

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN



GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE
LA TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE
UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA
MEDIDA DEL NIVEL DE HEMOGLOBINA
EN SANGRE

ALFONSO ESCRIBANO LEÓN

29 de junio de 2023

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE LA TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Título: Desarrollo e implementación de una aplicación móvil para la medida del nivel de hemoglobina en sangre.

Autor: D. Alfonso Escribano León.

Tutor: D. Jorge Pagán Ortiz.

Ponente: D. Josué Pagán Ortiz

Departamento: Departamento de Ingeniería Electrónica

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Presidente: D.

Vocal: D.

Secretario: D.

Suplente: D.

Los miembros del tribunal arriba nombrados acuerdan otorgar la calificación de:
.....

Madrid, a de de 20...

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN



GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS DE
LA TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

**Desarrollo e implementación de una
aplicación móvil para la medida del
nivel de hemoglobina en sangre.**

Alfonso Escribano León

29 de junio de 2023

RESUMEN

La sangre es un elemento esencial para el correcto funcionamiento del cuerpo humano lo cual la hace un elemento esencial para la vida. La insuficiencia de sangre o el deterioro de la misma, provocan que no pueda cumplir su función, derivando en graves problemas de salud.

La imposibilidad actual de poder obtener este recurso de manera artifical hace que la donación de sangre sea una acción indispensable para el tratamiento de muchas enfermedades que producen anemia y en el tratamiento de distintos tipos de cáncer, así como a intervenciones quirúrgicas, trasplantes de órganos y tratamiento ante accidentes, hemorragias y quemaduras.

Los centros de hemodonación establecen una serie de requisitos y condiciones para poder donar, ya que no siempre es posible realizar este acto altruista y voluntario. Una de las causas que impiden la donación y en la que nos centramos en este estudio, es tener el nivel de hemoglobina bajo; si está por debajo de 12.5 g/dL en el caso de las mujeres y de 13.5 g/dL en el caso de los hombres no se podrá donar. A día de hoy, para poder determinar dicho nivel, el donante debe desplazarse al hospital o centro de hemodonación donde se le realiza la medida y se le comunica si puede llevar a cabo la donación. Esto, en ocasiones puede hacer algo arduo el proceso.

El objetivo del estudio, el cual se encuentra en estado de investigación y en colaboración con el Centro Regional de Hemodonación de Murcia, es optimizar el sistema de la cadena transfusional y evitar incomodidades al donante. Una de las formas de optimización es evitar que un donante con bajos niveles de hemoglobina acuda a donar. Teniendo un modelo de predicción de hemoglobina ambulatoria podría saberse la tendencia y si no es positiva, emplazar al donante a otro momento. Actualmente, dentro del proyecto ya se cuenta con: (i) una aplicación móvil base, la cual es únicamente utilizada por los profesionales sanitarios para la primera etapa de investigación: generar modelos predictivos de hemoglobina con datos de la clínica; (ii) el dispositivo de medición correspondiente, el cual se conecta mediante *Bluetooth* al móvil.

La ocupación de este Trabajo de Fin de Grado en el mencionado proyecto, ha sido desarrollar e implementar en su totalidad una aplicación que a diferencia de la ya existente estará orientada a los donantes y será compatible en diferentes sistemas operativos (Android e iOS). Se busca que el usuario se familiarice con el instrumento de medida, ya que la aplicación cuenta (entre otras) con una función que permite entrenar este proceso de una manera dinámica y gamificada, compensando incluso su aportación como donante.

Con la implementación de esta *app* y resumiendo la motivación principal de este Trabajo de Fin de Grado, la meta es mantener al donante motivado y con ánimos para seguir con su dedicación lo que sería altamente beneficioso para la sanidad.

SUMMARY

Blood is an essential element for the proper functioning of the human body which makes it an essential element for life. The insufficiency of blood or the deterioration of the same, cause that it can not fulfill its function, resulting in serious health problems.

The current impossibility of obtaining this resource in an artificial way makes blood donation an indispensable action for the treatment of many diseases that cause anemia and in the treatment of different types of cancer, as well as surgical interventions, organ transplants and treatment for accidents, hemorrhages and burns.

Hemodonation centers establish a series of requirements and conditions to be able to donate, since it is not always possible to perform this altruistic and voluntary act. One of the causes that prevent donation and on which we focus in this study is having a low hemoglobin level; if it is below 12.5 g/dL in the case of women and 13.5 g/dL in the case of men, it will not be possible to donate. Nowadays, in order to determine this level, the donor must go to the hospital or hemodonation center where the measurement is taken and he/she is informed if he/she can donate. This can sometimes make the process somewhat arduous.

The aim of the study, which is currently under investigation and in collaboration with the Regional Hemodonation Center of Murcia, is to optimize the transfusion chain system and avoid donor discomfort. One of the ways of optimization is to avoid a donor with low hemoglobin levels to come to donate. By having an ambulatory hemoglobin prediction model, it would be possible to know the trend and, if it is not positive, to call the donor to another time. Currently, the project already has: (i) a basic mobile application, which is only used by healthcare professionals for the first stage of research: generating predictive hemoglobin models with data from the clinic; (ii) the corresponding measuring device, which connects via Bluetooth to the cell phone.

The occupation of this Final Degree Project in the aforementioned project, has been to develop and implement in its entirety an application that unlike the existing one will be oriented to donors and will be compatible in different operating systems (Android and iOS). The aim is to familiarize the user with the measuring instrument, since the application has (among others) a function that allows training this process in a dynamic and gamified way, even compensating their contribution as a donor.

With the implementation of this app and summarizing the main motivation of this Final Degree Project, the goal is to keep the donor motivated and encouraged to continue with their dedication, which would be highly beneficial for healthcare.

PALABRAS CLAVE

Hemoglobina, hemodonación, donante, gamificación, Bluetooth, Flutter, Flask, phpMyAdmin, Nordic nRF52840

KEYWORDS

Hemoglobin, hemdonation, donor, gamification, Bluetooth, Flutter, Flask, phpMyAdmin, Nordic nRF52840

Agradecimientos

A mi familia, que me ha apoyado en todas las decisiones que he tomado en mi vida y siempre ha estado a mi lado. A mis padres, a mis abuelos y a mi hermana María.

A los amigos que he obtenido durante esta etapa universitaria y con los que he compartido alegrías y tristezas. Han sido un pilar fundamental para la superación de todos los obstáculos que he encontrado y he superado durante esta aventura académica. En especial a Olimpia, apoyo incondicional este año y durante la escritura de este Trabajo de Fin de Grado, gracias por hacérmelo todo más fácil.

Mención especial a Josué, excelente profesor, tutor y persona. Agradecerle su dedicación y por haber hecho posible este trabajo.

Índice

Resumen y Palabras Clave	II
Agradecimientos	v
Lista de acrónimos	x
1. Introducción y objetivos	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. La importancia de la sangre	1
1.1.2. La hemoglobina y la anemia	2
1.1.3. La hemodonación	2
1.1.4. Los inconvenientes del proceso transfusional	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivos principales	4
1.2.2. Objetivos secundarios	5
2. Estado del arte	6
2.1. Gamificación y aplicaciones móviles en el sector de la salud	6
2.2. Aplicaciones móviles para la medición de hemoglobina	8
3. Metodología	13
3.1. Contexto	13
3.2. Arquitectura	14
3.2.1. Frontend	15
3.2.2. Backend	15
3.3. Aplicación Móvil	16
3.3.1. Pantalla de Inicio de Sesión	19
3.3.2. Pantallas de registro	20
3.3.3. Funciones de la aplicación	22
3.3.4. Servidor	31
4. Implementación	32
4.1. Herramientas utilizadas en la aplicación desarrollada	32
4.1.1. Visual Studio Code	32
4.1.2. Aplicación - Frontend	33
4.1.3. Aplicación - Backend	34
4.1.4. Aplicación - Base de Datos	35
5. Resultados	36
5.1. Pantallas del primer flujo de navegación	37
5.1.1. Inicio de sesión	37
5.1.2. Recuperar contraseña	37
5.1.3. Registro	37

5.2. Pantallas del segundo flujo de navegación	39
5.2.1. Menú de Inicio	39
5.2.2. Menú de Entrenamiento	41
5.2.3. Menú de Historial	43
5.2.4. Menú de Perfil de Usuario	43
5.2.5. Pantalla de medidas	43
5.3. Otros Resultados de interés	46
6. Conclusiones y líneas futuras	49
6.1. Conclusiones	49
6.2. Líneas futuras	50
Bibliografía	51
Anexo A: Aspectos éticos, económicos, sociales y ambientales	55
Anexo B: Presupuesto económico	57
Anexo C: Base de Datos	58
Anexo D: Archivos JSON	59

Índice de figuras

1.1.	Número donantes en España en el año 2021 según el Ministerio de Sanidad	3
2.1.	Representación de la gamificación frente a otros conceptos similares [12]	7
2.2.	Ejemplo de pantalla inicial de la aplicación MySugr	8
2.3.	Prodecimiento de medición del nivel de Hb en [27]	9
2.4.	Ejemplos de pantallas de la aplicación móvil utilizada en el estudio realizado en el NBC y que fue recibida por uno de los dos grupos de donantes [28]	10
2.5.	Gráfica que recoge los resultados obtenidos por un usuario en la aplicación desarrollada en [29]	11
2.6.	Pantallas de la aplicación desarrollada en [29]	12
3.1.	Proceso de exclusión de un donante y su posible no retorno	13
3.2.	Esquema de las funciones disponibles en la aplicación	14
3.3.	Esquema de la arquitectura de la aplicación	15
3.4.	Primer diagrama de flujo en el que se representan las pantallas de registro e inicio de sesión	17
3.5.	Primer diagrama de flujo simplificado. Modelo <i>login</i> /registro	17
3.6.	Segundo diagrama de flujo en el que se representan las pantallas disponibles en la aplicación	18
3.7.	Pantalla de inicio y ejemplo de conexión con el <i>backend</i>	19
3.8.	Ejemplo de código de identificación del donante en la BBDD, registrado en el campo <code>register_id</code>	21
3.9.	Ejemplos de las funciones de ayuda al usuario y validación mencionadas en la estructura de las pantallas	22
3.10.	Primer menú visible por un nuevo usuario, correspondiente con el menú de inicio de la aplicación, en este caso del usuario de prueba <code>adios@email.com</code>	23
3.11.	Placa nRF52840 de Nordic	25
3.12.	Captura de la tabla <code>description_meas</code> alojada en la BBDD donde se diferencian los tipos de medida a través de un identificador <code>meas_id</code> y una descripción <code>description</code> , además de la columna diferenciadora de idioma <code>language</code>	26
3.13.	Definición de los estados del semáforo que representa el Perfil Saludable del usuario	27
3.14.	Ejemplo de determinación del estado del Perfil Saludable según los parámetros medidos en el caso de un donante masculino	28
3.15.	Icono representativo de los <i>hemopoints</i>	30
3.16.	Captura de la tabla <code>users_hemopoints</code> de la BBDD donde se almacenan los <i>hemopoints</i> por fecha de obtención, en este caso correspondientes con el usuario HEMO1923000	31
4.1.	Ejemplos de algunas de las extensiones de Visual Studio Code que pueden resultar interesantes para el desarrollo	32
4.2.	Lista de paquetes de Flutter utilizados en la aplicación	33

4.3. Ejemplo de DataFrame	34
4.4. Logos de las herramientas utilizadas para el <i>frontend</i> , <i>backend</i> y manejo de la BBDD respectivamente	35
5.1. Ejemplo de pantalla en dispositivo físico Samsung Galaxy A50	36
5.2. Pantalla de recuperación de contraseña	37
5.3. Pantallas de registro según la opción seleccionada: con escáner (recorrido de la derecha) o manual (recorrido de la izquierda)	38
5.4. Pantalla del menú inicial de la aplicación	39
5.5. Pantallas correspondientes a diferentes estados del Perfil Saludable	40
5.6. Pantalla del menú de entrenamiento	41
5.7. Pantallas correspondientes a la funcionalidad de los cuestionarios	42
5.8. Pantallas correspondientes al menú de historial	44
5.9. Pantallas correspondientes a las funciones ofrecidas por el menú de historial	45
5.10. Pantallas correspondientes a las funciones ofrecidas por el menú de perfil de usuario	46
5.11. Pantallas correspondientes a las distintas situaciones posibles en la pantalla de medidas	47
5.12. Ejemplo de pantalla con otro dimensionado	48
5.13. Ejemplo de pantalla con otro dimensionado	48
6.1. Estructura de tablas creadas en la BBDD	58
6.2. Ejemplo de archivo JSON utilizado en la aplicación, correspondiente a los datos de los cuestionarios	59

Índice de tablas

3.1. Botones de la pantalla principal	19
3.2. Botones de la primera pantalla de registro.	20
3.3. Botones de la pantalla de registro con escáner	20
3.4. Botones de la pantalla de registro manual	21
3.5. Botones de la pantalla final de registro	21
3.6. Botones de la pantalla de perfil de usuario	24
3.7. Botones de la pantalla de historial de medidas	24
3.8. Botones de la pantalla de historial de medidas.	27
3.9. Botones de la pantalla de información de <i>checkpoint</i>	27
3.10. Botones de la pantalla del perfil saludable	28
3.11. Ejemplo esquemático del archivo JSON enviado por el servidor y recibido en el móvil con los datos de los cuestionarios	29
3.12. Ejemplo de ruta URL utilizada para insertar los nuevos datos introducidos por el usuario cuando edita el peso/altura en la pantalla de perfil de usuario	31
6.1. Presupuesto económico	57

Listado de acrónimos

API Application Program Interface

APP Application

BBDD Base de Datos

BLE Bluetooth Low Energy

CRHM Centro Regional de Hemodonación de Murcia

Hb Hemoglobina

HR Hart Rate

HTTP Hypertext Transfer Protocol

JSON JavaScript Object Notation

OMS Organización Mundial de la Salud

SQL Structured Query Language

SO Sistema Operativo

SpO₂ Saturación de Oxígeno

URL Uniform Resource Locator

1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

En esta primera sección se pretende esclarecer el contexto que ha motivado el inicio del proyecto. Se verá desde el aspecto más general, que hará comprender la importancia de la sangre en el cuerpo humano, hasta un punto de vista más específico relacionado con el desarrollo del trabajo, como lo es la hemodonación en España y los inconvenientes que existen en el proceso transfusional.

1.1.1. La importancia de la sangre

Desde la aparición del *Homo Sapiens* se ha vinculado la pérdida de sangre con el estado de la salud, es así como desde el principio de los tiempos ha sido un elemento fundamental para el bienestar del cuerpo humano e incluso se le han atribuido propiedades místicas y curativas [1].

La sangre es un líquido compuesto por cuerpos formes (eritrocitos, leucocitos y plaquetas) suspendidos en el plasma que se encuentra contenido en el corazón, las arterias y las venas. Normalmente los eritrocitos o glóbulos rojos constituyen el 45 % de la sangre. El plasma contiene agua (aproximadamente 91 %), electrolitos, hidratos de carbono, lípidos, proteínas y hormonas [2]. Las funciones principales de la sangre son el transporte de oxígeno y de nutrientes a las células del organismo, y el conjunto de estas funciones se puede resumir en [3]:

- **Funciones celulares:** Transporte de gases, distribución de células de defensa (inmunidad celular), distribución de plaquetas (hemostasia primaria), distribución de células madre (*stem cells*) y reparación de lesiones vasculares y tisulares.
- **Funciones plasmáticas:** Transporte de nutrientes, transporte de iones, transporte de hormonas, transporte de anticuerpos y complemento (inmunidad humoral), transporte de sustancias de desecho, regulación del medio interno (homeostasis) y hemostasia.

Sabiendo esto, se puede concluir en que la sangre es esencial para el funcionamiento del cuerpo humano y que la alteración o deterioro de ésta puede derivar en enfermedades degenerativas y de alto riesgo vital.

1.1.2. La hemoglobina y la anemia

Se ha visto en el punto anterior que la sangre entre otros componentes está formada por eritrocitos o glóbulos rojos. Una de las funciones vitales de éstos es la participación en el intercambio gaseoso de oxígeno y dióxido de carbono entre los pulmones y los tejidos. La **hemoglobina (Hb)**, es el componente fundamental de este proceso [4].

Sin embargo, la función y aportación de la hemoglobina va más allá. La medición del nivel de Hb ha sido también un factor clave a la hora de detectar enfermedades sanguíneas como por ejemplo, la **anemia**, la cual es muy tenida en cuenta en los procesos de donación. La anemia es una enfermedad que resulta de una disminución en la cantidad normal de hemoglobina circulante. Una variedad de factores causan esta disminución, incluyendo deficiencia de hierro, hemólisis, una disminución en la producción de glóbulos rojos, deficiencia de ácido fólico o una combinación de estas entidades [5]. La anemia se puede clasificar por patogénesis en [6]:

- **Anemias de pérdida de sangre (hemorragia)**
- **Anemias hemolíticas**
- **Anemias hipoproliferativas**
- **Hemoglobinopatías**

Esta enfermedad es bastante común y extendida a lo largo de todo el planeta, y es más o menos probable padecerla dependiendo de la edad, el sexo, la altura geográfica, etc. La OMS calcula que la anemia afecta a un 20 % de los niños de 6 a 59 meses de edad, un 37 % de las embarazadas y un 30 % de las mujeres de 15 a 49 años¹. La anemia o los indicios de la misma, son un inconveniente a la hora de donar sangre como se verá más en detalle en el apartado 1.1.4.

1.1.3. La hemodonación

Desde que se tiene conciencia sobre la vitalidad que supone el correcto estado y funcionamiento de la sangre, a lo largo de la historia se han buscado maneras de poder obtener este preciado recurso cuando se carece de él.

Se puede decir que el inicio de la era moderna en la transfusión sanguínea se da en el 1900, año en que fue descubierto por Landsteiner, un médico austriaco, los grupos sanguíneos del sistema ABO² donde se descubrió que las propiedades sanguíneas no eran iguales entre especies animales e incluso también que cada organismo posee proteínas particulares [7]. Esto hacía entender que existía la incompatibilidad entre fluidos y que no cualquiera era válido para realizar las funciones vitales en un organismo concreto. Desde ese instante y gracias a investigaciones posteriores a lo largo del siglo XX, se ha conseguido establecer un sistema de transfusión sanguínea que opera en todo el mundo y ayuda a salvar millones de vidas. Y haciendo hincapié en el panorama nacional, nos encontramos con que España se sitúa dentro del grupo de países que tienen organizado

¹Datos oficiales de la OMS: <https://www.who.int/es/health-topics/anaemia>. Visitado el 6 de junio de 2023

²Sistema ABO: Sistema que se usa para agrupar la sangre humana en diferentes tipos de acuerdo con la presencia o ausencia de ciertos marcadores en la superficie de los glóbulos rojos. Los cuatro tipos principales de sangre son A, B, O y AB.

un sistema público de donación de sangre³.

Como es lógico, el papel principal de esta historia lo tienen los donantes. En España, la donación de sangre es voluntaria, altruista y anónima. Gracias a la solidaridad ciudadana, se cubren las necesidades de derivados sanguíneos de los hospitales. Según datos oficiales del Ministerio de Sanidad⁴, en 2021 de 30 millones de ciudadanos entre 18-65 años, donaron sangre 1.133.131 (4 %), obteniendo un índice medio de donación de 36,48 por mil habitantes. De éstos, fueron donantes por primera vez el 15 % (véase figura 3.2). Estas donaciones han permitido realizar 1.886.500 transfusiones y se ha atendido a más de 493.000 pacientes, lo cual es un dato muy positivo.

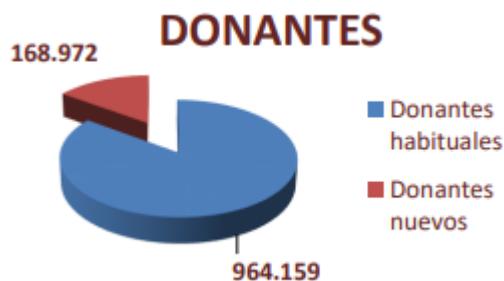


Figura 1.1: Número donantes en España en el año 2021 según el Ministerio de Sanidad

1.1.4. Los inconvenientes del proceso transfusional

La transfusión de sangre o hemoderivados sin la correcta indicación tiene riesgos, desventajas y posibilidad de reacciones adversas. Considerando la autonomía del paciente, deben tomarse en cuenta sus valores, preferencias, y el posible rechazo a la transfusión. Una valoración deficiente y una transfusión innecesaria pueden tener efectos en la salud y seguridad del paciente, lo cual obliga a la reflexión profunda del tema [8].

En ocasiones la voluntad del donante no es suficiente para poder realizar la donación, debido a que existen limitaciones sanitarias por motivos de salud, ya que una mala transfusión puede afectar negativamente tanto al donante como al paciente receptor. Los requisitos más básicos son: tener entre 18 y 65 años, pesar mas de 50 kg y no padecer ninguna enfermedad que pueda transmitirse a través de la sangre⁵. Una de las causas que provocan un rechazo en la donación (y la de mayor interés en este estudio) es la detección de anemia, enfermedad que se ha tratado en el apartado 1.1.2. En las memorias de actividad del CRHM que se encuentran disponibles⁶ y datan del intervalo de años 2005-2012 se registró una media de 1367 donantes rechazados por un nivel bajo de Hb. Los rechazos

³Historia y protocolo de la donación de sangre: https://ejercito.defensa.gob.es/Galerias/Descarga_pdf/Unidades/Almeria/brileg/HISTORIA_Y_PROTOCOLO_DE_LA_DONACION_DE_SANGRE.pdf
Visitado el 6 de junio de 2023

⁴Día mundial del donante 2022: https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/medicinaTransfusional/congresos/docs/DiaMundialDonante2022_DatosEspana.pdf
Visitado el 6 de junio de 2023

⁵Datos del CRHM: <https://www.murciasalud.es/web/centro-regional-de-hemodonacion/quiero-donar>.

Visitado el 6 de junio de 2023

⁶Publicaciones de CRHM: <https://www.murciasalud.es/publicaciones.php?op=mostrar&tipo=editores&id=15&idsec=88>.
Visitado el 17 de junio de 2023

por esta causa suelen aumentar en mujeres jóvenes [9], ya que como se ha visto en el final del apartado 1.1.2 es uno de los grupos más propensos a padecer anemia.

Este rechazo de donantes puede ocasionar inconvenientes por diversos motivos:

- **Degradación del material sanitario:** En el proceso de hemodonación es obligatorio hacer un test previo mediante aparatos especiales, y a mayor cantidad de personas para realizar dicho test mayor será la degradación del dispositivo, lo cual puede tener consecuencias económicas no favorables.
- **Pérdida de una bolsa de sangre:** Para garantizar la seguridad transfusional, se someterá la bolsa de sangre a rigurosos exámenes complementarios para comprobar que está en perfectas condiciones para ser utilizada sin riesgo⁷. Por lo que al tener unos resultados desfavorables, se pierde dicha bolsa con el consecuente perjuicio económico.
- **Realentización del proceso:** Al aumentar el número de personas que acuden al centro de hemodonación el proceso (relleno de informes, test de medidas...) ocupa más minutos, reduciendo así el número de donaciones por unidad de tiempo.
- **Incomodidad del donante:** El hecho de desplazarse hasta el centro de donación y no poder donar puede resultar frustrante para la persona donante.
- **Pérdida de un donante:** La consecuencia más preocupante de todas. Una donación rechazada no se volverá a intentar hasta pasado un tiempo mínimo de 6 meses. Esto puede provocar una pérdida de motivación del donante y ocasionar que no vuelva a donar.
- **Pérdida de un donante primerizo:** En relación con la anterior, un donante que acude por primera vez puede perder el interés al ser excluido [10].

Estos inconvenientes son los que han motivado el inicio proyecto, el cual, busca obtener una solución para los mismos.

1.2. Objetivos

La siguiente sección tratará los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de la aplicación móvil para donantes en este TFG, los cuales se desarrollarán en capítulos posteriores.

1.2.1. Objetivos principales

Los objetivos secundarios son los que se necesitan cumplir para poder alcanzar el propósito de este TFG. Estos son:

- Desarrollo de una aplicación funcional para donantes.
- Desarrollo del *frontend* (parte visible e interactiva) y *backend* (parte lógica, comunicación con el servidor o conexión con la BBDD) de la aplicación.

⁷Guía del donante en Murcia: <https://sms.carm.es/ricsmur/bitstream/handle/123456789/5090/Guia.sobre.donacion.195899.0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
Visitado el 6 de junio de 2023

- Entrenamiento y posterior familiarización del donante con el instrumento de medición del nivel de hemoglobina.
- Permitir al donante conocer su situación saludable de una manera dinámica y visual.
- Automatización para escalado de recogida de datos y seguimiento del donante.

1.2.2. Objetivos secundarios

Los objetivos secundarios que se buscan conseguir están relacionados con los inconvenientes mostrados en el apartado 1.1.4.

- Optimizar el proceso transfusional permitiendo al paciente conocer su disponibilidad para donar sin necesidad de desplazarse al centro de hemodonación.
- Reducir los gastos que derivan del proceso de donación de sangre.
- Mantener la actividad de donantes habituales y despertar el interés de donantes potenciales como lo son las personas jóvenes.
- Perservación en todo momento de la privacidad del usuario, los datos recogidos a través de la aplicación y posteriormente manejados por los profesionales sanitarios serán anónimos. Se identificará a los donantes mediante un código que no revelará ningún dato personal.
- Disponibilidad de la aplicación para poder ser descargada en dispositivos móviles por cualquier usuario con acceso a una tienda digital (PlayStore o AppStore).
- Compatibilidad de la aplicación en diferentes sistemas operativos (Android e iOS) y diferentes dimensiones de pantalla (móviles de distinto tamaño, tablets...).

2. Estado del arte

En este capítulo se pretende conocer el estado de otros proyectos de investigación relacionados con los objetivos a alcanzar en este TFG. Se estudiarán las conclusiones alcanzadas por otros investigadores en estudios similares y se comprobará si en este trabajo se puede dar respuesta a las preguntas formuladas por terceros. Primero se verá el comportamiento actual de las aplicaciones móviles dentro del sector de la salud y el concepto de gamificación, para más adelante centrar el enfoque hacia el terreno que abarca este TFG, como es la medida de hemoglobina.

2.1. Gamificación y aplicaciones móviles en el sector de la salud

Desde la aparición de los dispositivos móviles inteligentes o *smartphones*, muchas de las actividades que antes se realizaban de forma analógica se han digitalizado de tal manera que a día de hoy la mayoría se llevan a cabo a través del móvil. La principal culpa la tienen las aplicaciones que se pueden descargar desde los centros de distribución digitales, ya que éstas se encargan de satisfacer las necesidades del usuario con un simple *click*. Además, el concepto de gamificación ha estado presente en el mundo de las aplicaciones móviles desde el principio y ha evolucionado (y evoluciona) de manera simultánea, haciendo que tareas como buscar trabajo, reservar un restaurante o ponerse en forma sean similares en gran medida a lo que es un juego, provocando que el usuario las realice con más entusiasmo y motivación.

La definición de gamificación más comúnmente aceptada es la propuesta por Sebastian Deterding [11] en la que define que, “La gamificación es el uso de elementos de diseño de juegos en contextos que no están relacionados con el ámbito de los juegos” [12] y también aparece el concepto de “juegos serios” o *serious games*, que se definen como juegos utilizados para fines distintos del mero entretenimiento [13]. La representación de estos conceptos se muestra de manera visual en la figura 2.1 mostrada en la siguiente página.

En las aplicaciones que no tienen que ver con el entretenimiento pero que usan la técnica de gamificación se busca la participación, la interacción, la adicción o la competición para alcanzar los objetivos marcados [14]. Dentro de las aplicaciones gamificadas existen varias tácticas indispensables para cumplir con las pautas definidas previamente. Las que se han considerado más básicas y relevantes para este trabajo son: las **recompensas** (por ejemplo: puntos, logros, insignias y tablas de clasificación) se perciben como una parte clave de la estrategia de gamificación para que los usuarios realicen las tareas solicitadas [15]; **proponer desafíos** y hacer visibles los resultados a otros usuarios

[15] o aprovechar las **redes sociales** para aumentar participación e interacción entre los usuarios [16].

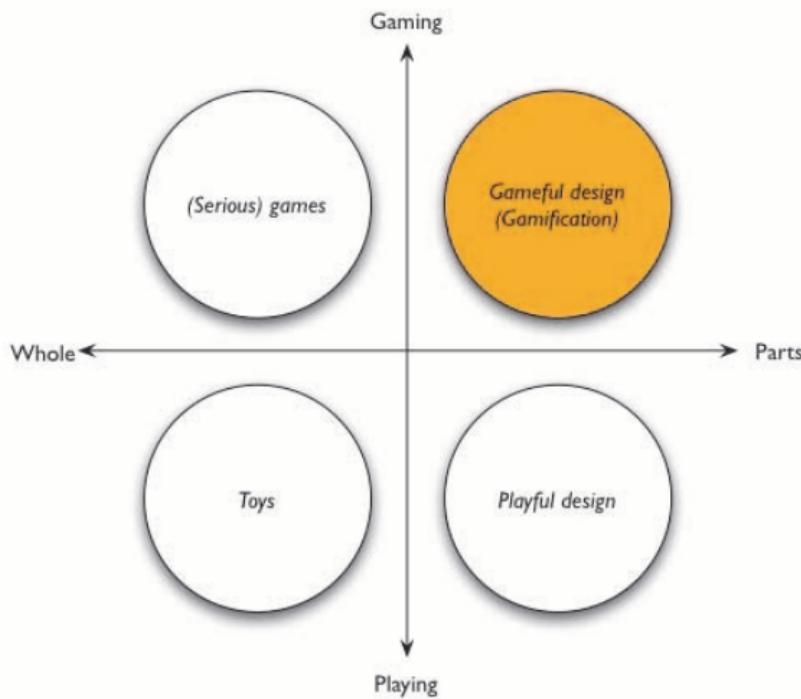


Figura 2.1: Representación de la gamificación frente a otros conceptos similares [12]

La gamificación ha despertado un interés considerable por parte de la comunidad de investigación en salud por su potencial para aumentar el compromiso con las acciones relacionadas con este ámbito [17]. La aplicaciones que utilizan el concepto de gamificación en el sector sanitario, son una estrategia efectiva de promoción de la salud entre la población general sin enfermedades y, especialmente, entre los adolescentes [18], fomentando el aprendizaje y la educación en salud [19]. En el año 2020, se registraron más de 100.000 aplicaciones móviles de salud disponibles en la tienda móvil de Android e iOS [20]. Actualmente, este número ha aumentado y se prevé que siga creciendo exponencialmente a medida que la tecnología y la atención médica continúen desarrollándose mano a mano [21], aunque según un estudio del año 2023 [22] es importante tener en cuenta que el campo de los “juegos serios” y la gamificación para la salud sigue siendo un área de investigación relativamente nueva.

Algunos ejemplos relevantes de aplicaciones dentro de la comunidad sanitaria son:

1. **MangoHealth:** Mango Health es una aplicación de administración de medicamentos que proporciona a los usuarios recordatorios de medicamentos, alertas de recarga, advertencias de interacción con medicamentos y la capacidad de rastrear los efectos secundarios de los medicamentos con un sistema de puntos y recompensas [23]. Sin embargo, la información de salud almacenada en la aplicación no está protegida bajo el mismo estándar que el consultorio de un médico, y puede ser una fuente de preocupación en caso de una violación de datos [24].
2. **MySugr:** MySugr es una aplicación de control de la diabetes que permite a los usuarios ingresar manualmente lecturas de glucosa en sangre, indicar su estado de

ánimo a través de una serie de íconos creativos y descriptivos, registrar sus hábitos alimenticios, proporcionar información nutricional y tomar fotografías de sus alimentos para facilitar el recuerdo. Además de estas y otras características, mySugr presenta un novedoso sistema de puntos, mediante el cual el usuario gana puntos al completar tareas como tomar fotografías de sus alimentos e ingresar su glucosa en sangre y sus estados de ánimo [23].

3. **Registro de presión arterial:** Desarrollada por Health & Fitness AI Lab, esta aplicación con mas de 1 millón de descargas en PlayStore, mide la presión arterial a través de un dispositivo de medición aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de EE.UU. Esta aplicación se asemeja algo más a nuestro trabajo al hacer uso de un dispositivo físico.



Figura 2.2: Ejemplo de pantalla inicial de la aplicación MySugr

Estos son sólo algunos ejemplos que se pueden encontrar fácilmente en las tiendas digitales y con ellos se puede comprobar que el mundo de las aplicaciones sanitarias es extenso y hay una gran variedad de funciones que se pueden realizar mediante el simple hecho de poseer un teléfono móvil.

2.2. Aplicaciones móviles para la medición de hemoglobina

A continuación en esta sección se va a profundizar algo más en el área de interés de este TFG.

La donación de sangre no remunerada es un acto desinteresado de ciudadanía y el uso de elementos de gamificación en las aplicaciones de donación de sangre puede mejorar la experiencia de los donantes, especialmente entre los jóvenes [25]. De hecho, a día de hoy, una de las mayores preocupaciones en la hemodonación es la búsqueda de nuevos donantes en las generaciones más jóvenes ya que se considera que hay un déficit de ellos.

En el año 2017, un estudio [25] evaluó 10 aplicaciones de entre 801 dirigidas a donantes de sangre. Se tuvieron en cuenta siete características que estuviesen integradas en las aplicaciones para su evaluación, que fueron:

- Variedad de idioma.
- Limitación geográfica.
- Conexión con institución médica.
- Integración con redes sociales.
- Geolocalización.
- Notificaciones.
- Recomendaciones a los donantes.

En las 10 aplicaciones que se evaluaron, la gamificación se aplicó de varias maneras, combinando puntos con insignias o insignias con tablas de clasificación, por citar solo algunas. Además, algunas de las aplicaciones seleccionadas optaron por recompensas financieras (por ejemplo, cupones, tarjetas de regalo) para mejorar la tasa de retención de donantes de sangre. La conclusiones del estudio en ese momento fueron que todavía era pronto en el mundo de las aplicaciones móviles dirigidas a los donantes pero que los desarrolladores tendrían que tener en cuenta estas características para continuar con el desarrollo de aplicaciones de este tipo.

Las aplicaciones de medición de hemoglobina no son una novedad, actualmente existen ejemplos de medición del nivel de Hb a través del teléfono móvil. Existe más de una aplicación que realiza esta función, pero no son tantas las que también aplican la gamificación. A continuación vamos a evaluar algunas investigaciones y estudios realizados que comparten características con lo realizado en este TFG.

Primero se verán aplicaciones que utilizan un sistema de medición distinto al que se emplea en el proyecto y las conclusiones a las que han llegado.

En [26] se plantea la posibilidad de estimar el nivel de hemoglobina mediante la luz que produce la cámara del móvil y el color de la sangre del dedo. Simplemente se tiene que situar el dedo sobre la cámara frontal del teléfono y aplicarle luz con una bombilla para conseguir el nivel de hemoglobina del usuario, obteniendo una precisión del 76.5 % y una sensibilidad del 87.5 %. Siendo esta una manera muy cómoda de medición, los investigadores reconocen que este experimento sólo se ha realizado con un modelo de teléfono móvil y un tipo de bombilla por lo que no podría ser una aplicación que pudiera salir al mercado para todo el público. De una manera similar, en [27] se utiliza la cámara para detectar una posible anemia, sin embargo en esta ocasión se toman las manchas blancas en las uñas como referencia para la medida.



Figura 2.3: Prodecimiento de medición del nivel de Hb en [27]

En este caso se presenta un error de precisión de $2,4\text{gdL}^{-1}$ en la medida y una sensibilidad del 97 %. Al igual que en el proyecto anterior, los involucrados en el estudio afirman que solo se ha probado con un tipo de dispositivo móvil. Estas aplicaciones pueden resultar cómodas por el hecho de que no requieren un dispositivo de medida adicional, pero quizás no son lo suficientemente fiables debido a que se depende totalmente de la calidad o del estado de la cámara del dispositivo móvil, y también en el caso de [27] del estado del usuario (por ejemplo, puede no tener manchas en las uñas) por lo que las medidas deberían realizarse en momentos bastante concretos, algo que no se persigue en este trabajo.

Un proyecto con características y propósitos similares a los buscados en este TFG es el que encontramos en [28] realizado en el National Blood Center (NBC) de Malasia. En este trabajo se buscó evaluar la efectividad de una aplicación móvil como herramienta educativa para conseguir que un donante volviese a donar tras haber sido rechazado por un nivel bajo de Hb y poder predecir y mejorar este nivel de Hb durante el período en el que el donante no puede volver. Se evaluaron las actitudes de 382 donantes rechazados, los cuales fueron divididos en dos grupos; uno recibió el tratamiento estándar para el aplazamiento de la donación debido al bajo nivel de hemoglobina, el cual incluye una breve sesión de asesoramiento y un curso de 1 mes de terapia oral con hierro y el otro utilizó una aplicación móvil además del tratamiento estándar. Los resultados fueron favorables en el grupo al que se le ofreció la aplicación móvil, resultando en un retorno del 81.2 % de los donantes al centro de hemodonación frente al 66 % que se obtuvo en el grupo que no dispuso de la aplicación móvil, consiguiendo de esta manera uno de los objetivos que se persiguen vistos en el apartado 1.2.1 que es evitar la pérdida de donantes.

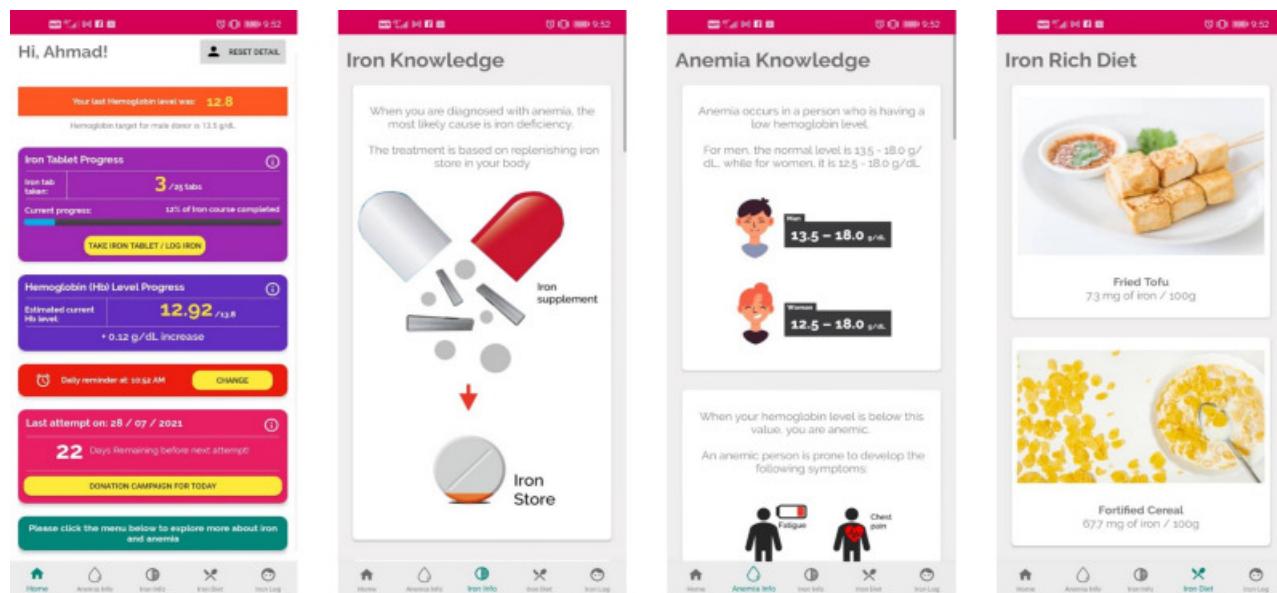


Figura 2.4: Ejemplos de pantallas de la aplicación móvil utilizada en el estudio realizado en el NBC y que fue recibida por uno de los dos grupos de donantes [28]

Las medidas de Hb se tomaron previamente a la donación utilizando un analizador de hemoglobina a partir de una muestra de pinchazo en el dedo. Los desarrolladores de este estudio afirman que en un futuro buscan: (i) cambiar la manera de tomar la muestra de Hb, al realizarse ésta únicamente antes de la donación; (ii) expandir la aplicación a otros SO, ya que la aplicación está desarrollada únicamente para dispositivos Android;

(iii) analizar cómo los usuarios pueden registrar la toma de hierro (es una de las funciones que ayuda a predecir el nivel de Hb) o cuántas horas de uso puede dar la aplicación sin hacerla monótona. Sin embargo, de esta investigación se toman como referencia para este TFG características como los menús visuales, la educación en materia de salud mediante curiosidades o permitir ver al usuario cuándo debe realizarse la siguiente medición (aunque en este caso solo se tiene en cuenta la medida realizada en el centro de hemodonación), y sobretodo se tienen en cuenta los positivos resultados que se han obtenido respecto al retorno de un donante rechazado gracias al uso de una aplicación móvil.

También es interesante mencionar la aplicación desarrollada en [29] en la que de manera similar a la aplicación que se desarrollará en este trabajo, se utiliza un dispositivo de medición físico y de bajo coste (MAX30100) de la misma familia que el utilizado en este proyecto que se conecta mediante Wi-Fi para la medición del nivel de Hb y de SpO₂ en sangre para detectar una posible anemia, dando la posibilidad de visualizar los resultados de las mediciones de manera gráfica (véase figura 2.5).

NIVELES DE HEMOGLOBINA (g/dl)

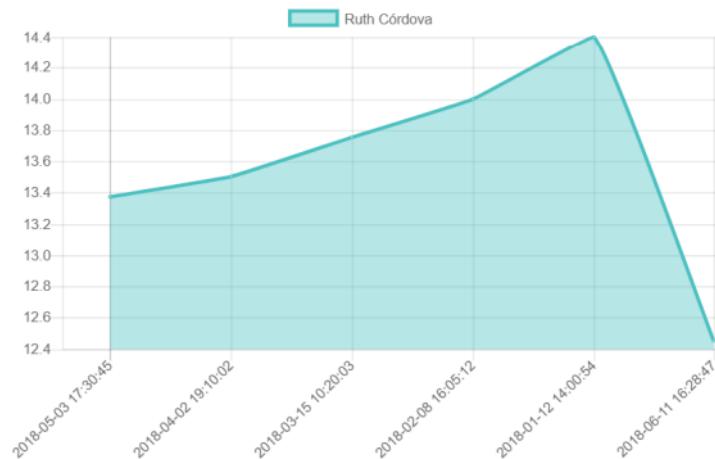


Figura 2.5: Gráfica que recoge los resultados obtenidos por un usuario en la aplicación desarrollada en [29]

Los datos de las mediciones se recogen en una BBDD para su observación y posible análisis, aunque no se asegura mantener la privacidad del usuario, ya que parece ser que no se sigue ningún tipo de criterio de preservación del anonimato del usuario. También se comenta que la aplicación se ha desarrollado para que ésta tenga la mínima interacción posible con el usuario porque quizás hay personas que no se manejan del todo bien con los *smartphones*, sin embargo, esto no encaja del todo con el concepto de gamificación que se busca en este estudio. Más adelante, en la figura 2.6 se muestran algunas de los menús y pantallas de esta aplicación.

Por último, es necesario hacer mención a la aplicación que se encuentra actualmente disponible en el proyecto y que es utilizada por los profesionales sanitarios del CRHM, la cual fue desarrollada por un estudiante de la UPM [30] y se utiliza para crear modelos de Hb con valores reales. Esta aplicación ha servido de base para el desarrollo de la aplicación para donantes que se ha trabajado en este TFG, pero como se ha mencionado, únicamente está disponible para los médicos y tiene un propósito distinto (en la aplicación para donantes se usan estimaciones, no valores reales) por lo que no sigue el concepto de

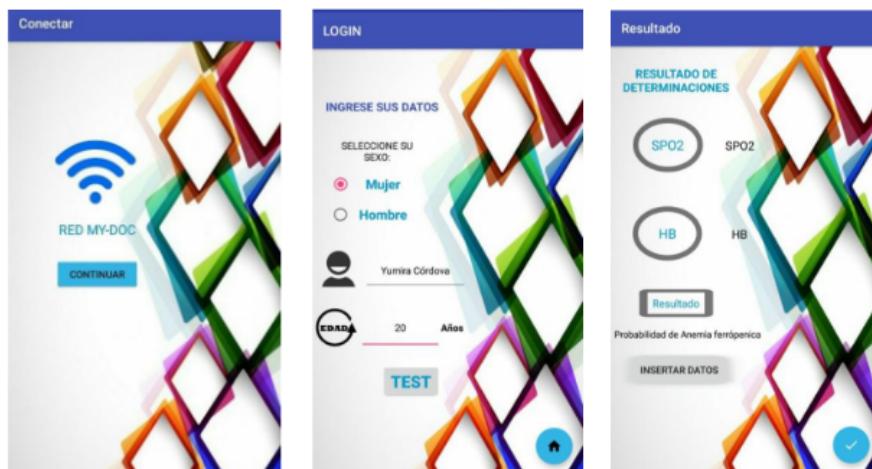


Figura 2.6: Pantallas de la aplicación desarrollada en [29]

gamificación buscado en la aplicación móvil que se va a desarrollar. De cualquier manera, el dispositivo físico con el que se realizará la medición en el estudio será el mismo, el pulsímetro MAX30102 que se conectará mediante *Bluetooth*.

Hemos visto varios ejemplos de aplicaciones que existen actualmente para la medida del nivel de hemoglobina, algunas enfocadas simplemente en la detección de anemia [26, 27, 29] y otras en cambio más enfocadas en lo que es gamificar el proceso de donación [28]. Con todo esto, lo que se busca con el desarrollo de la aplicación en este trabajo es unir ambos propósitos, pero sobretodo enfocándose en ser atractiva para el donante para lograr los objetivos presentados en la sección 1.2 del Capítulo 1. Esto se conseguirá realizando las mediciones de Hb (g/dL), SpO₂ (%) y HR (lpm) mediante el previamente mencionado dispositivo MAX30102, permitiendo además que se realicen medidas continuamente para de esta manera fomentar el entrenamiento y la familiarización del usuario con el aparato de medida (estas medidas de entrenamiento no se registrarán). Los datos obtenidos se almacenarán en una BBDD para su observación por parte de los profesionales del CHRM manteniendo en todo momento la privacidad y el anonimato de los usuarios. También se implantará el buscado concepto de gamificación, añadiendo funciones como cuestionarios a realizar, un sistema de puntuación y un sistema de compensación material según los puntos obtenidos. Además también se mantendrá al usuario al tanto de su estado saludable dándole consejos para poder mejorarlo en caso de que no sea óptimo y se añadirá un apartado de curiosidades que fomentará la educación y el aprendizaje en el ámbito de la hemodonación. Todo ello estará representado mediante pantallas visuales y de fácil manejo.

3. Metodología

En este capítulo se van a ver los procedimientos que se han seguido para el desarrollo de la aplicación que cumplirá con los objetivos propuestos en el Capítulo 1.2.

3.1. Contexto

La necesidad de ‘enganchar’ a los donantes una vez han sido excluidos del proceso de donación, poder optimizar el proceso y atraer a nuevos donantes (en especial a los más jóvenes) es algo que se ha podido discutir en los capítulos previos. A su vez, también se ha mostrado y comentado la creciente aceptación que está obteniendo la gamificación dentro de procesos que históricamente han sido más complejos, por lo que traer este tipo de idea al campo de la hemodonación es una buena intentiva para lograr los objetivos marcados. Además, contamos con referencias positivas como el proyecto mencionado [28] en el apartado 2.2 del Capítulo 2 realizado en Malasia en el que se obtenía una gran aceptación de la aplicación móvil por parte de uno de los grupos de donantes excluidos.

El ofrecimiento de un donante al centro de hemodonación puede verse afectada si éste encuentra dificultades para donar sangre, puede provocar la posibilidad de que no regrese a donar, lo cual sería una seria pérdida (véase figura 3.1).

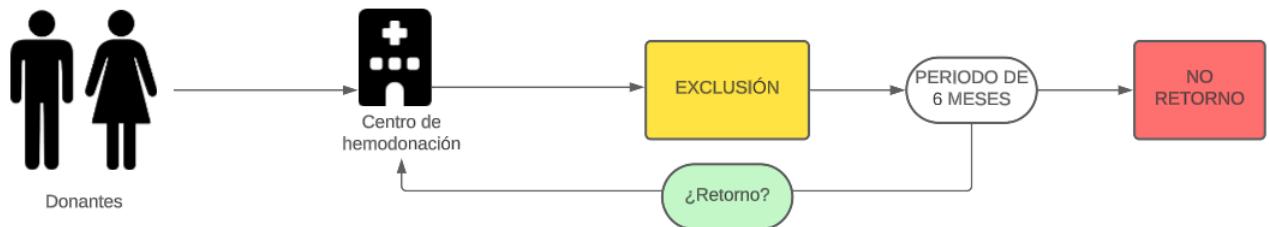


Figura 3.1: Proceso de exclusión de un donante y su posible no retorno

Con el desarrollo de la aplicación se busca mantener enganchado al donante, ya que en escasos escenarios el donante ha tenido una plataforma que centre toda su atención en él. En esta *app* será el propio donante el que pueda consultar su estado de salud, podrá conocer una estimación sobre su disponibilidad para donar y también será recompensado por sus acciones altruistas, entre otras funciones. De esta manera se busca crear un vínculo entre la persona y el centro de hemodonación, en este caso, el CRHM.

Las funciones que integrará la aplicación y que se verán en detalle más adelante son:

- Creación de un perfil personal
- Consulta de las últimas mediciones con la información de los parámetros medidos.

- Consulta del llamado “Perfil Saludable” el cual muestra la situación saludable actual del usuario y consejos médicos sobre la misma.
- Entrenamiento con el instrumento de medida.
- Realización de cuestionarios o *quizzes* relacionados con el ámbito de la hemodonación.
- Aprendizaje mediante curiosidades relacionadas con la hemodonación.
- Sistema de puntuación y recompensas.
- Interfaz visual e intuitiva.



Figura 3.2: Esquema de las funciones disponibles en la aplicación

3.2. Arquitectura

En este apartado se verá la arquitectura que presenta la aplicación para que el lector pueda entender mejor los bloques y etapas que presenta el trabajo.

En la figura 3.3 se muestra de manera esquemática lo mencionado. En ella se puede observar de manera visual el recorrido que hacen los datos desde su generación por la medida del dispositivo físico hasta su almacenamiento en la BBDD, en lo que se puede encasillar en la conocida conexión cliente-servidor. En esta arquitectura se pueden diferenciar claramente dos bloques: el *frontend* y el *backend* que son los pilares de cualquier aplicación móvil; se mencionaron en los objetivos del trabajo (1.2.1) y se desarrollarán en los apartados siguientes. Una de las ventajas de este tipo de arquitectura es que el desarrollo se realiza en varios niveles y en caso de cambio, solo habrá que revisar el nivel requerido, sin tener que adentrarse en el código fuente de los otros módulos, ya que son independientes.

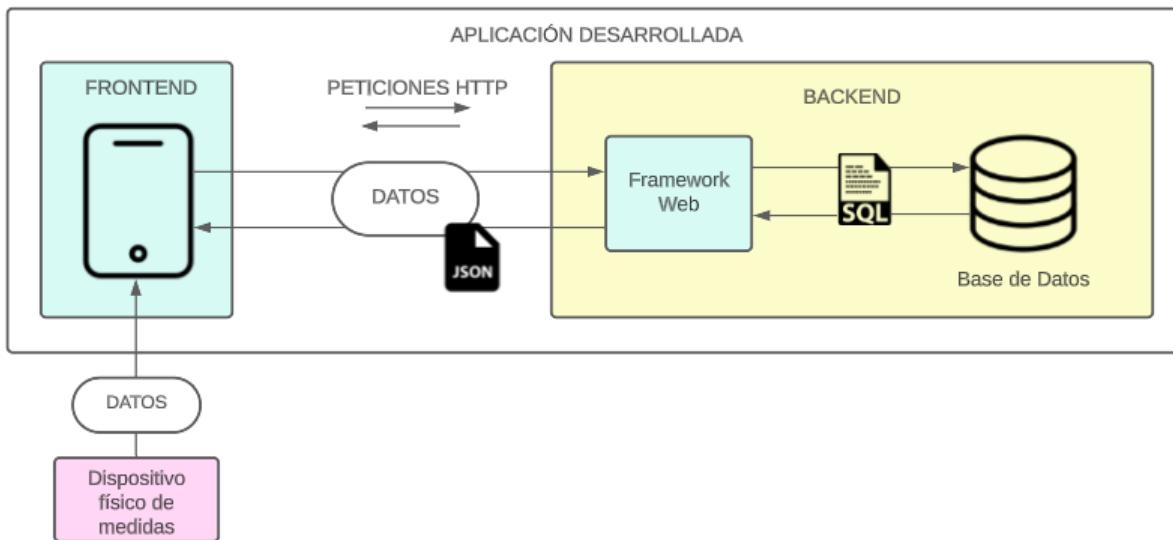


Figura 3.3: Esquema de la arquitectura de la aplicación

Antes de explicar en detalle las funciones que integra la aplicación móvil listadas en el apartado 3.1, se va a entrar algo más en detalle en los principales componentes de la aplicación que son los ya conocidos *frontend* y *backend*.

3.2.1. Frontend

El *frontend* a grandes rasgos, es la parte visual de la aplicación; la parte que interactúa de manera directa con el usuario. En ella, se muestra de manera visual las funciones de la *app*, los menús, pantallas y componentes que hacen que el usuario se sienta cómodo mientras utiliza la aplicación. Es decir, se podría resumir en que el *frontend* es lo que se ve en la pantalla del dispositivo móvil.

En este caso, el *frontend* se puede entender como el catálogo de pantallas que contiene la aplicación, cada una presentando una función distinta y también como el módulo que recoge los primeros datos que más tarde serán procesados por el resto de componentes de la arquitectura, es decir la conexión directa con el cliente (que en este estudio sería el donante).

Con la implementación del *frontend* se le hace al usuario más sencillo utilizar la aplicación y se consigue que tenga una mejor experiencia. Además en el caso de este TFG, ayuda en gran medida a la integración de la gamificación dentro de la aplicación, concepto que se verá cómo se ha implementado en secciones posteriores. La conexión con el *backend* para el envío de datos al servidor, se realiza mediante peticiones HTTP. Para obtener datos de la BBDD se utilizan peticiones GET y para insertar nuevos datos se utilizan peticiones POST.

3.2.2. Backend

En este apartado se va a profundizar en el segundo bloque que forma la aplicación, en lo que se podría denominar como la “parte trasera”. El *backend* de una aplicación es la parte que el usuario no ve de manera directa en la pantalla, sin embargo, es la parte que se encarga del correcto funcionamiento de la misma. Este bloque se encarga de las

operaciones lógicas y comunicación con la BBDD, además de optimizar recursos como la seguridad y privacidad en la aplicación. Podemos dividir el *backend* en dos partes, (i) el *framework web*, (ii) la base de datos.

- I. El *framework web* es el motor de la aplicación y es el encargado de gestionar las peticiones que llegan al servidor, enrutándolas y gestionando las interacciones entre la parte de visualización y la parte persistente del sistema. Es el encargado de gestionar funciones como el inicio de sesión, relleno de formularios u obtención de datos de la BBDD por poner algunos ejemplos. Por decirlo de alguna manera, el *framework web* en este estudio es el paso intermedio por el que fluyen los datos entre la parte visual del *frontend* y el almacén de datos alojado en la BBDD.
- II. La base de datos se encuentra alojada en un servidor privado y es en ella donde se almacenan todos los datos de cada usuario obtenidos por la aplicación móvil y procesados por el *framework web*. También de ella se obtienen datos esenciales para el funcionamiento de la aplicación y para las funciones contenidas , como pueden ser (entre las vistas en 3.1) las preguntas de los cuestionarios, el repertorio de curiosidades o los criterios y recomendaciones del Perfil Saludable.

Una vez habiendo puesto al lector en el contexto esencial para poder seguir avanzando en la lectura de este TFG, a continuación se mostrarán las funciones desarrolladas en la aplicación y cómo funcionan. Más adelante en el Capítulo 4 se volverán a presentar los conceptos vistos en los dos últimos apartados y se mostrarán las herramientas utilizadas para su desarrollo.

3.3. Aplicación Móvil

Después de lo visto en capítulos y apartados previos en esta sección se van a presentar las funciones que integra la aplicación móvil las cuales se vieron a modo de resumen en el apartado 3.1 y se dará cuerpo a todos los conceptos vistos hasta el momento. La aplicación desarrollada en este TFG y de manera análoga a la desarrollada para los profesionales sanitarios [30] llevará como nombre *Hemoglobulab*.

A continuación se va a mostrar en las figuras siguientes el diagrama de flujo de la estructura de la aplicación, en el que se verán de manera esquemática las diferentes pantallas y navegaciones posibles entre las mismas que podrá realizar el usuario. Al encontrarnos con un elevado número de pantallas y condiciones, vamos a dividir el flujo de navegación de la aplicación en dos partes. La primera representará las pantallas “exteriores” de la aplicación, es decir, las pantallas de registro e inicio de sesión en las que todavía no se realiza ninguna función de las esperadas (véase figura 3.4), en este flujo se sigue el estilo de un modelo *login/registro*, utilizado en un gran número de aplicaciones (véase figura 3.5).

Una vez se han validado las credenciales del usuario, se pasa a la segunda parte del flujo de navegación en el que se parte desde el menú inicial a partir del cual se puede navegar de manera sencilla al resto de pantallas, esto se ve representado en la figura 3.6.

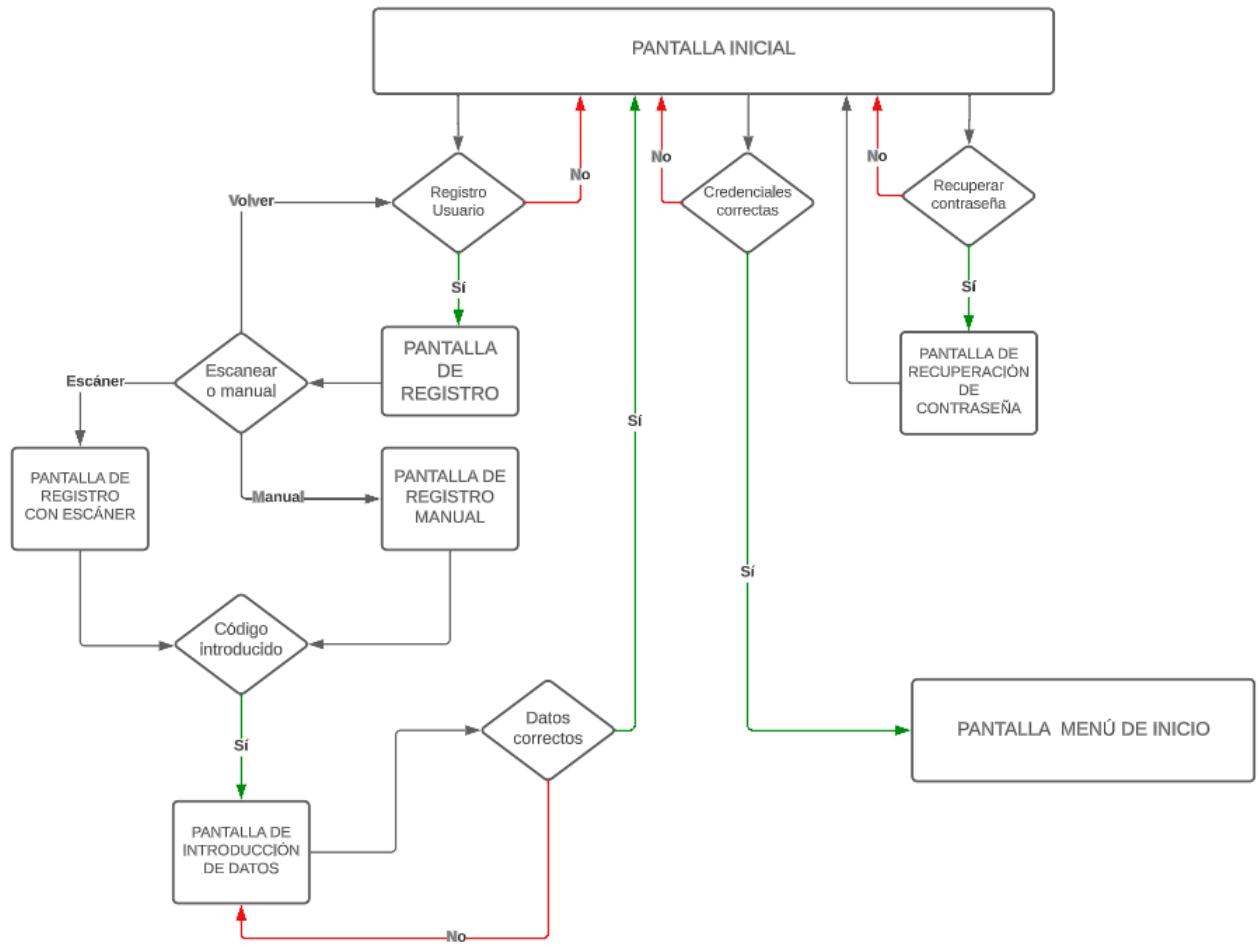


Figura 3.4: Primer diagrama de flujo en el que se representan las pantallas de registro e inicio de sesión



Figura 3.5: Primer diagrama de flujo simplificado. Modelo *login/registro*

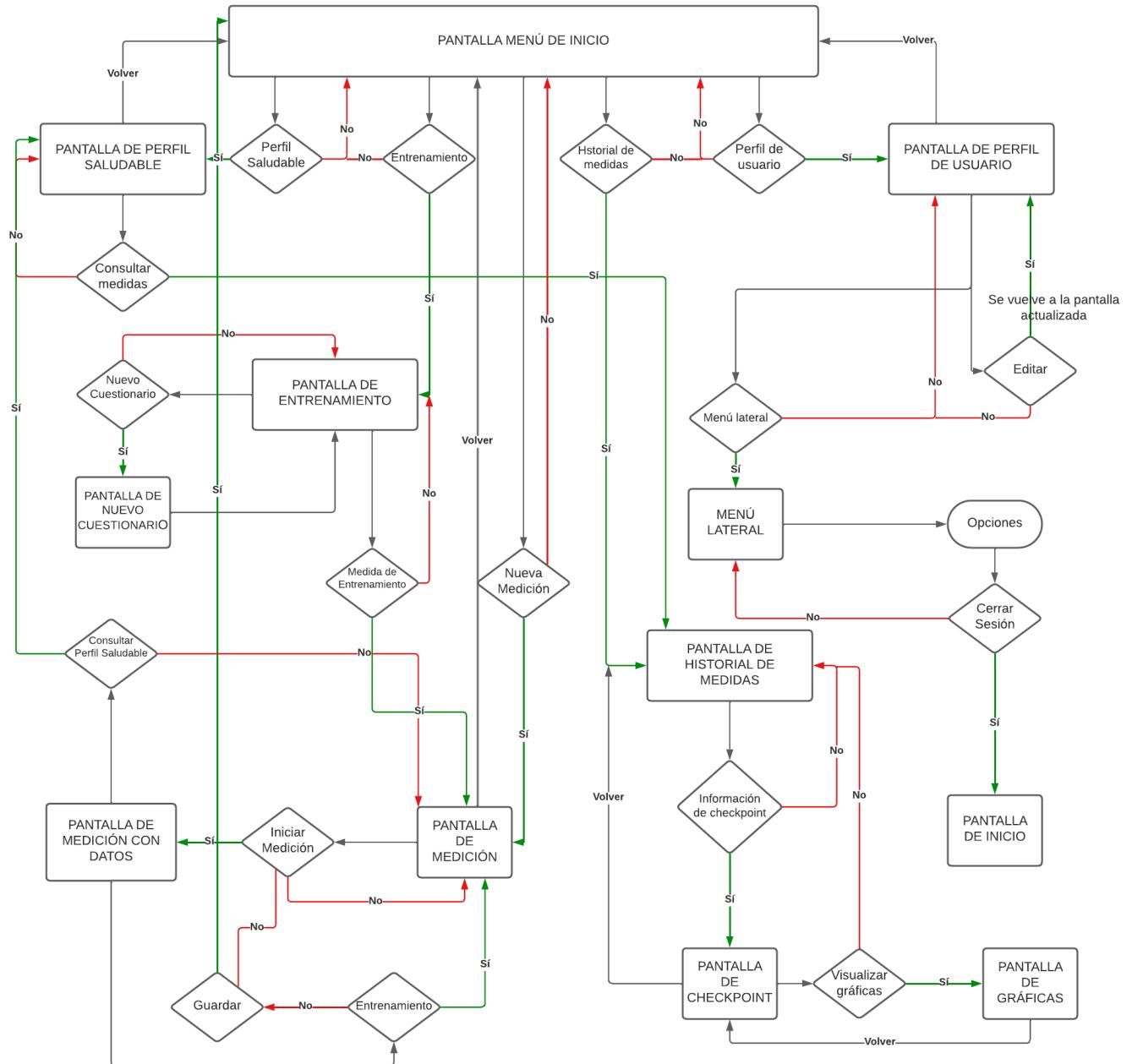


Figura 3.6: Segundo diagrama de flujo en el que se representan las pantallas disponibles en la aplicación

3.3.1. Pantalla de Inicio de Sesión

La primera pantalla que se observa al iniciar la aplicación es la de inicio de sesión. En ella, el usuario puede iniciar sesión ingresando sus credenciales que en este caso son el correo electrónico y la contraseña. El formulario en el que se rellena el campo del correo electrónico es sensible a la correcta escritura y formato de éste, no pudiendo ingresar cualquier palabra o cualquier cadena de caracteres.

Los botones presentes en esta pantalla son:

Botón	Acción
Iniciar sesión	Si las credenciales son correctas se inicia la sesión.
He olvidado mi contraseña	Si el usuario no recuerda la contraseña se navega a una pantalla nueva.
Registrar nuevo usuario	Si el usuario no dispone de una cuenta se navega a la pantalla de registro.

Tabla 3.1: Botones de la pantalla principal

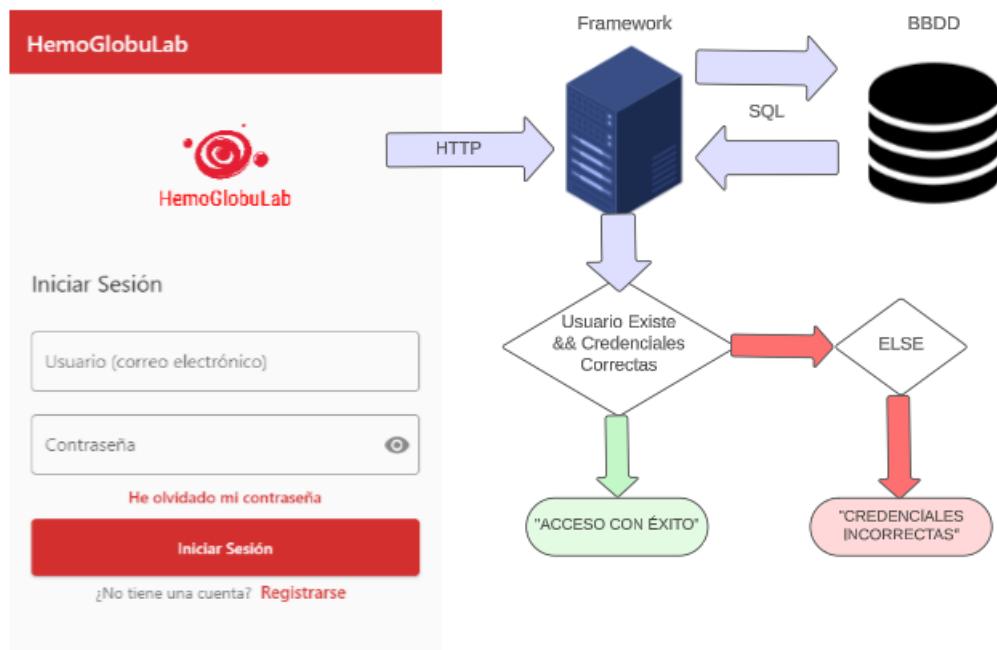


Figura 3.7: Pantalla de inicio y ejemplo de conexión con el *backend*

La comprobación de las credenciales se realiza mediante una petición GET HTTP al *framework web*, el cual a su vez realiza una consulta a la base de datos para verificar si estas credenciales son correctas o si el usuario existe. En la figura 3.7 se representa además un ejemplo a grosso modo de lo que sería la comunicación con el *backend* para el procesado de datos, en este caso para la comprobación de las credenciales. Este ejemplo se muestra en esta pantalla por ser la primera, en el resto no se verá representado ya que sigue siempre el mismo procedimiento.

Los datos se envían en formato JSON al servidor, el cual se encarga de evaluarlos y dar una respuesta con el mismo formato que será decodificada en el *frontend*. Se verán ejemplos de los formatos JSON enviados en el Capítulo 4.

3.3.2. Pantallas de registro

A continuación se va a presentar el procedimiento que se sigue para registrar un nuevo usuario en el sistema. Esta etapa se corresponde con varias pantallas. En la primera se le informa al usuario que el registro se realizará con el código (**ISBT¹**) de la tarjeta de donante de la que debe disponer. Además, se le dan dos opciones de registro con la tarjeta: registro manual o registro mediante escáner. Se brindan estas dos opciones por si el usuario tiene la cámara averiada o para poder dar una solución alternativa por si el escáner falla.

Botón	Acción
Escanear código ISBT	Si se selecciona esta opción se pasará a la pantalla de registro con escaneo de la tarjeta de donante.
Botón de ayuda	Situado en la parte superior de la pantalla este botón sirve de ayuda para el usuario por si desconoce qué es el código ISBT o cómo obtener la tarjeta.
Introducir código manualmente	Si se selecciona esta opción se navegará a la pantalla de registro manual.

Tabla 3.2: Botones de la primera pantalla de registro.

Una vez el usuario ha seleccionado una opción, se navega a la pantalla correspondiente.

Botón	Acción
Escanear tarjeta ISBT	Se inicia el escáner del código.
Borrar	Si el escaneo ha sido fallido, se permite al usuario comprobarlo y borrar el código obtenido en caso de ser erróneo.
Botón de ayuda	Situado en la parte superior de la pantalla este botón sirve de ayuda para el usuario por si desconoce qué es el código ISBT o cómo escanear la tarjeta.
Continuar	Navega a la siguiente pantalla en caso de no haber fallos.

Tabla 3.3: Botones de la pantalla de registro con escáner

¹Código ISBT: código de identificación internacional único por donante emitido por la International Society of Blood Transfusion (Sociedad Internacional de Transfusión Sanguínea)

Botón	Acción
Botón de ayuda	Situado en la parte superior de la pantalla este botón sirve de ayuda para el usuario por si desconoce qué es el código ISBT.
Continuar	Navega a la siguiente pantalla una vez el usuario ingresa el código ISBT de manera correcta. No se navega en caso de que el formulario donde se ingresa el código esté vacío, es decir, que el usuario no hay escrito ningún código.

Tabla 3.4: Botones de la pantalla de registro manual

Una vez se ha introducido el código ISBT, este mismo pasa a ser la identificación del donante. Como se verá más adelante, las peticiones HTTP se realizan con el código ISBT del donante como identificador para cada una de ellas. De esta manera, se busca preservar la privacidad y el anonimato del donante para navegar por la red, haciendo la aplicación más segura.

Una vez realizado este paso se navega a la pantalla final del registro, donde el usuario ingresa el correo electrónico con el que desea registrarse, una contraseña y sus datos personales. Estos datos son importantes para el estudio y la evaluación posterior del perfil saludable del donante, los valores requeridos son: la edad, el sexo, el peso y la altura. Es importante mencionar que no todos los valores son válidos ya que existen unas restricciones tanto en la edad, en el peso y en la altura. No se podrán registrar usuarios menores de edad, con pesos fuera del rango 50-250 kg y con alturas fuera del rango 100-250 cm.

Botón	Acción
Registrar nuevo usuario	Si los datos introducidos son válidos se navega de nuevo a la pantalla de inicio de sesión.

Tabla 3.5: Botones de la pantalla final de registro

Una vez se pulsa el botón de “Registrar nuevo usuario” todos los datos introducidos son enviados al servidor mediante una petición POST HTTP que se encarga de almacenarlos en la BBDD, concretamente en la tabla `users`, que será la tabla principal de la BBDD y a partir de la cual se crean el resto. Para identificar a cada usuario dentro de la BBDD de forma anónima, una vez se registra un nuevo usuario se genera un código de identificación único para cada donante, gracias al cual, los profesionales sanitarios serán capaces de evaluar la evolución saludable de cada persona sin violar su privacidad.

Figura 3.8: Ejemplo de código de identificación del donante en la BBDD, registrado en el campo `register_id`

Se pueden ver ejemplos de las validaciones y menús de ayuda en estas pantallas en la figura 3.9. Con el registro completo, se vuelve a la página de inicio (3.3.1) donde el

The figure consists of three side-by-side screenshots of the Hemoglobulab app's "Nuevo Usuario" (New User) registration screen.

- (a) Menú de ayuda:** Shows a help menu with two options: "Opción ¿Qué es el código ISBT?" (Option What is the ISBT code?) and "¿Cómo consigo el código ISBT?" (How do I get the ISBT code?). Below these are two buttons: "ESCANEAR CÓDIGO ISBT" (Scan ISBT code) and "INTRODUCIR CÓDIGO ISBT MANUALMENTE" (Enter ISBT code manually).
- (b) Validación de código ISBT:** Shows a validation step where the user is prompted to "Introducir código ISBT" (Enter ISBT code) and "Introduzca un código válido" (Enter a valid code). A red "Continuar" (Continue) button is at the bottom.
- (c) Validación de edad:** Shows an age validation step. It asks for "información requerida:" (Required information), "Selección su sexo:" (Select your sex), and "Másculino" (Male). It also asks for "Selección su fecha de nacimiento:" (Select your date of birth) with "22/6/2023" selected. A red "X" icon indicates an error: "Se necesita ser mayor de edad para completar el registro." (You must be of legal age to complete the registration). It also asks for "Introduzca su altura:" (Enter your height) with "122" and "cm" entered. A red "Registrar nuevo usuario" (Register new user) button is at the bottom.

Figura 3.9: Ejemplos de las funciones de ayuda al usuario y validación mencionadas en la estructura de las pantallas

usuario ya puede introducir sus nuevas credenciales y empezar a utilizar la aplicación. Se pasa entonces al segundo flujo de navegación de la *app* (3.6).

3.3.3. Funciones de la aplicación

Una vez dentro de la aplicación, el usuario puede disfrutar de la experiencia de *Hemoglobulab*, con una variedad de funciones y características. Es aquí donde se van a mostrar las características de gamificación buscadas y mencionadas en el Estado del Arte del Capítulo 2 y es aquí donde se busca lograr los objetivos propuestos en el Capítulo 1 (1.2), en especial el visto al principio de este capítulo (3.1) como lo es el enganche de donantes habituales y la atracción a nuevos donantes.

Como se puede apreciar en la figura 3.10, la primera pantalla no cuenta con información sobre el usuario, ya que los únicos datos que se tienen sobre el mismo son los introducidos en la última pantalla de registro en el apartado 3.3.2. Una vez el donante vaya interactuando con la aplicación se irán generando datos y se irán desbloqueando las funciones realizables. En este primer menú se pueden observar algunas de las funciones que están disponibles a pesar de no tener datos, como pueden ser la fecha de la última medición, el estado del Perfil Saludable y el sistema de puntuación que se encuentra a 0. En las siguientes secciones se profundizará en esto.

A continuación se irán presentando una a una las funciones y se irá explicando cómo se han diseñado para su funcionamiento y dejando los resultados finales para el Capítulo 5 correspondiente a los Resultados. Algunos ejemplos de pantallas sí que se mostrarán para hacer más cómodo al lector el seguimiento de la presentación.



Figura 3.10: Primer menú visible por un nuevo usuario, correspondiente con el menú de inicio de la aplicación, en este caso del usuario de prueba adios@email.com

Creación del perfil personal

La primera función de la aplicación que se tratará será la del perfil personal del usuario. Ligada con la última pantalla de registro (3.3.2), es la primera información que tenemos disponible en la aplicación cuando ingresamos por primera vez. Los datos que aparecen son los que se ingresaron en la última pantalla de registro para completar la información de usuario.

Los datos del perfil personal se mostrarán en la Pantalla de Perfil de Usuario. Los datos que se obtienen de la tabla `users` de la BBDD se dividirán en dos partes:

- **Datos de autenticación:** Correo electrónico y código ISBT.
- **Datos personales:** Fecha de nacimiento, sexo, peso (kg) y altura (cm).

Es de gran interés clínico la evolución de parámetros como el IMC², es por eso que se habilita al usuario la opción de editar los parámetros del peso y de la altura. En un primer momento, se implementó la función de editar de tal manera que los datos en la BBDD se actualizaban, esto se conseguía enviando la petición HTTP al servidor y este a su vez la consulta SQL a la BBDD para actualizar los datos mediante el comando UPDATE. Sin embargo, esta opción se descartó al ser más beneficioso para los médicos ver la evolución del valor, por lo que se reemplazó el comando UPDATE por el comando INSERT INTO en la consulta SQL de la BBDD, pudiendo observar las distintas actualizaciones de peso del usuario sin perder datos anteriores. Al igual que en el registro, se mantienen las mismas condiciones y rangos de peso y altura, no pudiendo ingresar un valor cualquiera.

²IMC: Índice de Masa Corporal

En esta pantalla además, se añadió un botón en la esquina superior izquierda el cual, al pulsarlo, desplegaba un menú lateral con diferentes opciones:

- Preguntas frecuentes.
- Premios.
- Términos y condiciones.
- Cerrar sesión.
- Eliminar usuario.

En el momento de escritura de este TFG, sólo se encuentra implementada la opción de cerrar sesión y se han testeado la de preguntas frecuentes y eliminación de un usuario (ver Capítulo 5).

Botón	Acción
Editar (I)	Edita el peso.
Editar (II)	Edita la altura.
Botón de la esquina superior izquierda	Despliega el menú lateral.

Tabla 3.6: Botones de la pantalla de perfil de usuario

Con esta pantalla se mantiene al usuario consciente de los datos con los que se ha registrado pudiendo comprobar en todo momento si son correctos. No se permiten las ediciones de otros parámetros porque no es posible modificar el código ISBT o el correo electrónico de registro, son datos de los que el usuario debe cerciorarse en el registro.

Obtención de medidas

Esta parte explica la conexión BLE del dispositivo móvil con el aparato de medida. La conexión BLE se realiza vía *Bluetooth*, dicha conexión se activa cuando se pulsa el botón “Realizar medida”. En esta pantalla se ha implementado la lógica del semáforo (utilizada como se verá más adelante en el Perfil Saludable) para la validez de las medidas. Para ver de manera más clara el funcionamiento del semáforo de medidas se puede consultar el apartado 5.2.5 del Capítulo 5. Una vez se ha realizado la medida, y ésta es correcta, el usuario la puede guardar y de esta manera se envían los parámetros obtenidos a la BBDD mediante un fichero JSON.

Botón	Acción
Realizar medida	Inicia la conexión <i>Bluetooth</i> con el dispositivo y la medición.
Guardar	Registra la nueva medida en la BBDD.

Tabla 3.7: Botones de la pantalla de historial de medidas

Es necesario mencionar que el *hardware* utilizado para las mediciones es el sensor de pulsioximetría MAX30102 y el microcontrolador nRF52840 de Nordic.

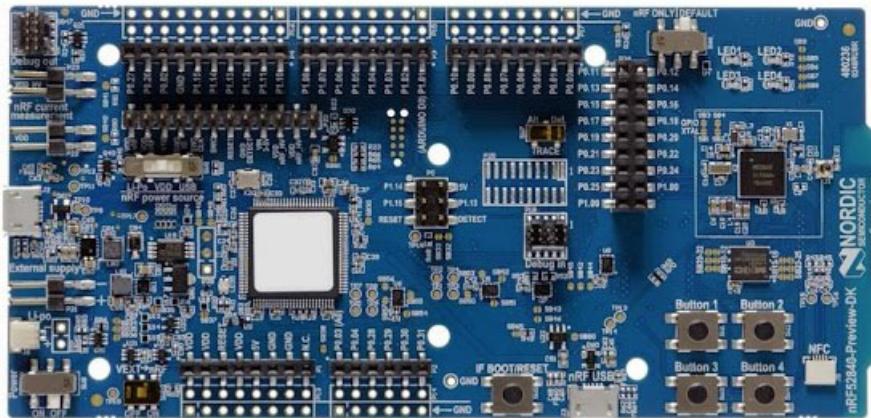


Figura 3.11: Placa nRF52840 de Nordic

Historial de medidas

Una vez se han registrado las medidas reales del donante en la BBDD (no se tienen en cuenta las medidas de entrenamiento), se habilita la opción de poder consultar las mismas en uno de los menús disponibles, el cual lleva por nombre “Histórico”.

Es importante recalcar que dentro de la aplicación se van a diferenciar dos tipos de medidas (i) de control, (ii) ambulatorias, ambas serán periódicas. Las medidas de control se refieren a las que realiza el usuario en su propio domicilio, con ellas se procede a la estimación de datos y se mantiene al donante informado sobre su estado saludable gracias a la creación del Perfil Saludable que se verá más adelante. Las medidas ambulatorias son las realizadas en el centro sanitario correspondiente, en este caso, el CRHM. En las medidas ambulatorias se trabaja con valores reales con la obtención unos resultados más precisos, y son realizadas en períodos de tiempo más espaciados que los de las medidas de control.

El camino seguido para realizar esta función es sencillo, se piden al servidor los datos de la última medida del usuario tanto de control, como ambulatoria. En la BBDD los dos tipos de medida están diferenciados gracias a una de las tablas creadas denominada `description_measurements`. En ella, se diferencia cada tipo a través de un identificador numérico y una descripción asociada (0 = control, 1 = ambulatoria), además se añade una columna de idioma que permite definir la descripción tanto en español (es) como en inglés (en), esto se ha implementado así para futuros usos de la aplicación en otros idiomas a parte del español.

Una vez obtenidos los datos del servidor, se muestran por pantalla los datos de cada una de las últimas medidas, diferenciándolas por su tipo (control o ambulatoria) en tarjetas de distintos colores. Los parámetros que se muestran en cada una de las tarjetas son:

- **Medidas de control**

1. Frecuencia cardíaca (HR) [lpm]
2. Saturación de Oxígeno en sangre (SpO_2) [%]
3. Nivel de Hemoglobina (Hb) [g/dL]

meas_id	language	description
0	en	Control
0	es	Control
1	en	Ambulatory
1	es	Ambulatoria

Figura 3.12: Captura de la tabla `description_meas` alojada en la BBDD donde se diferencian los tipos de medida a través de un indentificador `meas_id` y una descripción `description`, además de la columna diferenciadora de idioma `language`

■ Medidas ambulatorias

1. Frecuencia cardíaca (HR) [lpm]
2. Saturación de Oxígeno en sangre (SpO_2) [%]
3. Nivel de Hemoglobina (Hb) [g/dL]
4. Presión Arterial [mm Hg]
5. Peso (si procede) [kg]
6. Fecha de la última donación

En esta pantalla se permite al usuario hacer *click* en un botón con forma de ojo que estará disponible en la tarjeta de medida ambulatoria. Este botón al ser pulsado permitirá navegar a una nueva pantalla que presentará más en detalle los parámetros medidos cuando el donante acude de manera presencial a hacer la medición, es decir, los parámetros totales obtenidos en la medida ambulatoria. Éstos son los mencionados en la lista anterior y además otros parámetros adicionales también medidos en el CRHM. Esta nueva pantalla se llama “Información de Checkpoint”.

■ Parámetros totales obtenidos en una medida ambulatoria y presentados en la pantalla Información de Checkpoint

1. Frecuencia cardíaca (HR) [lpm]
2. Saturación de Oxígeno en sangre (SpO_2) [%]
3. Nivel de Hemoglobina (Hb) [g/dL]
4. Presión Arterial [mm Hg]
5. Peso (si procede) [kg]
6. Fecha de la última donación

Sin embargo, esta no es la única función de consulta de medidas que ofrece la aplicación. Dentro de la pantalla de información de *checkpoint* se permitirá visualizar de manera gráfica el historial de medidas total simplemente pulsando un botón. Se podrán visualizar todas las medidas realizadas con anterioridad en una gráfica, en este caso, el único parámetro mostrado será el nivel de Hb (eje Y) e irá en función la fecha de realización de la medida (eje X). Se verá el resultado visual de esta función en el Capítulo 5.

Botón	Acción
Botón de visualización (ojo)	Se navega a la pantalla de información de <i>checkpoint</i> .

Tabla 3.8: Botones de la pantalla de historial de medidas.

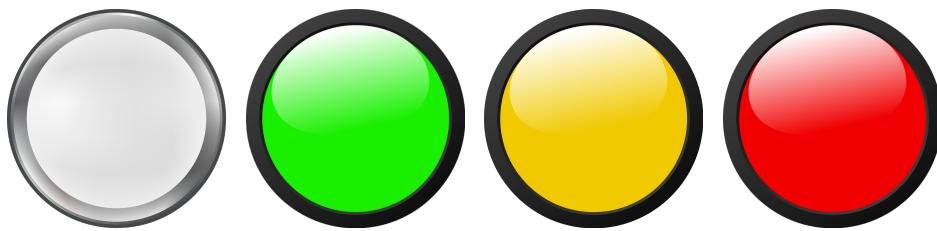
Botón	Acción
Visualizar gráfica de evolución	Se navega a la pantalla de gráficas de evolución.
Volver	Se navega de vuelta a la pantalla de historial de medidas.

Tabla 3.9: Botones de la pantalla de información de *checkpoint*.

Gracias a esta función se permite tener al usuario consciente de sus últimas medidas, además de poder consultar la evolución de las mismas a lo largo del tiempo.

Perfil Saludable

A continuación se va a explicar en que consiste el “Perfil Saludable” que se ha mencionado con anterioridad en varios apartados. Este Perfil Saludable, como bien indica su nombre, indica el estado de salud del usuario en referencia a la última medida realizada. Se trata de una característica muy interesante que se ha querido implementar en la aplicación para poder informar al usuario sobre su salud y recomendarle acciones a realizar tanto para revertir la situación en caso de que el estado sea desfavorable, como para seguir mejorando en caso contrario. La gamificación de esta función se ha conseguido modelando el estado del perfil saludable como un semáforo de tráfico, siendo el verde un estado correcto, el ambar un estado con algunas advertencias indicando precavición y el rojo un estado alarmante de salud (véase figura 3.13). Las observaciones realizadas están definidas por los médicos del CRHM y varían en función de los parámetros medidos, en concreto, del HR, nivel de Hb y SpO₂. Existen recomendaciones diferentes para un mismo rango de color, por ejemplo, no todos los estados “verdes” tienen las mismas observaciones.



(a) Perfil sin datos (b) Perfil favorable (c) Perfil con advertencias (d) Perfil alarmante

Figura 3.13: Definición de los estados del semáforo que representa el Perfil Saludable del usuario

La recomendaciones y consejos que se facilitan al usuario en función del estado de su Perfil Saludable y la lógica que se utiliza para definir el estado final está implementada en el *framework web* del *backend*. Esto se hace de esta manera por si en algún futuro se cambian las condiciones para la evaluación de un perfil, sea más sencillo y cómodo cambiar la lógica sin tener que recompilar la aplicación por completo. Se puede observar un ejemplo de la lógica implementada en la figura 3.14.

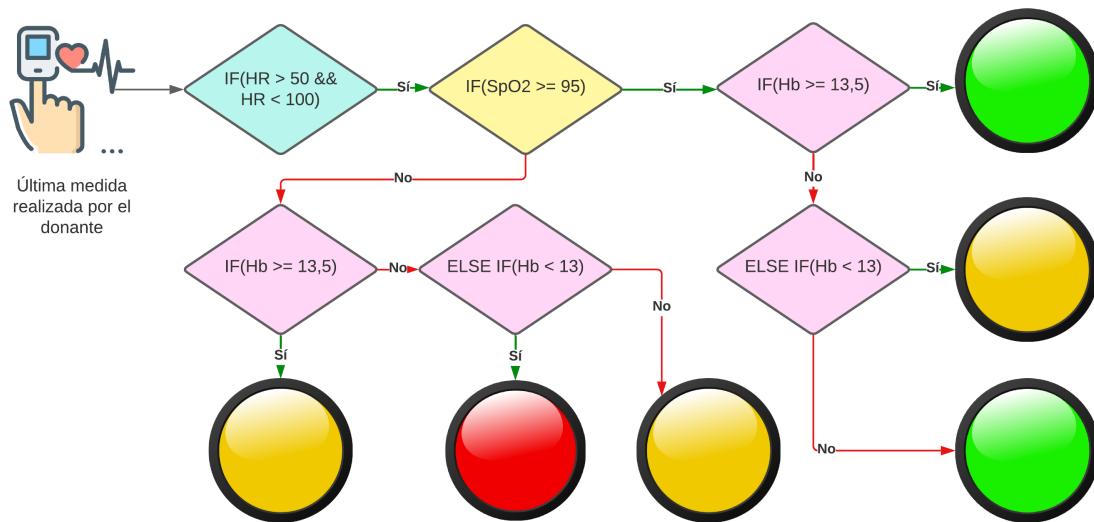


Figura 3.14: Ejemplo de determinación del estado del Perfil Saludable según los parámetros medidos en el caso de un donante masculino

En esta función se puede apreciar el primer ejemplo de gamificación, implementado un elemento cotidiano y visual como es un semáforo de tráfico para evaluar el estado de salud de una persona. De esta forma, el usuario puede ver reflejadas sus condiciones fácilmente y conocer si está en un buen estado de salud en el momento.

La visualización del Perfil Saludable se consigue navegando a la pantalla que lleva el mismo nombre. Esta pantalla es alcanzable desde el menú de inicio y desde la pantalla que aparece después de realizar una medición. Dentro de la pantalla el usuario puede conocer los parámetros que han determinado el estado del Perfil navegando a la pantalla de historial de medidas donde aparecerán los datos de la última medición, ya sea de control o ambulatoria como hemos visto anteriormente en 3.3.3.

Botón	Acción
Última medición	Se navega a la pantalla de historial de medidas.
Volver	Se navega de vuelta a la pantalla de historial de medidas.

Tabla 3.10: Botones de la pantalla del perfil saludable

Gamificación

A continuación se presenta uno de los apartados más importantes de este TFG. Aquí es donde se van a implementar algunas de las características propias de la gamificación que se esbozaron en el apartado 2.1 del Capítulo 2 que se han considerado interesantes para su implementación, y es aquí donde esta aplicación móvil para donantes se diferencia de otras dentro del mismo ámbito. Si bien la función de Perfil Saludable vista en el apartado anterior empieza a asemejarse al concepto de gamificación, se ha decidido comentarla a parte debido a su importancia y a sus características propias. La gamificación de la aplicación se ha conseguido mediante la implementación de cuatro funciones principalmente, estas son:

- Cuestionarios de preguntas.
- Apartado de curiosidades.
- Sistema de puntuación.
- Sistema de recompensas.

Cuestionarios de preguntas

La primera técnica de gamificación que nos encontramos es la posibilidad de realizar cuestionarios de preguntas relacionadas con el campo de la hemodonación. Los cuestionarios siguen la lógica estándar de un cuestionario de preguntas o *quiz*. Se le presentan al usuario una cadena de 3 preguntas aleatorias con 3 opciones de respuesta, el tiempo de contestación es de 30 segundos, no pudiendo avanzar a la siguiente cuestión a menos de que se responda (correctamente o de manera errónea) o que se acabe el tiempo. Las respuestas correctas se marcarán en verde mientras que las respuestas incorrectas se marcarán en rojo, si la respuesta es incorrecta se muestra en verde cuál habría sido la respuesta correcta.

La batería de preguntas y respuestas se encuentra alojada como es habitual en la BBDD y es desde la misma donde se obtienen. A continuación en la tabla 3.11 se muestra el ejemplo del archivo JSON que se genera cuando desde el servidor se realiza una consulta a la BBDD para obtener la batería de preguntas y que se envía al *frontend* mediante conexiones HTTP para su decodificación. El JSON tiene 4 campos remarcables: el campo **question** que se corresponde con la pregunta, el campo **answer** que se corresponde con la respuesta y los campos **wrong_answer_one** y **wrong_answer_two** que se corresponden con las otras dos opciones incorrectas. Las preguntas pueden ser revisadas y modificadas por el personal sanitario del CRHM, además que se pueden ir añadiendo nuevas, al estar estas alojadas en la BBDD.

Campo	Valor
question	Contiene la cadena de caracteres correspondiente a la pregunta.
answer	Contiene la cadena de caracteres correspondiente a la respuesta correcta.
wrong_answer_one	Contiene la cadena de caracteres correspondiente a una de las respuestas erróneas.
wrong_answer_two	Contiene la cadena de caracteres correspondiente a la otra de las respuestas erróneas.

Tabla 3.11: Ejemplo esquemático del archivo JSON enviado por el servidor y recibido en el móvil con los datos de los cuestionarios

Con la implementación de esta función se logra que el usuario pueda llegar a engancharse, ya que ahora cuenta con un desafío y una forma de conseguir superarse o de competir (por ejemplo realizando los cuestionarios al mismo tiempo que otro usuario que tenga la aplicación), además que se contará con sistema de puntuación como se verá más adelante. La idea es que el usuario realice los cuestionarios después de cada medida, de esta manera, se le anima a que realice la medición ya es la forma de acceder a los *quizzes*.

y de vivir la experiencia del desafío y la competición de la que se ha hablado previamente, consuigiendo así el enganche.

Apartado de curiosidades

Más simple que el anterior, esta función sirve como atractivo adicional de la aplicación. Como se puede intuir por el nombre, se encarga de ir mostrando aleatoriamente en el menú principal de la aplicación distintas curiosidades sobre la hemodonación y curiosidades relacionadas con la sangre. Sigue la misma lógica que los cuestionarios, las curiosidades están alojadas en la BBDD, se crea el JSON en el servidor y se envía a la aplicación del *frontend* donde se decodifica y se muestra por pantalla.

Con esta función se busca que de manera inconsciente el usuario aprenda nuevos conceptos y siga manteniendo el interés en la donación.

Sistema de Puntuación

Como se ha visto en ejemplos de aplicaciones anteriores en el mundo de la salud 2.2 y en las características esenciales de una aplicación que implementa la gamificación, los sistemas de puntuación son una efectiva técnica para llamar la atención de los usuarios y provocar su enganche a la aplicación.

En esta aplicación móvil se ha optado por un sistema de puntuación que se constituye por una serie de puntos o *tokens* denominados *hemopoints*. Los *hemopoints* se van consiguiendo a medida que el usuario va realizando actividades dentro de la aplicación y podrán servir como moneda de cambio con recompensas materiales.



Figura 3.15: Icono representativo de los *hemopoints*

Se pueden conseguir puntos de diferentes maneras, realizando medidas, según el estado del Perfil Saludable, entrar a la aplicación, acertar preguntas en los cuestionarios... Sin embargo, esta parte como se verá en el Capítulo 5 sigue en estado de desarrollo, ya que no se ha definido un sistema final de política de puntuación.

Cada *hemopoint* está asociado con cada usuario en la BBDD y se alojan en la tabla `user_hemopoints`. Cada vez que se consiguen nuevos *hemopoints* se añaden por cada obtención en la BBDD con la fecha de obtención de los mismos. Con añadir por cada obtención se entiende a que si en un día un usuario consigue $2+0.5+1$ *hemopoints* habrá conseguido 3.5 *hemopoints* en total pero en la BBDD se ingresan por separado, 2 - 0.5 - 1, esta idea se ve mejor en la captura de la tabla `users_hemopoints` mostrada debajo (3.16).

El sistema de puntuación junto con el sistema de recompensas son los mayores atractivos de una aplicación para el usuario y más aún si la aplicación está enfocada a los donantes de sangre por lo que es un punto bastante importante.

register_id	hemopoints	created_at
HEMO1923000	4.0	2023-06-11 14:45:54
HEMO1923000	2.0	2023-06-11 14:47:38
HEMO1923000	2.0	2023-06-11 15:40:09

Figura 3.16: Captura de la tabla `users_hemopoints` de la BBDD donde se almacenan los *hemopoints* por fecha de obtención, en este caso correspondientes con el usuario HEMO1923000

Sistema de recompensas

Ligado directamente con el sistema de puntuación, el sistema de recompensas consiste en premiar al usuario con algún tipo de beneficio por las acciones que ha realizado dentro de la aplicación. En el mundo de la donación este punto es más interesante si cabe, ya que al ser la donación un acto voluntario y sin ánimo de lucro, el recompensar a los donantes de sangre por su dedicación es algo que puede motivarles a no abandonar esta actividad, además de atraer a donantes nuevos. Las recompensas pueden estar enfocadas hacia las personas jóvenes, llamando así su atención, algo que se busca.

En el momento de escritura de este TFG no se ha establecido un sistema de recompensas final para la aplicación, pero se tienen ideas de como será. Las recompensas serán pequeños obsequios que dependerán de patrocinadores o disponibilidades del CRHM, se obtendrán mediante la cantidad de *hemopoints* acumulada por el usuario y se tiene pensado que sean recogidas presencialmente en el mismo CRHM.

Se volverá a tratar este apartado en el Capítulo 5.

3.3.4. Servidor

Una vez visto cómo se han implementado las funciones dentro de la parte visual de la aplicación, se va a comentar también cómo ha influido el servidor para el correcto funcionamiento de la aplicación.

Como se ha indicado anteriormente, el envío de datos entre *frontend* y *backend* se hace mediante peticiones HTTP y enviando los datos en formato JSON. Las peticiones HTTP se hacen mediante el uso de URLs, este método es interesante para comprobar que el envío de datos está siendo correcto y poder detectar errores y encontrar la solución para subsanarlos.

Ruta

/profile_data/update/<string:isbt_code>

Tabla 3.12: Ejemplo de ruta URL utilizada para insertar los nuevos datos introducidos por el usuario cuando edita el peso/altura en la pantalla de perfil de usuario

En la tabla 3.12 se puede observar un ejemplo de las URL que se utilizan dentro de la aplicación, además aquí se muestra como el código ISBT del donante es el que se utiliza como identificador para el envío de datos por la red, sin desvelar ningún dato personal.

4. Implementación

En el siguiente capítulo se van a mostrar las tecnologías y herramientas utilizadas para la obtención de las características y funciones vistas en el Capítulo 3 y que harán posibles los resultados que se verán en el Capítulo 5. También, se volverán a ver las conexiones utilizadas entre los bloques de la arquitectura de la aplicación (véase figura 3.3) con algo más de detalle.

4.1. Herramientas utilizadas en la aplicación desarrollada

En este apartado y siendo fieles a los bloques presentados en la sección 3.2, se van a mostrar las herramientas utilizadas en cada módulo de la arquitectura de la aplicación.

4.1.1. Visual Studio Code

Para la programación del código tanto de la aplicación como del despliegue del servidor web se ha optado por el editor de código fuente Visual Studio Code.

Desarrollado por Microsoft, Visual Studio Code permite escribir y depurar código en numerosos lenguajes de programación, ofreciendo también un amplio abanico de extensiones que facilitan mucho el trabajo al desarrollador. En este TFG se ha utilizado la versión de Windows 1.79.2, y se han desarrollado los códigos en los lenguajes de programación Python y Dart, en las versiones 3.11.2 y 2.15.1 respectivamente.

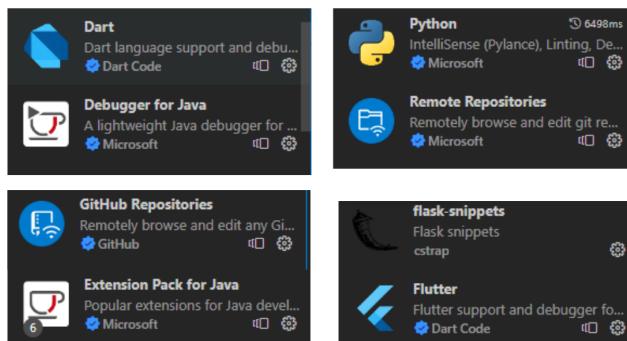


Figura 4.1: Ejemplos de algunas de las extensiones de Visual Studio Code que pueden resultar interesantes para el desarrollo

4.1.2. Aplicación - Frontend

En este trabajo concreto, para el desarrollo del *frontend* se ha optado por el marco de código abierto desarrollado por Google y que lleva el nombre de Flutter¹. Flutter es una herramienta cómoda y eficiente para el desarrollo de aplicaciones móviles en diferentes SO, utiliza el lenguaje de programación Dart y se compila en código máquina. Existe una frase popular dentro de Flutter que dice “todo lo que ves dentro de Flutter es un *widget*”. Los “widgets” en Flutter son la base de la aplicación, todos los elementos visibles (menús, botones, imágenes...) son *widgets*, incluso existen *widgets* formados por otros *widgets*. Se puede entender como *widget* a cualquier elemento visual en la pantalla del móvil en la que se está ejecutando la aplicación; un botón dentro de la aplicación es un *widget*, un texto es un *widget* o una imagen también lo es.

Flutter es una excelente herramienta para el desarrollo de aplicaciones, permite de una manera muy intuitiva aprender rápidamente el uso del lenguaje Dart, además de manera similar a Visual Studio, ofrece una amplia variedad de extensiones (llamados paquetes), que permiten realizar numerosas funciones de manera sencilla.

```
cupertino_icons: ^1.0.2
http:
flutter_barcode_scanner:
flutter_easyloading: ^3.0.5
form_field_validator:
email_validator:
flutter_overlay_loader: ^2.0.0
font_awesome_flutter: ^10.4.0
flutter_blue_plus: ^1.5.2
get: ^4.6.5
flutter_spinkit: ^5.2.0
protobuf: ^2.1.0
flutter_countdown_timer: ^4.1.0
flutertoast: ^8.2.2
permission_handler: ^10.3.0
syncfusion_flutter_charts: ^21.2.10
```

Figura 4.2: Lista de paquetes de Flutter utilizados en la aplicación

Los paquetes más destacables de entre los mostrados pueden ser *flutter_barcode_scanner* para el escaneo del código de barras ISBT; *flutter_blue_plus* y *permission_handler* para realizar la conexión *Bluetooth* con el dispositivo o *syncfusion_flutter_charts* para las gráficas.

Como se puede observar cada uno de estos paquetes tiene una versión, y ésta se va actualizando con el tiempo. Para obtener información sobre los últimos paquetes lanzados, sobre las actualizaciones de los ya existentes o sobre la instalación y funciones de un paquete, Flutter proporciona una página web donde se pueden consultar estas cuestiones².

¹Documentación de Flutter: <https://flutter.dev/>.

²Pub Dev Flutter: <https://pub.dev/>

4.1.3. Aplicación - Backend

La herramienta escogida en el estudio para el desarrollo del *framework web* es Flask³. Flask es un marco de desarrollo web de código abierto y ligero escrito en Python que se basa en el kit de herramientas Werkzeug y la biblioteca de plantillas Jinja2. Se utiliza para construir aplicaciones web y APIs (interfaces de programación de aplicaciones) de manera rápida y sencilla. Se centra en la simplicidad y la extensibilidad. Es flexible y permite al desarrollador tomar decisiones sobre qué componentes y extensiones utilizar, lo que facilita la creación de aplicaciones personalizadas.

Dentro de las bibliotecas utilizadas para el desarrollo del servidor web pueden destacarse `json` para el manejo de archivos JSON, `mysql.connector` para la comunicación con la BBDD y `pandas` para el manejo de conjuntos de datos. Haciendo énfasis en la última, es interesante mencionar que para el manejo de los datos obtenidos desde la BBDD la biblioteca `pandas` proporciona estructuras de datos flexibles y eficientes a los que denomina *DataFrame* o marco de datos. Estas estructuras consisten en tablas bidimensionales como la que se ve representada en la figura 4.3.

	meas_id	hr_lpm	spod_p	hb_g_dL
0	0	79.0	98.0	14.8

Figura 4.3: Ejemplo de DataFrame

Este *DataFrame* se obtiene tras realizar una consulta SQL a la BBDD, en este caso para obtener los datos de medición de un usuario. En este caso la consulta solo pide los valores de la última medición, por eso sólo hay una fila, si se pidiesen los datos de las últimas diez, se tendrían diez filas. Es así como se consiguen manejar los datos de una manera simplificada. Podemos ver las líneas de código que realiza la consulta para entender el funcionamiento del *framework web* debajo.

Programación 4.1: Ejemplo del código escrito en Python que realiza una consulta a la BBDD para obtener los parámetros de la última medición de un usuario.

```
query_meas_hosp = "SELECT meas_id , hr_lpm , spod_p , hb_g_dL  
                   FROM 'hb_history' WHERE register_id = '{}'  
                   AND meas_id = 1  
                   ORDER BY 'hb_history' . 'created_at'  
                   DESC LIMIT 1".format(id_db.loc[0]['register_id'])  
  
id_db_meas_hosp = perform_query("credentials_test_db",  
                                 query_meas_hosp)
```

La función `perform_query` es la que devuelve el *DataFrame* y lo guarda en la variable `id_db_meas`.

Con las líneas de código anteriores vemos por primera vez el formato y estructura de una consulta SQL (en el ejemplo, `SELECT`) que se realiza a la BBDD, de esta manera enlazamos el contenido con la siguiente sección.

³Documentación de Flask: <https://flask.palletsprojects.com/>

4.1.4. Aplicación - Base de Datos

Los datos recopilados por la aplicación se almacenan en la BBDD a la que tantas veces se ha hecho mención a lo largo de este TFG y en la que también se encuentran datos propios de la aplicación (cuestionarios, lista de curiosidades...). Los datos se almacenan en una base de datos MariaDB. Para realizar la gestión de la base de datos MariaDB, se hace uso de phpMyAdmin⁴ que es una herramienta de software libre escrita en PHP pensada para la administración de MySQL y MariaDB.

Gracias a phpMyAdmin el proceso de manejo de las tablas de la BBDD y evaluación de la correcta escritura de las consultas SQL ha sido más ameno.



Figura 4.4: Logos de las herramientas utilizadas para el *frontend*, *backend* y manejo de la BBDD respectivamente

⁴Página Web de phpMyAdmin: <https://www.phpmyadmin.net/>

5. Resultados

A continuación, en este capítulo se van a mostrar los resultados obtenidos con el diseño de la aplicación mostrado en el Capítulo 3 y utilizando las herramientas mostradas en el 4. Se mostrarán las pantallas finales de la aplicación para que el lector pueda visualizar el flujo de pantallas presentado en el Capítulo 3 en las figuras 3.4 y 3.6. Es por ello, que se dividirán los resultados las pantallas en los dos flujos de navegación.

Las capturas se han realizado en el entorno emulado debido a impedimentos de conexión con el servidor local y por comodidad de realización de las capturas. Sin embargo, en la figura 5.1 se muestra un ejemplo de la visualización en un dispositivo físico.

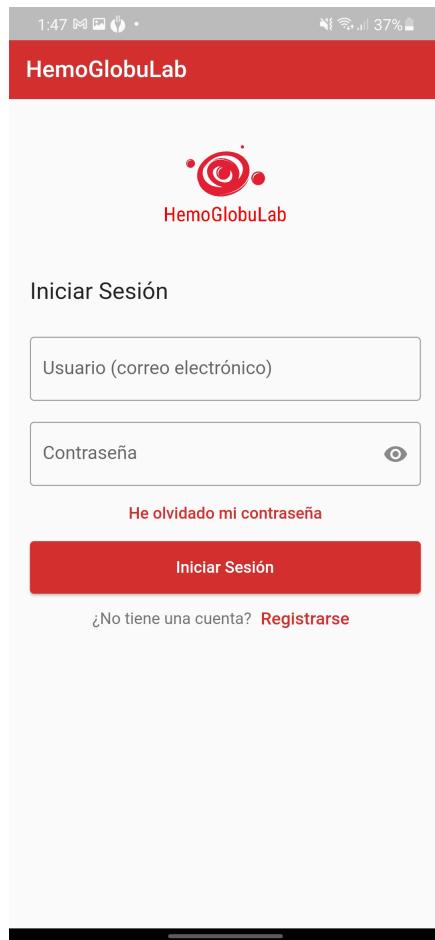


Figura 5.1: Ejemplo de pantalla en dispositivo físico Samsung Galaxy A50

5.1. Pantallas del primer flujo de navegación

En este primer flujo de navegación es necesario recordar lo visto en la figura 3.4 vista en el Capítulo 3. Este flujo se produce cuando el usuario se encuentra en la antesala de la aplicación, es decir, todavía no está experimentando las funciones que ofrece, simplemente está iniciando sesión o registrándose.

5.1.1. Inicio de sesión

Primera pantalla de la aplicación donde el usuario ingresa sus credenciales y la aplicación le indica si son correctas o no. Tiene la opción de recuperar la contraseña o de crear una nueva cuenta. Se puede ver el resultado en el ejemplo presentado en la figura 5.1.

5.1.2. Recuperar contraseña

Pantalla simple obtenida al seleccionar la opción de recuperar la contraseña, se le solicita al usuario que ingrese la cuenta de correo electrónico con la que se ha registrado para proceder a la recuperación. La contraseña con la que se registra el usuario se debe encriptar para su almacenamiento.

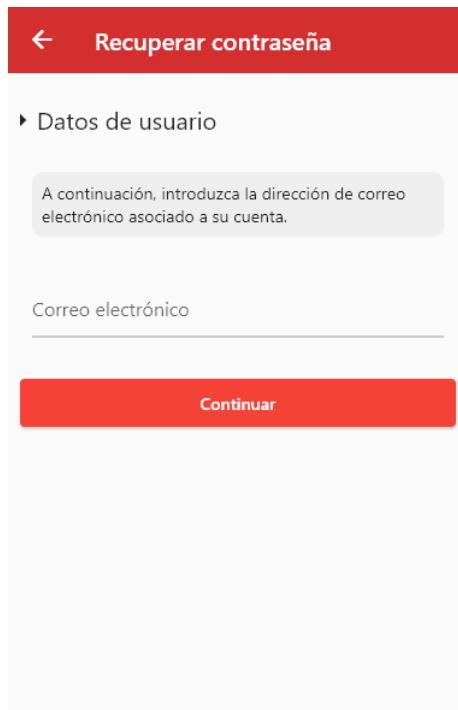


Figura 5.2: Pantalla de recuperación de contraseña

5.1.3. Registro

Como se ha visto en el Capítulo 3 en el apartado 3.3.2, existen dos opciones de registro de usuario con el código ISBT. Mediante escáner o manualmente. En la siguiente figura 5.3 se muestran las dos opciones, escáner y manual. Independientemente de la selección, la pantalla de registro de usuario donde se ingresan los datos es idéntica.

El ingreso de datos para el registro se explica en el apartado 3.3.2 del Capítulo 3.

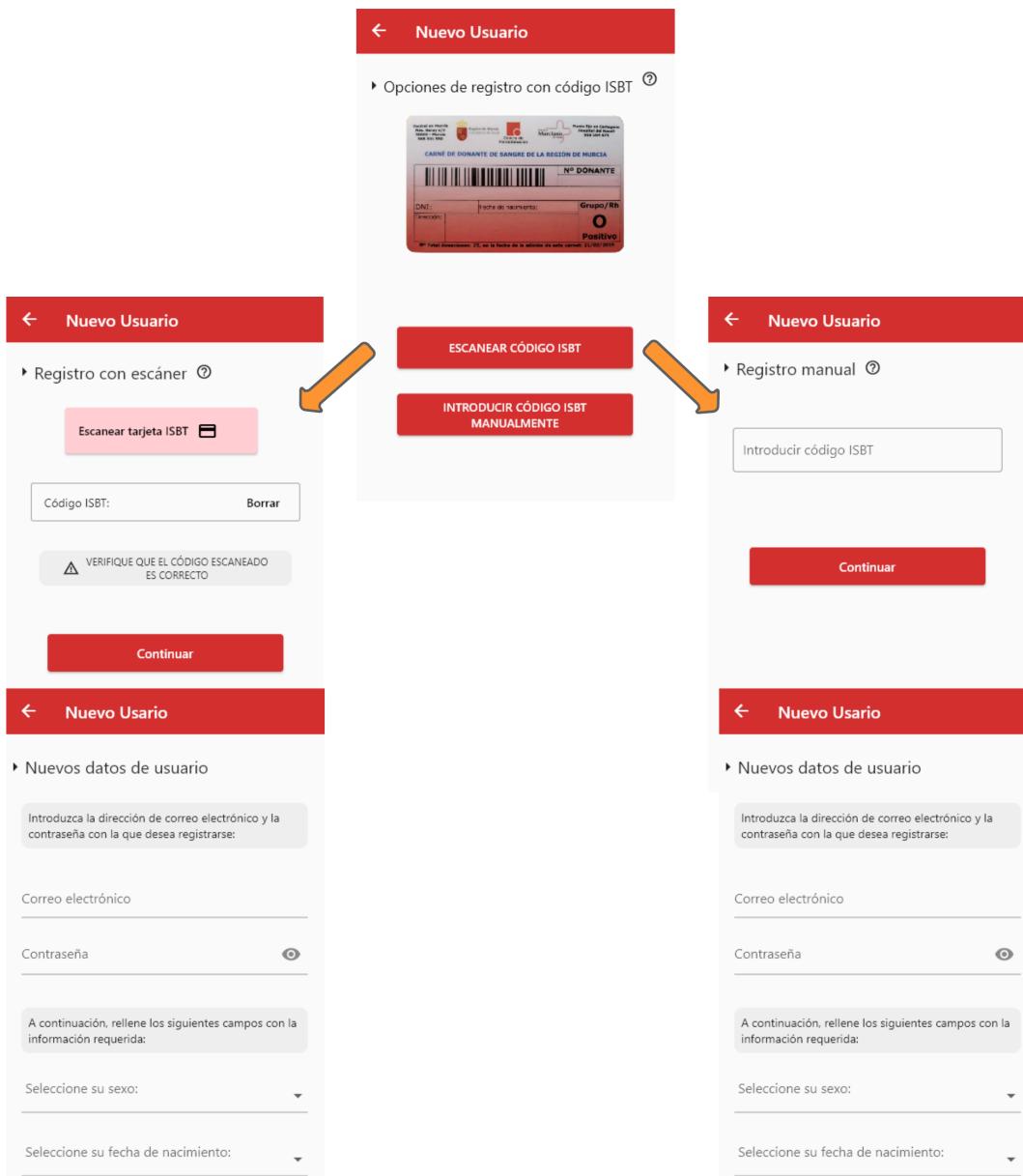


Figura 5.3: Pantallas de registro según la opción seleccionada: con escáner (recorrido de la derecha) o manual (recorrido de la izquierda)

5.2. Pantallas del segundo flujo de navegación

Suponiendo que el usuario ha ingresado correctamente sus credenciales, a continuación se pasa al segundo flujo de navegación (véase 3.6). Este es más extenso y cuenta con un gran número de pantallas. Se van a dividir en los cuatro menús principales, que son: Inicio, Entrenamiento, Historial y Perfil.

5.2.1. Menú de Inicio

Este es el menú principal y el primero en aparecer tras iniciar sesión. En este menú el usuario es capaz de conocer la fecha de la última medición, el estado de su Perfil Saludable, la cantidad de *hemopoints* acumulados y conocer una nueva curiosidad. Se puede observar también un campo en el que se indica una próxima medición, esto se comentará en el Capítulo 6. El resultado final se consigue con una pantalla deslizante tanto en el eje vertical, como en el eje horizontal para los dos elementos centrales. Esto se puede comprobar en la figura

Según los hitos conseguidos dentro de la aplicación esta pantalla presenta ligeros cambios, como el color del semáforo del Perfil Saludable, el número de *hemopoints* conseguidos o la curiosidad.

En la figura 5.5 se muestran como quedarían las pantallas del perfil saludable en diferentes situaciones, mostrando el estado y las observaciones al respecto. Esto se vió más a fondo en la sección 3.3.3 del Capítulo 3.



Figura 5.4: Pantalla del menú inicial de la aplicación



Figura 5.5: Pantallas correspondientes a diferentes estados del Perfil Saludable

5.2.2. Menú de Entrenamiento

El siguiente menú principal (siguiendo el recorrido de botones de la barra inferior hacia la derecha), es el de entrenamiento. En este menú el usuario experimenta la gamificación de la aplicación en mayor medida. Las opciones que puede explorar en este menú son dos (i) las medidas de entrenamiento, (ii) los cuestionarios. La pantalla de inicio del menú de entrenamiento se puede observar en la figura 5.6.

Las medidas de entrenamiento como bien indica su nombre, son medidas que no se registran en la BBDD, simplemente sirven para entrenar con el aparato de medida o para probarlo con amigos, haciendo más interesante lo que normalmente era una simple medida en el hospital. La pantalla de las medidas de entrenamiento es idéntica a la de las medidas reales que veremos más adelante.

El funcionamiento de los cuestionarios se vió previamente en el Capítulo 3 en el apartado 2.1, en esta sección se van a mostrar el resultado visual de los mismos. En la figura 5.7 se puede apreciar la lógica que siguen los cuestionarios, el clásico acierto-error. Es necesario remarcar que la captura 5.7b se corresponde con la última pregunta del cuestionario, y es por eso que también aparecen el número de *hemopoints* conseguidos durante la prueba.

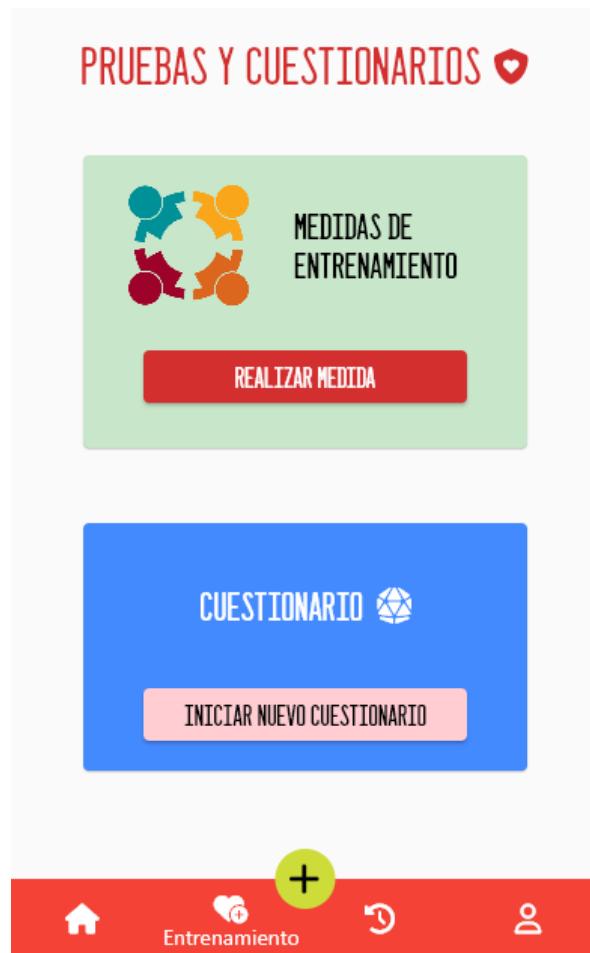
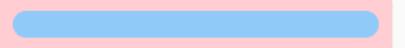


Figura 5.6: Pantalla del menú de entrenamiento

CUESTIONARIO



¿CUÁNTO DURA UNA DONACIÓN DE SANGRE?



1 Aproximadamente 5 minutos.

2 Aproximadamente 20 minutos. CORRECTA

3 Aproximadamente 10 minutos.

Continuar



¿CUÁNTO TIEMPO DEBE PASAR ENTRE DONACIONES DE SANGRE?



1 Entre 3 y 4 meses.

2 Un mínimo de 2 meses. CORRECTA

3 Un máximo de 2 meses.

Continuar

¡HAS ACERTADO 2 PREGUNTAS!
HAS OBTENIDO 0.4 HEMOPONTS



(a) Ejemplo de pregunta fallida

(b) Ejemplo de pregunta acertada

Figura 5.7: Pantallas correspondientes a la funcionalidad de los cuestionarios

5.2.3. Menú de Historial

En este menú es donde se presentan las últimas medidas realizadas. La última correspondiente a una medida de control y la última correspondiente a una medida ambulatoria. La diferencia entre medidas se pudo ver en el apartado 3.3.3 del Capítulo 3. A continuación se presentan las pantallas finales. En la figura 5.8 se pueden apreciar las pantallas en la que se presentan las medidas realizadas por el usuario. Las medidas de control se representan mediante tarjetas azules y las ambulatorias mediante tarjetas rosas. También en la captura se muestran los distintos menús que aparecen según las medidas que haya realizado el usuario.

Como bien se explicó en el mencionado apartado 3.3.3, este menú ofrece al usuario conocer más en detalle los resultados obtenidos en las medidas realizadas en el CRHM, es decir, en las medidas ambulatorias (*checkpoints*). También se permite ver al usuario la gráfica de evolución del nivel de Hb medido a lo largo del tiempo. Estas dos funciones aparecen representadas en las pantallas de la figura 5.9.

5.2.4. Menú de Perfil de Usuario

Quizás el menú de la aplicación más sencillo, aquí el usuario es capaz de consultar sus datos de autenticación (e-mail, código ISBT) y sus datos personales (peso, altura y fecha de nacimiento). Es posible editar los valores del peso y de la altura pero eligiendo valores dentro del rango descrito en el apartado 3.3.3 del Capítulo 3.

También es posible desplegar un menú lateral que contiene más opciones a realizar por el usuario, como puede ser cerrar sesión o consultar las recompensas que puede obtener gracias al número de *hemopoints* que haya conseguido. Vemos estas dos funciones en la figura 5.10.

5.2.5. Pantalla de medidas

Esta pantalla se despliega si se accede a las medidas de entrenamiento en el propio menú de entrenamiento o si se pulsa en el botón con forma redonda y de color lima que se puede apreciar en el centro de la barra de navegación inferior de la aplicación para acceder a las medidas reales.

En esta pantalla se puede observar claramente el botón “Realizar medida”, el cual sirve para el inicio de la medición. Una vez se pulsa este botón se activa el escaneo de dispositivos *Bluetooth*, se identifica el dispositivo de medida y se procede a la medición. Existe un temporizador similar al utilizado en los cuestionarios para controlar el tiempo de medida. Una vez se ha realizado la medida se activa un botón de “Guardar” para enviar la medida a la BBDD. También se ha utilizado la técnica del semáforo usada en el Perfil Saludable para indicar si la medida ha sido válida o si se ha podido conectar al dispositivo. La lógica del semáforo en esta ocasión funciona de la siguiente manera:

- **Verde:** Medida correcta.
- **Ámbar:** Medida incorrecta debido a factores como sudor, esmalte de uñas, anillos...etc.
- **Rojo:** No se ha podido conectar con el dispositivo.

Vemos esta lógica implementada en las pantallas de las figura 5.11.

HISTORIAL DE MEDIDAS

ÚLTIMA MEDIDA DE CONTROL :

Parámetros medidos:

- Hr (lpm): 79.0
- Hb (g/dL): 14.8
- SpO2 (%): 98.0

Medida realizada el 30/6/2023

ÚLTIMA MEDIDA AMBULATORIA :

Parámetros medidos:

- Hr (lpm): 78.0
- Hb (g/dL): 14.1
- SpO2 (%): 95.0

Medida realizada el 15/6/2023

HISTORIAL DE MEDIDAS

ÚLTIMA MEDIDA DE CONTROL :

Parámetros medidos:

- Hr (lpm): 101.0
- Hb (g/dL): 12.1
- SpO2 (%): 93.0

Medida realizada el 20/6/2023

ÚLTIMA MEDIDA AMBULATORIA :

Todavía no se han realizado medidas ambulatorias

HISTORIAL DE MEDIDAS

NO HAY DATOS DISPONIBLES, AÚN NO EXISTEN MEDIDAS REGISTRADAS

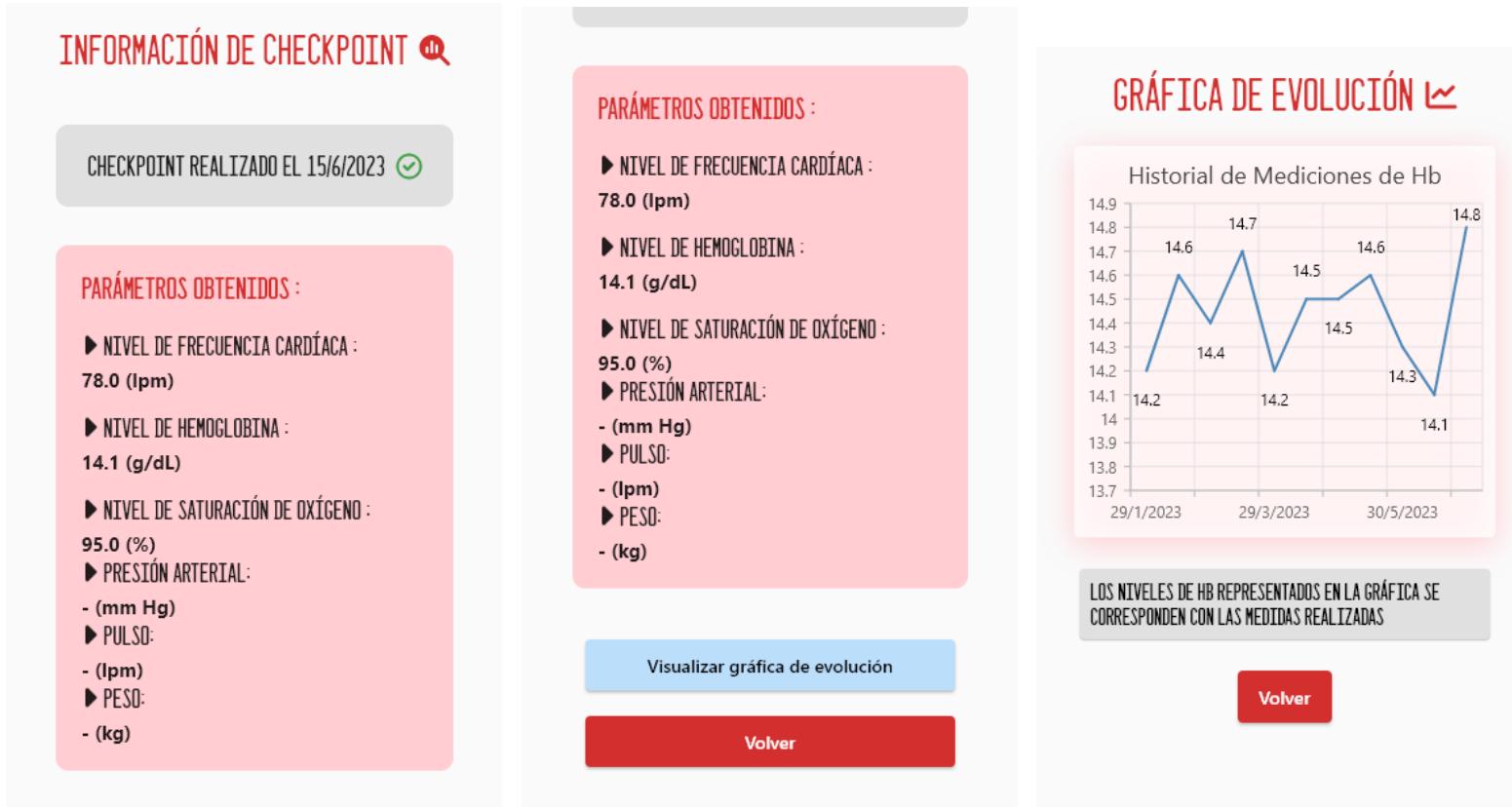
UNA VEZ REALICE SU PRIMERA MEDIDA, LOS RESULTADOS APARECERÁN EN ESTA PANTALLA

(a) Menú con medidas de control y ambulatorias

(b) Menú con sólo medidas de control

(c) Menú sin medidas registradas

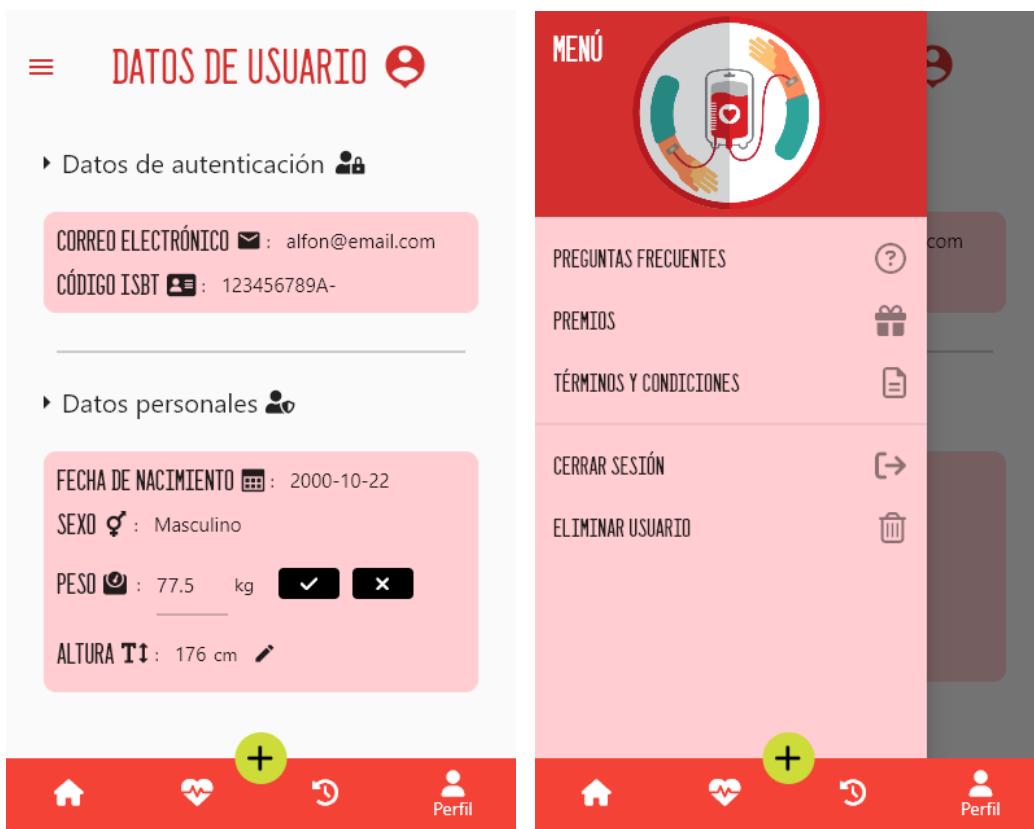
Figura 5.8: Pantallas correspondientes al menú de historial



(a) Parámetros medidos en el *checkpoint* (b) Botón para acceder a las gráficas (en azul claro)

(c) Gráfica de evolución

Figura 5.9: Pantallas correspondientes a las funciones ofrecidas por el menú de historial



(a) Pantalla de datos de perfil con la posibilidad de edición

(b) Menú lateral

Figura 5.10: Pantallas correspondientes a las funciones ofrecidas por el menú de perfil de usuario

5.3. Otros Resultados de interés

En este apartado se van a ver dos ejemplos de pantallas con otro dimensionado para que se pueda apreciar la flexibilidad de la aplicación frente a distintas dimensiones de pantalla, algo que se planteó en el apartado objetivos secundarios 1.2.2 dentro de la sección 1.2 del Capítulo 1. Esto es positivo para que la aplicación pueda ser usada en distintos tipos de móviles así como en *tablets*. Estos resultados se muestran en las figuras 5.12 y 5.13.

Con estos resultados se da por finalizado este capítulo, en el que se ha podido ver cómo ha quedado la aplicación tras las directrices mostradas. Las conclusiones sobre los resultados obtenidos en este capítulo se muestran en el siguiente, en el Capítulo 6.

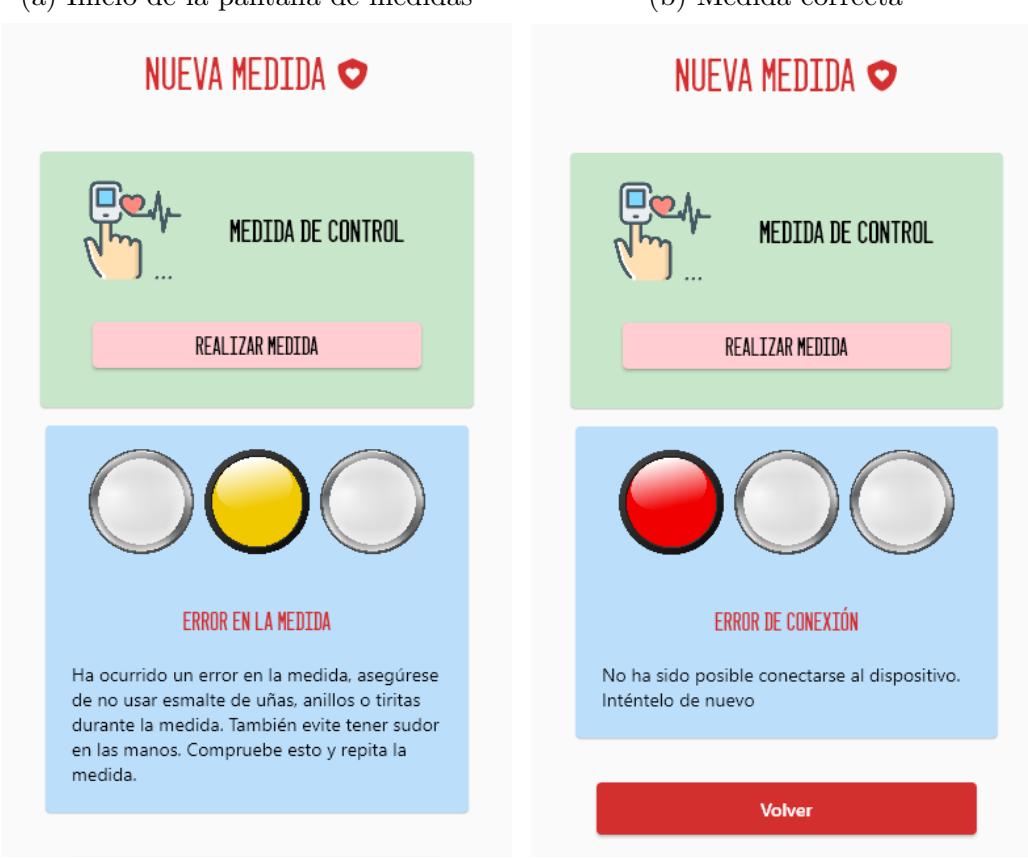
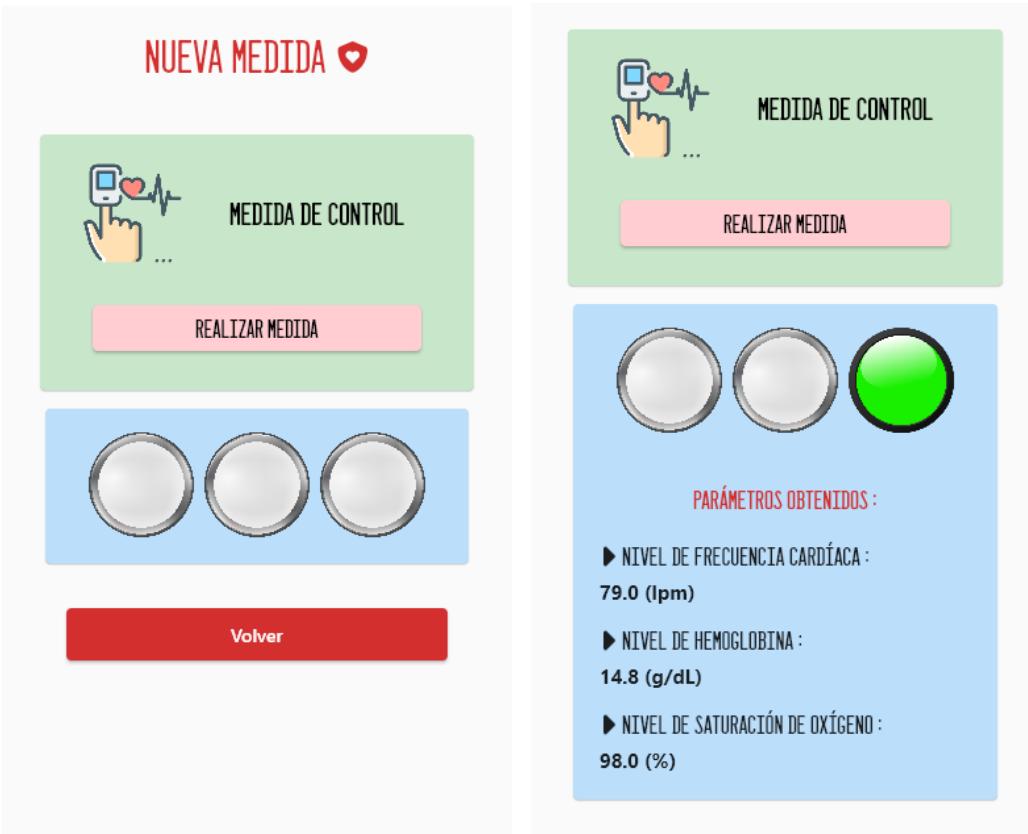


Figura 5.11: Pantallas correspondientes a las distintas situaciones posibles en la pantalla de medidas



Figura 5.12: Ejemplo de pantalla con otro dimensionado

CUESTIONARIO ⚙

¿CUÁNTO TIEMPO DEBE PASAR ENTRE DONACIONES DE SANGRE?

1 Un máximo de 2 meses.

2 Un mínimo de 2 meses.

3 Entre 3 y 4 meses.

[Continuar](#)

Figura 5.13: Ejemplo de pantalla con otro dimensionado

6. Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones

Los objetivos principales de este TFG, fueron los mostrados en el apartado 1.2.1 del Capítulo 1. Teniéndolos en cuenta, en este TFG se ha conseguido desarrollar por completo una aplicación funcional destinada a los donantes de sangre, se ha conseguido desarrollar el *frontend* mediante la herramienta Flutter y el *backend* gracias a Flask para el servidor web y a phpMyAdmin para el manejo de la BBDD.

La aplicación ha resultado ser como se ha visto en el Capítulo 5 un conjunto de pantallas muy visuales e interactivas con el usuario, consiguiendo que resulte atractiva para el donante que la vaya a utilizar. Se ha traído el concepto de gamificación que se presentó en el apartado 2.1 del Capítulo 2 y se ha desarrollado en el Capítulo 3 mediante funciones que mantienen al usuario interesado en usar la aplicación más allá de simplemente realizar las medidas. También se ha logrado crear un vínculo entre el usuario y el CRHM al introducir las recomendaciones y consejos realizadas por los propios médicos según los parámetros del donante, mediante el concepto del Perfil Saludable mostrado en los capítulos previos. No sólo el donante sale beneficiado de este vínculo, sino que también son los profesionales sanitarios quienes pueden realizar un seguimiento del estado saludable del usuario a medida que éste va introduciendo nuevos datos a través de la aplicación.

Como se ha visto en el Capítulo 4, gracias a Flutter se ha podido desarrollar la aplicación para que sea compatible en Android e iOS. Los menús, iconos, pantallas de carga o alertas dentro de la *app* se han desarrollado para que tengan una apariencia neutra y no haya diferencia e incompatibilidades entre SO.

La privacidad y anonimato del usuario era una de los requisitos imprescindibles para el desarrollo de la aplicación. Esto se ha conseguido gracias al código de identificación creado al registrarse un nuevo usuario (véase apartado 3.3.2 del Capítulo 3) para poder diferenciar entre donantes y manejar los datos en la BBDD. También mediante el código ISBT de cada donante se han realizado las peticiones HTTP (véase tabla 3.12 de la sección 3.3.4 en el Capítulo 3), preservando en todo momento el anonimato del usuario.

En relación con lo comentado en la sección 5.2.1 del Capítulo 5, no se ha implementado la parte de predicción del nivel de Hb en sangre. Esta función se está desarrollando en el proyecto general del que forma parte este TFG y se encuentra en estado de investigación por lo que a día de la escritura de este trabajo todavía no se ha podido añadir a la aplicación móvil.

Con todo esto, volvemos al primer párrafo de esta sección. Ya que, a falta de definir detalles como los sistemas de puntuación y recompensas finales se ha conseguido desarrollar al completo *Hemoglobulab*, una aplicación funcional que tiene al donante como

protagonista, que busca optimizar la cadena de transfusión sanguínea y que está pensada para atraer a nuevos donantes y mantener a los habituales.

6.2. Líneas futuras

Con el desarrollo de esta aplicación se han conseguido abrir nuevas puertas dentro del proyecto general al que pertenece este TFG. Se ha conseguido establecer un nodo de conexión entre el donante y el CRHM, pudiendo ahora expandir la influencia del CRHM fuera de las instalaciones del mismo.

Actualmente, el instrumento de medida de Hb, y el resto de parámetros se encuentra únicamente disponible en el centro, y sólo pueden poseerlo los profesionales sanitarios, ya que la aplicación con la que se cuenta actualmente como ya se mencionó previamente en este documento, está destinada al estudio clínico. Sin embargo, existiendo una aplicación móvil disponible para los donantes, el siguiente paso es conseguir que los dispositivos de medida lleguen a manos de los usuarios y que éstos puedan realizar las medidas desde su domicilio, para completar de esta manera el objetivo de evitar incomodidades a los donantes que puedan ser excluidos del proceso de hemodonación por nivel bajo de Hb, como se mencionó en el Capítulo 1.

Bibliografía

- [1] L. E. Fernández Mendoza, I. I. Torres Cancino, I. González Gracia, A. J. Hoyos Mesa, M. García Bellocq, and E. Medina Tápanes, “Importancia de la sangre, hemoderivados y las donaciones voluntarias de sangre,” *Revista Médica Electrónica*, vol. 42, no. 1, pp. 1674–1681, 2020.
- [2] D. Le Vay, *Anatomía y fisiología humana*. Editorial Paidotribo, 2008.
- [3] J. A. Fernández-Tresguerres Hernández, C. Ariznavarreta, V. Cachofeiro, D. P. Cardinali, E. Escrich, P. Gil Loyzaga, V. Lahera Juliá, F. Mora, M. Romano Pardo, and P. Tamargo Menéndez, *Fisiología humana*. McGraw-Hill, 2005.
- [4] O. A. Peñuela, “Hemoglobina: una molécula modelo para el investigador,” *Colombia Médica*, vol. 36, no. 3, pp. 215–225, 2005.
- [5] S. S. DeRossi and S. Raghavendra, “Anemia,” *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, vol. 95, no. 2, pp. 131–141, 2003.
- [6] R. Ravel, “Clinical laboratory medicine: clinical application of laboratory data,” in *Clinical laboratory medicine: clinical application of laboratory data*, pp. 724–724, 1994.
- [7] K. Landsteiner, “Individual differences in human blood,” *Science*, vol. 73, no. 1894, pp. 403–409, 1931.
- [8] A. d. J. L. González, “Evolución del método de transfusión sanguínea y alternativas terapéuticas,” *Medisan*, vol. 14, no. 7, pp. 982–993, 2010.
- [9] A. M. Baart, W. L. de Kort, F. Atsma, K. G. Moons, and Y. Vergouwe, “Development and validation of a prediction model for low hemoglobin deferral in a large cohort of whole blood donors,” *Transfusion*, vol. 52, no. 12, pp. 2559–2569, 2012.
- [10] M. Rahman, S. Khan, and Y. Lodhi, “Unconfirmed reactive screening tests and their impact on donor management,” *Pak J Med Sci*, vol. 24, no. 4, pp. 517–9, 2008.
- [11] L. Sardi, A. Idri, and J. L. Fernández-Alemán, “A systematic review of gamification in e-health,” *Journal of biomedical informatics*, vol. 71, pp. 31–48, 2017.
- [12] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. Nacke, “From game design elements to gamification: defining”gamification”, in *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*, pp. 9–15, 2011.
- [13] T. Susi, M. Johannesson, and P. Backlund, “Serious games: An overview,” 2007.
- [14] L. E. Nacke and S. Deterding, “The maturing of gamification research,” 2017.
- [15] H. J. Park and J. H. Bae, “Study and research of gamification design,” *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, vol. 8, no. 8, pp. 19–28, 2014.
- [16] D. Palmer, S. Lunceford, and A. J. Patton, “The engagement economy: how gamification is reshaping businesses,” *Deloitte Review*, vol. 11, pp. 52–69, 2012.

- [17] V. W. S. Cheng, T. Davenport, D. Johnson, K. Vella, and I. B. Hickie, “Gamification in apps and technologies for improving mental health and well-being: systematic review,” *JMIR mental health*, vol. 6, no. 6, p. e13717, 2019.
- [18] M. Palacios-Gálvez, C. Yot-Domínguez, and Á. Merino-Godoy, “Healthy heart: promoción de la salud en la adolescencia a través de dispositivos móviles,” *Revista Española de Salud Pública*, vol. 94, p. 202003010, 2020.
- [19] K. V. Rodríguez, J. C. Pardo, L. Dani, S. M. Martín, and J. F. Á. de Tomás, “Gamificación: papel del juego en las aplicaciones digitales en salud,” *FMC: Formación Médica Continuada en Atención Primaria*, vol. 22, no. 7, pp. 369–374, 2015.
- [20] I. M. Pires, G. Marques, N. M. Garcia, F. Flórez-Revuelta, V. Ponciano, and S. Oniani, “A research on the classification and applicability of the mobile health applications,” *Journal of personalized medicine*, vol. 10, no. 1, p. 11, 2020.
- [21] M. Rucker, “Mobile health apps and technology,” 2019.
- [22] R. Damaševičius, R. Maskeliūnas, and T. Blažauskas, “Serious games and gamification in healthcare: a meta-review,” *Information*, vol. 14, no. 2, p. 105, 2023.
- [23] A. S. Miller, J. A. Cafazzo, and E. Seto, “A game plan: Gamification design principles in mhealth applications for chronic disease management,” *Health informatics journal*, vol. 22, no. 2, pp. 184–193, 2016.
- [24] K. Singh, K. Drouin, L. P. Newmark, R. Rozenblum, J. Lee, A. Landman, E. Pabro, E. V. Klinger, and D. W. Bates, “Developing a framework for evaluating the patient engagement, quality, and safety of mobile health applications,” *Issue Brief (Commonw Fund)*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2016.
- [25] L. Sardi, A. Idri, and J. L. Fernández-Alemán, “Gamified mobile blood donation applications,” in *Bioinformatics and Biomedical Engineering: 5th International Work-Conference, IWBBIO 2017, Granada, Spain, April 26–28, 2017, Proceedings, Part I* 5, pp. 165–176, Springer, 2017.
- [26] E. J. Wang, W. Li, D. Hawkins, T. Gernsheimer, C. Norby-Slycord, and S. N. Patel, “Hemaapp: noninvasive blood screening of hemoglobin using smartphone cameras,” in *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 593–604, 2016.
- [27] R. G. Mannino, D. R. Myers, E. A. Tyburski, C. Caruso, J. Boudreaux, T. Leong, G. Clifford, and W. A. Lam, “Smartphone app for non-invasive detection of anemia using only patient-sourced photos,” *Nature communications*, vol. 9, no. 1, p. 4924, 2018.
- [28] M. I. Hasan, S. S. Noordin, R. Hami, N. Ishak, and A. Achuthan, “The effectiveness of iron education through a mobile application on donor return after deferral for low hemoglobin,” *Blood Transfusion*, pp. 446–453, 2022.
- [29] R. P. Córdova Cárdenas, “Diseño e implementación de una aplicación móvil basada en android para la evaluación de anemia ferropénica en personas de acuerdo al nivel de hemoglobina,” B.S. thesis, Universidad del Azuay, 2018.

- [30] A. M. Miguel, “Diseño e implementación de un sistema de monitorización ambulatoria y no intrusiva de hemoglobina,” bachelor’s thesis, ETSI Telecomunicación, 2021.

Anexo A: Aspectos éticos, económicos, sociales y ambientales

En el siguiente apartado, se van a evaluar los aspectos éticos, económicos, sociales y medioambientales y el impacto que produce el desarrollo de este TFG en ellos.

A1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos que persigue el desarrollo del proyecto están directamente relacionados con el proceso de hemodonación como se ha visto en el Capítulo 1. Se pretende optimizar el proceso de hemodonación y en atraer nuevos donantes para seguir enriqueciendo el sistema de transfusión de sangre.

Se ha visto en el Capítulo 2 la creciente acogida por el sector sanitario de aplicaciones móviles gamificadas que sirvan para ayudar a lograr los objetivos que se marquen en cada ámbito dentro del campo de la salud.

Es por ello que la motivación de este TFG es seguir fomentando la integración de la tecnología en el sector de la salud, sentando las bases para el estudio de un sistema ambulatorio y no invasivo de medida de hemoglobina y apoyándose en la flexibilidad que ofrece la aplicación para llegar al mayor número de personas posible.

A2. DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS RELEVANTES RELACIONADOS CON EL PROYECTO

A continuación se van a comentar los impactos del proyecto en temas sociales, económicos, éticos y medioambientales.

Impacto social

Quizás el más notorio de todos, con el desarrollo de este proyecto se busca lograr una reacción en la actitud que engloba un aspecto tan social como puede serlo la hemodonación. Con la atracción de nuevos donantes y optimizando la cadena transfusional de sangre para no perder a donantes activos, el impacto social puede ser muy beneficioso, sobretodo hablando en términos de salud. Además desde el punto de vista tecnológico también supone un avance al seguir introduciendo nuevas tecnologías en ámbitos donde no estaban muy integradas.

Impacto económico

El desarrollo del proyecto también puede suponer un impacto económico. Esto ocurre porque al optimizar el proceso de hemodonación y evitar que donantes que vayan a ser excluidos se desplacen en balde, se pueda emplear mejor el material sanitario, reduciendo el número de bolsas de sangre desechadas y reduciendo el coste económico que supone el material desaprovechado.

Impacto ambiental

Dentro del impacto ambiental, podemos encontrar beneficios en dos puntos principalmente. El primero, está relacionado con el desplazamiento del donante a un proceso de hemodonación en el que no va a poder lograr su propósito. Esto puede suponer un gasto de gasolina y una emisión contaminante por parte del vehículo del donante excluido si éste se ha desplazado en su vehículo personal. Por otra parte, los residuos que se originan por el material sanitario desaprovechado también se verían reducidos.

Aspecto ético

En el aspecto ético relacionado con este estudio, la privacidad personal es un punto delicado que hay que tener muy en cuenta. Durante el desarrollo de este proyecto y como se ha podido comprobar, la preservancia del anonimato del donante ha sido un requisito esencial para el desarrollo de la aplicación, buscando siempre proteger sus datos más personales.

A3. ANÁLISIS DETALLADO DE ALGUNO DE LOS IMPACTOS

Una vez se han visto los distintos impactos que produce el desarrollo del proyecto, se va a profundizar en el aspecto que más relevancia tiene en el estudio, que no es otro que el social. Como se ha comentado y explicado en el Capítulo 1, la sangre es un elemento esencial para el correcto desarrollo de la vida y es por esta razón por la que aportar beneficios al sistema de transfusión sanguínea puede resultar altamente beneficioso para la sociedad en general y en especial, para el sector sanitario. La llamada a nuevos donantes y la permanencia de los habituales en un beneficio social inmenso, de esta manera se siguen dando herramientas de mejora para tan importante ámbito como lo es el de la hemodonación.

A4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo y la implementación de la aplicación móvil que se ha presentado en este TFG, se logra seguir mejorando las métricas del CRHM, ampliando su rango de influencia para poder hacer llegar la donación a todos los ciudadanos que estén en su derecho de ejercerla. El proyecto busca ser lo más beneficioso posible para la sociedad mirando siempre por el bienestar de los donantes, es una ayuda extra para la reducción de gastos económicos y respeta el medioambiente y la privacidad de los usuarios.

Anexo B: Presupuesto económico

El presupuesto consta de los siguientes conceptos:

- Coste de mano de obra.
- Coste de recursos materiales.
- Gastos generales y beneficio industrial.
- Presupuesto total.

Todos los presupuestos se presentarán en euros (€) y aparecen representados en la siguiente tabla.

COSTE DE MANO DE OBRA (coste directo)	Horas	Precio/hora	Total
	380	15 €	5.700 €
COSTE DE RECURSOS MATERIALES (coste directo)			
Ordenador personal (Software incluido)	820,00 €	6	5 136,37 €
Teléfono móvil (Software incluido)	350,00 €	6	5 56,56 €
Placa <i>Nordic Semiconductor® nRF52840 DK</i>	46,25 €	-	- 46,25 €
Placa HW605 con sensor <i>Maxim Integrated™ MAX30102</i>	2,99 €	-	- 2,99 €
COSTE TOTAL DE RECURSOS MATERIALES			
242,17 €			
GASTOS GENERALES (costes indirectos)			
BENEFICIO INDUSTRIAL	15 %	sobre CD	891,33 €
	6 %	sobre CD + CI	356,53 €
SUBTOTAL PRESUPUESTO			
IVA APPLICABLE		21 %	1.509,97 €
TOTAL PRESUPUESTO			
8.700 €			

Tabla 6.1: Presupuesto económico

Anexo C: Base de Datos

En este apartado, se va a mostrar la estructura de la BBDD utilizada durante el proyecto. Como se mencionó en el Capítulo 4, el manejo de esta BBDD se ha conseguido gracias al uso de phpMyAdmin, herramienta que facilita la creación de tablas y establecer relaciones entre éstas de una manera sencilla, sin necesidad de tener conocimientos de alto nivel de SQL.

En la siguiente figura 6.1 se muestran las tablas creadas para el desarrollo de la aplicación y las relaciones existentes.

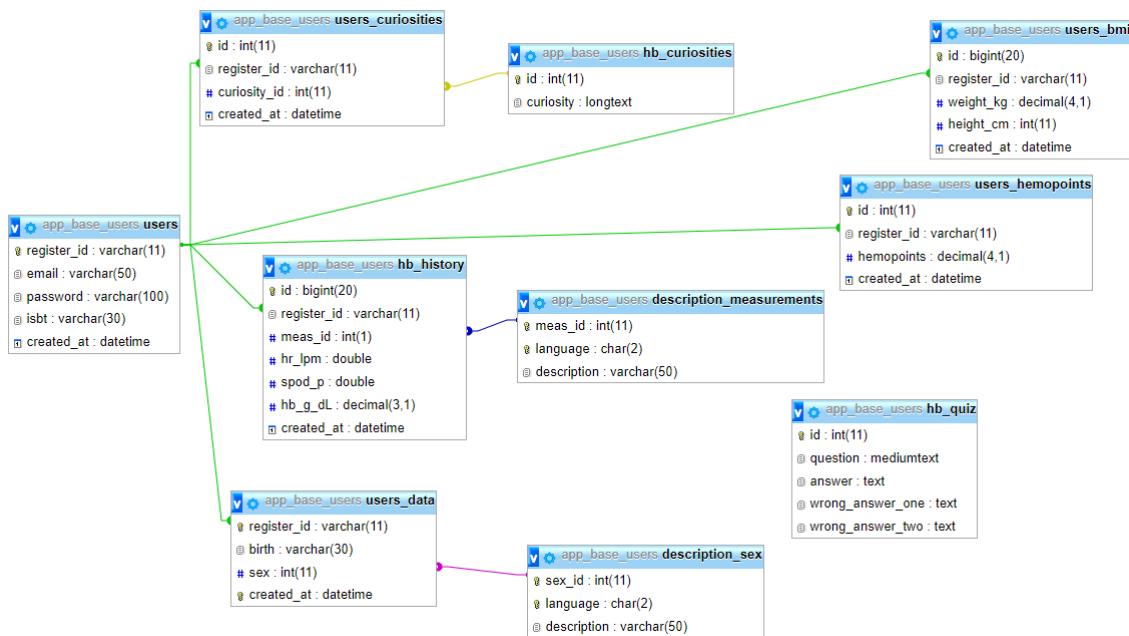


Figura 6.1: Estructura de tablas creadas en la BBDD

Anexo D: Archivos JSON

A lo largo de la lectura de este documento se ha mencionado en varias ocasiones la existencia de los archivos JSON (JavaScript Object Notation), para el envío de datos entre la aplicación y el servidor y en este apartado se va a explicar un poco más a fondo en que consisten y se mostrará un ejemplo real utilizado en la aplicación.

Un archivo JSON basa su formato en texto, no es un archivo ejecutable. Una de las virtudes positivas de los JSON es que son sencillos de leer e interpretar, tanto por las personas como por las máquinas y además ocupan menos espacio que los ejecutables habituales con los que se trabaja en las aplicaciones. Otra ventaja es que se pueden abrir con la mayoría de editores de texto, aunque no todos permiten su edición.

En la aplicación desarrollada se ha trabajado en numerosas ocasiones con archivos JSON como se ha podido comprobar en el Capítulo 3. A continuación en la figura 6.2 se muestra el archivo JSON correspondiente a los cuestionarios, el cual fue visto de manera esquemática en la tabla 3.11 del apartado “Cuestionarios de preguntas” dentro de la sección 3.3.3 del Capítulo 3.

```
{
  "0": {
    "answer": "No, de ninguna manera.",
    "question": "\u00bbfSe puede donar sangre siendo menor de edad?",
    "wrong_answer_one": "S\u00f3ed, con una autorizaci\u00f3n de los padres o tutores legales.",
    "wrong_answer_two": "S\u00f3ed, sin necesidad de autorizaci\u00f3n."
  },
  "1": {
    "answer": "Los hombres, cuatro veces al a\u00f1o; las mujeres, tres veces al a\u00f1o.",
    "question": "\u00bbfc\u00e1ntas veces al a\u00f1o se puede donar sangre?",
    "wrong_answer_one": "Las mujeres, cuatro veces al a\u00f1o; los hombres, tres veces al a\u00f1o.",
    "wrong_answer_two": "Tres veces al a\u00f1o, independientemente del g\u00e9nero."
  },
  "2": {
    "answer": "Aproximadamente 20 minutos.",
    "question": "\u00bbfc\u00e1nto dura una donaci\u00f3n de sangre?",
    "wrong_answer_one": "Aproximadamente 5 minutos.",
    "wrong_answer_two": "Aproximadamente 10 minutos."
  },
  "3": {
    "answer": "Un m\u00e1ximo de 2 meses.",
    "question": "\u00bbfc\u00e1nto tiempo debe pasar entre donaciones de sangre?",
    "wrong_answer_one": "Un m\u00e1ximo de 2 meses.",
    "wrong_answer_two": "Entre 3 y 4 meses."
  },
  "4": {
    "answer": "Plasma, gl\u00f3bulos rojos, gl\u00f3bulos blancos y plaquetas.",
    "question": "\u00bbfd\u00e9 qu\u00e9 elementos est\u00f3n formada la sangre principalmente?",
    "wrong_answer_one": "Gl\u00f3bulos rojos, gl\u00f3bulos blancos y mitocondrias.",
    "wrong_answer_two": "Plasma, plaquetas, gl\u00f3bulos rojos, ganglios y hierro."
  }
}
```

Figura 6.2: Ejemplo de archivo JSON utilizado en la aplicación, correspondiente a los datos de los cuestionarios