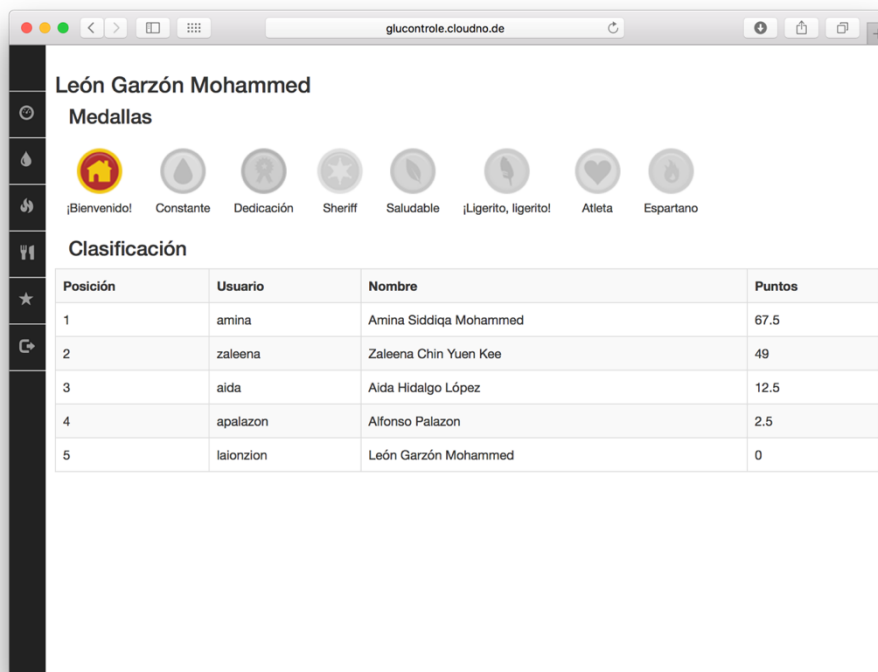


Figura 77 Pantalla de clasificación.

En esta pantalla de clasificación se pueden observar todas las medallas que el usuario puede ganar en Glucontrole, en escala de grises, y la medalla que acaba de ganar con el inicio de sesión, en color. Además, se presenta una tabla con la clasificación general, que contiene la puntuación de todos los usuarios del sistema. Tal como se puede apreciar, el nuevo usuario es el último de la clasificación con cero puntos.

Desde cualquier pantalla de la aplicación se puede acceder al menú lateral (Figura 78), que se despliega al pasar el ratón por encima, dejando a la vista los botones que llevan a cada una de las secciones de la aplicación.

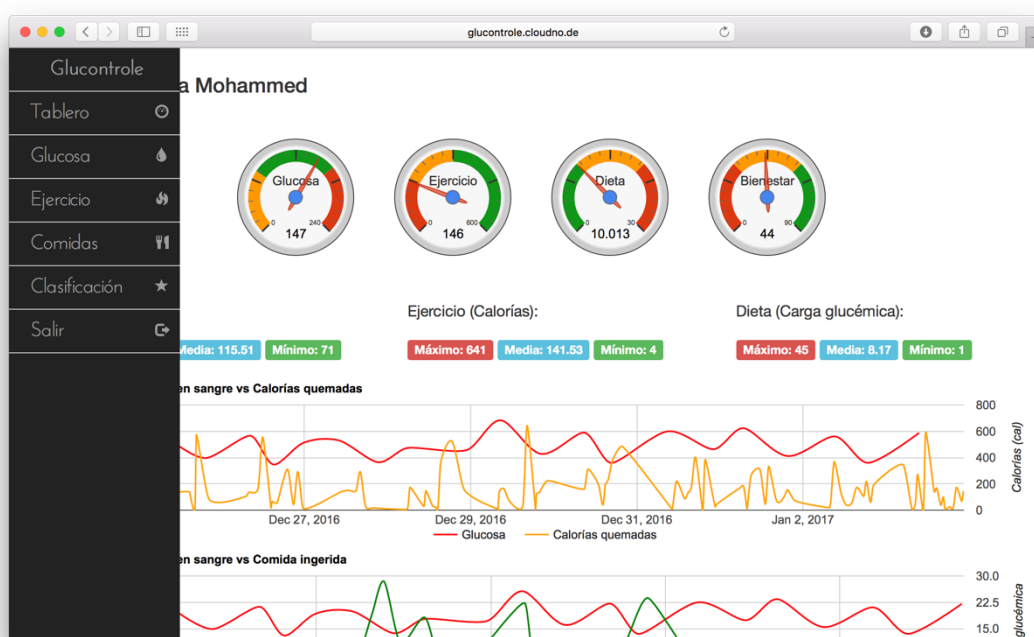


Figura 78 Menú lateral desplegable.

Como ya se ha visto, cuando un usuario inicia sesión por primera vez no tiene datos en el histórico, por lo que según se vayan introduciendo datos día a día el histórico se enriquecerá y también lo hará el algoritmo inteligente y las notificaciones del sistema. En la Figura 79 se puede observar el tablero de un usuario con datos en el histórico. En la captura se ven los relojes con los últimos datos disponibles, los valores de interés de cada variable (máximo, mínimo y media) y las dos gráficas que enfrentan las medidas de glucosa con las calorías quemadas con el ejercicio primero y con la carga glucémica de la comida ingerida por otro. Estas gráficas son interactivas, por lo que permiten situar el ratón sobre los distintos puntos que las conforman y obtener la información del día de la medida y el valor correspondiente.

Al hacer clic en el botón “Glucosa” del menú se accede al histórico de glucosa (Figura 80), en el que se presentan todas las medidas disponibles del usuario ordenadas por fecha en orden inverso.

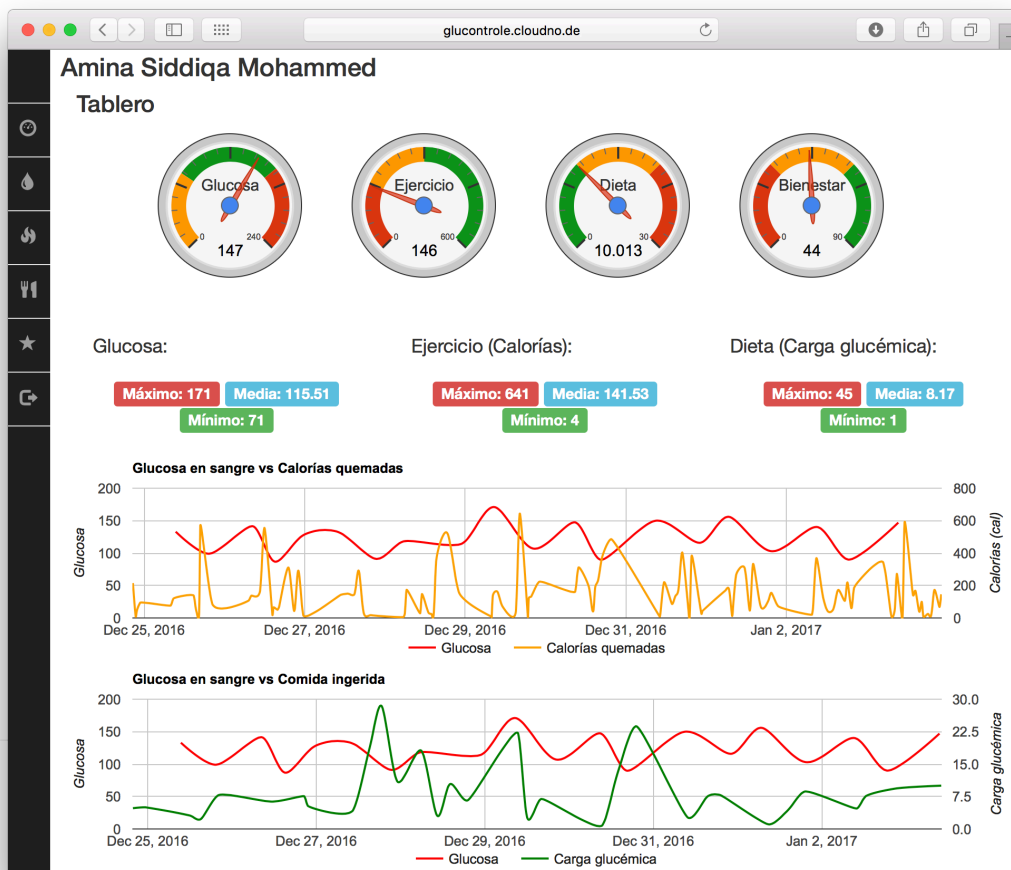


Figura 79 Tablero de usuario con histórico en la base de datos.

Para cada nivel de glucosa se lista información de fecha y hora de la medida, tipo de medida (ayunas, post ejercicio, postprandial (2 horas después de una comida) y antes de dormir) y el valor obtenido de glucosa en sangre. Además, junto a cada medida se habilita un botón que permite eliminar una determinada medida, para poder quitar medidas que se hayan introducido de manera errónea.

En la parte superior de la pantalla de “Niveles de glucosa” se sitúa el botón de “Nueva medida”. Al hacer clic sobre este botón se muestra el formulario para introducir una nueva medida, con todos los campos necesarios, tal como se presenta en la Figura 81. Basta con introducir los datos obtenidos en el glucómetro y hacer clic en el botón verde o con la tecla *enter* del teclado para que se añada a la base de datos y se actualice automáticamente a la tabla. La nueva medida insertada se puede observar en la tabla de la Figura 82, junto con la notificación de gamificación que indica que se ha ganado un punto gracias a una buena medida de glucosa.

glucontrolre.cloudno.de

Amina Siddiqa Mohammed
Niveles de glucosa

Nueva medida

| Fecha | Hora | Tipo | Medida | |
|------------|-------|----------------|--------|---|
| 03/01/2017 | 09:30 | Ayunas | 147 | x |
| 02/01/2017 | 18:31 | Post ejercicio | 90 | x |
| 02/01/2017 | 09:26 | Ayunas | 140 | x |
| 01/01/2017 | 19:23 | Post ejercicio | 103 | x |
| 01/01/2017 | 06:34 | Ayunas | 156 | x |
| 31/12/2016 | 22:22 | Postprandial | 116 | x |
| 31/12/2016 | 09:06 | Ayunas | 150 | x |
| 30/12/2016 | 16:18 | Postprandial | 90 | x |
| 30/12/2016 | 09:04 | Ayunas | 147 | x |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 | x |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 | x |

Figura 80 Pantalla histórico de glucosa.

glucontrolre.cloudno.de

Amina Siddiqa Mohammed
Niveles de glucosa

Nueva medida

Fecha: Hora: Tipo: Medida:

| Fecha | Hora | Tipo | Medida | |
|------------|-------|----------------|--------|---|
| 03/01/2017 | 09:30 | Ayunas | 147 | x |
| 02/01/2017 | 18:31 | Post ejercicio | 90 | x |
| 02/01/2017 | 09:26 | Ayunas | 140 | x |
| 01/01/2017 | 19:23 | Post ejercicio | 103 | x |
| 01/01/2017 | 06:34 | Ayunas | 156 | x |
| 31/12/2016 | 22:22 | Postprandial | 116 | x |
| 31/12/2016 | 09:06 | Ayunas | 150 | x |
| 30/12/2016 | 16:18 | Postprandial | 90 | x |
| 30/12/2016 | 09:04 | Ayunas | 147 | x |

Figura 81 Formulario nueva medida de glucosa.

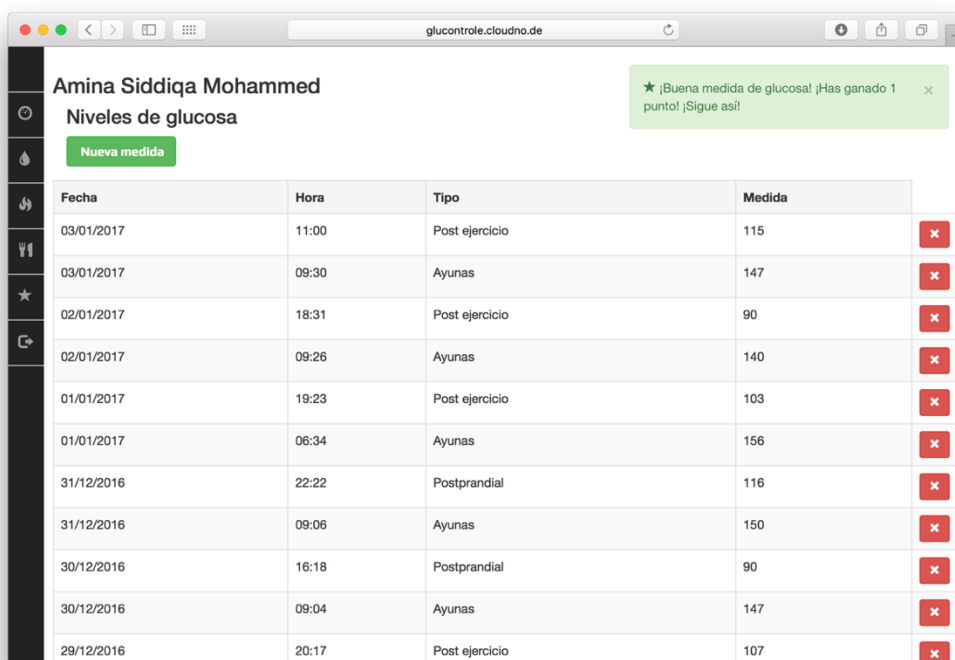


Figura 82 Notificación de gamificación de buena medida de glucosa.

En cuanto desaparece la notificación de gamificación, el sistema de notificaciones inteligentes analiza el resultado de bienestar del usuario y presenta una notificación que indica que el nivel de glucosa en sangre es óptimo, pero que debe mejorar la dieta para mejorar el bienestar.

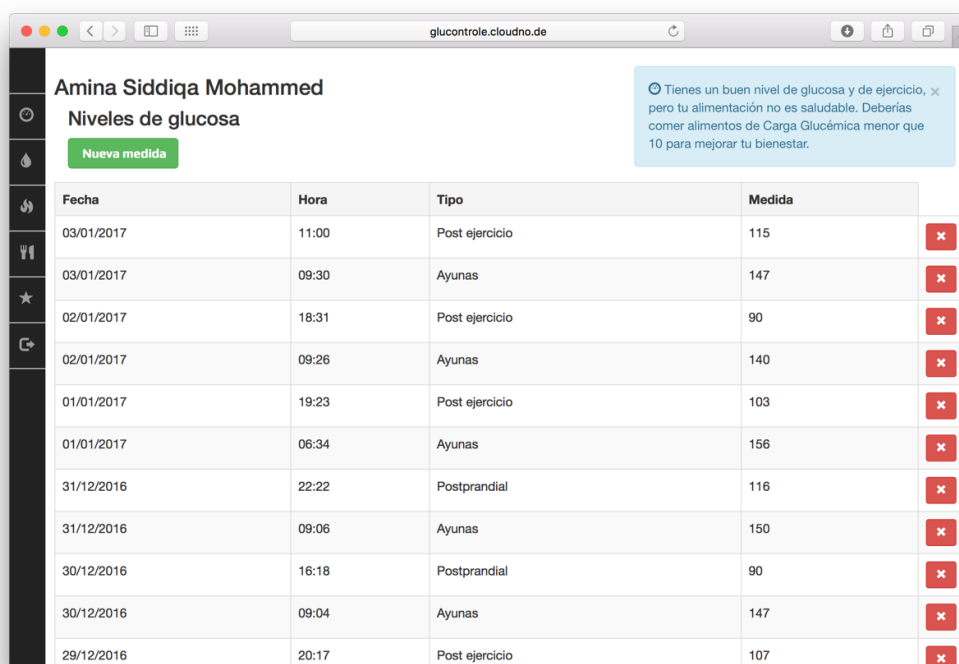


Figura 83 Notificación inteligente considerando los últimos valores de cada variable de entrada.

Como ya se ha indicado, se puede eliminar cualquier medida de glucosa con el botón de eliminar situado al final de cada fila de la tabla. Al eliminar la medida introducida, el sistema de gamificación recalcula automáticamente los puntos e indica mediante una notificación que se ha perdido el punto obtenido por la buena medida de glucosa (Figura 84). También se vuelve a recalcular el bienestar y se notifica al usuario en la Figura 85 que, con la última medida de glucosa (que es demasiado alta), debería salir a caminar. El tiempo de ejercicio y las calorías a quemar se calculan a partir del histórico del usuario. Además, se indica que la alimentación debería mejorar también.

The screenshot shows a web browser window with the URL 'glucontrol.cloudno.de'. The user is 'Amina Siddiqa Mohammed'. The page title is 'Niveles de glucosa'. There is a green button labeled 'Nueva medida'. A red notification box at the top right says: 'Has eliminado una buena medida de glucosa. Pierdes 1 punto del día 3/1/2017...'. Below the notification is a table with the following data:

| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|----------------|--------|
| 03/01/2017 | 09:30 | Ayunas | 147 |
| 02/01/2017 | 18:31 | Post ejercicio | 90 |
| 02/01/2017 | 09:26 | Ayunas | 140 |
| 01/01/2017 | 19:23 | Post ejercicio | 103 |
| 01/01/2017 | 06:34 | Ayunas | 156 |
| 31/12/2016 | 22:22 | Postprandial | 116 |
| 31/12/2016 | 09:06 | Ayunas | 150 |
| 30/12/2016 | 16:18 | Postprandial | 90 |
| 30/12/2016 | 09:04 | Ayunas | 147 |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |

Figura 84 Notificación de gamificación al eliminar una medida de glucosa.

The screenshot shows the same web browser window as Figure 84. The user is 'Amina Siddiqa Mohammed'. The page title is 'Niveles de glucosa'. There is a green button labeled 'Nueva medida'. A blue notification box at the top right says: 'Tienes la glucosa demasiado alta... sal a caminar al menos 69 minutos para quemar 300 calorías y vuelve a medir tu glucosa después. Deberías también evitar los alimentos de Carga Glucémica mayor que 10.'. Below the notification is the same table as in Figure 84:

| Fecha | Hora | Tipo | Medida |
|------------|-------|----------------|--------|
| 03/01/2017 | 09:30 | Ayunas | 147 |
| 02/01/2017 | 18:31 | Post ejercicio | 90 |
| 02/01/2017 | 09:26 | Ayunas | 140 |
| 01/01/2017 | 19:23 | Post ejercicio | 103 |
| 01/01/2017 | 06:34 | Ayunas | 156 |
| 31/12/2016 | 22:22 | Postprandial | 116 |
| 31/12/2016 | 09:06 | Ayunas | 150 |
| 30/12/2016 | 16:18 | Postprandial | 90 |
| 30/12/2016 | 09:04 | Ayunas | 147 |
| 29/12/2016 | 20:17 | Post ejercicio | 107 |
| 29/12/2016 | 08:27 | Ayunas | 171 |

Figura 85 Notificación inteligente adaptada al valor eliminado de glucosa.

Para acceder a la sección de Entrenamientos (Figura 86) basta con hacer clic en el botón “Ejercicio” del menú lateral. En esta pantalla se presentan las calorías quemadas organizadas por día, empezando por el último día insertado. Para cada día se presenta el resumen de calorías totales consumidas.

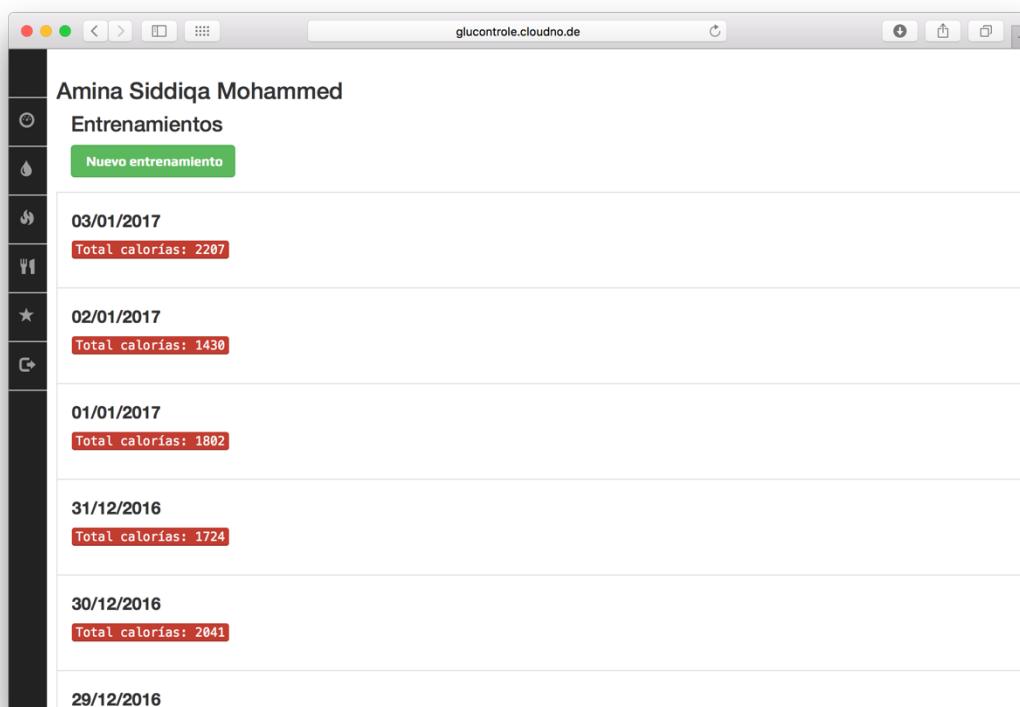


Figura 86 Pantalla de ejercicio.

Al hacer clic en un día concreto, se despliega una tabla con todo el desglose de los entrenamientos realizados (Figura 87). Para cada evento, se muestra la fecha, la hora de inicio y de fin y las calorías consumidas. Estas calorías son las que se obtienen de las agrupaciones que hace automáticamente Google Fit con los datos de la pulsera de actividad y los datos del Índice Metabólico Basal (IMB), tal como se indicó en el apartado 4.2.2. Finalmente, se habilita un botón al final de cada fila para eliminar ese entrenamiento concreto.

En la parte superior izquierda de la sección se sitúa el botón “Nuevo entrenamiento”, que muestra el formulario para añadir un nuevo entrenamiento a la base de datos (Figura 88). Aunque la fecha que aparece por defecto es la actual, se puede modificar para añadir entrenamientos de días pasados. El resto de datos necesarios para registrar correctamente un entrenamiento en la base de datos son la hora de inicio, la duración en minutos del entrenamiento y las calorías quemadas. Al hacer clic en el botón verde o pulsar la tecla *enter* se añade el entrenamiento al histórico y se actualiza la tabla y el total de calorías quemadas del día, tal como se puede observar en la Figura 89, en la que se crea una nueva agrupación para el nuevo día insertado.

Amina Siddiqa Mohammed

Entrenamientos

Nuevo entrenamiento

03/01/2017

Total calorías: 2207

| Fecha | Inicio | Final | Calorías consumidas |
|------------|--------|-------|---------------------|
| 03/01/2017 | 22:20 | 22:54 | 146 |
| 03/01/2017 | 21:50 | 22:06 | 68 |
| 03/01/2017 | 20:16 | 20:56 | 172 |
| 03/01/2017 | 19:20 | 19:24 | 17 |
| 03/01/2017 | 18:21 | 18:27 | 25 |
| 03/01/2017 | 16:58 | 17:00 | 10 |
| 03/01/2017 | 16:31 | 16:54 | 99 |
| 03/01/2017 | 15:47 | 15:56 | 38 |
| 03/01/2017 | 14:37 | 15:16 | 167 |

Figura 87 Agrupación diaria de entrenamientos desplegada.

Amina Siddiqa Mohammed

Entrenamientos

Nuevo entrenamiento

Fecha: Hora inicio: Minutos: Calorías:

03/01/2017

Total calorías: 2207

| Fecha | Inicio | Final | Calorías consumidas |
|------------|--------|-------|---------------------|
| 03/01/2017 | 22:20 | 22:54 | 146 |
| 03/01/2017 | 21:50 | 22:06 | 68 |
| 03/01/2017 | 20:16 | 20:56 | 172 |
| 03/01/2017 | 19:20 | 19:24 | 17 |
| 03/01/2017 | 18:21 | 18:27 | 25 |
| 03/01/2017 | 16:58 | 17:00 | 10 |
| 03/01/2017 | 16:31 | 16:54 | 99 |

Figura 88 Formulario de inserción de nuevo entrenamiento.

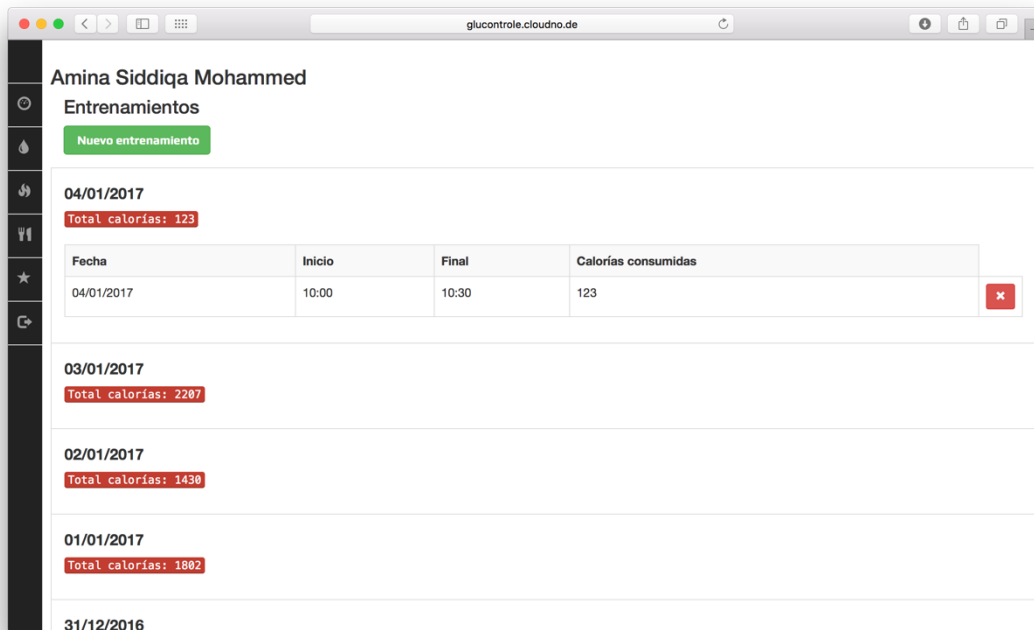


Figura 89 Nuevo entrenamiento insertado.

Si se añade otro entrenamiento al mismo día (Figura 90), se actualiza la tabla y el total que se presenta para ese día, tal como se puede apreciar en la Figura 91.

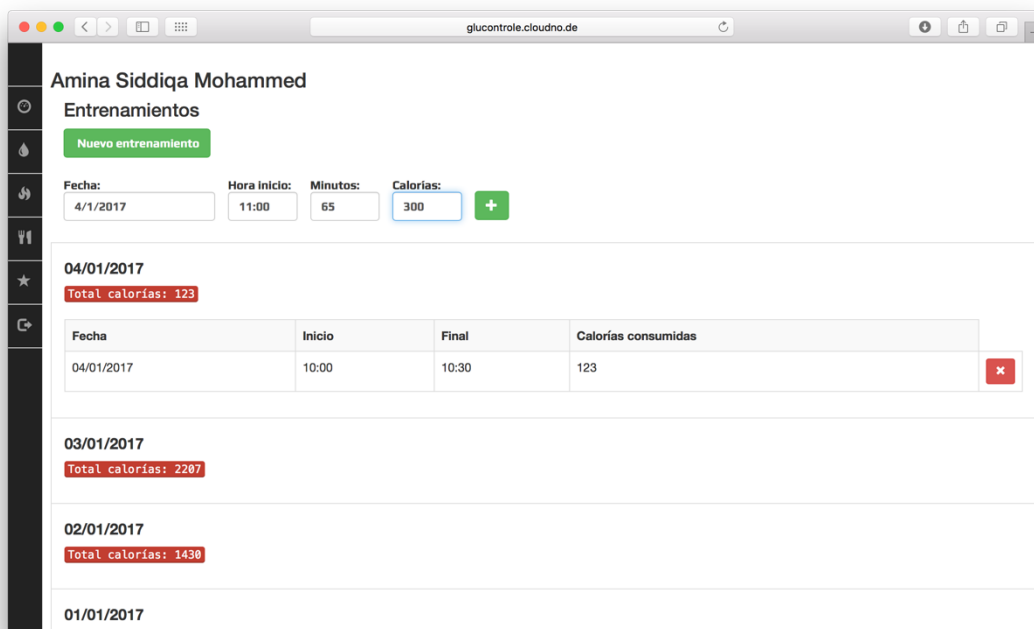


Figura 90 Inserción de segundo entrenamiento del día.

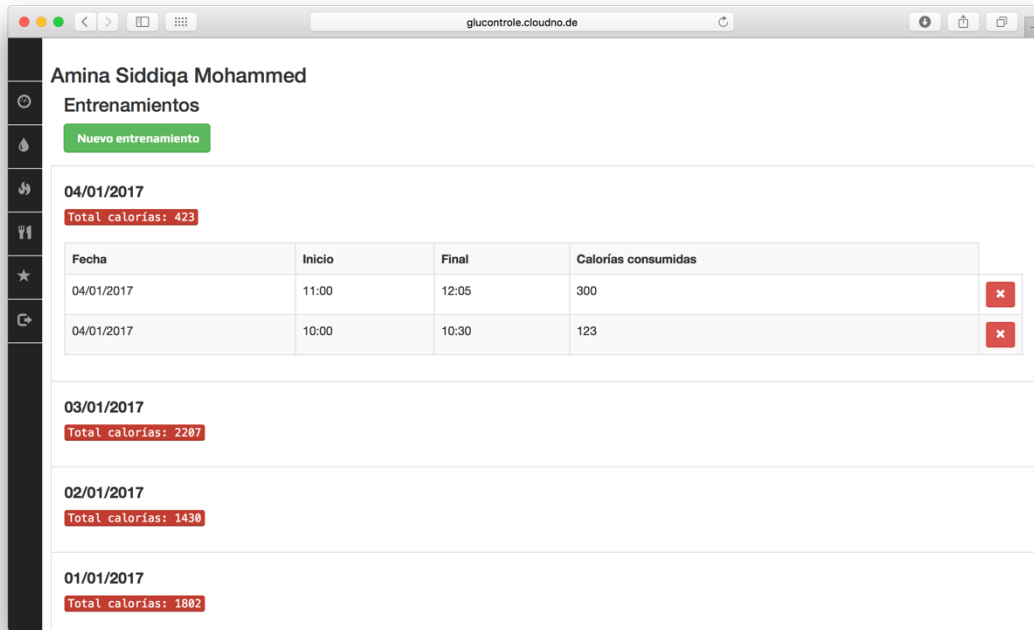


Figura 91 Actualización automática del histórico de entrenamientos.

Cabe destacar que todos los datos que se van introduciendo en la base de datos se actualizan automáticamente en las gráficas del tablero del usuario. En la Figura 92 se puede observar el nuevo dato de ejercicio en el reloj correspondiente a la variable, la actualización de la media y el nuevo punto disponible en la gráfica lineal de ejercicio.



Figura 92 Actualización de las gráficas del tablero con los últimos datos de entrenamiento.

La siguiente sección disponible en el menú lateral es la de Comidas (Figura 93), en la que se presenta un listado de días en orden inverso para los que existe información de la dieta del usuario.

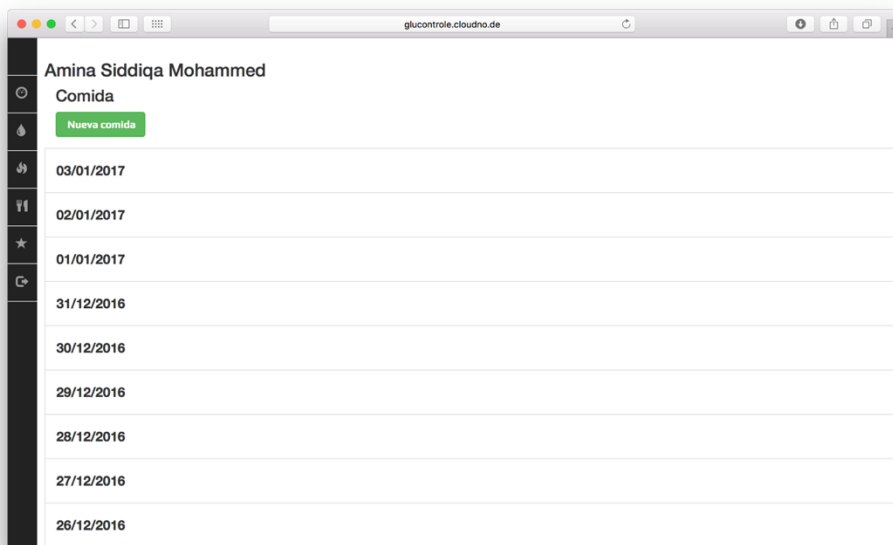


Figura 93 Pantalla comidas.

El detalle de las comidas de un día concreto se despliega al hacer clic sobre el día. En la figura Figura 94 se puede observar un desayuno a las 10 de la mañana, con 4 alimentos que suman un total de 40 de carga glucémica. Para cada alimento se presenta la cantidad, el nombre del alimento, los hidratos de carbono de esa ración, el índice glucémico y la carga glucémica resultante. Además, se permite eliminar cada alimento con el botón situado al final de cada fila y se puede eliminar la comida completa con el botón situado después de la información de carga glucémica total.

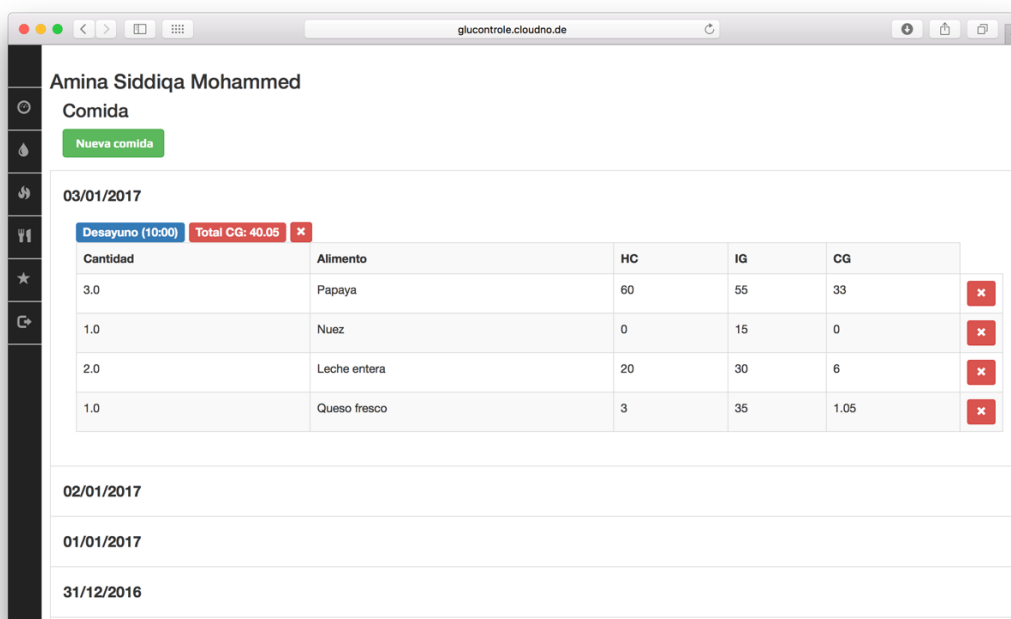


Figura 94 Agrupación diaria de comidas desplegada.

Haciendo clic en el botón “Nueva comida” se despliega el formulario para añadir la nueva comida (Figura 95), que permite introducir la fecha de la comida (por defecto, la fecha actual), la hora y el tipo de comida. Para añadir los alimentos, se utiliza el listado de alimentos disponibles en la base de datos, organizados por orden alfabético.

Amina Siddiqa Mohammed
Comida
Nueva comida
Fecha: 3/1/2017 Hora: 14:00 Tipo: Comida +
Aceituno
Acelga
Aguacate
Ajo
Albaricoque
Albaricoque seco
Alcachofa
Almendra

Figura 95 Formulario de inserción de nueva comida.

Se ha implementado un filtro para poder seleccionar únicamente los alimentos de un tipo concreto, como en la Figura 96, que se ha filtrado por los alimentos de tipo “Bebidas”. Otros filtros que se pueden aplicar son “Cereales y derivados”, “Dulces”, “Fruta grasa y seca”, “Frutas”, “Legumbres”, “Lácteos”, “Tubérculos”, “Verduras” y “Otros”.

Amina Siddiqa Mohammed
Comida
Nueva comida
Fecha: 3/1/2017 Hora: 14:00 Tipo: Bebidas +
Bebida de soja
Bebida energética
Bebida isotónica
Bebida refrescante tipo cola o sabores
Bitter
Cava seco o semiseco
Cerveza
Cerveza sin alcohol

Figura 96 Filtrado de base de datos de alimentación.

Al hacer clic en un alimento, se despliega el formulario de selección de cantidad, que permite seleccionar cantidades definidas por defecto como “botella”, “lata de 330 cc” o “guarnición”. En la Figura 97 se puede observar también que se muestran los datos de cantidad de hidratos de carbono, índice glucémico y el cálculo de carga glucémica a partir de estos dos datos anteriores.

Amina Siddiqa Mohammed
Comida
Nueva comida
Fecha: 3/1/2017 Hora: 14:00 Tipo: Comida +
Bebidas
Bebida de soja
Bebida energética
Bebida isotónica
Cantidad: 1 Botella +
Hidratos de carbono: 38 g Índice glucémico: 78 Carga glucémica: 29.64
Bebida refrescante tipo cola o sabores
Bitter
Cava seco o semiseco

Figura 97 Formulario de selección de alimento de la base de datos.

Basta con seleccionar la cantidad por defecto deseada y la cantidad total consumida, por ejemplo, 2 botellas. En la Figura 98 se modifica de la cantidad por defecto “Botella” a “Lata de 330 cc” y se indica que se ha consumido una lata. Tal como se puede observar, los datos de hidratos de carbono y de carga glucémica se modifican acorde a las nuevas cantidades. El índice glucémico no se modifica porque es una característica del alimento que no depende de la cantidad.

Amina Siddiqa Mohammed
Comida
Nueva comida
Fecha: 3/1/2017 Hora: 14:00 Tipo: Comida +
Bebidas
Bebida de soja
Bebida energética
Bebida isotónica
Cantidad: 1 Lata de 330 cc +
Hidratos de carbono: 25 g Índice glucémico: 78 Carga glucémica: 19.3
Bebida refrescante tipo cola o sabores
Bitter
Cava seco o semiseco

Figura 98 Modificación automática de datos alimenticios según la cantidad.

Al hacer clic en el botón verde o pulsando la tecla *enter* se añade el alimento con las cantidades seleccionadas a la lista de alimentos de la comida que se está agregando (Figura 99).

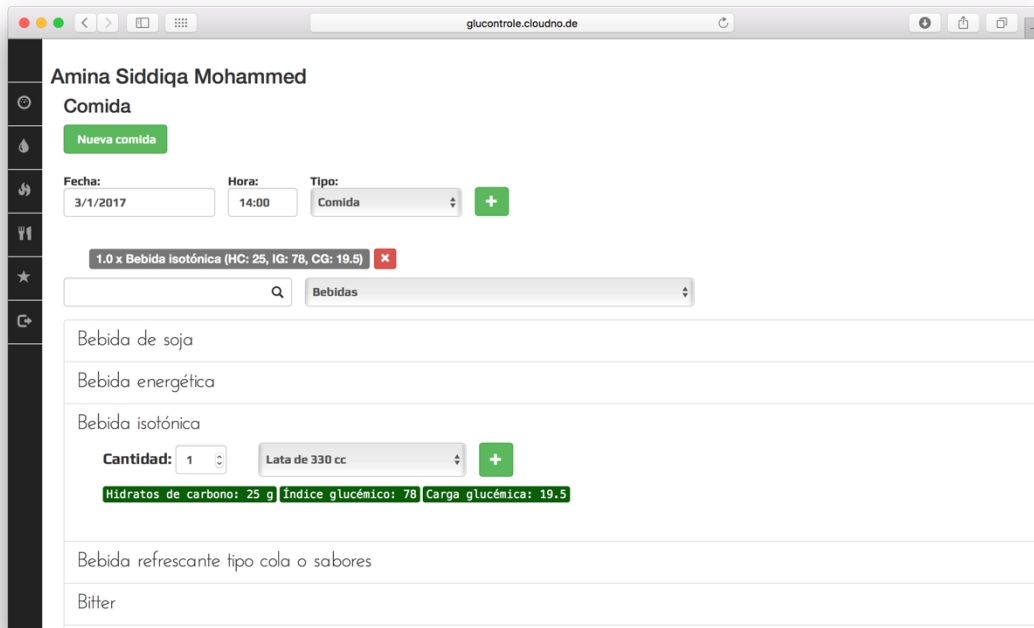


Figura 99 Alimento añadido a la comida.

A la izquierda del filtro se ha desarrollado un buscador que permite buscar el alimento deseado en la lista de la base de datos. En la Figura 100 se obtienen los dos únicos alimentos de la lista que contienen las letras "agua".

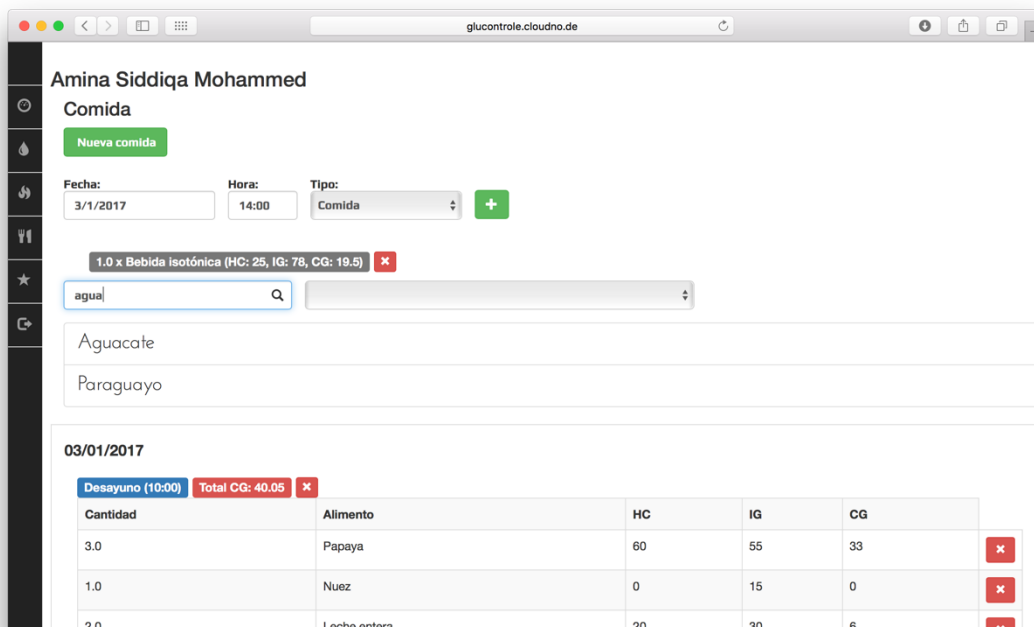


Figura 100 Buscador de alimentos en la base de datos.

Cabe destacar que se permite añadir valores decimales y las flechas de incremento o decremento añaden o quitan media ración. En la Figura 101 se puede observar que se ha añadido medio aguacate a la comida.

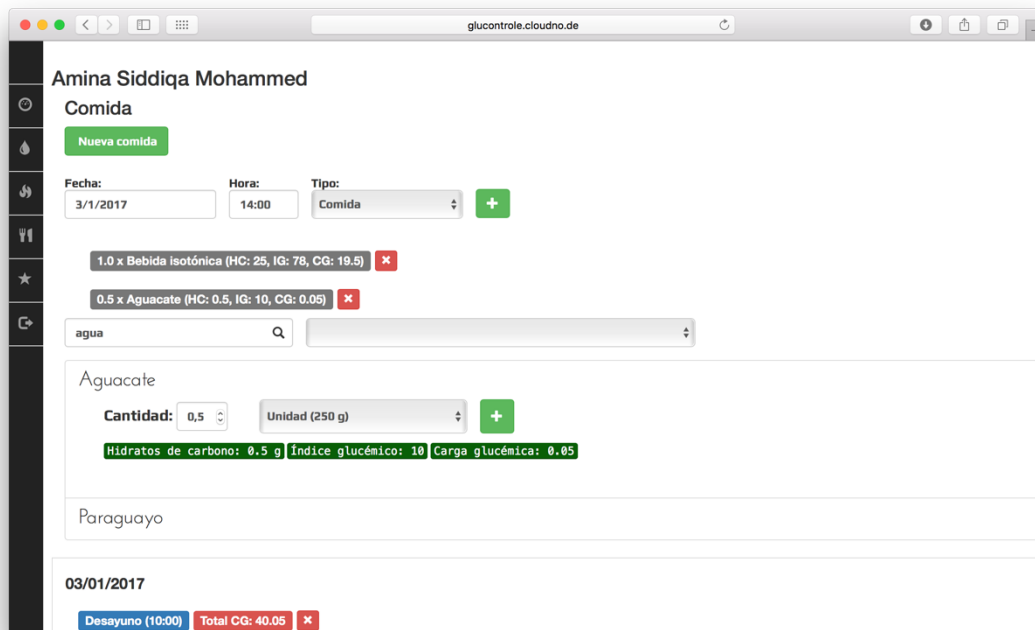


Figura 101 Cantidades decimales en la selección de alimento.

Se pueden seleccionar todos los alimentos que se desee para una comida concreta, tal como ocurre en la Figura 102, en la que se ha buscado un helado introduciendo las letras “hela” en el buscador.

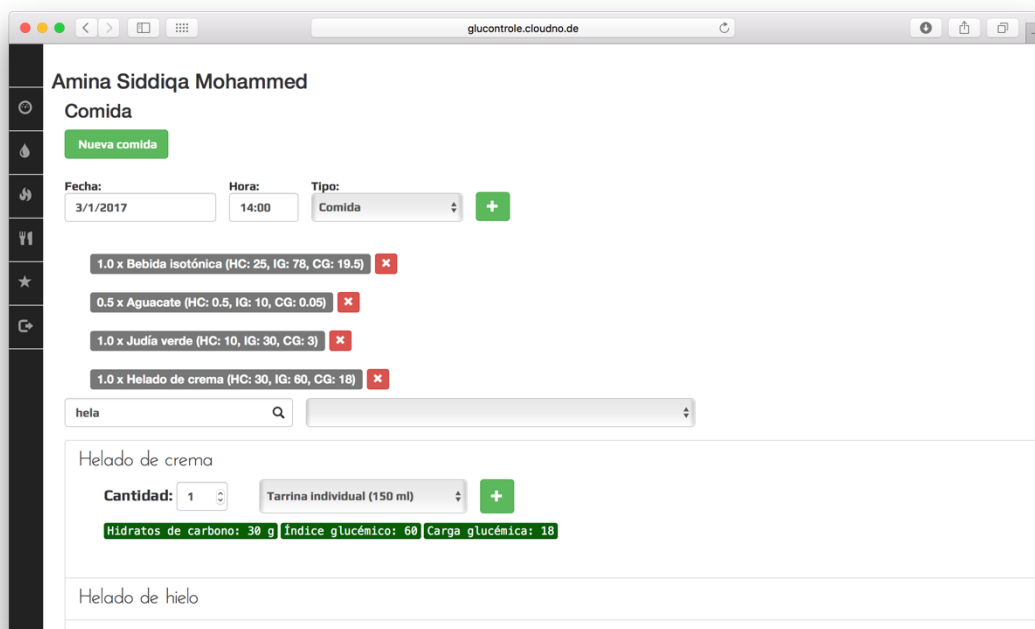


Figura 102 Selección de varios alimentos para una comida.

Cuando se termina la selección de alimentos, se puede añadir la comida haciendo clic en el botón verde situado junto al tipo de comida insertada. Una vez añadida, se actualiza automáticamente la lista de comidas para el día seleccionado y se presenta una notificación de gamificación que, dependiendo de la media de carga glucémica de todos los alimentos de la comida, supondrá una puntuación concreta. En la Figura 103 se ha ganado medio punto gracias a la comida recién insertada.

Comida (14:00) Total CG: 40.55 ✖

| Cantidad | Alimento | HC | IG | CG | |
|----------|------------------|-----|----|------|---|
| 1.0 | Bebida isotónica | 25 | 78 | 19.5 | ✖ |
| 0.5 | Aguacate | 0.5 | 10 | 0.05 | ✖ |
| 1.0 | Judía verde | 10 | 30 | 3 | ✖ |
| 1.0 | Helado de crema | 30 | 60 | 18 | ✖ |

Desayuno (10:00) Total CG: 40.05 ✖

| Cantidad | Alimento | HC | IG | CG | |
|----------|--------------|----|----|----|---|
| 3.0 | Papaya | 60 | 55 | 33 | ✖ |
| 1.0 | Nuez | 0 | 15 | 0 | ✖ |
| 2.0 | Leche entera | 20 | 30 | 6 | ✖ |

Figura 103 Nueva comida añadida con notificación de gamificación.

Si se desea eliminar un alimento concreto de una comida insertada se puede hacer clic en el botón rojo del alimento seleccionado. En la Figura 104 se elimina la ración de judías verdes.

Comida (14:00) Total CG: 37.55 ✖

| Cantidad | Alimento | HC | IG | CG | |
|----------|------------------|-----|----|------|---|
| 1.0 | Bebida isotónica | 25 | 78 | 19.5 | ✖ |
| 0.5 | Aguacate | 0.5 | 10 | 0.05 | ✖ |
| 1.0 | Helado de crema | 30 | 60 | 18 | ✖ |

Desayuno (10:00) Total CG: 40.05 ✖

| Cantidad | Alimento | HC | IG | CG | |
|----------|--------------|----|----|------|---|
| 3.0 | Papaya | 60 | 55 | 33 | ✖ |
| 1.0 | Nuez | 0 | 15 | 0 | ✖ |
| 2.0 | Leche entera | 20 | 30 | 6 | ✖ |
| 1.0 | Queso fresco | 3 | 35 | 1.05 | ✖ |

Figura 104 Alimento eliminado de comida.

En caso de querer eliminar una comida completa, basta con hacer clic en el botón rojo situado a la derecha del total de carga glucémica. Al eliminar una comida, se actualiza la lista de comidas automáticamente, y se recibe una notificación de gamificación actualizando la puntuación del usuario y la clasificación general. En el caso de la Figura 105 se ha eliminado una comida de carga glucémica normal, por lo que se pierde el medio punto que se había ganado al introducir la comida en el sistema.

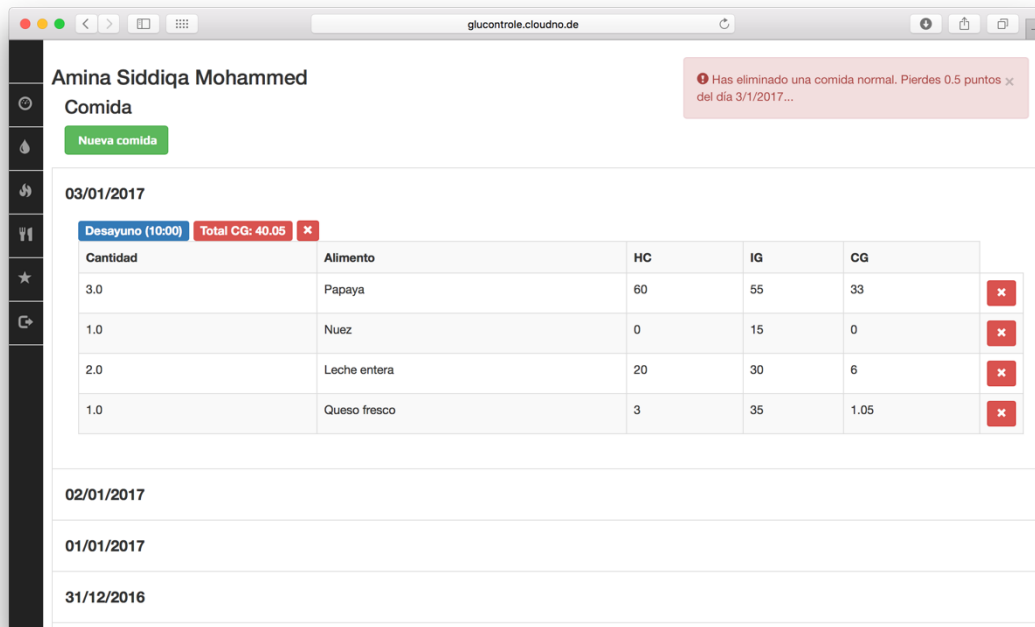


Figura 105 Comida eliminada de un día determinado y notificación de gamificación.

10.2 Definición de gráficas con Google Charts

Para definir las gráficas de Google Charts, se debe cargar en primer lugar los paquetes necesarios para cada gráfica: “line” para las lineales y “gauge” para los relojes. Además, se debe definir qué función dibujará las gráficas, en este caso “drawChart”.

```
google.charts.load('current', {'packages':['corechart', 'line', 'gauge']});
google.charts.setOnLoadCallback(drawChart);
```

En la función “drawChart” se definen en primer lugar los grupos de datos a dibujar. Se puede observar a continuación un ejemplo de cómo se definen los datos de glucosa, buscando el histórico de las últimas dos semanas en la variable “\$scope.glucoseChartData”.

```
var glucoseData = new google.visualization.DataTable();
glucoseData.addColumn('date', 'Fecha');
glucoseData.addColumn('number', 'Glucosa');
glucoseData.addRows($scope.glucoseChartData);
```

Después se definen las opciones de cada gráfico, como el título, el tipo de curva a dibujar, los colores y otros datos que indican a Google Charts el format que se desea.

```

var glucoseVSexerciseOptions = {
  title: 'Glucosa en sangre vs Calorías quemadas',
  curveType: 'function',
  legend: { position: 'bottom' },
  colors: ['red', 'orange'],
  chartArea: {width: '85%'},
  vAxes: {0: {title: 'Glucosa', viewWindow: {min:0}},
          1: {title: 'Calorías (cal)', viewWindow: {min:0}}
        },
  series: {0:{targetAxisIndex: 0},
          1:{targetAxisIndex: 1},
        },
  interpolateNulls: true
};

```

En el caso de los relojes, la definición de las opciones cambia, indicando el tamaño, el valor máximo de los relojes y los intervalos de cada color que se desee que aparezca.

```

var optionsGlucosa = {
  width: 150, height: 150,
  max:240,
  greenFrom: 70, greenTo: 165,
  redFrom: 165, redTo: 240,
  yellowFrom:0, yellowTo: 70,
  minorTicks: 5
};

```

Finalmente, se define un nuevo objeto de Google Charts, se indica un id de elemento del HTML donde se quiera situar el nuevo gráfico y se utiliza el método “draw” para dibujar los datos definidos con las opciones deseadas.

```

var glucoseVSexerciseChart = new
google.visualization.LineChart(document.getElementById('glucoseVSexerciseChart
'));
glucoseVSexerciseChart.draw(glucoseVSexercise, glucoseVSexerciseOptions);

```

Finalmente, basta con definir un div con el id correspondiente y de tipo “chart”.

```

<div id="glucoseVSexerciseChart" class="chart"></div>

```

10.3 Código Fuzzy logic para obtener el bienestar

A continuación, se presenta el código implementado en la función getWellness() para el cálculo del bienestar mediante JS-Fuzzy [66].

En primer lugar, se definen las variables de entrada que formarán el *array* `crisp_input`.

```

function getWellness(){
  var sortedGlucose = $scope.user.glucoseLevels.sort(compareDate);
  var sortedExercise = $scope.user.exercise.sort(compareExercise);
  var sortedMeals = $scope.user.meals.sort(compareDate);
  var glucoseInput = 0;
  var exerciseInput = 0;
  var mealsInput = 0;

```

```

    if(sortedGlucose.length){
      glucoseInput = sortedGlucose[sortedGlucose.length-1].gLevel;
    }
    if(sortedExercise.length){
      exerciseInput = sortedExercise[sortedExercise.length-1].calories;
    }
    if(sortedMeals.length){
      mealsInput = parseFloat($scope.getTotal(sortedMeals[sortedMeals.length-1].food)/sortedMeals[sortedMeals.length-1].food.length);
    }

    $scope.entradas = [
      glucoseInput,
      exerciseInput,
      mealsInput
    ];

```

Una vez definidos los valores de las variables de entrada, se definen los umbrales mediante la siguiente función, que aplica todos los cálculos ya explicados en este apartado para obtener los umbrales por defecto, si existen menos de 20 valores en el histórico, o los umbrales personalizados en caso contrario.

```
var umbrales = getUmbrales($scope.user, 20);
```

Tras calcular los umbrales, se puede definir el objeto que se pasará como entrada a los métodos de JS-Fuzzy. Se marcan en **negrita** las variables calculadas en los pasos anteriores para así tener en cuenta el histórico del usuario en los parámetros de Fuzzy logic.

```

var fuzzyParam = {
  crisp_input: $scope.entradas,
  variables_input: [
    {
      name: "Glucosa",
      setsName: ["Baja", "Óptima", "Alta"],
      sets: umbrales[0]
    },
    {
      name: "Ejercicio (cal)",
      setsName: ["Bajo", "Medio", "Alto"],
      sets: umbrales[1]
    },
    {
      name: "Comida (carga glucémica)",
      setsName: ["Baja", "Media", "Alta"],
      sets: umbrales[2]
    }
  ],
  variable_output: {
    name: "Bienestar",
    setsName: ["Bajo", "Medio", "Alto"],
    sets: [
      [0,15,15,30],
      [30,45,45,60],
      [60,75,75,90]
    ]
  },
  inferences: [
    [0,2,0],
    [0,1,2],

```

```
        [2,1,0]
    ]
};
```

Finalmente, se crea el objeto FuzzyLogic y se devuelve el valor calculado por la función getResult del *plugin*, al que se le pasa el objeto fuzzyParam con toda la información necesaria para el cálculo del bienestar.

```
var fl = new FuzzyLogic();
return (Math.floor(fl.getResult(fuzzyParam)));
}
```