**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**
**ESCUELA DE INGENIERÍA**
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

# SISTEMA DE TELEMONITOREO PARA SUJETOS CON INSUFICIENCIA CARDÍACA

JUAN DAVID MARTÍNEZ GUALDRÓN

JESÚS SNEIDER VALERO MEDINA

**PROYECTO DE GRADO**

**BUCARAMANGA**

**2021**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**
**ESCUELA DE INGENIERÍA**
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

# SISTEMA DE TELEMONITOREO PARA SUJETOS CON INSUFICIENCIA CARDÍACA

JUAN DAVID MARTÍNEZ GUALDRÓN

JESÚS SNEIDER VALERO MEDINA

**PROYECTO DE GRADO**

Presentado ante la Universidad Pontificia Bolivariana
Como requisito para optar al título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Realizado con la asesoría de:

MSc. Silvia Alejandra Sotelo López

**BUCARAMANGA**

**2021**

# DEDICATORIA

La presente tesis de grado lo dedicamos principalmente a Dios y la Virgen María, por ser la fuente de inspiración y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

Ha sido el orgullo y privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres. A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas. A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos durante estos años.

*Juan David Martínez Gualdrón*

*Jesús Sneider Valero Medina*

# AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la vida y guiarnos a lo largo de nuestra existencia, siendo el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad. Gracias a nuestros padres: Jesús Martínez y Rocío Gualdron; y, Pedro Valero y Patricia Medina, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A MSc. Silvia Sotelo, por el apoyo brindado en nuestra etapa profesional, agradecemos su paciencia y colaboración durante el desarrollo de este proyecto a pesar de las dificultades que surgieron lo que permitió llevar a buen término este trabajo.

Agradecemos a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de nuestra preparación profesional. Y nuestra familia, esa que siempre ha sido, es y será nuestro norte, infinitas gracias por tanto apoyo, porque sin todas sus enseñanzas y su amor incondicional no estaríamos donde nos encontramos.

# TABLA DE CONTENIDO

## Contenido


INTRODUCCIÓN ..... 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 4

1.1 Definición del problema ..... 4

1.2 Estado del Arte ..... 7

1.2.1 Antecedentes ..... 7

1.2.2 Aplicaciones Móviles ..... 9

1.3 Objetivos ..... 10

1.3.1 Objetivo general ..... 10

1.3.2 Objetivos específicos ..... 10

1.4 Justificación ..... 11

2. MARCO TEÓRICO ..... 13

2.1. Insuficiencia Cardíaca ..... 13

2.1.1. Definición ..... 13

2.1.3. Signos y Síntomas ..... 14

2.1.4. Comorbilidades en IC ..... 15

2.1.5. Escala New York Heart Association (NYHA) ..... 16

2.1.6. Progresión de la enfermedad ..... 16

2.1.7. Diagnóstico y evaluación inicial de IC ..... 17

2.1.8. Tratamientos para IC ..... 20

2.2. Monitoreo no invasivo ..... 22

2.3. Parámetros comúnmente monitoreados ..... 23

2.3.1. Peso ..... 23

2.3.2. Presión Arterial ..... 23

2.3.3. Frecuencia Cardíaca ..... 24

2.3.4. Electrocardiograma ..... 24

2.3.5. Sintomatología ..... 25

2.4. Educación sobre la patología ..... 25

2.5. Dispositivos de medición de parámetros fisiológicos ..... 26

2.5.1. Tensiómetros ..... 26

2.5.2. Básculas médicas ..... 28

2.5.3. Pulseras y relojes inteligentes ..... 31

2.6. Sistema operativo ..... 34

2.6.1. Android ..... 35

2.6.2. iOS ..... 35

2.7. Lenguajes y plataformas para desarrollo móvil ..... 37

2.7.1. Lenguajes de programación ..... 37

2.7.2. Plataformas para desarrollo móvil ..... 39

3. FASE DE IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN ICARE 42

3.1. Variables Fisiológicas ..... 43

3.2. Rangos de parámetros a monitorear .....44
3.2.1. Peso..... 44
3.2.2. Presión Arterial..... 45
3.2.3. Frecuencia Cardíaca..... 47
3.2.4. Síntomas..... 48
3.3. Fases de desarrollo.....51
3.4. Requerimientos de desarrollo.....52
3.4.1. Hardware..... 52
3.4.2. Software..... 52
3.4.3. Instrumentos de medición..... 54
3.5. Diseño de la aplicación.....56
3.5.1. Diseño de la UI..... 62
3.6. Desarrollo de la aplicación.....64
3.6.1. Configuración de Firebase como base de datos..... 64
3.6.2. Página principal..... 65
3.6.3. Autenticación de usuario..... 66
3.6.4. Pestaña de mediciones y seguimiento de parámetros fisiológicos..... 68
3.6.5. Página de registro de síntomas e historial médico..... 87
3.6.6. Página de reuniones mediante videollamadas..... 92
3.6.7. Página de Educación al Usuario..... 95
3.6.8. Página Perfil de Usuario..... 99

4. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN ICARE.....102

4.1. Verificación del sistema de alarmas de PA y FC .....103

4.2. Verificación del sistema de alarmas de peso.....105

4.3. Reporte de historial de mediciones.....107

4.4. Analítica para el seguimiento de la actividad en la aplicación.....108

4.5 Evaluación de la aplicación por expertos del área de la salud .....111

5. FINALIZACIÓN DEL DOCUMENTO Y CONCLUSIONES.....119

5.1. Conclusiones.....120

5.2. Trabajos futuros.....122

REFERENCIAS.....123

FORMULARIO DE RETROALIMENTACIÓN DE ICARE.....132

LINK DE DESCARGA Y CÓDIGO QR DE ICARE .....137

LINK DE DESCARGA Y CÓDIGO QR DE ICARE MEETINGS.....138

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Signos y síntomas de la IC..... 15

Tabla 2. Etapas de la IC ..... 17

Tabla 3. Evaluación inicial de sujetos diagnosticados con IC ..... 18

Tabla 4. Criterios de Framingham para diagnóstico de IC ..... 20

Tabla 5. Parámetros recomendados a monitorear por Asociaciones Cardiológicas ..... 44

Tabla 6. Categorías de la PA ..... 47

Tabla 7. Categoría de FC..... 48

Tabla 8. Preguntas del registro de signos y síntomas ..... 50

Tabla 9. Valores normales de cada parámetro fisiológico ..... 51

Tabla 10. Enfermedades presentes en el registro del historial médico ..... 90

Tabla 11. Valores de verificación para PA ..... 104

Tabla 12. Valores de verificación para FC..... 105

Tabla 13. Valores de verificación para peso ..... 106

Tabla 14. Cronograma de actividades y socialización FCV ..... 112

Tabla 15. Rangos de parámetros fisiológicos de la FCV ..... 115

Tabla 16. Preguntas del registro de signos y síntomas de la FCV..... 117

Tabla 17 Formulario de evaluación de la FCV..... 118

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tensiómetro analógico ..... 26

Figura 2. Tensiómetro digital OMRON M2 BASIC ..... 27

Figura 3. Tensiómetro digital HYLOGY MD-H12 ..... 28

Figura 4. Báscula mecánica ..... 29

Figura 5. Báscula analógica ..... 30

Figura 6. Báscula digital ..... 31

Figura 7. Xiaomi Mi Smart Band 4 ..... 32

Figura 8. Fitbit Inspire HR ..... 33

Figura 9. Garmin Vivo Smart 4 ..... 34

Figura 10. Comparación en el mercado por SO ..... 36

Figura 11. Fases de desarrollo de la aplicación ..... 51

Figura 12. Dispositivos vestibles utilizados para la adquisición de FC y PA ..... 55

Figura 13. Instrumento utilizado para la medición de peso ..... 55

Figura 14. Diseño conceptual de la aplicación ..... 57

Figura 15. Estructura del sistema de monitoreo remoto ..... 58

Figura 16. Cifrado de autenticación de usuarios ..... 60

Figura 17. Diseño de la UI en Adobe XD ..... 63

Figura 18. Página de bienvenida de la aplicación ..... 66

Figura 19. Iniciar sesión con Google ..... 67

Figura 20. Pestañas de navegación dentro de ICare ..... 68

Figura 21. UI de la página de mediciones de parámetros fisiológicos ..... 69

Figura 22. Página de FC sin valores añadidos ..... 71
Figura 23. UI para añadir una nueva lectura de FC ..... 72
Figura 24. Diagrama del sistema de alarmas para FC ..... 73
Figura 25. Página de detalle para del monitoreo de FC ..... 74
Figura 26. Páginas de detalle de PA sin valores añadidos ..... 75
Figura 27. Opciones del botón flotante para PA ..... 76
Figura 28. Página para añadir nuevas lecturas de PA ..... 77
Figura 29. Diagrama del sistema de alarmas para PA ..... 79
Figura 30. Correo electrónico de alarma para PA ..... 80
Figura 31. Encuesta de satisfacción para especialistas ..... 81
Figura 32. Páginas de detalle para PA sistólica y diastólica ..... 82
Figura 33. Página de peso sin valores añadidos ..... 83
Figura 34. Página para añadir mediciones de peso ..... 84
Figura 35. Diagrama del sistema de alarmas para peso ..... 85
Figura 36. Página de detalle para peso ..... 86
Figura 37. Alarma de peso por ganancia mayor a 2 kg ..... 87
Figura 38. Página de registro de síntomas e historial médico ..... 88
Figura 39. Interfaz de registro del historial médico del sujeto ..... 89
Figura 40. Interfaz de registro de signos y síntomas ..... 91
Figura 41. Interfaz de reuniones virtuales ..... 92
Figura 42. ICare Meetings para especialistas ..... 93
Figura 43. Añadir seguridad a la sala de reunión ..... 95
Figura 44. Interfaz de educación al usuario ..... 96
Figura 45. Sección de ejercicios y actividades físicas ..... 97

Figura 46. Interfaz de educación alimentaria ..... 98
Figura 47. Interfaz de alimentos ..... 99
Figura 48. Perfil de usuario ..... 100
Figura 49. Centro de reporte de historial ..... 101
Figura 50. Términos de servicio y políticas de privacidad de ICare ..... 101
Figura 51. Alerta de aumento de peso..... 107
Figura 52. Reporte de historial de mediciones ..... 108
Figura 53. Usuarios activos en la aplicación..... 109
Figura 54. Interacción diaria de usuarios en la aplicación ..... 110
Figura 55. Información del dispositivo móvil del usuario ..... 111

# LISTA DE SIGLAS

| | |
|---|---|
| IC | Insuficiencia Cardíaca |
| ENT | Enfermedades no Transmisibles |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| COP | Peso Colombiano |
| API | Interfaz de Programación de Aplicaciones |
| ECG | Electrocardiograma |
| PDA | Asistente Digital Personal |
| ESC | Sociedad Europea de Cardiología |
| ACC | Colegio Americano de Cardiología |
| AHA | Asociación Americana del Corazón |
| NYHA | Asociación del Corazón de Nueva York |
| HTA | Hipertensión Arterial |
| DM | Diabetes Mellitus |
| PA | Presión Arterial |
| FC | Frecuencia Cardíaca |
| HFSA | Sociedad de Falla Cardíaca de América |
| CCS | Sociedad Cardiovascular Canadiense |
| NHFA | Fundación Nacional del Corazón de Australia |
| CSANZA | Sociedad Cardíaca de Australia y Nueva Zelanda |
| CSCCS | Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular |
| ASC | Sociedad Argentina de Cardiología |
| USC | Sociedad Uruguaya de Cardiología |
| MACAC | Asociaciones Médicas de América Central y el Caribe |
| MLHFQ | Minnesota Living with Heart Failure Questionnaire |
| ECA | Enfermedad Cardiovascular Ateroesclerótica |
| FCV | Fundación Cardiovascular |

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

| | |
|---|---|
| **TITULO:** | SISTEMA DE TELEMONITOREO PARA SUJETOS CON INSUFICIENCIA CARDÍACA |
| **AUTOR(ES):** | Juan David Martínez Guadrón<br>Jesús Sneider Valero Medina |
| **PROGRAMA:** | Facultad de Ingeniería Electrónica |
| **DIRECTOR(A):** | Silvia Alejandra Sotelo López |

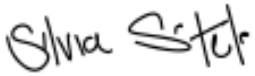
### RESUMEN

La insuficiencia cardíaca (IC) se conoce como la incapacidad del corazón de aportar sangre, y por ende oxígeno, al organismo. Es una anomalía en la estructura y funcionalidad del corazón la cual compromete el llenado y eyección ventricular. Es considerada una de las mayores causas de hospitalización, que puede aumentar con la edad volviéndose progresiva y letal. Según las asociaciones de cardiología a nivel mundial, esta patología puede ser controlada mediante el monitoreo continuo de variables fisiológicas como la presión arterial, frecuencia cardíaca, peso, entre otras; así como los factores de riesgo que pueden ser definidos por signos y síntomas durante su fase de tratamiento. Por otra parte, el monitoreo remoto ha sido una de las herramientas más prometedoras durante la pandemia del COVID- 19 ya que permite un seguimiento constante de diferentes enfermedades, aliviando la carga que se puede presentar sobre el sistema de atención de salud.

Dada esta problemática, surge ICare, un sistema de monitoreo remoto que permite un seguimiento clínico para sujetos diagnosticados con IC, con el que se busca disminuir los casos de rehospitalización a causa de descompensaciones durante el tratamiento. Esta aplicación cuenta con diferentes herramientas que ayudarán a la gestión de la patología a partir del seguimiento de variables fisiológicas que genera mensajes de alerta como consecuencia del registro de valores atípicos. Además, cuenta con un registro de síntomas e del historial médico que facilita la toma de decisiones por parte del especialista. También incluye una sección de video llamadas que permite el encuentro virtual entre médico y paciente en caso que sea necesario y otra sección de educación que promueve el autocuidado y brinda recomendaciones al usuario sobre ejercicios y alimentación, además de documentación relacionada con la patología.

**PALABRAS CLAVE:**

Insuficiencia Cardíaca, Monitoreo remoto, Hospitalización, Variables fisiológicas



**Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** TELEMONITORING SYSTEM FOR SUBJECTS WITH HEART FAILURE

**AUTHOR(S):** Juan David Martínez Guadrón
Jesús Sneider Valero Medina

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Silvia Alejandra Sotelo López

### ABSTRACT

Heart failure (HF) is known as the inability of the heart to supply blood, and therefore oxygen, to the body. It is an abnormality in the structure and function of the heart that compromises ventricular filling and ejection. It is considered one of the major causes of hospitalization, which may increase with age and become progressive and lethal. According to cardiology associations worldwide, this pathology can be controlled by continuous monitoring of physiological variables such as blood pressure, heart rate, weight, among others, as well as risk factors that can be defined by signs and symptoms during the treatment phase. On the other hand, remote monitoring has been one of the most promising tools during the COVID- 19 pandemic as it allows for constant follow-up of different diseases, alleviating the burden that can be placed on the health care system.

Given this problem, ICare arises, a remote monitoring system that allows for clinical follow-up for subjects diagnosed with HF, which seeks to reduce cases of re-hospitalization due to decompensation during treatment. This application has different tools that will help to the management of the pathology based on the monitoring of physiological variables that generates alert messages as a result of the recording of atypical values. In addition, it has a record of symptoms and the medical history that facilitates decision making by the specialist. It also includes a video call section that allows virtual meeting between doctor and patient if necessary, and an education section that promotes self-care and provides recommendations on exercises and nutrition, as well as documentation related to the pathology.

**KEYWORDS:**

Heart failure, Remote monitoring, Hospitalization, Physiological variables

Silvia Sotelo

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

# INTRODUCCIÓN

Con la llegada de la pandemia ha surgido la necesidad de digitalizar nuestro estilo de vida, sin lugar a duda, la crisis sanitaria ha afectado en mayor medida al sector de la salud, el cual se ha visto obligado a priorizar los pacientes del COVID-19. Dada la alta tasa de contagios y el riesgo inminente a sujetos con problemas de salud como la diabetes, el cáncer, la obesidad, enfermedades cerebrovasculares y respiratorias, entre otras; las cuales requieren un seguimiento continuo para lograr una reducción en las tasas de rehospitalización a causa de complicaciones, se han generado propuestas sobre programas multidisciplinarios de tratamiento post alta, tal como el monitoreo remoto.

El monitoreo remoto es una herramienta prometedora que potencialmente puede aliviar parte de la carga que se puede presentar sobre el sistema de atención de la salud al empoderar a los sujetos para que cuiden de sí mismos. De igual forma, permite una atención clínica más eficiente, a través de alertas automáticas al detectar una señal que indique un deterioro en el estado de salud del paciente (Seto et al., 2012).

La insuficiencia cardíaca (IC) se conoce como la incapacidad del corazón de aportar oxígeno, por medio de la sangre, en una tasa acorde con los requerimientos metabólicos del organismo. Así mismo, esta patología es considerada la más seria y causante de mayor número de muertes en occidente. Esta condición se presenta en su mayoría en personas mayores a 65 años. Así, una de cada diez personas de la tercera edad presenta IC, por dicho motivo se considera esta patología la causa más frecuente de hospitalización en Colombia,

superando a enfermedades como problemas respiratorios, digestivos e incluso las neurológicas (Jaramillo, 2014).

Actualmente, existen sistemas de soporte computarizados para decisiones clínica aplicados al diagnóstico y diseño de planes de tratamiento para la IC, dichos sistemas están basados en guías de práctica clínica (Swedberg et al., 2005). A pesar de que han sido desarrollados métodos para transformar dichas guías (Goud, 2009), no existen pautas que sean lo suficientemente completas para el uso directo en el área, relativamente nueva, de apoyo y alerta aplicado en sujetos diagnosticados con IC que facilite el seguimiento y desarrollo de esta patología.

Dadas estas consideraciones y debido al incremento del interés en encontrar y desarrollar métodos de seguimiento y detección temprana de signos de descompensación clínica en la IC a causa de la pandemia, en este trabajo se presenta el prototipo de un sistema de monitoreo remoto para sujetos diagnosticados con IC, a través de un seguimiento no invasivo de las variables fisiológicas del peso, la presión sanguínea y el ritmo cardíaco; dichas variables serán medidas usando dispositivos vestibles y serán monitoreadas por medio de una aplicación móvil. En particular, esta aplicación generará alarmas, tanto al paciente como al especialista, dependiendo de la variabilidad y cambios abruptos en los parámetros monitoreados de acuerdo a rangos definidos por las diferentes comunidades científicas. A su vez, la aplicación brindará educación a los sujetos sobre esta patología con el fin de promover el autocuidado y la adherencia al tratamiento.

La estructura del presente documento se compone de la siguiente forma:

El capítulo 1 presenta la situación problema. En primera instancia, se explica la problemática, luego se muestran los trabajos realizados anteriormente por otros autores relacionados con sistemas de monitoreo remoto para IC con el fin de proponer el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo, y para finalizar se da a conocer la justificación del presente trabajo.

En el capítulo 2 se exhibe el marco teórico que permite comprender el trabajo realizado. Expone la teoría relacionada con la IC, su definición, etiologías, progresión de la enfermedad, entre otros aspectos. Así mismo, se presenta la teoría correspondiente al monitoreo no invasivo, los parámetros comúnmente monitoreados en IC y la importancia de la educación sobre la patología a los sujetos diagnosticados.

En el capítulo 3 se plantea el desarrollo de este trabajo de grado. Se describe a detalle los procedimientos realizados en cada una de las fases del trabajo: revisión de la información bibliográfica, análisis y especificación de la variabilidad y rangos anormales para cada una de las variables fisiológicas seleccionadas y el diseño y elaboración de la aplicación móvil.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos por medio de la puesta en marcha de la aplicación bajo entornos reales simulados, con el fin de dar cumplimiento al objetivo planteado.

Por último, en el capítulo 5 se finaliza el documento con las conclusiones del trabajo llevado a cabo y trabajos a futuro que puedan mejorar no solo el desempeño del sistema de monitoreo remoto, sino también el desarrollo de un sistema más robusto para la generación de las alarmas.

# CAPÍTULO 1

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Definición del problema

El mundo se ha apartado considerablemente de lo que resultaba una vida "normal". La llegada del coronavirus, o también denominado "COVID-19", ha transformado cuantitativamente lo que es considerado la normalidad para muchos. Sin embargo, el mayor afectado por causa de esta pandemia es el sector de la salud, quienes se han visto obligados a combatir este virus de forma directa ocasionando una interrupción generalizada en la prestación de servicios de enfermedades no transmisible (ENT).

De acuerdo con una encuesta realizada a 155 países durante 3 semanas en el mes de mayo 2020 por la OMS, se evidencia un impacto mundial que ha afectado gravemente a los proveedores de servicios encargados del tratamiento y prevención de ENT desde el comienzo de la crisis sanitaria. Dicha situación resulta muy preocupante ya que los sujetos que padecen ENT presentan un mayor riesgo de contraer el coronavirus y su posibilidad de morir es demasiado alta, siendo los países de bajos ingresos los que se verán más afectados. "Muchas personas que necesitan prescripción contra enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes se han visto afectados al no recibir el servicio médico respectivo. Resulta de gran necesidad que los países encuentren formas innovadoras de brindar y garantizar la calidad de los servicios contra las ENT, incluso mientras atienden la crisis causada por el COVID-19" (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2020).

La principal afección se presenta en la asistencia a problemas de salud, los cuales se han visto interrumpidos en diferentes países de forma parcial o incluso total. De la encuesta realizada se estima que aproximadamente un 53 % de los países encuestados han pausado la asistencia para el tratamiento de la hipertensión; un 49 % la asistencia para la diabetes; un 42 % los servicios para el cáncer, y un 31 % para enfermedades cardiovasculares tales como la IC. La razón de dicho aplazamiento es causada en su mayoría por la reasignación del personal encargado en el área de las ENT debido a la necesidad emergente de apoyar la respuesta al COVID-19 (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2020).

Parece proceder una correlación entre los niveles de aislamiento en los servicios de asistencia para las ENT con el progreso del brote del coronavirus en una región. Dichos servicios se verán interrumpidos cada vez más en función de los casos esporádicos registrados diariamente, así como las posibilidades de un rebrote. Por esto, resulta de gran importancia implementar estrategias de prestación de servicios para las ENT como una forma no solo de brindar una calidad de servicio adecuada sino también resguardar la vida de estos sujetos dado que son los más vulnerables frente al COVID-19.

En particular, la IC es más común en adultos mayores y necesita de un monitoreo frecuentemente debido a que su tasa de mortalidad es demasiado alta; además del hecho de que no es recomendable que una persona de la tercera edad tenga que ir regularmente a un hospital y exponerse a contraer el COVID-19. La IC se conoce como la incapacidad del corazón de aportar oxígeno, por medio de la sangre, en una tasa acorde con los requerimientos metabólicos del organismo. Así mismo, esta patología es considerada la más seria y causante de mayor número de muertes en occidente. Esta condición se presenta más comúnmente en personas mayores a 65 años. Así, una de cada diez personas de la tercera edad presenta IC,

por dicho motivo se considera esta patología la causa más frecuente de hospitalización en Colombia, superando a enfermedades como problemas respiratorios, digestivos e incluso las neurológicas (Jaramillo, 2014).

Las causas más comunes de hospitalizaciones son debido a sobrecarga de líquidos y / o empeoramiento de la función renal, incumplimiento tanto de medicación como de dieta, la falta de conocimiento sobre los síntomas y la forma de tratar dicha enfermedad. Estudios han mostrado que 30 % de los sujetos diagnosticados con IC son readmitidos al menos una vez dentro de los primeros 90 días y dicho valor varía entre 25 % y 54 % dentro de los primeros 3 a 6 meses (Abdar et al., 2019).

Se estima que el costo mensual promedio del tratamiento ambulatorio de sujetos con IC es de 304.318 COP, de los cuales los medicamentos derivan como la fuente principal de consumo de recursos. De igual forma, el costo promedio de hospitalización por descompensación de IC es de 6.427.887 COP, siendo la estancia hospitalaria la mayor causante de dicho costo (Tamayo et al., 2013).

Por lo anterior, se pretende contribuir tanto al manejo de la patología como al monitoreo remoto de sujetos diagnosticados con IC con el fin de resguardar su salud, a partir de la elaboración de un sistema de telemonitoreo que sea capaz de enviar una serie de alertas al especialista al momento de detectar un cambio o un valor anormal que pueda ser indicador de posibles complicaciones en el estado de salud del paciente. Así mismo, que dicho sistema provea educación sobre la enfermedad, genere recomendaciones sobre actividades físicas y suministre al usuario información respecto a dietas o alimentos recomendables dada su condición; todo esto con el fin de concientizar y promover el autocuidado.

## 1.2 Estado del Arte

El monitoreo remoto se refiere a la transmisión de puntuaciones de síntomas, datos fisiológicos para su análisis e interpretación, a través de medios tecnológicos que funcionan como puente entre médico y usuario, introduciendo información de mediciones, entre ellas: frecuencia cardíaca, presión arterial, saturación de oxígeno, entre otras. Dichos dispositivos de procesamiento de datos, tales como teléfonos móviles y / o dispositivos inalámbricos poseen infraestructuras y funcionalidades que facilitan el almacenamiento y tratamiento de datos tomados de forma invasiva y no invasiva por medio de sensores, dispositivos médicos, entre otros. Dada la mejora tecnológica es posible monitorear y tomar decisiones de forma oportuna ante eventos crónicos o inesperados por medio del análisis y procesamiento de la información tomada (Mathew et al., 2018).

El monitoreo remoto utiliza tecnología de la información para el tratamiento de sujetos a distancia. Las aplicaciones con mayor relevancia en la monitorización remota han sido para enfermedades cardiopulmonares, asma e IC, permitiendo que el personal de emergencias se encuentre mejor preparados; reduciendo así complicaciones de enfermedades crónicas gracias a un constante seguimiento, disminuyendo el tiempo de tratamiento como los costos de hospitalización por ocupación de camas (Meystre, 2005).

### 1.2.1 Antecedentes

A continuación, se presentan algunas propuestas que tienen como finalidad la asistencia para diagnosticados con IC.

En primer lugar, se encuentra el sistema SiTe iC. Este sistema consiste en una aplicación móvil llamada mHealth para sujetos con IC, un sitio web para los doctores encargados de

monitorear a los sujetos y un servidor en el cual corre una interfaz de programación de aplicaciones (API) para permitir comunicación entre la aplicación móvil y el sitio web. Las variables fisiológicas medidas por esta aplicación fueron el peso, el ritmo cardíaco y la presión sanguínea, sin embargo, dichas variables fueron tomadas en un centro médico lo cual restringía su uso para sujetos que se encontraban hospitalizados. Algunas de las funcionalidades de la aplicación móvil son el monitoreo de las variables diariamente, hacer preguntas sobre síntomas relacionado con IC, alertar al doctor encargado sobre posibles situaciones riesgosas y educar a los sujetos sobre hábitos y el autocuidado (Yanicelli et al., 2020).

Así mismo, MUSIC consiste en un diseño encargado de validar algoritmos de predicción que esta adherido al tórax, agregando un dispositivo externo para el análisis y monitoreo de variables como la frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, intensidad de la actividad física que ayudarían en la prevención de IC, con la capacidad de recolectar información generada a través de señales fisiológicas para la construcción de un algoritmo de detección multiparamétrico que dio como resultados una sensibilidad en el cohorte de validación igual al 63% y una tasa de exclusión en el dispositivo del 41% aproximadamente, resulta necesario la implementación de estudios futuros para determinar la fiabilidad del sistema en el tratamiento de sujetos (Anand et al., 2012).

Finalmente, el sistema de monitoreo remoto para pacientes con IC usando tecnología celular, consiste en dispositivos domésticos vestibles para medir ECG, peso corporal, presión sanguínea y mediciones de autoevaluación conectados a un asistente personal digital (PDA) vía Bluetooth, el cual posee una opción de pantalla táctil para una autoevaluación del sujeto a escala. Dicha información es transmitida por el PDA vía teléfono móvil a centrales de

servicio donde las variables fisiológicas tomadas son organizadas y analizadas en una estación de trabajo de telemedicina que incorpora un registro electrónico del sujeto al cual puede acceder los centros tele médicos disponibles para el sujeto. De igual forma, el sistema posee una opción de llamada de emergencia que provee contacto directo a los profesionales del cuidado de la salud. Para casos graves, se establece una línea directa con el servicio de coordinación de rescate local para apoyo de emergencia. Para casos menos críticos, el sistema provee la posibilidad de comunicación directa con el médico de cabecera, un especialista o un departamento del hospital local para realizar conferencias con el fin de discutir e implementar la atención médica adecuada (Winkler et al., 2011).

### 1.2.2 Aplicaciones Móviles

Algunas aplicaciones móviles han sido desarrolladas hasta la fecha con el fin de brindar ayuda para la interpretación, el manejo y la educación de patologías relacionadas con la IC. A pesar que estas aplicaciones se encuentran en español y son accesibles para sujetos de habla hispana, su funcionalidad no va más allá de brindar educación, en comparación con las aplicaciones presentadas anteriormente, en lengua inglesa, cuyas funcionalidades abarcan el monitoreo y análisis de variables fisiológicas. Algunas de estas aplicaciones son las mostradas a continuación.

*Insuficiencia Cardíaca* es una aplicación móvil para dispositivos Android, que sirve de asistencia en la interpretación de la semiología clínica, la cual permite evaluar síntomas, signos de un sujeto, de manera que puede identificar las causas de origen. Además, incluye una serie de recomendaciones generales para la utilización de los fármacos más habituales como opción de tratamiento y como realizar el seguimiento ambulatorio de la IC. Todo enmarcado en generar consejos a los usuarios y soluciones que se darían con frecuencia para

estos problemas clínicos. La aplicación fue desarrollada por Miguel Ángel García Fernández (cardiólogo) y Pilar Rodríguez Ledo (médico de atención primaria), ajustándose a diferentes niveles de conocimiento (Fernández, 2014).

Por otra parte, ICapp es una adaptación de evidencias científicas relevantes en la IC, fundamentados principalmente en la guía de práctica clínica de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC) en 2016. Es un mecanismo informático sencillo y de fácil uso en cualquier soporte electrónico, como lo son ordenadores, teléfonos móviles o tabletas. Fue desarrollado por expertos en el manejo de la IC, donde se simulan tratamientos de IC, desde el comienzo de síntomas hasta la prevención secundaria en fase crónica (Marzal, 2017).

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo remoto para sujetos con insuficiencia cardíaca apoyado por dispositivos vestibles que faciliten la gestión de esta patología.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los rangos de variabilidad para parámetros fisiológicos, como el peso, la presión sanguínea y el ritmo cardíaco, que representan un signo de alarma; además de los requerimientos que faciliten la toma de decisiones por parte del especialista.
- Diseñar y desarrollar una aplicación móvil que permita el monitoreo de sujetos diagnosticados con Insuficiencia Cardíaca utilizando las medidas de variables fisiológicas obtenidas a través dispositivos vestibles.

- Evaluar la funcionalidad y sensibilidad del sistema de monitoreo a través del estudio de casos simulados por un profesional del área.

## 1.4 Justificación

Las tecnologías de la información y comunicación se han convertido en herramientas novedosas en la actualidad, las cuales, se han venido implementando en los últimos años como una estrategia de digitalización en diferentes sectores incluyendo el área de la salud. Factores que favorecen el bienestar se han visto beneficiados a través de la monitorización, la educación estructurada sobre la patología como su definición, los síntomas que se pueden presentar, los tratamientos más utilizados, las dietas recomendadas a sujetos con IC, entre otras; el seguimiento y la motivación en sujetos que padecen diferentes enfermedades se han visto beneficiados gracias a estas tecnologías (Hernández et al., 2017), especialmente durante la época de pandemia que se vive actualmente.

Algunas de las novedosas tecnologías de costo reducido que el sistema de salud ha empleado en diferentes grupos de pacientes, se encuentran las videollamadas o llamadas por voz y el envío de correos electrónicos y mensajes de texto por medio de dispositivos móviles. Dichas estrategias han mostrado resultados prometedores que generan un gran impacto, especialmente, en el reconocimiento temprano de descompensaciones, la adherencia al tratamiento y la reducción en la admisión a hospitales por complicaciones. Así mismo, la implementación de dichas tecnologías debe permitir establecer un canal de comunicación no presencial entre el médico y el paciente con el fin de evitar la brecha existente con el personal de la salud (Hamine et al., 2015).

Dada la crisis sanitaria actual y la necesidad emergente de aligerar la cantidad de sujetos en centros hospitalarios, así como reducir la tasa de contagios especialmente en personas con antecedentes médicos y la ausencia de aplicaciones en español para el monitoreo remoto a sujetos con IC, desde el grupo de investigación en bioingeniería, señales y microelectrónica (BISEMIC) de la Universidad Pontificia Bolivariana, surge la propuesta de diseñar y desarrollar un sistema de monitoreo remoto que permita un seguimiento no invasivo de algunas variables fisiológicas en sujetos diagnosticados con IC con el fin de detectar y generar alertas sobre posibles anomalías o cambios abruptos en dichos parámetros para informar tanto al sujeto como al profesional de la salud con respecto a posibles complicaciones en el tratamiento y se puedan tomar las medidas correspondientes para resguardar la salud del paciente. Asimismo, brindar un servicio de educación sobre la patología para mejorar la adherencia al tratamiento y concientizar al sujeto sobre la importancia del autocuidado.

# CAPÍTULO 2

# MARCO TEÓRICO

## 2.1. Insuficiencia Cardíaca

### 2.1.1. Definición

La IC se considera como un síndrome complejo que se presenta debido a una anomalía en la estructura y funcionalidad del corazón, comprometiendo el llene o la eyección ventricular. Generalmente está precedida por anormalidades cardiovasculares funcionales y estructurales asintomáticas que aumenta progresivamente (Farmakis, Parissis, Lekakis, Filippatos, 2015). En algunos casos, esta condición es causada por alteraciones del pericardio, miocardio, válvulas, vasos coronarios, grandes vasos o anormalidades metabólicas. Una medición normal de IC en estado de reposo para un adulto oscila entre los 50 o 60 pulsaciones por minuto (ppm) hasta los 85 o 100 ppm. Según ACC/AHA, la IC se puede controlar mediante el monitoreo continuo tanto de variables fisiológicas como la presión arterial, frecuencia cardíaca, peso entre otras, así como factores de riesgo que pueden ser definidos por medio de signos o síntomas que se pueden presentar durante la fase de tratamiento (Arnett et al., 2019).

Los síntomas y signos más comunes que se pueden presentar debido a esta patología son los mostrados en la sección 2.1.3. Algunas de las etiologías de la IC son: miocardiopatías, cardiopatía isquémica, enfermedad valvular, hipertensión arterial, cardiopatías congénitas, entre otras (ALFARO et al., 2015). Siendo la mayor causa de hospitalización en personas mayores a 65 años, se trata de una afección que puede aumentar con la edad, volviéndose

progresivo y letal, con signos y síntomas causados por disfunciones cardíacas que podría disminuir los años de vida de una persona. (Mosterd, 2007).

### 2.1.2. IC Crónica vs Aguda

Generalmente al hablar de IC, se entiende como una condición crónica, donde pueden ocurrir trastornos que indiquen un estado de empeoramiento en la evaluación de signos y síntoma, en algunos casos siendo necesario tomar medidas tempranas como la visita con más frecuencia de un médico especialista o condiciones no deseables como la hospitalización (ALFARO et al., 2015). IC se presenta de forma aguda al aparecer síntomas o signos graves dentro de un periodo de 24 horas, presentándose clínicamente de varias maneras:

- Edema agudo pulmonar secundario o disfunción cardíaca.
- Ataque cardiogénico, usualmente por un síndrome coronario agudo caracterizado por hipotensión, oliguria y vasoconstricción periférica.
- Empeoramiento agudo de la IC

### 2.1.3. Signos y Síntomas

Algunos de los signos y síntomas (Tabla 1) como la disnea, la fatiga y el edema maleolar son comúnmente relatados por sujetos con IC. La disnea es complicada de identificar, especialmente en adultos mayores, en sujetos obesos y en mujeres. La tos, especialmente si es nocturna, puede ser equivalente a la disnea. De igual forma, la fatiga suele ser confundida con falta de condición física y resulta difícil de cuantificar. Por otro lado, el edema también tiene causas extra-cardíacas, con mayor frecuencia que otros síntomas (ALFARO et al., 2015). Algunos síntomas y signos de IC se presentan a continuación:

*Tabla 1. Signos y síntomas de la IC*

| Síntomas | Signos |
|---|---|
| Disnea (en esfuerzo, nocturno) | Edema, ascitis |
| Tolerancia al ejercicio reducida | Presión venosa yugular elevada |
| Fatiga, letargo | Crepitaciones y sibilancias |
| Ortopnea | Taquicardia |
| Tos nocturna | Tercer ruido cardíaco, soplos |
| Jadear | Hepatomegalia |

### 2.1.4. Comorbilidades en IC

Se ha encontrado que la comorbilidad es determinante para un pronóstico adecuado de sujetos candidatos a presentar IC. Comúnmente algunos trastornos se presentan en la edad adulta, inicialmente no debe ser visto de forma aislada signos como lo son la insuficiencia renal crónica, apnea obstructiva del sueño, enfermedades pulmonares crónicas, enfermedad coronaria, hipertensión de larga duración que produce hipertrofia concéntrica o sobrecarga de volumen por anemia, sobrecarga de líquidos y fistulas arteriovenosas que provocan dilatación del ventrículo izquierdo. La incidencia de la enfermedad va incrementando con el impacto en trastornos renales, aproximadamente el 20% de los sujetos que tienen una tasa de filtración glomerular menor a 30 mL/min tiene IC (Soriano, 2015).

### 2.1.5. Escala New York Heart Association (NYHA)

La escala NYHA, se ha utilizado para identificar la severidad de IC e indicar pronósticos de que sirvan para diagnóstico y manejo del sujeto (Llorens Soriano, 2015). Dicha información se divide de la siguiente forma:

- NYHA I: Son los sujetos que han tenido un temprano diagnóstico, logrando minimizar la gravedad de IC, mediante el alivio de síntomas.
- NYHA II: Son aquellos sujetos que presentas limitaciones leves en sus actividades (presentan síntomas con actividades ordinarias)
- NYHA III: Sujetos con síntomas derivados de esfuerzos pequeños como lo podría ser al caminar en superficies planas.
- NYHA IV: Sujetos que están esencialmente confinados en casa debido a que presentan síntomas hasta en estado de reposo.

### 2.1.6. Progresión de la enfermedad

Según (ALFARO et al., 2015) se registran 4 etapas, para la consideración de factores de riesgos de la enfermedad que predisponen IC (Hipertensión arterial (HTA) , diabetes mellitus o DM), como lo son las anomalías en la estructura cardíaca (dilatación de las cavidades con caída de la fracción de eyección, hipertrofia ventricular izquierda, secuelas de infarto), con presencia de diferentes síntomas, los cuales son clasificados según el grado de riesgo presente en la evolución de la enfermedad (Tabla 2).

*Tabla 2. Etapas de la IC*

| Etapa | Características |
|---|---|
| **A** | Riesgo de IC, sin enfermedad cardíaca estructural o sintomatología de la IC |
| **B** | Enfermedad cardíaca estructural, sin síntomas o signos de IC |
| **C** | Enfermedad cardíaca estructural, presencia de síntomas y signos de IC |
| **D** | IC refractaria a terapias habituales, requiere tratamientos especializados |

Nota. Recuperado de "Guía Clínica Insuficiencia Cardíaca", de Alfaro, M et al. 2015, recuperado de https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2015/11/GUIA-CLINICA-INSUFICIENCIA-CARDÍACA_web.pdf

### 2.1.7. Diagnóstico y evaluación inicial de IC

El principal objetivo de la evaluación inicial de la IC (Tabla 3) es identificar las irregularidades estructurales y funcionales presentes esta enfermedad. Para ello, se realizan evaluaciones clínicas, con historial y exámenes físicos junto a exámenes complementarios, que incluyen registros de ECG y radiografía de tórax (ALFARO et al., 2015).

*Tabla 3. Evaluación inicial de sujetos diagnosticados con IC*

| **Evaluación inicial de sujetos con diagnóstico de IC** |
|---|
| Evaluar la severidad clínica de la IC por historia y examen físico |
| Evaluar la estructura y la función cardíaca |
| Determinar la etiología de la IC, con interés en las causas reversible de la enfermedad |
| Evaluar enfermedad coronaria e isquemia miocárdica |
| Evaluar el riesgo de arritmias graves |
| Identificar factores desencadenantes o agravantes de la enfermedad |
| Identificar comorbilidades que pueden influir en la elección del tratamiento |

Nota. Recuperado de "Guía Clínica Insuficiencia Cardíaca", de Alfaro, M et al. 2015, recuperado de https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2015/11/GUIA-CLINICA-INSUFICIENCIA-CARDÍACA_web.pdf

#### 2.1.7.1. Historia Clínica

Se investigan los antecedentes de diversas patologías, enfermedades, condiciones de salud o hábitos, que pueden ser causantes de enfermedad cardíaca: HTA, DM, enfermedad reumática, enfermedad coronaria, valvulopatías, uso de radioterapia mediastínica o drogas antineoplásicas, tabaquismo, alcohol, síndrome de inmunodeficiencia adquirida, drogas ilícitas, síndrome de apnea del sueño. De igual forma, presencia de antecedentes familiares con enfermedades genéticas: miocardiopatías, miopatías esqueléticas o muerte súbita (ALFARO et al., 2015).

#### 2.1.7.2. Examen Físico

Se implementa con el fin de diagnosticar la presencia de signos de IC izquierda como: frialdad distal, palidez, llene capilar enlentecido, crepitaciones pulmonares, cianosis periférica, auscultación de tercer ruido, con o sin galope; o signos de falla derecha como: hepatomegalia, presión venosa yugular elevada, reflujo hepato-yugular, ascitis, edema maleolar blando y derrame pleural (ALFARO et al., 2015).

En algunos casos, donde se presenta una duda en el diagnóstico se recomienda la implementación de los criterios de Framingham (Tabla 4) como una herramienta complementaria al diagnosticar IC. Cuando se utilizan en forma aislada su diagnóstico no es muy preciso, mientras que si se consideran en conjunto su precisión mejora. Se recomienda que para un diagnóstico de IC se cumplan con 2 criterios mayores o 1 criterio mayor y 2 menores (ALFARO et al., 2015).

*Tabla 4. Criterios de Framingham para diagnóstico de IC*

| Criterios Mayores | Criterios Menores |
|---|---|
| Disnea paroxística nocturna u ortopnea | Tos nocturna |
| Distensión venosa yugular | Disnea de esfuerzo |
| Crepitaciones pulmonares (> 10 cm desde la base pulmonar) | Taquicardia mayor a 120 lpm |
| Galope por R3 | Edema maleolar bilateral |
| Cardiomegalia clínica o en Rx de Tórax | Derrame pleural |
| Edema pulmonar agudo clínico o en Rx de Tórax | Hepatomegalia |
| Reflujo hepato-yugular | Disminución de capacidad vital a 1/3 de la máxima registrada |
| Disminución de peso > 4.5 kg en respuesta a tratamiento de IC | |

Nota. Recuperado de "Guía Clínica Insuficiencia Cardíaca", de Alfaro, M et al. 2015, recuperado de https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2015/11/GUIA-CLINICA-INSUFICIENCIA-CARDÍACA_web.pdf

### 2.1.8. Tratamientos para IC

La IC es una enfermedad crónica con tratamientos de por vida, que pueden ayudar a fortalecer el corazón. El tratamiento radica en tener unos buenos hábitos de vida, además de

una correcta medicación, y en algunos casos, el uso de dispositivos para apoyar el latido del corazón. El principal objetivo de los procedimientos a realizar es lograr que el sujeto pueda vivir por más tiempo, reduciendo sus probabilidades de muerte. A veces se puede corregir la IC tratando la causa que la originó, un ejemplo es al reparar una válvula cardíaca o controlar el ritmo cardíaco, lo cual podría revertir la IC ( Nicholson, 2014).

#### 2.1.8.1. Medicamentos

Se suele tratar la IC con una serie de medicamentos, en donde, dependiendo de los síntomas y las indicaciones del médico tratante, se toman una o más medicaciones que incluyen ( Nicholson, 2014):

- Inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ECA)
- Bloqueadores de los receptores de angiotensina II
- Bloqueadora beta
- Diuréticos
- Inotrópicos
- Digoxina (Lanoxin)

#### 2.1.8.2. Cirugías

Si el médico recomienda realizar cirugías, estas son realizadas en situaciones donde las arterias se encuentran con obstrucciones que impiden un correcto bombeo de sangre, contribuyendo a la IC. Igualmente, si una válvula cardíaca es la responsable de generar trastornos o síntomas relacionados con IC, se recomienda reparar o remplazar la válvula para eliminar errores en el flujo sanguíneo, en efecto que no sea posible repararla.  Nicholson, 2014).

#### 2.1.8.3. Hábitos saludables

Realizar cambios en el estilo de vida ayuda a contrarrestas los riesgos que se tienen a causa de problemas en IC (Torres et al., 2016). Estos cambios pueden evitar posteriores complicaciones por parte del sujeto, algunas recomendaciones son:

- Dejar de fumar
- Revisar piernas, tobillos y pies diariamente para ver si ocurrió hinchazón
- Consumir una dieta saludable
- Restringir el sodio
- Mantener un peso saludable
- Limitar las grasas, alcohol y líquidos

## 2.2. Monitoreo no invasivo

Con el fin de mejorar la calidad de vida de los sujetos diagnosticados con IC y al mismo tiempo hacer una detección temprana de posibles complicaciones o descompensaciones durante el tratamiento, la televigilancia y el monitoreo remoto de parámetros fisiológicos han resultado ser de gran utilidad. Esto ocurre debido a la alta probabilidad de que aparezcan ciertos síntomas y malestares de forma gradual mientras se trata la IC y una detección temprana permitiría una correcta atención por parte del especialista. Dicha estrategia se implementa con el fin de evitar hospitalizaciones a causa de inconvenientes en el estado de salud del paciente (Yanicelli et al., 2020).

## 2.3. Parámetros comúnmente monitoreados

En esta sección se presentan los parámetros o variables fisiológicas a los cuales se les suele hacer un seguimiento durante el tratamiento de pacientes ambulatorios.

### 2.3.1. Peso

El peso corporal es una de las variables más importantes a monitorear en sujetos diagnosticados con IC, ya que esta variable se utiliza para detectar la retención hidro salina al presentarse un aumento repentino en pocos días. De igual forma, un cambio en dicho parámetro puede indicar una retención de líquidos, congestión o disfunción renal que puede derivar en posibles descompensaciones en el estado de salud del sujeto. Respecto a la frecuencia de monitoreo de esta variable, se recomienda la medición diaria o máximo cada 2 días de la misma, para así poder detectar anormalidades que puedan desencadenar en alertas (Yanicelli et al., 2020).

### 2.3.2. Presión Arterial

La Presión Arterial (PA), es uno de los parámetros sobre los cuales se hace mucho hincapié en el monitoreo remoto. El registro de la variación en los niveles de PA durante varios días permite conocer el estado hemodinámico del sujeto y permite al profesional de la salud realizar una evaluación adecuada para determinar la cantidad de dosis necesaria para la medicación (Saldarriaga Giraldo, 2017).

Por otro lado, uno de los síntomas que se suele presentar en la mayoría de sujetos a lo largo de la IC es la Hipotensión Ortostática, que suele derivar en síncopes o desmayos. Ésta consiste en un descenso en la medida de PA que ocurre momentos después que una persona haya estado de pie durante un tiempo prolongado, o incluso al ponerse de pie luego de haber

estado sentada o acostada. Esto ocurre debido a que grandes cantidades de sangre se acumulan en las piernas y al momento de regresar al corazón regresa en menor cantidad a lo normal, causando que el bombeo de sangre hacia el cerebro tampoco sea la adecuada y a causa de dicha disminución momentánea la persona puede desmayarse (Arnold et al., 2006).

### 2.3.3. Frecuencia Cardíaca

La Frecuencia Cardíaca (FC), se suele monitorear durante el reposo, ya que esta puede presentar un valor elevado a pesar que los valores registrados para PA se encuentren en sus rangos normales. De igual forma, la variabilidad de este parámetro puede ser un indicador de desequilibrio autonómico y alteraciones en su medida pueden derivar en nuevas hospitalizaciones y en el peor de los casos en mortalidad (Saldarriaga Giraldo, 2017). Según la Sociedad Cardiovascular Canadiense (CCS) (Moe et al., 2015) recomienda que la medición de FC se haga especialmente cuando ciertas combinaciones en los fármacos o medicamentos consumidos por el sujeto afecten al sistema renina-angiotensina-aldosterona; esto con el fin de conocer los efectos adversos que el paciente puede presentar y así determinar los medicamentos adecuados que se le deben suministrar a la persona.

### 2.3.4. Electrocardiograma

El Electrocardiograma (ECG), se utiliza para la detección y presencia de bradiarritmias intermitentes y taquiarritmias paroxísticas supraventriculares y/o ventriculares las cuales son causales o agravantes de la mayoría de los síntomas que se presentan durante la IC (Barisani, 2010). Por otro lado, el monitoreo de ECG se suele presentar en su mayoría para un diagnóstico inicial de la IC y para la identificación de anormalidades del ritmo cardíaco, tales como la miocarditis, la bradicardia y taquicardia ventricular. Sin embargo, el seguimiento continuo de ECG no es muy común en pacientes ambulatorios con IC.

### 2.3.5. Sintomatología

Uno de los parámetros que suele ser más recomendados para monitorear en pacientes ambulatorios con IC corresponde a la sintomatología que éste pueda presentar durante su tratamiento. Esto significa que aquellos elementos subjetivos que pueden ser únicamente percibidos e identificados por el sujeto funcionan como indicador sobre su calidad de vida, así como su estado de salud. Frecuentemente, dicho registro de síntomas se suele implementar a través de cuestionarios, los cuales plantean una serie de preguntas diseñadas específicamente para identificar los síntomas comúnmente presentes en sujetos que padecen de IC. Entre estos síntomas se encuentran la fatiga, mareos, hinchazón en tobillos y piernas, entre otros (ALFARO et al., 2015).

## 2.4. Educación sobre la patología

Resulta de gran importancia el hecho de brindar una educación adecuada sobre la patología en general al paciente, a sus familiares y a las personas encargadas del cuidado del mismo. Esto con el objetivo de concientizar y generar un comportamiento de autocuidado y así poder prevenir diversas complicaciones a causa de la ignorancia de los pacientes y sus cuidadores al momento de tomar decisiones frente a situaciones que se pueden presentar en esta patología. Un consenso realizado sobre los temas más importantes a tratar en esta sección incluye la comprensión de la enfermedad y sus respectivos síntomas, recomendaciones para llevar una vida saludable, actividades físicas, alimentación, entre otros (Yanicelli et al., 2020).

## 2.5. Dispositivos de medición de parámetros fisiológicos

En esta sección se mostrarán algunos dispositivos utilizados para la medición de parámetros fisiológicos, que son de relevancia para un monitoreo adecuado durante la fase de tratamiento del sujeto.

Para la medición de PA y FC, algunos de los instrumentos que podrían ser utilizados son los expuestos a continuación:

### 2.5.1. Tensiómetros

#### 2.5.1.1 Tensiómetros analógicos

El tensiómetro aneroide analógico o manual (Figura 1) es el más tradicional o conocido. Consta de un brazalete posicionado en el brazo del sujeto, y una pera la cual funciona de modo de bomba con la que se aumenta la presión del brazal. En conjunto con el manómetro, permite al usuario escuchar el sonido del corazón a través del fonendoscopio y así hacer una correcta lectura de la PA (Calderón, 2018).

*Figura 1. Tensiómetro analógico*

**Nota**. Recuperado de: https://www.tensiometro.pro/tensiometro-analogico

### 2.5.1.2. Tensiómetros digitales

- **Tensiómetro digital OMRON M2 BASIC**

El tensiómetro OMRON M2 BASIC (Figura 2), es uno de los instrumentos de medición más vendidos en el mercado, posee un alto nivel de precisión y confiabilidad con una lectura rápida. Además, su hardware fue implementado con una pantalla de gran tamaño que permite una fácil interpretación incluso para adultos mayores, ofreciendo una detección de pulso totalmente portátil mediante el uso de baterías. Adicionalmente incluye un adaptador de corriente para disminuir el consumo de energía de sus pilas (Calderón, 2018).

*Figura 2. Tensiómetro digital OMRON M2 BASIC*

**Nota**. Recuperado de: https://detensiometros.com/omron/m2-hem-7121-e-opiniones-y-precio/

- **Tensiómetro digital HYLOGY MD-H12**

Se trata de un tensiómetro con certificado médico (Figura 3) que ofrece una precisión entre los ± 3 mmHg y los ± 5 mmHg. Cuenta con un diseño sencillo y

practico que permite realizar mediciones con un solo toque, posee una capacidad para dos usuarios con una memoria de 90 mediciones para cada uno. Es un instrumento funcional para seguimientos profesional de PA que permite un control en el estado de salud, igualmente que el anterior modelo tiene una pantalla LCD amplia para una mejor visualización de la lectura con un sistema de apagado automático para un ahorro constante de energía (Calderón, 2018).

*Figura 3. Tensiómetro digital HYLOGY MD-H12*

**Nota**. Recuperado de: https://detensiometros.com/hylogy/

### 2.5.2. Básculas médicas

Es un dispositivo que sirve para determinar el peso o la masa de los cuerpos, la cual consiste en una plataforma horizontal sobre donde se sitúa la persona que desea conocer su peso corporal (Pérez, 2017).

- **Báscula mecánica**

  Tienen dos formas de funcionamiento, por contrapeso la cual transforma la fuerza del objeto a una medida o un momento de fuerza, comparando masas

(Figura 4) o con muelle elástico, que no es muy exacta y únicamente es recomendable para personas que desean conocer su peso, mas no controlarlo (Pérez, 2017). Este tipo de básculas son muy económicas en el mercado y son una alternativa viable tanto en calidad como precio, oscilando desde los $19.900 COP en adelante.

*Figura 4. Báscula mecánica*

**Nota**. Recuperado de https://www.homecenter.com.co/

- **Básculas analógicas**

Las básculas analógicas son instrumentos de medición utilizados en el área de la salud para el seguimiento y control del peso de una persona, destacando dos tipos de básculas analógicas: la primera de ellas es la báscula de baño, las cual resultan más adecuadas para el hogar ya que son más prácticas y pequeñas lo que las hace ideales para un monitoreo del peso en pacientes de forma remota (Pérez, 2017). El segundo tipo de báscula son de consultorio o contrapeso, que son las

típicas básculas encontrada en consultorios médicos cuyo funcionamiento radica en un sistema de palancas que se deben equilibrar para calcular el peso corporal de una persona (Figura 5).

*Figura 5. Báscula analógica*

**Nota.** Recuperado de https://sv.epaenlinea.com/

- **Báscula digital**

Hoy en día el uso de la báscula digital supera al de la báscula analógica, a pesar de la existencia de este tipo de básculas las analógicas aún se siguen usando para la medición del peso corporal, en principal medida porque estas últimas no requieren batería lo que no deriva en un costo adicional (Pérez, 2017). Algunas de las ventajas que poseen las básculas digitales es una pantalla suficientemente grande para visualizar con claridad las números o medidas tomadas, de igual forma, este tipo de básculas poseen una precisión mayor en comparación con otro tipo de básculas, ya que pueden llegar a calcular gramos con un bajo margen de error (Figura 6).

*Figura 6. Báscula digital*

**Nota**. Recuperado de https://bodecor.com/

### 2.5.3. Pulseras y relojes inteligentes

Los relojes y pulseras inteligentes, o también conocidos como *Smart band* o *Smartwatch*, son dispositivos tecnológicos que poseen una serie de sensores capaces de medir, y, por lo tanto, monitorear la actividad física de una persona con una gran exactitud. La mayoría de estos dispositivos disponen de acelerómetros, tecnología Bluetooth y GPS que resultan de gran utilidad para deportistas. De igual forma, existen otro tipo de relojes capaces de medir, FC, PA, temperatura e incluso oxígeno en la sangre en pacientes; a pesar que dichas pulseras tienen un enfoque más relacionado con el área de la salud, hoy en día existen una limitada cantidad de relojes que introducen estas tecnologías para el uso en hospitales y el monitoreo de pacientes (Parrilla, 2020). A continuación, se detallan algunas de las pulseras inteligentes más conocidas.

- **Xiaomi Mi Smart Band 4**

Esta pulsera creada por la marca Xiaomi, incorpora una pantalla AMOLED a color, un acelerómetro, giroscopio, sensor de proximidad y sensor de FC (Figura 7). Además, utiliza tecnología Bluetooth 5.0 BLE, lo que le permite conectarse con su propia aplicación móvil llamada Mi Fit, la cual se encuentra disponible para dispositivos Android y iOS, donde permite al usuario visualizar y monitorear cada una de estas lecturas de forma rápida y sencilla (Pino-Ortega et al., 2021). Cabe resaltar que esta pulsera es la mejor opción en cuanto a relación calidad/precio, ya que su valor en el mercado está alrededor de los 130.000 pesos colombianos.

*Figura 7. Xiaomi Mi Smart Band 4*

**Nota**. Recuperado de: https://www.amazon.com/

- **Fitbit Inspire HR**

Esta pulsera creada por Fitbit es la más económica de la propia marca, por lo que posee menos características en comparación con otros dispositivos *wearables*

(De Boer et al., 2021). Es una pulsera diseñada especialmente para usuarios que buscan funciones básicas de monitorización de la cantidad de paso, registro del sueño y pulsaciones, a pesar de que puede registrar actividades deportivas no posee un GPS integrado, por lo que limita la cantidad de información proporcionada a la hora de realizar ejercicio (Figura 8).

*Figura 8. Fitbit Inspire HR*

**Nota**. Recuperado de: https://www.amazon.com/

- **Garmin Vivo Smart 4**

Esta pulsera creada por la marca Garmin es una de las más conocidas en el mundo del deporte, ya que implementa funciones como el seguimiento del estado físico, sensores de GPS, giroscopio, monitor de FC, control de sueño, saturación de oxígeno, entre otras opciones, lo que la hace una muy buena herramienta de monitoreo de deportistas, fitness y salud (Tedesco et al., 2019). Sin embargo, su precio es mucho más elevado en comparación con las demás pulseras expuestas previamente (Figura 9).

*Figura 9. Garmin Vivo Smart 4*

**Nota**. Recuperado de: https://www.garmin.com.co/

Gracias al avance tecnológico en los últimos años, cada pulsera inteligente posee su propia aplicación móvil que permite llevar un registro tanto de la actividad física como de parámetros fisiológicos, las cuales son compatibles con los sistemas operativos (SO) que dominan el mercado de telefonía móvil en la actualidad, permitiendo así a que gran cantidad de usuarios puedan monitorear su estado de salud de forma rápida y eficiente.

## 2.6. Sistema operativo

Un SO actúa como intermediario entre el usuario de un computador o un dispositivo y el hardware del mismo. El propósito de un SO es proveer un entorno por medio del cual el usuario pueda ejecutar programas de forma conveniente y eficiente y así pueda dar órdenes y ejecutar aplicaciones de forma sencilla. Así mismo, el SO se encarga de manejar los servicios tales como la memoria, los procesadores, los dispositivos e información que incluyen programas para manejar dichas fuentes como el controlador de tráfico, módulos de

manejo de memoria, programas I/O y archivos del sistema. A continuación, se presentan los SO más comunes para ejecución de programas en dispositivos móviles

### 2.6.1. Android

Es un sistema operativo para dispositivos móviles como teléfonos celulares, relojes inteligentes, tabletas y muchos dispositivos más. Dicho sistema está basado en Linux, un núcleo de sistema operativo libre, multiplataforma y gratuito, donde se encuentran los drivers necesarios para el acceso al hardware. Android fue adquirido por Google en el año 2006 y fue hasta noviembre del 2007 que se lanzó la primera versión estable de este SO junto con el kit de desarrollo del software (SDK, siglas en inglés) para que programadores empezaran a desarrollar sus propias aplicaciones móviles para este sistema. Una de las mayores ventajas de Android es que es completamente libre, lo que lo hace muy apetecido por fabricantes y desarrolladores, debido a que los costos para lanzar una aplicación son bajos (Aponte et al., 2012).

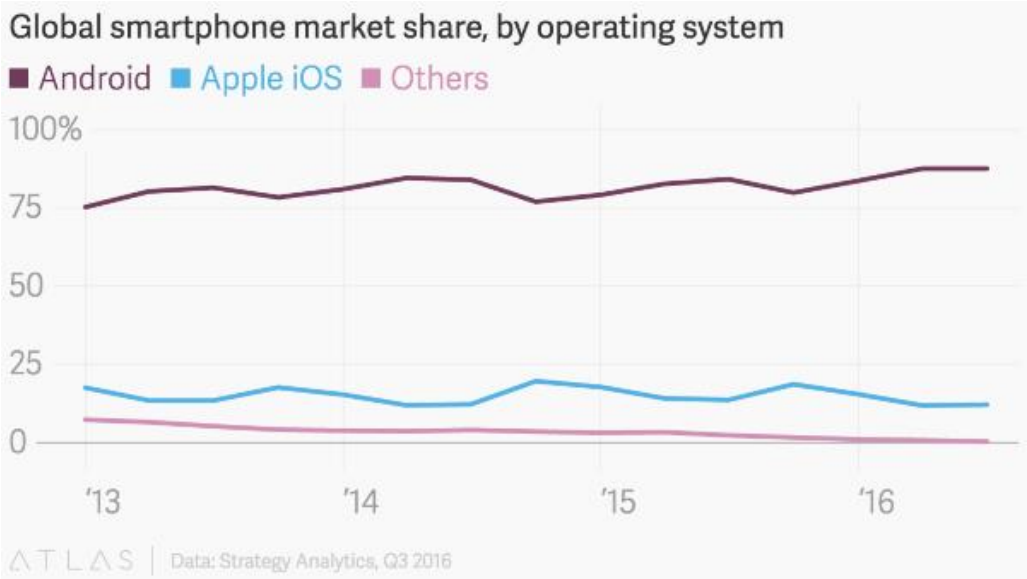
### 2.6.2. iOS

iOS es un sistema operativo lanzado y utilizado por Apple, sus siglas provienen e IPhone OS, que corresponde al sistema operativo de IPhone desarrollado originalmente para el hardware de la propia marca, también fue utilizado durante años para dispositivos de la marca como IPod y tabletas IPad. Este es un sistema cerrado y exclusivo que no puede ser utilizado en dispositivos que no pertenezcan a la marca de Apple. La primera versión estable de iOS fue lanzada en el 2007, para el desarrollo de aplicaciones en este SO existen lenguajes como Swift, el cual fue lanzado en el 2014 y funciona como reemplazo para Objective-C, siendo este último uno de los pioneros en el desarrollo móvil para iOS. En adición, Swift implementa

un lenguaje simplificado y un avanzado sistema de control de errores lo que lo hace más dinámico para los programadores crear aplicaciones (Aponte et al., 2012).

Según Forbes, la cuota del mercado móvil en la actualidad se encuentra dominada en su mayoría por dispositivos con SO de Android, el cual abarca entre un 80 al 90 % del mercado. En comparación al SO de iOS el cual abarca entre un 10 y 20 % del mercado (Figura 10).

*Figura 10. Comparación en el mercado por SO*




**Nota**. Recuperado de: https://pickaso.com/2019/desarrollo-apps-diferencias-android-vs-ios

Una de las diferencias entre estos dos SO radica en su tienda de aplicaciones; Apple incluye requisitos más estrictos para la publicación de una aplicación en la App Store, en algunos casos dicho procesos de verificación pueden tardar más de 2 días. Por el contrario, Android no posee procedimientos de verificación tan rígidos, es por ello que hoy en día existen más de 6 millones de aplicaciones en Google Play Store en comparación con la Apple App Store con aproximadamente 3.6 millones de aplicaciones. De igual forma, el costo de

publicación de una app para iOS presenta una tarifa de 99 dólares por año, mientras que para Google Play se tiene una tarifa única de 25 dólares para publicar una app.

## 2.7. Lenguajes y plataformas para desarrollo móvil

El desarrollo móvil implementa diferentes lenguajes de programación y plataformas que han ido mejorando a lo largo de los años. Existen lenguajes de programación tipados en objetos cuya sintaxis tiene cierta similitud con JavaScript, debido a que se enfocan en el desarrollo *front-end*, que corresponde a la sección que interactúa con los usuarios por medio de la interfaz gráfica priorizando la experiencia de usuario (UX, siglas en inglés). El principal objetivo de estos lenguajes de programación es ofrecer una alternativa más eficiente para el desarrollo multiplataforma, optimizando el código para la creación de aplicaciones fluidas en diferentes SO (Delía, 2017).

Algunos de los lenguajes de programación más utilizados para el desarrollo de software son los presentados a continuación.

### 2.7.1. Lenguajes de programación

#### 2.7.1.1. Java

Este lenguaje de programación fue lanzado el 23 de enero de 1996 y diseñado por *Sun microsystems* (*Oracle Corportation*). Es un sistema elaborado con bases en Pascal, C ++ y *Objective-C* capaz de desarrollar y ejecutar aplicaciones mediante código nativo u otros lenguajes que compilen con *bytecode*. La interfaz utilizada no es un hardware específico sino una máquina virtual encargada de ejecutar las aplicaciones con una serie de paquetes los cuales se pueden emplear para facilitar la programación. Además, Java posee una comunidad grande de desarrolladores que permite tener un soporte amplio durante la fase de desarrollo

en caso de que se presente algún error. Algunas de las grandes compañías que han utilizado este lenguaje para el desarrollo de software son Twitter, Netflix, Uber, entre otras.

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos que permite a los desarrolladores programar aplicaciones que pueden ser compiladas en cualquier equipo independiente de su sistema operativo, ya que implementa plataformas de ejecución, SDK, máquinas virtuales, proyectos de código abierto y muchas herramientas más que han llevado a Java a convertirse en una plataforma con un ecosistema de desarrollo de software perdurable de lenguajes (Delía, 2017).

#### 2.7.1.2. Kotlin

Es un lenguaje de programación gratuito orientado principalmente a objetos de calidad industrial, desarrollado por la empresa checa de *Jetbrains* en el año 2010 (Moskala, et al., 2017). Este lenguaje presenta un tipado estático el cual puede ser utilizado en diferentes servidores, plataformas web SO como el de iOS, incluso para el desarrollo de aplicaciones en Android. Se ejecuta mediante una máquina virtual de Java (JVM, siglas en inglés) y al ser interoperable con JavaScript reduce la repetición de código ahorrando recursos, tiempo y la detección de errores. Este lenguaje está orientados a objetos, facilitando la construcción con funciones de forma simple y / o compleja mezclando ambos estilos en la programación.

Algunas de las aplicaciones más conocidas desarrolladas con este lenguaje de programación son Pinterest y Coursera, además de ser usada por entidades bancarias relacionadas con la geolocalización. La programación en *Kotlin* puede implementar los *frameworks* y librerías de Java sin la necesidad de utilizar las capas de adaptación, lo que lo

hace una muy buena opción para el desarrollo móvil si se tienen conocimientos en Java (Moskala, et al., 2017).

### 2.7.2. Plataformas para desarrollo móvil

#### 2.7.2.1. Xamarin

Es una plataforma para la creación de aplicaciones de código abierto que permiten SO como Android y iOS. *Xamarin* extiende de la plataforma .NET, la cual posee herramientas, lenguajes de programación y librerías para la construcción de diferentes tipos de aplicaciones teniendo como base el lenguaje C # y sus compiladores. Además, posee acceso a las Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de Google, Facebook y Apple enriqueciendo el desarrollo de la app. *Xamarin* posee una fuerte comunidad de desarrolladores y contribuyentes de más de 3700 compañías. En adición, este lenguaje no tiene tarifas o costos de licencias para el uso comercial (Delía, 2017).

Existen dos alternativas para el desarrollo de aplicaciones con este lenguaje, la primera de ellas es *Xamarin* tradicional, que incluye *Xamarin.Android* y *Xamarin.iOS*, en esta opción se puede compartir la lógica en diferentes plataformas excluyendo la interfaz de usuario (UI, siglas en inglés) siendo independiente para cada una de ellas. Es muy utilizada cuando se requiere un nivel alto en la personalización de UI por lo que resulta más importante la apariencia de la aplicación que la facilidad para compartir código con otros programas. La segunda opción es *Xamarin Forms,* la cual utiliza una capa de abstracción en la UI para permitir compartir la lógica de la aplicación aumentando consigo la reutilización de código, esta resulta la mejor opción cuando la UI no es la prioridad y se requiere compartir la mayor cantidad de código posible.

#### 2.7.2.2. React Native

*React Native* es un *framework* de JavaScript que permite crear aplicaciones nativas tanto para Android como para iOS corriendo directamente sobre la plataforma en que se ejecuta la aplicación. Utiliza el paradigma fundamental de construcción de bloques de UI, proporcionando funcionalidades como la compatibilidad multiplataforma simultáneamente con el código base; además de la actualización instantánea que permite visualizar en tiempo real los cambios hechos en la aplicación (Delía, 2017). Se ha implementado por grandes compañías como Instagram, Facebook, Skype y Uber utilizándolo para actualizaciones y desarrollos en dichas aplicaciones. Posee ventajas como la velocidad de compilación y es sencillo de aprender para desarrolladores ya que poseen conceptos fundamentales del lenguaje JavaScript. Así mismo, ofrece características importantes como el *Hot Reload*, el cual refresca la app al guardar nuevos cambios, y el uso del *flexbox layout engine* que permite abstraer los detalles específicos para los diseños correspondientes a iOS y Android.

#### 2.7.2.3. Dart (Flutter)

*Flutter* es un *framework* para el desarrollo multiplataforma de aplicaciones móviles y páginas web creado por Google en mayo de 2017, su plataforma es totalmente gratuita y de código abierto. Permite desarrollar aplicaciones nativas para diferentes SO a partir de un único código fuente. *Flutter* está conformado por dos partes importantes: la primera de ellas es un SDK, que es una colección de herramientas la cual sirve como soporte para el desarrollo de la app, incluye herramientas para compilar el código en una máquina nativa (Android y iOS). Y la segunda parte consta del *framework* (UI basada en widgets), la cual contiene una colección de elementos reutilizables (botones, entradas de textos, deslizadores, entre otros)

para la creación de UI que pueden ser personalizados según la necesidad del desarrollador (Vázquez, 2019).

Algunas de los ventajes que ofrece el desarrollo en *Flutter* es la facilidad al momento de crear aplicaciones nativas sin demasiado código, además posee una característica llamada *Hot Reload*, a través de la cual se pueden visualizar cambios en el código en tiempo real en un corto periodo de tiempo. De igual forma, el desarrollo con *Flutter* implica un menor costo en comparación con otras plataformas debido a que no hay necesidad de crear y mantener dos versiones diferentes de la misma aplicación para ser adaptadas a cada SO.

Es importante destacar que *Flutter* posee una buena documentación tanto en su página oficial como en foros online; esta información se encuentra muy detallada, con ejemplos sencillos para casos de uso general que resultan de gran utilidad, tanto para desarrolladores que apenas inician con este lenguaje como para programadores avanzados. Posee una gran cantidad de paquetes que permiten utilizar funcionalidades del dispositivo móvil en el que es ejecutado, así como servicios de bases de datos, funciones en la nube, establecer conexión con API, autenticación de usuario, entre muchas más. A pesar que *Flutter* es relativamente nuevo, posee una robusta y numerosa comunidad que brinda soporte en caso de que se presenten errores e inconvenientes en el código durante la ejecución de la aplicación (Vázquez, V. 2019).

# CAPÍTULO 3

# FASE DE IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN ICARE

Para el desarrollo del presente trabajo se implementó una metodología basada en el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados, iniciando por la revisión bibliográfica de artículos científicos, revistas y asociaciones médicas orientadas en el manejo de sujetos diagnosticados con enfermedades cardiovasculares, partiendo de la información recopilada se llevó a cabo una investigación detallada sobre la IC con el fin de determinar los parámetros fisiológicos con su respectiva variabilidad para el diseño del sistema basado en reglas capaz de identificar cambios abruptos en las medidas incorporadas. Posteriormente, se realizó un esquema a partir del cual se elaboró un diseño conceptual de la interfaz de la aplicación, así como del sistema de alarmas que la componen. Por último, la fase de validación y verificación del correcto funcionamiento del sistema de alarmas, así como su respectivo reporte mediante el envío de correos electrónicos.

En este capítulo se presentará de forma detallada cada una de las fases implementadas para el desarrollo del trabajo propuesto titulado “SISTEMA DE TELEMONITOREO PARA SUJETOS CON INSUFICIENCIA CARDÍACA”, en el cual se van a monitorear variables fisiológicas utilizando una aplicación para dispositivos móviles, que sirvan como una herramienta para prevenir y alertar de forma temprana al especialista sobre posibles descompensaciones en el estado de salud del paciente durante su tratamiento.

### 3.1. Variables Fisiológicas

Para la selección de los parámetros a monitorear en sujetos diagnosticados con IC se tuvieron en cuenta las recomendaciones hechas por diferentes asociaciones de cardiología en el mundo, dentro de las cuales se encuentran la MACAC, AHA, ACC, HFSA y la CSCCS, siendo esta última la fuente más relevante de información relacionada con la IC dada la localización geográfica en donde se llevará a cabo la puesta en marcha del sistema de monitoreo final en futuras versiones. De igual forma, se realizó una revisión de artículos y guías de práctica clínica relacionada con el monitoreo y seguimiento a pacientes con problemas cardiovasculares. Ocho guías clínicas (Atherto, 2018; Estrago, 2013; Evangelista, 2010; O'Meara, 2020; Seferovic, 2019; Barisani, 2010; Speranza Sánchez, 2018; Yancy, 2013) fueron seleccionadas y analizadas con el fin de evaluar las recomendaciones hechas por especialistas para sistemas de telemonitoreo de IC, así como funcionalidades para ser implementadas.

Como se muestra en la Tabla 5, la mayoría de las asociaciones de cardiología recomiendan los siguientes parámetros a monitorear diariamente: peso, PA, FC y sintomatología. Por otro lado, el monitoreo de la capacidad funcional se recomienda por 4 asociaciones mientras que el ECG únicamente por 3 de 8 asociaciones; estos parámetros se recomiendan implementar bajo situaciones específicas, por ejemplo, si el paciente sufre de arritmia (Ezekowitz et al., 2017).

*Tabla 5. Parámetros recomendados a monitorear por Asociaciones Cardiológicas*

| Asociaciones de Cardiología | Parámetros a Monitorear | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Peso** | **Presión Arterial** | **Frecuencia Cardíaca** | **ECG** | **Capacidad Funcional** | **Síntomas** | **País o Región** |
| **ESC** | X | X | X | | X | X | España |
| **CCS** | X | X | X | X | | X | Canadá |
| **HFSA/ACC/AHA** | X | X | X | | X | X | Estados Unidos |
| **CSCCS** | X | X | X | X | | X | Colombia |
| **USC** | X | X | X | | X | X | Uruguay |
| **NHFA/CSANZ** | X | X | X | | | X | Australia |
| **MACAC** | X | X | X | | | X | Centro América y el Caribe |
| **ASC** | X | X | X | X | X | X | Argentina |

**Nota.** Adaptado de "SiTe iC: A telemonitoring system for heart failure patients. International Journal of Medical Informatics", de Yanicelli L., 2020.

## 3.2. Rangos de parámetros a monitorear

### 3.2.1. Peso

Los consensos médicos recomiendan el monitoreo de peso diario en pacientes con IC. Algunos aconsejan tomar esta medida todas las mañanas especialmente en sujetos que tengan disfunciones renales significativas o retenciones de líquidos que no sean tan fáciles de controlar mediante el uso de diuréticos (Arnold et al., 2006). Según las fuentes de información relacionadas para monitoreo y/o tratamiento de la presente patología, los rangos que establecen condiciones que podrían ser indicios de fallas en el organismo son un aumento de peso en 3 días igual o mayores a 2 kg (Seferovic et al., 2019). De igual manera la CCS, sugiere el seguimiento de esta variable para establecer fragilidades en el paciente con rangos de ganancia de peso mayores a 1.5 kg o 2 kg, demandando una rápida visita médica.

La SCC, en su apartado de transición de la hospitalización al alta, precisa la toma de peso diario como una herramienta de autocuidado que permite detectar signos de alarma (ganancia de peso en 3 días mayor a 3 kg, en sujetos con seguimiento hospitalario de post egreso) (Saldarriaga Giraldo, 2017). La ESC en su guía práctica para el tratamiento de IC aguda y crónica, establece un control de peso para detectar cualquier cambio en este caso con ganancia de peso mayor a 2 kg en 3 días, dando como respuesta a estos signos el aumento de dosis de diuréticos que dependerán de la evaluación del médico tratante.

### 3.2.2. Presión Arterial

La AHA clasifica la PA en cinco diferentes categorías. Se consideran valores normales aquellas mediciones de PA inferiores a 120 mmHg para la presión arterial sistólica y 80 mmHg para la presión arterial diastólica, en esta categoría se considera que el paciente tiene una dieta equilibrada, realiza actividades físicas de manera regular y sigue hábitos saludables para el corazón. La PA elevada ocurre cuando los valores de las lecturas para el caso de la sistólica se encuentran de forma habitual en un rango de 120 a 129 mmHg; mientras que para el caso de la diastólica su valor está por debajo de los 80 mmHg, bajo estas condiciones es muy probable que el sujeto desarrolle hipertensión arterial salvo que se tomen las medidas correspondientes para controlar esta descompensación.

Dentro de las categorías más serias se encuentra la hipertensión en fase 1, cuya medición de PA sistólica varía en un rango de 130 a 139 mmHg y la diastólica entre 80 y 89 mmHg, en esta fase resulta muy común implementar cambios en el estilo de vida y la incorporación de medicamentos para controlar la PA en función del riesgo de la Enfermedad Cardiovascular Ateroesclerótica. Así mismo, se encuentra la hipertensión en fase 2, en donde las lecturas de PA registran valores iguales o superiores a una PA sistólica 140 mmHg y PA diastólica 90

mmHg, de igual forma que en la fase 1, los especialistas recomiendan cambios en el estilo de vida y la prescripción de una combinación de medicamentos para tratar la enfermedad.

Por último, la categoría más inquietante según la AHA es la crisis de hipertensión o crisis hipertensiva. En esta condición las lecturas de PA sistólica superan los 180 mmHg mientras que los valores de PA diastólica son mayores a 120 mmHg. Del mismo modo, si el sujeto presenta signos como dificultad para respirar, dolor de espalda, debilidad, dificultad para hablar, variación en la visión y percibe posibles daños en alguno de sus órganos debe contactar inmediatamente a emergencias.

Asociaciones como la CCS recomienda que una caída en la lectura de PA sistólica mayor a 20 mmHg o mayor a 10 mmHg en el caso de la PA diastólica en un estado de reposo se consideraría como Hipotensión Ortostática. Así mismo, dicha asociación especifica que la PA debe ser controlada en valores menores a 140 mmHg para sistólica e inferior a 90 mmHg para diastólica en la mayoría de personas y menor a 130 mmHg en el caso de la sistólica y mediciones inferiores a 80 mmHg para la diastólica en sujetos que padecen de diabetes y / o enfermedades renales. Por otro lado, la USC recomienda mantener la PA por debajo de 140 mmHg sistólica y 90 mmHg diastólica en pacientes hipertensos, y en el caso de pacientes diabéticos estos valores deberían ser menores a 130 mmHg sistólica y 85 mmHg diastólica.

En la Tabla 6 se pueden observar los rangos seleccionados con su respectiva categoría para la PA que fueron utilizados en el sistema de monitoreo remoto, los cuales fueron implementados en la fase de desarrollo del sistema de alarmas.

*Tabla 6. Categorías de la PA*

| CATEGORÍAS PRESIÓN ARTERIAL | SISTÓLICA [mmHg] | DIASTÓLICA [mmHg] |
|---|---|---|
| **Baja** | Menor igual a 90 | Menor igual a 60 |
| **Normal** | Menor a 120 | Menor a 80 |
| **Elevada** | 120 – 129 | Menor a 80 |
| **Hipertensión Nivel 1** | 130 – 139 | 80 - 89 |
| **Hipertensión Nivel 2** | Mayor igual a 140 | Mayor igual a 90 |
| **Crisis Hipertensiva** | Mayor igual a 180 | Mayor igual a 120 |

### 3.2.3. Frecuencia Cardíaca

Algunas sociedades de cardiología mencionan que valores inferiores a 50 ppm en la medición de la FC pueden ser considerados como una señal de alarma y derivaría en la suspensión temporal o interrupción definitiva en la medicación causante de tal efecto, o en algunos casos la reducción en la cantidad de dosis establecida en un principio (Saldarriaga Giraldo, 2017). En cambio, la CCS indica que lecturas superiores a 84 ppm en estado de reposo deben ser consideradas como un factor de riesgo que puede ser causante de un aumento de la mortalidad. Mientras que la ASC considera un signo de alerta una FC superior a 70 ppm en estado de reposo (ASC, 2016). De igual forma, la NHFA y la CSANZ en su guía de práctica clínica publicada en el 2018, establecen como condición de alerta una lectura de FC que supere los 100 ppm, lo que denominan como taquicardia, y una FC inferior a 40 ppm denominada bradicardia (Atherton et al., 2018). De esta forma, los valores límites

seleccionado para el parámetro de FC que fueron implementados en el sistema de monitoreo se presentan en la Tabla 7.

*Tabla 7. Categoría de FC*

| CATEGORÍAS DE FC | RANGOS DE VALORES |
|---|---|
| **FC Lenta** | FC < 60 ppm |
| **FC normal** | 60 ppm ≤ FC ≤ 85 ppm |
| **FC acelerada** | FC > 85 ppm |

### 3.2.4. Síntomas

Asociaciones como la HFSA recomienda la implementación de los siguientes cuestionarios para el monitoreo remoto en sujetos diagnosticados con IC.

- **The MOS-36-item short-form health survey (SF-36):** El SF-36 fue diseñado para su uso en la práctica clínica y la investigación, evaluaciones de políticas de salud y encuestas de población en general. El SF-36 incluye una escala de varios ítems que evalúa ocho conceptos de salud: 1) limitaciones en las actividades físicas debido a problemas de salud; 2) limitaciones en las actividades sociales debido a problemas físicos o emocionales; 3) limitaciones en las actividades habituales del rol debido a problemas de salud física; 4) dolor corporal; 5) salud mental general (malestar psicológico y bienestar); 6) limitaciones en las actividades habituales del rol debido a problemas emocionales; 7) vitalidad (energía y fatiga); y 8) percepciones generales de salud (Arian et al., 2019).

- **SF-12:** Es uno de los cuestionarios más utilizados para evaluar la calidad de vida relacionada con la salud multidimensional a nivel mundial. Además, la mayoría de los estudios se centraron en la dimensión física prestando menos atención a la calidad de vida relacionada con la salud mental. Es una versión de tamaño reducido del SF-36 y se usa ampliamente ya que produce resultados similares para las puntuaciones de salud física y mental con una carga mucho menor para los encuestados para producir puntuaciones de bienestar físico y mental general (Aladin et al., 2021).
- **The Minnesota Living with Heart Failure Questionnaire:** El cuestionario de Minnesota Living with Heart Failure (MLHFQ) es uno de los cuestionarios de calidad de vida relacionados con la salud más utilizados tanto en investigaciones como en usos clínicos para pacientes diagnosticados con IC. Proporciona puntuaciones para 21 preguntas diferentes enfocadas en dos dimensiones, física y emocional, con una puntuación total (de Tejada et al., 2019).
- **The Chronic Heart Failure Questionnaire:** Esta prueba mide la calidad de vida relacionada con la salud específica de la enfermedad y contiene información sobre la IC. Hay 16 preguntas escaladas en un puntaje de 1 a 7, evaluando 3 subsecciones que son la disnea (5 preguntas), fatiga (4 preguntas) y función emocional (7 preguntas) midiendo así síntomas físicos y emocionales (Schulz et al., 2019).

El SF-36 , el SF-12, The Chronic Heart Failure Questionnaire y The Minnesota Living with Heart Failure Questionnaire son algunos de los cuestionarios más recomendados para el monitoreo de signos y síntomas en pacientes con IC (Hauptman et al., 2008). En contraste, la ASC recomienda los siguientes cuestionarios: The Chronic Heart Failure Questionnaire,

The Yale Scale y The Minnesota Living with Heart Failure Questionnaire (Barisani, 2010). A partir de esta información se extrajeron algunas preguntas basadas principalmente en el MLHFQ para su implementación en el sistema de monitoreo remoto (Tabla 8).

*Tabla 8. Preguntas del registro de signos y síntomas*

| **Preguntas** |
|---|
| ¿Ha presentado hinchazón en tobillos y piernas? |
| ¿Dicha hinchazón le ha obligado a sentarse y descansar durante el día, al igual que al caminar o subir escaleras? |
| ¿Últimamente le ha costado dormir bien por la noche? |
| ¿Le ha costado realizar sus pasatiempos, deportes o actividades físicas? |
| ¿Ha sentido que le falta el aire al respirar? |
| ¿Últimamente se ha sentido cansado, fatigado o con poca energía? |
| ¿Ha presentado tos seca o sonidos silbantes y chillones al respirar? |
| ¿Ha presentado mareos y confusión? |
| ¿Últimamente se ha sentido preocupado y deprimido? |

De acuerdo a las recomendaciones hechas por cada una de las asociaciones de cardiología, en la Tabla 9 se muestra los valores o rangos normales para cada una de las variables seleccionadas, a partir de dichos valores se desarrollará el sistema de alertas el cual se explica más adelante teniendo en cuenta los rangos mostrados en la Tabla 6 para PA y en la Tabla 7 para FC.

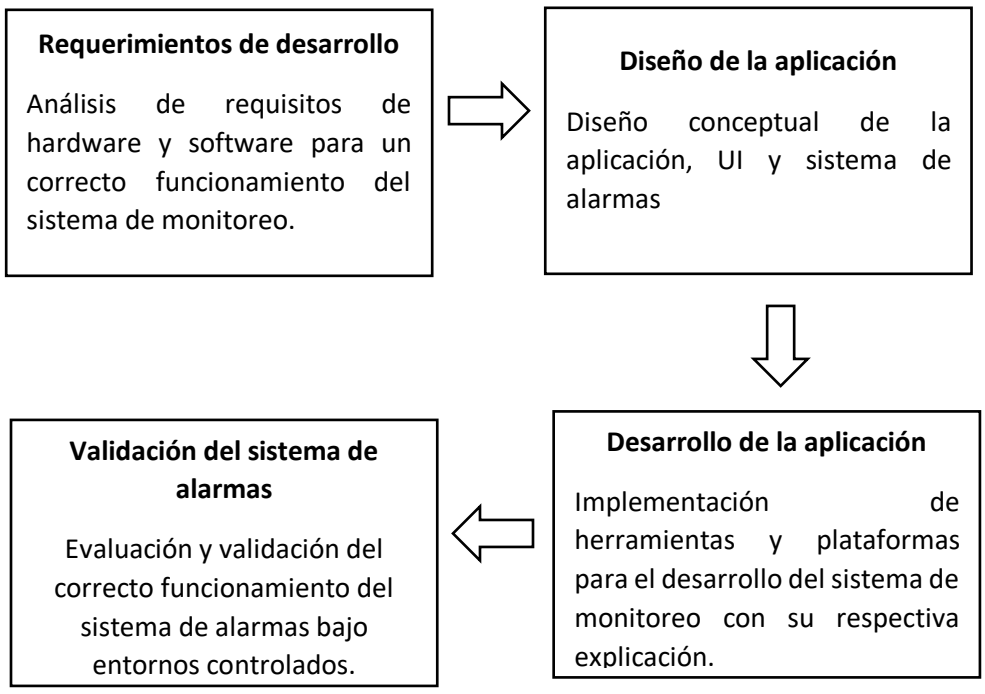
*Tabla 9. Valores normales de cada parámetro fisiológico*

| Variables Fisiológicas | Rangos Normales |
|---|---|
| **Frecuencia Cardíaca** | FC en un rango de 60 a 85 pulsaciones por minuto (ppm) |
| **Presión Arterial** | PA en un rango de 120 mmHg para sistólica y 80 mmHg en el caso de diastólica |
| **Peso** | Ganancia de peso en 2 días menor o igual a 2 kg |

### 3.3. Fases de desarrollo

Durante la fase de desarrollo se llevaron a cabo diferentes etapas mostradas en la Figura 11.

*Figura 11. Fases de desarrollo de la aplicación*



## 3.4. Requerimientos de desarrollo

### 3.4.1. Hardware

Para el desarrollo del proyecto se necesitan de algunos requisitos mínimos en hardware como lo son:

- Computador con un procesador mínimo Intel Core I3, con memoria RAM de 4GB y con un espacio de almacenamiento disponible mínimo de 50 GB.
- Smartphone con Android 6.0 o superiores. Es muy importante tener un teléfono móvil inteligente a la mano, debido a que en él se realizarán pruebas de visualización y desarrollo durante el proceso de programación, compilación y validación del código implementado en el sistema a diseñar.
- Smartwatch para medición de PA y FC, y una báscula digital para la medición de peso u otro dispositivo de medición que permita tomar las lecturas requeridas de cada variable fisiológica.

### 3.4.2. Software

En esta sección se presentan las herramientas y programas informáticos implementados durante el desarrollo del proyecto.

- **Visual Studio Code:** Es un editor de código fuente desarrollado por la compañía Microsoft. Ofrece servicios integrales para facilitar el desarrollo y programación de herramientas de software con soporte para una gran variedad de lenguajes de programación entre los cuales destacan JavaScript, Python, Java, HTML5, Dart, CSS, entre otros (Del Sole, 2018). Dada la facilidad que ofrece para el desarrollo de aplicaciones móviles y sitios web, así como su compatibilidad con diferentes SO

como Mac, Linux y Windows, se utilizó esta herramienta como entorno de implementación del código.

- **Android Studio:** Este entorno de desarrollo integrado es el oficial para la creación de aplicaciones nativas para Android que cuenta con un editor de código con diferentes funcionalidades facilitando la fase de desarrollo de software. Además, ofrece la capacidad de emular aplicaciones móviles en Android y iOS por medio de un entorno virtual siendo esta una gran ventaja a la hora de evaluar el comportamiento de la aplicación (DiMarzio, 2016).
- **Google Forms:** Esta herramienta desarrollada por la compañía Google permite la creación de cuestionarios y encuestas con el fin de recopilar información de manera rápida y eficiente. De igual forma, permite la utilización de diferentes plantillas alojadas dentro de la misma aplicación o incluso plantillas personalizables según el interés del usuario (Djenno et al., 2015). Teniendo en cuenta que el análisis de los síntomas de los sujetos en monitoreo es esencial, Google Forms facilitó la creación y gestión del cuestionario para este fin.
- **GitHub:** Es un repositorio online gratuito creado para el almacenamiento de código de las aplicaciones de cualquier desarrollador. Esta plataforma es muy utilizada para el archivo de trabajos y herramientas ya que implementa un sistema de control de versiones Git diseñado por Linus Torvalds. Esto permite administrar el proyecto y de ordenar el código según su versión (Dabbish et al., 2012). Además, como usuario de GitHub se tiene la posibilidad de descargar una determinada aplicación, adaptarla, colaborar con el desarrollo y visualizar el código fuente de forma rápida y sencilla. En el desarrollo de la aplicación esta herramienta fue útil al tener copias

de cada una de las versiones de la app, evitando confusiones y manteniendo los estados anteriores al momento de actualizar.

Para la elaboración del documento final se utilizaron programas ofimáticos orientados al procesamiento de texto como lo es Microsoft Word para la elaboración de la documentación final. Asimismo, para mantener una copia de seguridad de la información se empleó OneDrive, permitiendo proteger los archivos y compartirlos según fuese necesario, de igual forma Drive ofrece un servicio para el almacenamiento de datos desde internet con una capacidad gratuita de almacenamiento de 15 GB, que sirve de apoyo para ficheros de mayor peso como lo son los generados a través de la codificación de código. Por último, la herramienta Microsoft Excel que se implementó para la elaboración de los avances del proyecto, así como la escritura de archivos CSV encargados de almacenar la información correspondiente a las medidas de variables fisiológicas tomadas por el sujeto.

### 3.4.3. Instrumentos de medición

Los dispositivos vestibles empleados para la toma de los datos correspondientes a las variables fisiológicas de PA y FC son una Huawei Smart Band 4 y un SmartWatch R7 (Figura 12). Estos dispositivos poseen sensores capaces de medir algunos parámetros fisiológicos. En el caso de la banda inteligente de Huawei se cuenta con un sensor con diferentes funcionalidades dentro de las cuales se incluye la medición de FC, mientras que el reloj inteligente R7 permite la medición tanto de FC como de PA clasificando cada lectura (sistólica y diastólica) de manera similar a la que ofrece un tensiómetro digital. Esta información será digitalizada manualmente en la aplicación ICare.

*Figura 12. Dispositivos vestibles utilizados para la adquisición de FC y PA*

**Huawei Smart Band 4** **SmartWatch R7**

**Nota**. Recuperado de: https://www.amazon.com/

Para la medición del peso se utilizó una báscula de baño mecánica similar a la mostrada en la Figura 13. Es importante resaltar que dichas lecturas de peso se añaden manualmente en la aplicación de ICare.

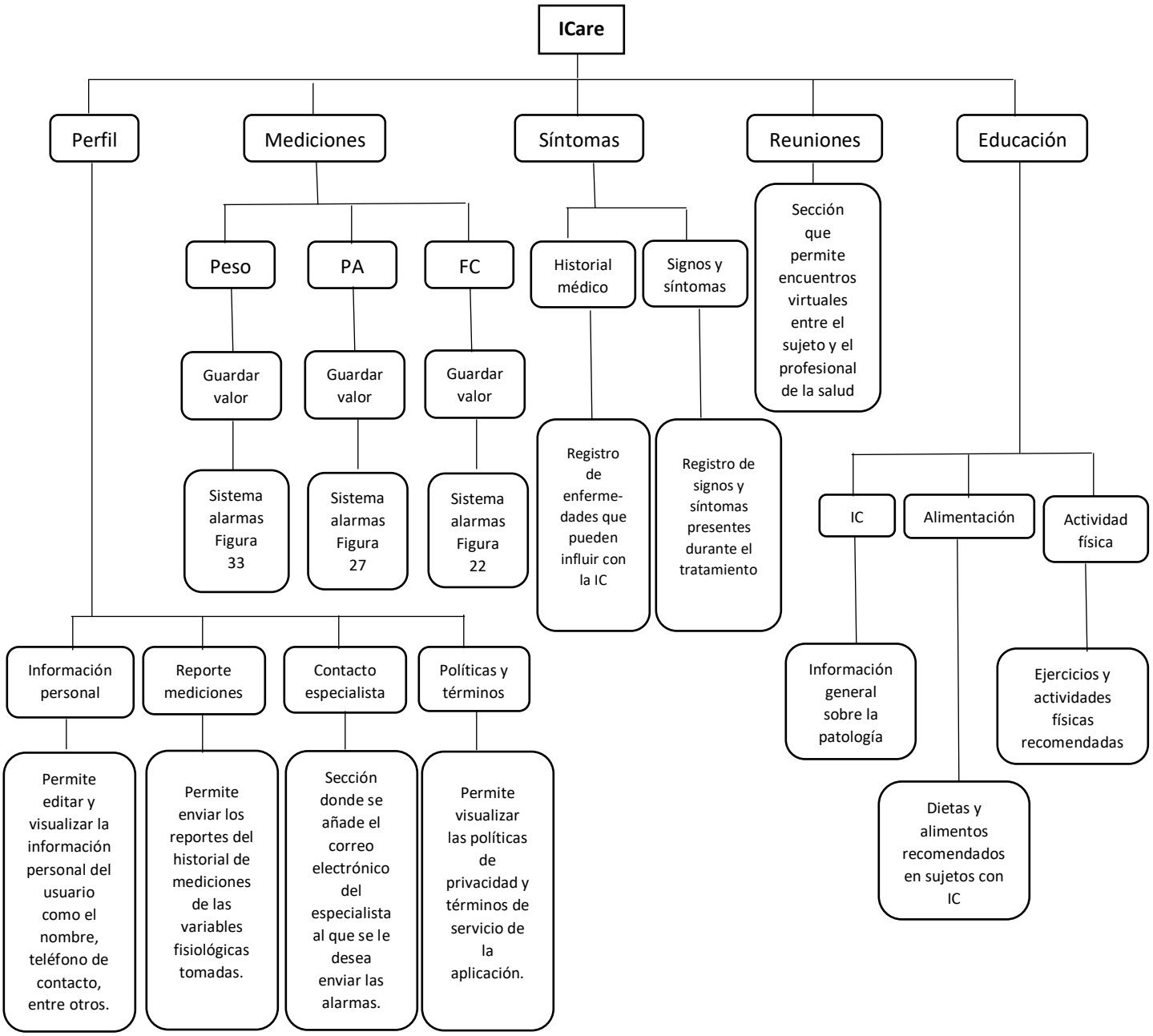
*Figura 13. Instrumento utilizado para la medición de peso*

**Nota.** Recuperado de: www.homecenter.com.co/

### 3.5. Diseño de la aplicación

El diseño conceptual de la estructura general de la aplicación se realizó por medio del diagrama de bloques mostrado en la Figura 14, se tienen cuatro secciones principales las cuales se encuentran distribuidas de la siguiente forma: la página principal o de variables fisiológicas que muestra las lecturas de los parámetros seleccionados y permite agregar nuevas mediciones, la sección de registro de síntomas en la cual el usuario puede registrar la información relacionada con sintomatología y la opción de registrar los datos relacionados con el historial médico, la sección de educación donde se muestra información relacionada con la IC, así como alimentación y recomendaciones en actividades físicas, y por último la página de perfil de usuario en la cual se puede editar la información personal, enviar los reportes de historial, seleccionar una foto de perfil, entre otras opciones.

*Figura 14. Diseño conceptual de la aplicación*



Para la elaboración del sistema de monitoreo remoto se presentan tres componentes principales que en conjunto harán parte del sistema final. En primer lugar, se tiene la plataforma del sujeto a través de la cual se hará toda la interacción necesaria para el registro de síntomas y el monitoreo de parámetros fisiológicos; por otro lado, una base de datos que almacene dicha información y permita compartirla con el especialista en caso de que se genere una alarma, por último, una herramienta de comunicación a distancia que facilite la relación paciente-profesional tal y como se ilustra en la Figura 15.

*Figura 15. Estructura del sistema de monitoreo remoto*

Dada la funcionalidad, la experiencia de usuario y la facilidad de uso de dicha plataforma, resulta más viable la implementación de una aplicación para dispositivos móviles con el fin de permitir un monitoreo y seguimiento continuo de parámetros fisiológicos y sintomatología en sujetos diagnosticados con IC.

Como se mencionó en el capítulo 2, para la programación de aplicaciones nativas existen diferentes alternativas que son una muy buena opción para el desarrollo de software. Sin embargo, algunas de ellas requieren un enfoque diferente dependiendo del SO en el que se va a correr dicha aplicación. Por ello, dada la facilidad para el desarrollo multiplataforma, así como la curva de aprendizaje se escogió *Flutter* como la mejor alternativa para la creación de aplicaciones nativas híbridas, ya que este SDK permite implementar el mismo código para todos los SO y su proceso de aprendizaje se puede dar en un breve periodo de tiempo.

*Flutter* es compatible con diferentes bases de datos, dentro de las cuales resaltan *SQLite*, *MongoDB*, *MySQL*, entre otras. Sin embargo, existe una alternativa más recomendada para el tipo de aplicación que se desea crear para el monitoreo llamada *Firebase*.

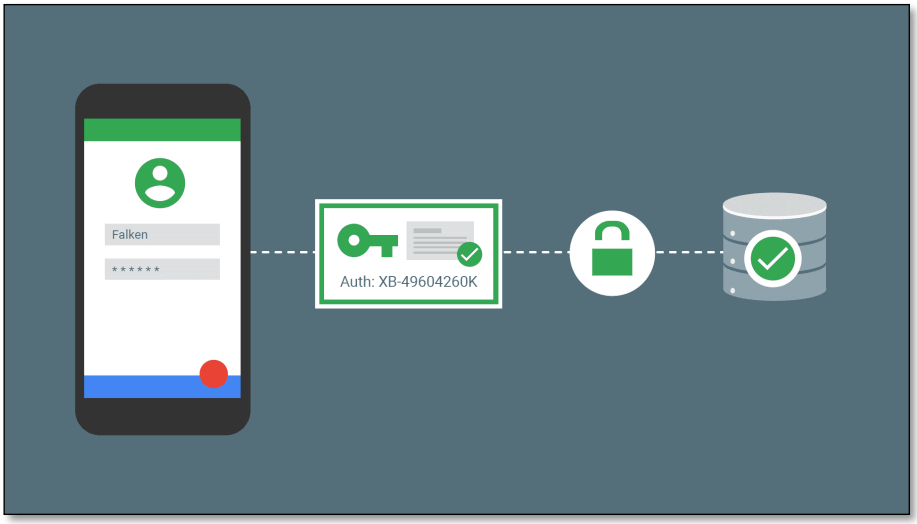
*Firebase* es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones móviles y web en la nube creada y recomendada por Google. Es una plataforma, con seguridad integrada, implementada por el mismo equipo de desarrolladores de *Smartlock* y el administrador de contraseñas de Google. Se encuentra disponible para diferentes SO (iOS, Android, Web) por lo que resulta más eficiente durante la fase de desarrollo. También, facilita el manejo de bases de datos con una alta calidad, ya que incluye funciones como almacenamiento, lectura, análisis y escritura de los datos en tiempo real (Moroney, 2017).

*Firebase* incluye servicios para el desarrollo de aplicaciones que permiten optimizar diversas características para obtener una alta calidad en la app, algunas de las funcionalidades que ofrece esta plataforma son las mostradas a continuación:

- **Autenticación de usuarios**

Es una de las herramientas de gran relevancia para el desarrollo de una app, la cual permite realizar un cifrado (Figura 16) de cada usuario estableciendo unas reglas de seguridad para que solo el usuario autenticado pueda acceder a su respectiva información (Moroney, 2017). *Firebase* ofrece una serie de alternativas para la autenticación de usuarios, como lo son el registro mediante correo y contraseña, la utilización de la API de Facebook, Google, Twitter, entre otras plataformas incluyendo autenticación por número telefónico. Esta característica resulta bastante conveniente para una app con fines de monitoreo, ya que resulta esencial asegurar la privacidad de los usuarios de las mismas.

*Figura 16. Cifrado de autenticación de usuarios*




**Nota.** Recuperado de https://firebase.google.com/products/auth/

- **Almacenamiento en la nube**

*Firebase* dispone de un sistema de almacenamiento donde los programadores pueden almacenar los archivos de los usuarios, como por ejemplo fotografías, datos personales, información base de la aplicación, mediciones, entre otras. Dicha información es personalizable mediante determinadas reglas que permiten modificar el orden y clasificación dentro del fichero.

*Firebase* ofrece dos bases de datos para la sincronización en tiempo real. *Cloud Firestore* es la base de datos *NoSQL* más reciente para el desarrollo de apps para dispositivos móviles, es flexible y escalable que mantiene los datos y los organiza en documentos y colecciones que contienen datos anidados. Estos datos se encuentran sincronizados entre el cliente y el servidor a través de escucha o detección de cambios de los documentos en tiempo real. *Realtime Database* es la base de datos original de *Firebase*, es una opción eficiente y de baja latencia destinada a apps móviles que requieran estados sincronizados entre el cliente en tiempo real. Desde la perspectiva de una aplicación para el monitoreo remoto, resulta esencial asegurar la gestión de la información suministrada por los sujetos con respecto a los parámetros de interés (Moroney, 2017).

- **Firebase Analytics**

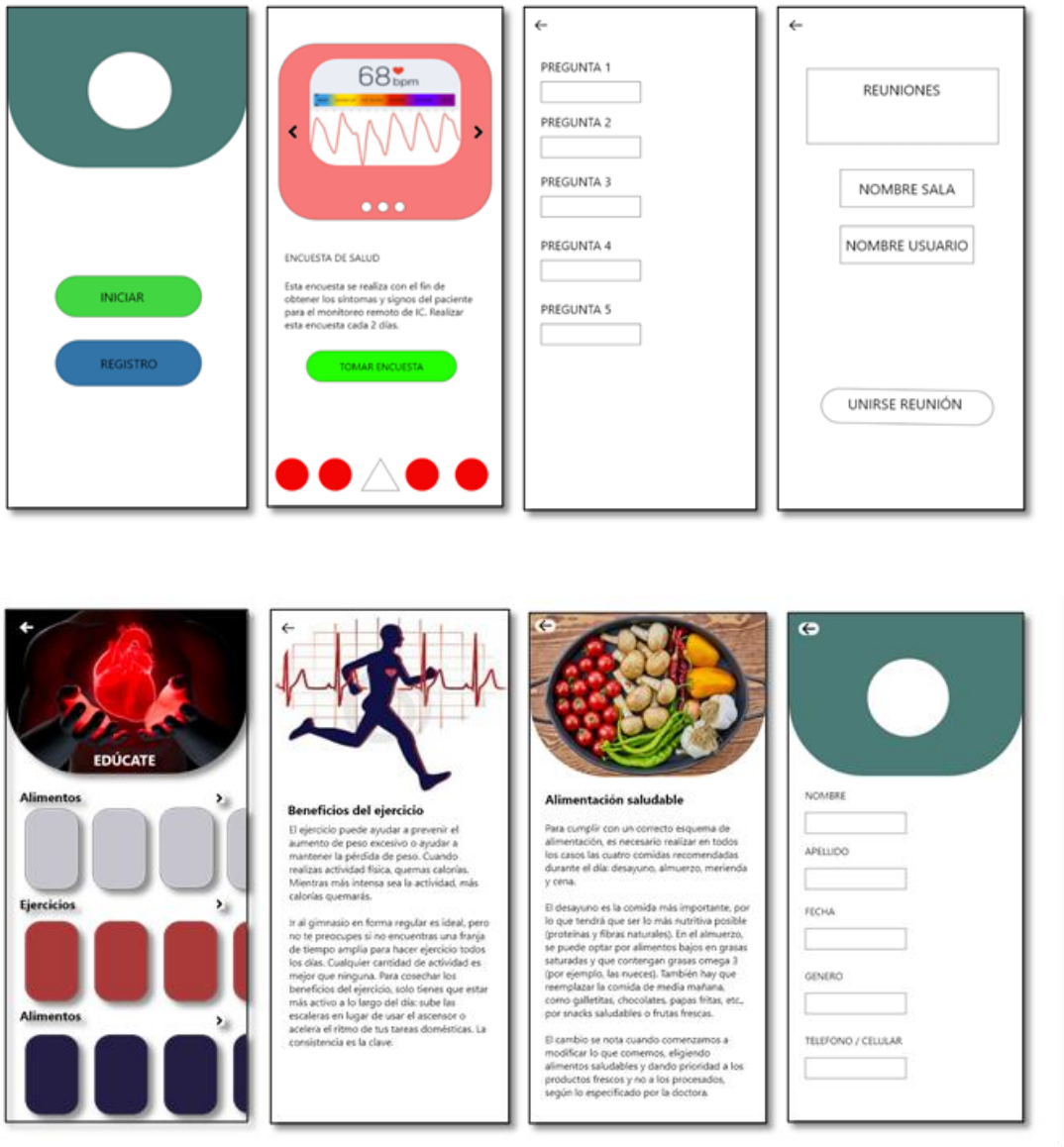
Esta herramienta permite hacer un seguimiento de fallas y errores sobre el rendimiento general de la aplicación. De igual manera, *Firebase* ofrece un reporte semanal a través del cual se puede visualizar la actividad general de los usuarios, mostrando la cantidad de usuarios activos por día, operaciones de lectura y escritura de

datos, interacción de los usuarios, ubicación geográfica de donde se conectan los usuarios, la marca de dispositivo y su versión de SO, entre muchas más opciones. Para cualquier aplicación y en especial para aquellas con propósitos médicos, estos elementos son fundamentales para realizar un continuo seguimiento del comportamiento de la aplicación, permitiendo dar soporte y mejorar la calidad de la app (Moroney, 2017).

### 3.5.1. Diseño de la UI

Para el diseño de la UI del sistema de monitoreo se tuvo en cuenta el diagrama conceptual expuesto anteriormente (Figura 14). Por medio del programa Adobe XD se consigue una idea clara de la UI al momento de iniciar la programación, ya que es un editor gráfico vectorial usado para la creación de prototipos en diseño de interfaz y diagramas para el desarrollo de apps o páginas web.

*Figura 17. Diseño de la UI en Adobe XD*




Como se presenta en la Figura 17, se realizó un diseño de la UI para cada uno de los requerimientos establecidos en el diagrama conceptual del sistema de monitoreo, como lo es:

- La autenticación de usuario la cual permite la identificación exacta del sujeto que solicite acceso a los servicios de monitoreo a través de la app.

- Una página principal donde se tendrá un acceso directo a la información detallada para cada variable fisiológica en donde se podrá visualizar lecturas pasadas y del mismo modo añadir nuevas mediciones.
- Un apartado de comunicación directa ya sea con el médico especialista tratante o un personal de registro médico para cualquier consulta y/o petición que se podrá realizar directamente con un software de videoconferencia.
- Una pestaña de educación para el sujeto en donde se podrá encontrar información acerca de la IC, además de ofrecer alguna lista de prácticas de ejercicio como también una sección con recomendaciones en la alimentación.

Todo lo anterior se hace con el fin de brindar un apoyo completo al sujeto monitoreado tanto en el monitoreo constante de sus signos y síntomas como también una retroalimentación con respeto a la patología que le ha sido diagnosticada.

## 3.6. Desarrollo de la aplicación

### 3.6.1. Configuración de Firebase como base de datos

Para la configuración de *Firebase* como base de datos para el sistema de monitoreo remoto, se debe crear un proyecto con el nombre del mismo, aceptando términos y condiciones y seleccionando la región en la cual se alojará el servidor.

Luego de la creación del proyecto, *Firebase* ofrece la opción de agregar o vincular una aplicación ya sea Android, iOS, Web o Unity a dicho proyecto, para este caso se selecciona el SO operativo correspondiente, siendo para este caso Android, y se procede con los pasos especificados por *Firebase*. Luego del proceso de vinculación, se puede observar en *Firebase* que la aplicación ha sido añadida ya que se puede observar el nombre de la misma y el

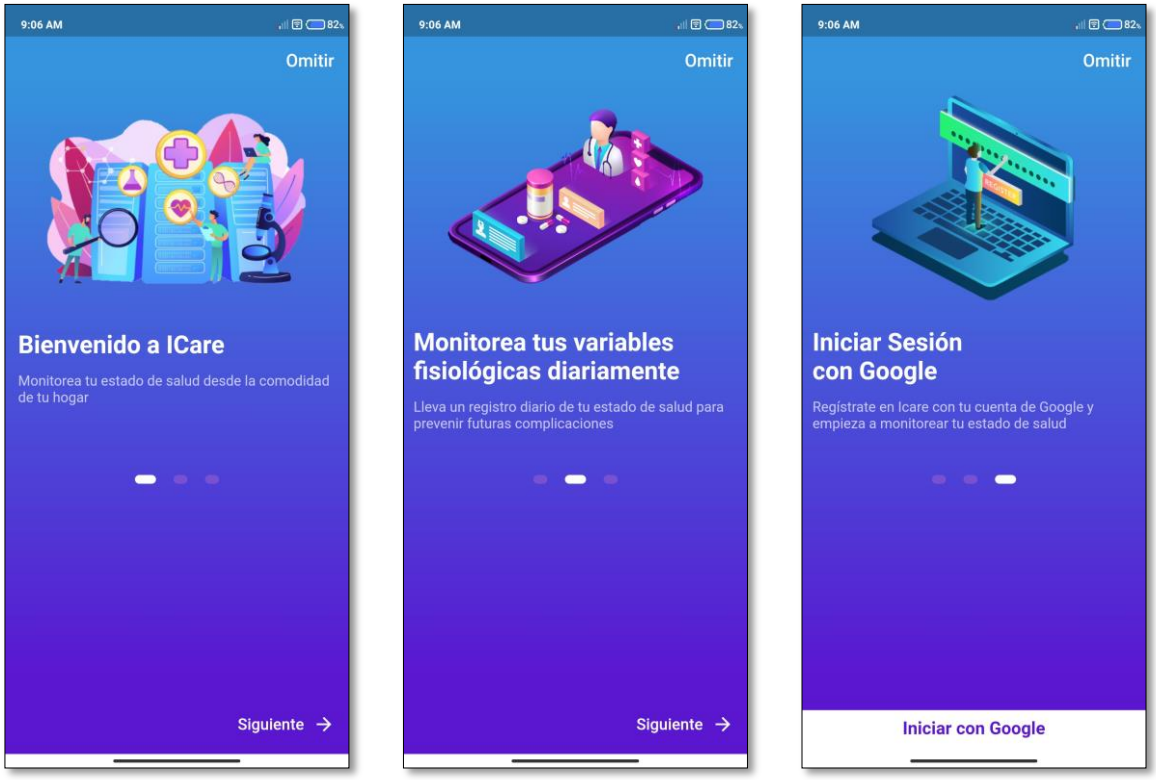
lenguaje de programación con el cual se va a desarrollar. Una vez configurado el *backend* de la aplicación se procede a la programación de las diferentes secciones que componen el sistema de monitoreo.

### 3.6.2. Página principal

La pestaña principal o de bienvenida se encuentra compuesta por 3 páginas que se encargan de dar una idea general al usuario sobre la funcionalidad de la aplicación, la primera de ellas consiste en un mensaje de bienvenida, la segunda expone un breve mensaje sobre la importancia del monitoreo y registro de parámetros fisiológicos, y por último la opción de iniciar sesión por medio de cuentas de Google (Figura 18).

En cuanto a los colores en esta sección se decidió utilizar gradientes con colores vivos, además de manejar un diseño minimalista con el fin de priorizar la experiencia de usuario. Las imágenes fueron obtenidas de undraw.co. Esta página web permite descargar de manera gratuita diferentes ilustraciones de código abierto para diseñar páginas web, productos y aplicaciones con una mejor apariencia.

*Figura 18. Página de bienvenida de la aplicación*




Para la UI se utilizó un Page View en sentido horizontal, donde se programó cada sección de forma individual y se añadió un escuchador o *listener* para detectar el gesto del usuario y así poder cambiar tanto la pantalla como el indicador de página que se encuentra justo debajo del texto. De igual forma, dicho *listener* es capaz de detectar cuando el usuario se encuentra en la última página para que se pueda redibujar el widget en la parte inferior y permita al sujeto iniciar sesión con su cuenta de Gmail.

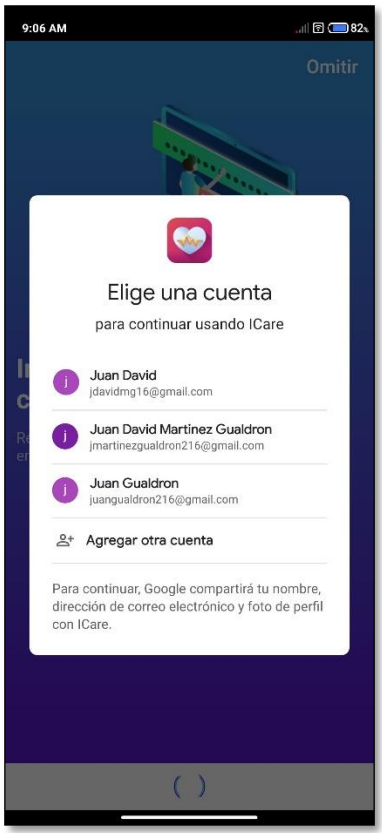
### 3.6.3. Autenticación de usuario

Después de comprobar las diferentes opciones de autenticación de usuario dentro de la base de datos de *Firebase* dentro de las cuales se encuentran por correo y contraseña, número

telefónico, y redes sociales (Facebook, Twitter); para la aplicación se eligió Google como la opción más eficiente, ya que *Flutter* ofrece un complemento para el inicio de sesión mediante el paquete de Google *Sign In,* cuya documentación puede ser encontrada en pub.dev, permitiendo que el usuario puede revocar el acceso a una aplicación en cualquier momento.

Una vez instalado el paquete de Google, así como los paquetes de *Firebase Auth (Authentication)* y *Provider* que funcionan como soporte para este método de inicio de sesión, se programó la lógica requerida para que una vez el usuario pulsara sobre la opción de "Iniciar con Google" (Figura 18) se ejecutara esta función para así poder seleccionar la cuenta con la que se desea acceder a la aplicación (Figura 19).

*Figura 19. Iniciar sesión con Google*



Una vez que el usuario ingresa por medio de una cuenta de Gmail se creará un token único que será enviado para la autenticación en *Firebase* y permitirá validar el ingreso y salida del usuario dentro de la aplicación, esto con el fin de que cada vez que el usuario vuelva a ingresar no sea dirigido a la pantalla de bienvenida sino dentro de la aplicación como tal. De igual forma, en caso que se desee cerrar sesión, dicho token será el encargado de recuperar la información almacenada en la base de datos si se vuelve a ingresar con la misma cuenta.

La aplicación ICare se encuentra dividida en 5 secciones las cuales son: mediciones, síntomas, reuniones, educación y perfil; ubicadas dentro de una barra de navegación que se muestran en la Figura 20, cada una de estas contiene interfaces diferentes las cuales se explicarán de forma detallada más adelante.

*Figura 20. Pestañas de navegación dentro de ICare*

### 3.6.4. Pestaña de mediciones y seguimiento de parámetros fisiológicos

La primera pestaña que se desarrolló fue la de seguimiento a parámetros fisiológicos, para la programación de la UI se tuvo en cuenta el diseño en Adobe XD mostrado en la Figura 17. En primer lugar, la sección ubicada en la parte superior contiene una fila dentro de la cual se muestra un mensaje de bienvenida al usuario, así como la imagen de perfil que este haya seleccionado. Al momento de presionar en esta área el usuario será llevado la página de editar

información personal, la cual se muestra más adelante. A continuación, se encuentran tres tarjetas o contenedores correspondientes a las variables fisiológicas de interés para el monitoreo donde se puede observar el último valor añadido para cada parámetro. De igual forma, al presionar sobre el ícono ubicado en la parte superior derecha de cada contenedor la aplicación mostrará la página de detalles según corresponda la variable seleccionada. Así mismo, en la parte inferior se tiene una pestaña de acceso directo al registro de síntomas (Figura 21).

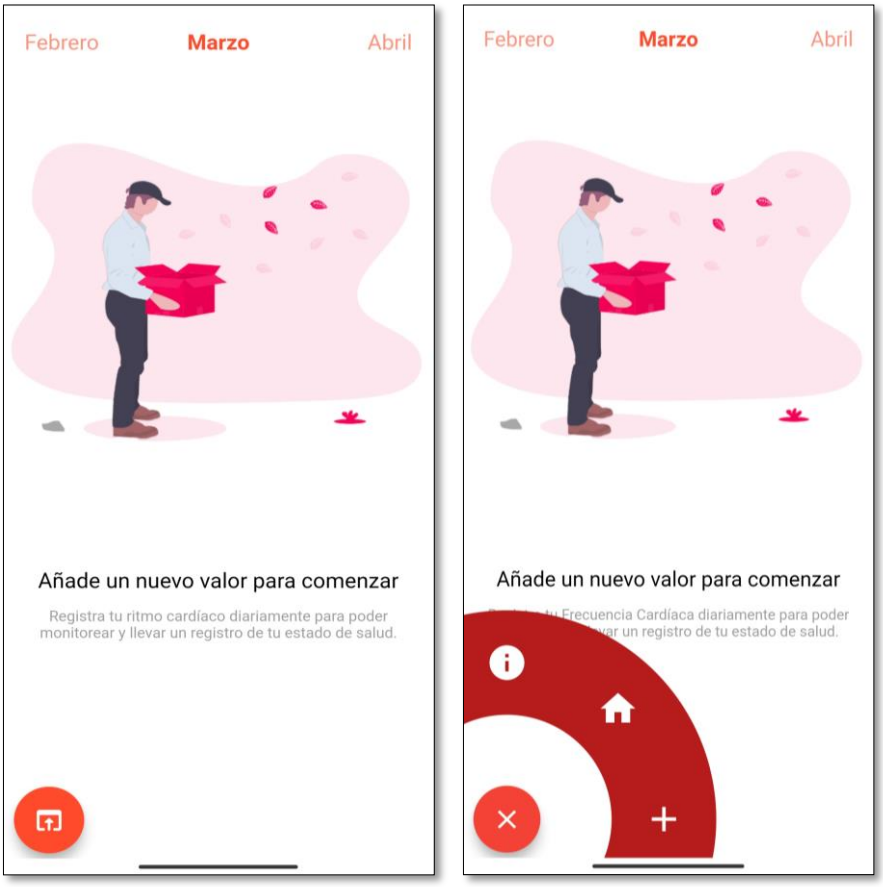
*Figura 21. UI de la página de mediciones de parámetros fisiológicos*

A continuación, se presentará de forma detalla cada una de las páginas correspondientes a las variables fisiológicas seleccionadas.

#### 3.6.4.1. Frecuencia Cardíaca

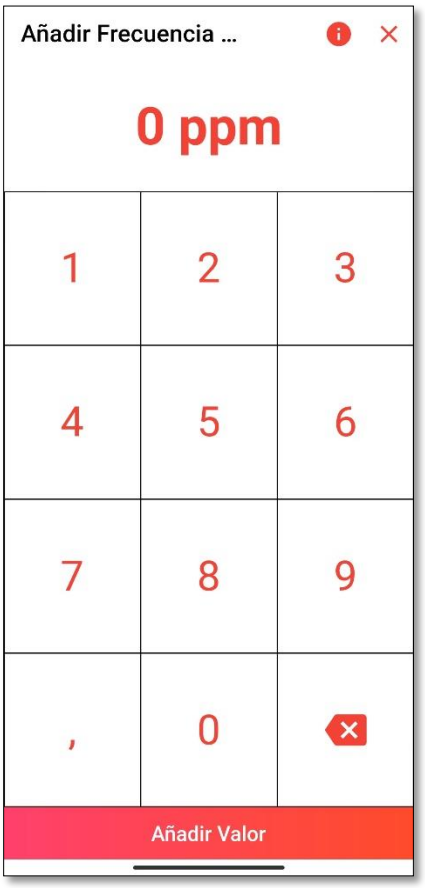
La página para FC consta de un diseño sencillo, en la parte superior cuenta con un deslizador o selector de meses, a partir del cual el usuario puede visualizar información detallada de este parámetro en meses pasados. Si es la primera vez que el usuario ingresa a la aplicación o si no hay registro de valores añadidos en meses anteriores se visualizará la pantalla mostrada en la Figura 22, es importante resaltar que las páginas de información para las demás variables poseen un diseño similar. En la parte inferior izquierda se implementó un botón flotante que se encarga de desplegar una serie de opciones para el que usuario pueda navegar por la aplicación. Dicho botón consta de tres íconos, el primero de ellos despliega una ventana flotante que contiene información básica sobre los rangos normales para la FC (identificado con el ícono “i”), el segundo permite volver a la pantalla principal mostrada en la Figura 19 (identificado con el ícono de una casa), y por último se tiene la opción de añadir una nueva lectura (identificado con el ícono “+”).

*Figura 22. Página de FC sin valores añadidos*




Al acceder al botón para añadir una nueva medición se redirecciona al usuario a una nueva pantalla (Figura 23) donde se encuentra el espacio disponible para registrar manualmente un nuevo valor de FC en ppm. El diseño de la UI es amigable con el usuario ya que posee una interfaz grande lo que facilita el proceso de digitación y la verificación del valor a añadir antes de presionar el botón en la parte inferior de "Añadir Valor".

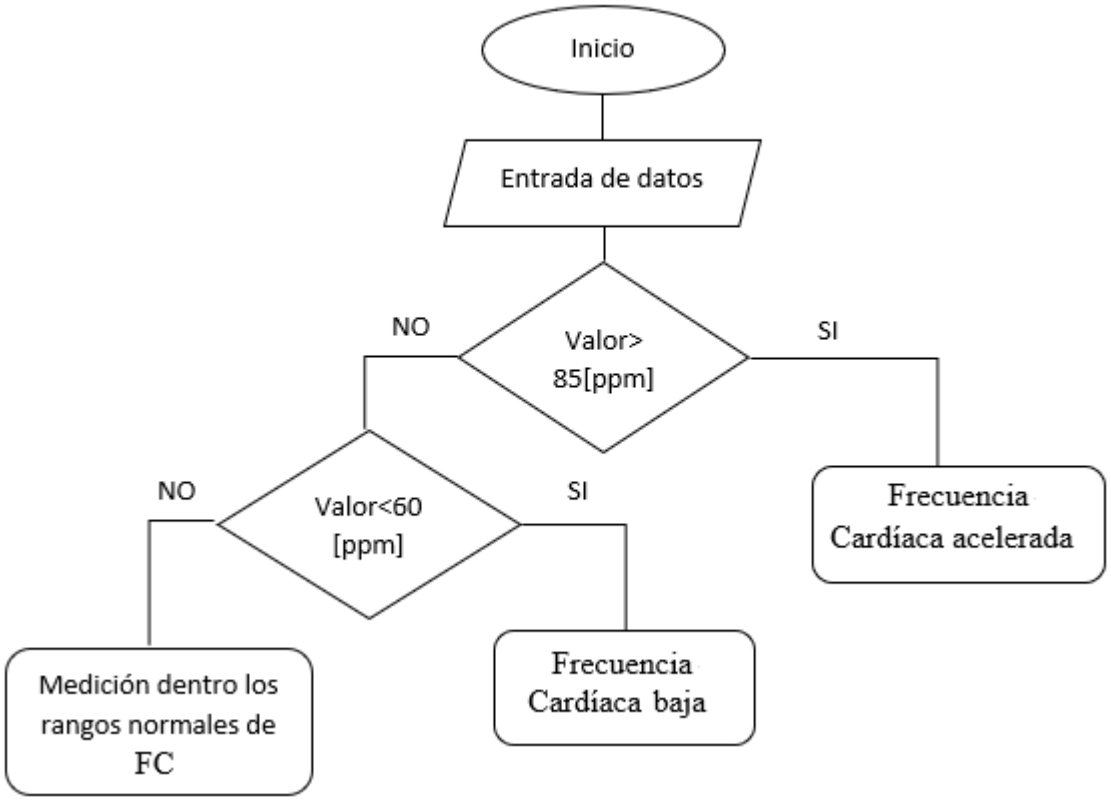
*Figura 23. UI para añadir una nueva lectura de FC*




Al enviar el registro se ejecutará automáticamente el sistema de alertas para esta variable mostrado en el diagrama de bloques de la Figura 24, el cuál será el encargado de comparar esta entrada con los rangos que puedan ser indicadores de posibles descompensaciones. Si el usuario intenta nuevamente añadir un valor a FC sin haber realizado la medida de PA, se abrirá una ventana indicándole que debe realizar la medición de PA, con el objetivo de que el especialista tenga un reporte en conjunto de las dos mediciones y pueda hacer valoraciones con respecto a dicha información,

como revisar si algunos medicamentos implementados para controlar la PA que estarían afectando las mediciones de FC acelerada.

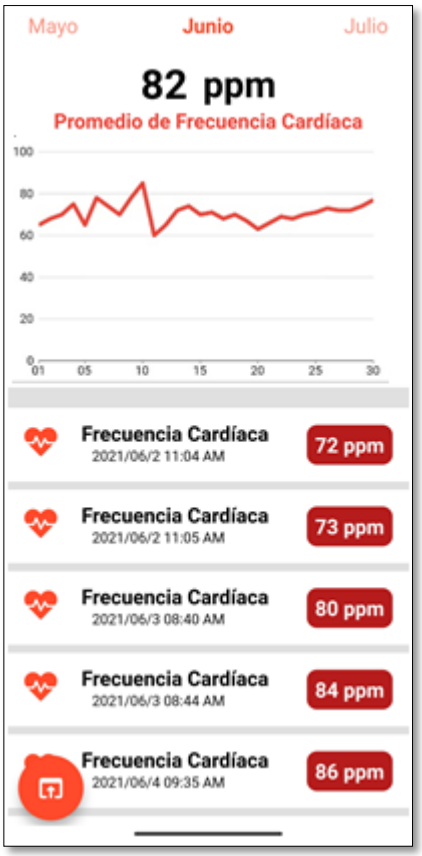
*Figura 24. Diagrama del sistema de alarmas para FC*




Al añadir una nueva lectura el diseño de la pantalla de detalle de FC se modifica, para este caso se incluye igualmente un selector del mes en la parte superior similar al mostrado en la Figura 22, a continuación se añade un texto que mostrará el promedio de las mediciones registradas hasta la fecha actual durante el mes, más abajo se encuentra una gráfica encargada de ilustrar el registro de mediciones en función de los días del mes y por último, una sección de historial que indica la fecha

y la hora en que se añadió una determinada lectura así como su respectivo valor (Figura 25).

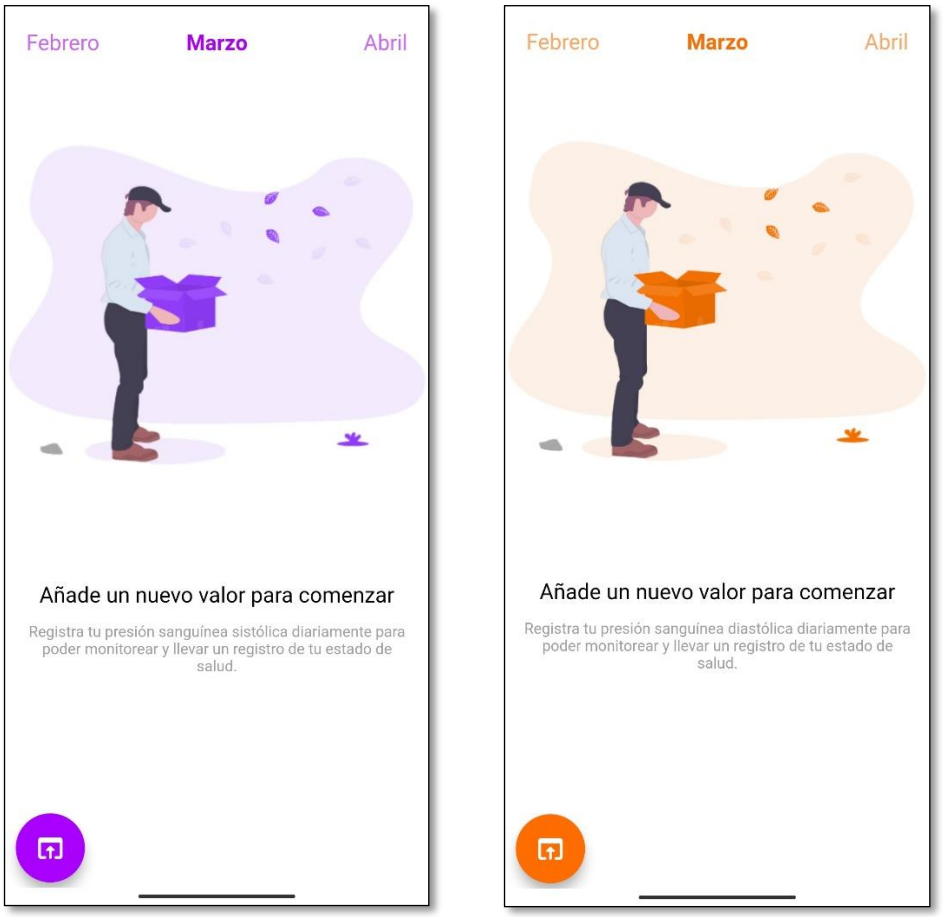
*Figura 25. Página de detalle para del monitoreo de FC*




### 3.6.4.2. Presión Arterial

La página de información e historial de mediciones para PA se encuentra divida en dos, una para PA sistólica y la otra para PA diastólica mostradas respectivamente en la Figura 26 en el caso de no haber información registrada previamente. El diseño de las mismas es similar para todas las variables fisiológicas, sin embargo, tanto el color de la interfaz como el de la imagen de fondo varían dependiendo del parámetro seleccionado.

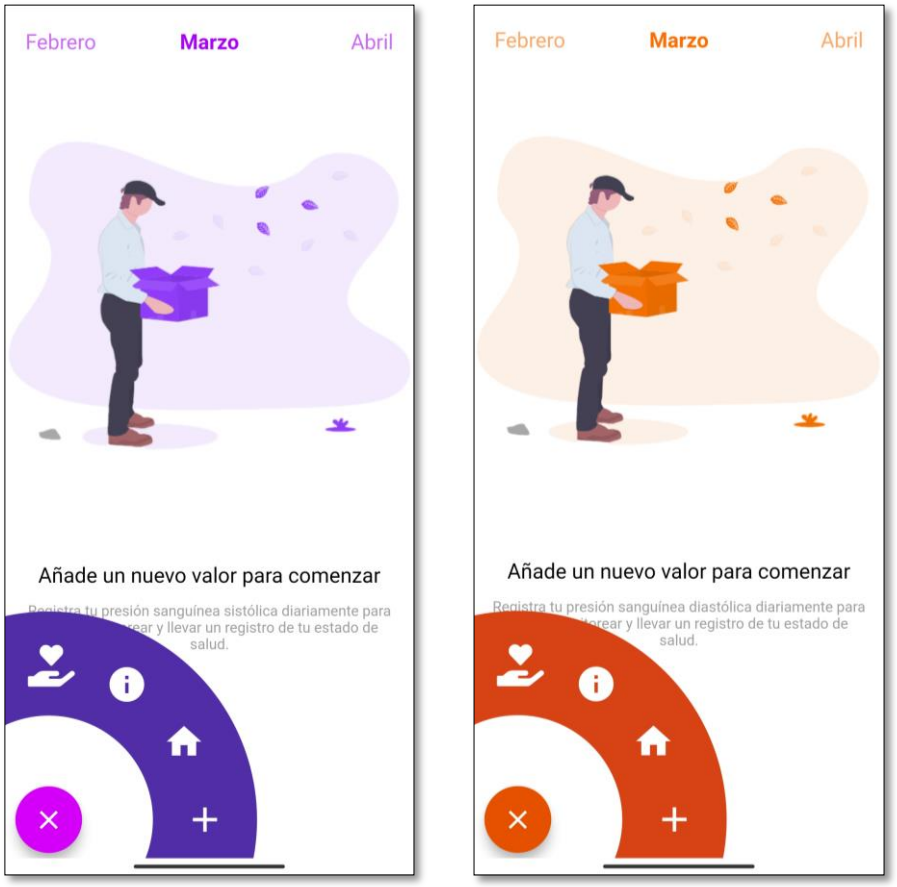
*Figura 26. Páginas de detalle de PA sin valores añadidos*




De igual forma que para el caso de FC, el botón flotante ubicado en la parte inferior izquierda despliega una serie de opciones mostradas en la Figura 27. En primer lugar, se encuentra el ícono que se encarga de cambiar entre las páginas de PA sistólica y diastólica (identificado con el símbolo de una mano sosteniendo un corazón). A continuación, la opción que despliega una ventana flotante que contiene información básica sobre los rangos normales para la PA sistólica y diastólica según corresponda (identificado con el ícono “i”), el tercer ícono permite volver a la pantalla principal

mostrada en la Figura 21 (identificado con el ícono de una casa), por último, la opción de añadir una nueva medición de PA (identificado con el ícono de “+”).

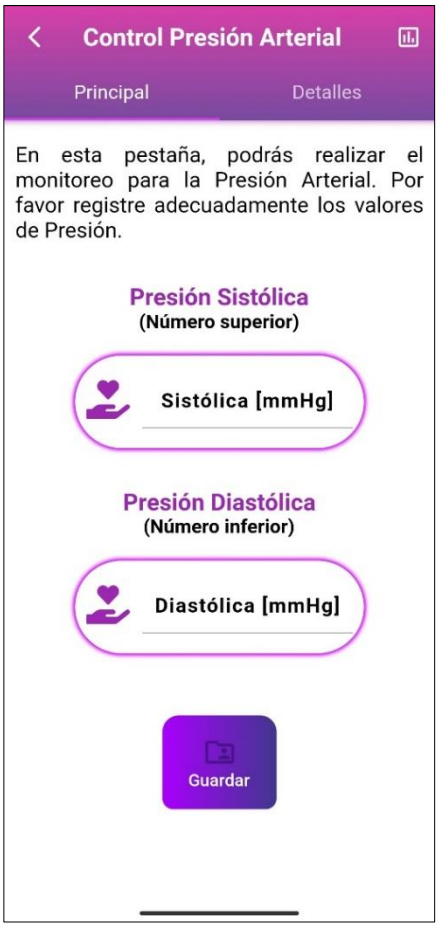
*Figura 27. Opciones del botón flotante para PA*




Para el caso de añadir una nueva lectura se implementó una UI diferente a la mostrada para FC, ya que en esta sección se pueden añadir los valores tanto para PA sistólica como para PA diastólica en una misma interfaz por medio de la implementación de campos de texto donde el usuario puede digitar dichas lecturas. Así mismo, cuenta con un botón de Guardar que permite almacenar la información

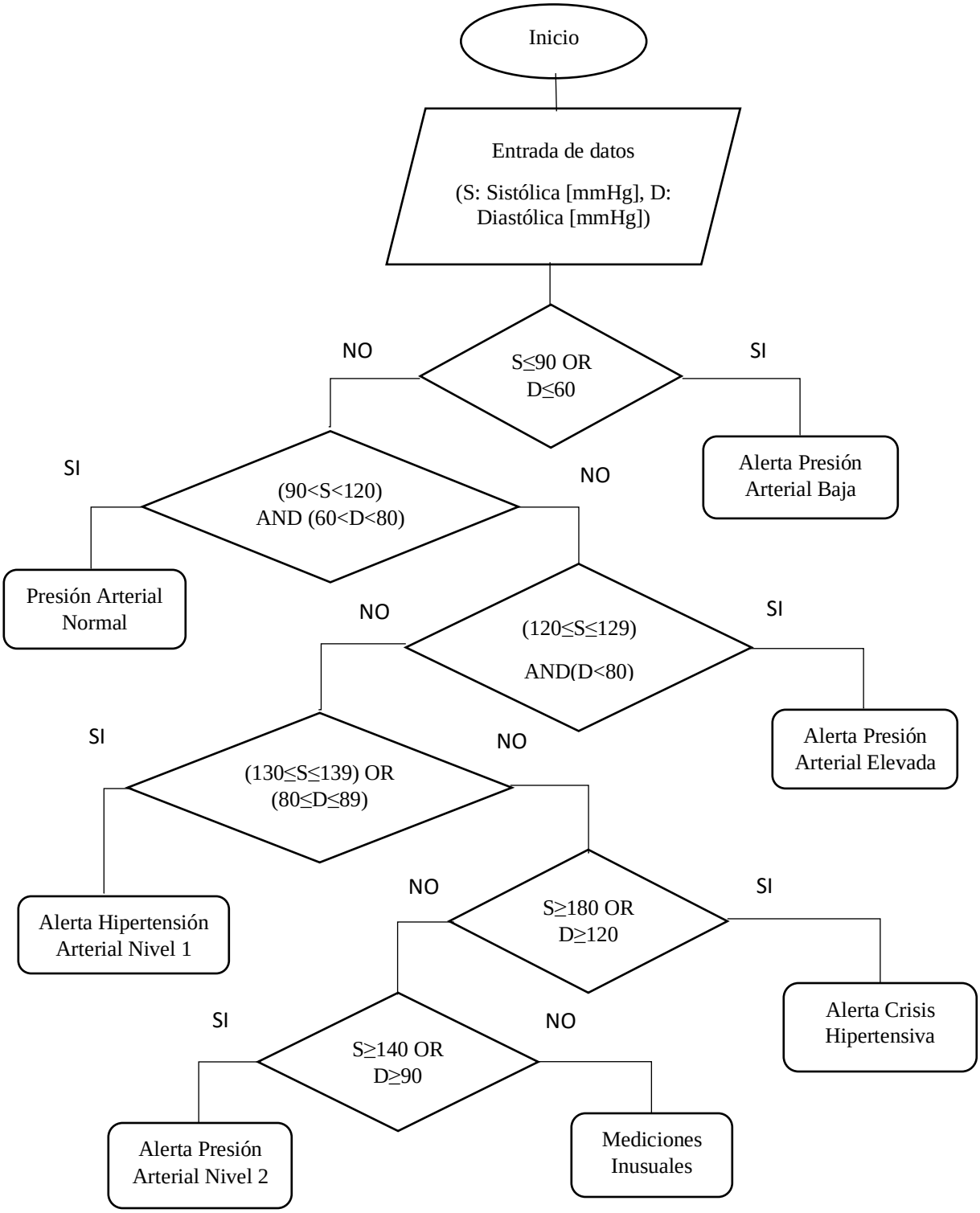
en la base de datos, al igual que en el caso anterior se abrirá una ventana informando que por favor realice la medición de FC si es la segunda vez consecutiva que intenta registrar la PA. Como se indicó anteriormente el objetivo principal de estas notificaciones es tener el conjunto de datos de las dos variables fisiológicas y así el especialista tenga reporte amplio sobre el estado del corazón. En la parte superior se añadieron pestañas e íconos que facilitan el acceso al historial de registros y a la visualización de la página de detalles de este parámetro (Figura 28).

*Figura 28. Página para añadir nuevas lecturas de PA*



El sistema de alarmas mostrado en la Figura 29 se ejecuta una vez se agregue un nuevo valor a la base de datos, el cual clasifica estas mediciones dentro los rangos especificados en la Tabla 6. Si se detecta un valor anormal se enviará una alerta al correo electrónico del especialista especificado por el sujeto, el cual contiene información tanto de la última medición de PA como el último valor agregado para FC. La Figura 30 ilustra el diseño y el contenido del correo recibido por el especialista en caso de detectarse una descompensación.

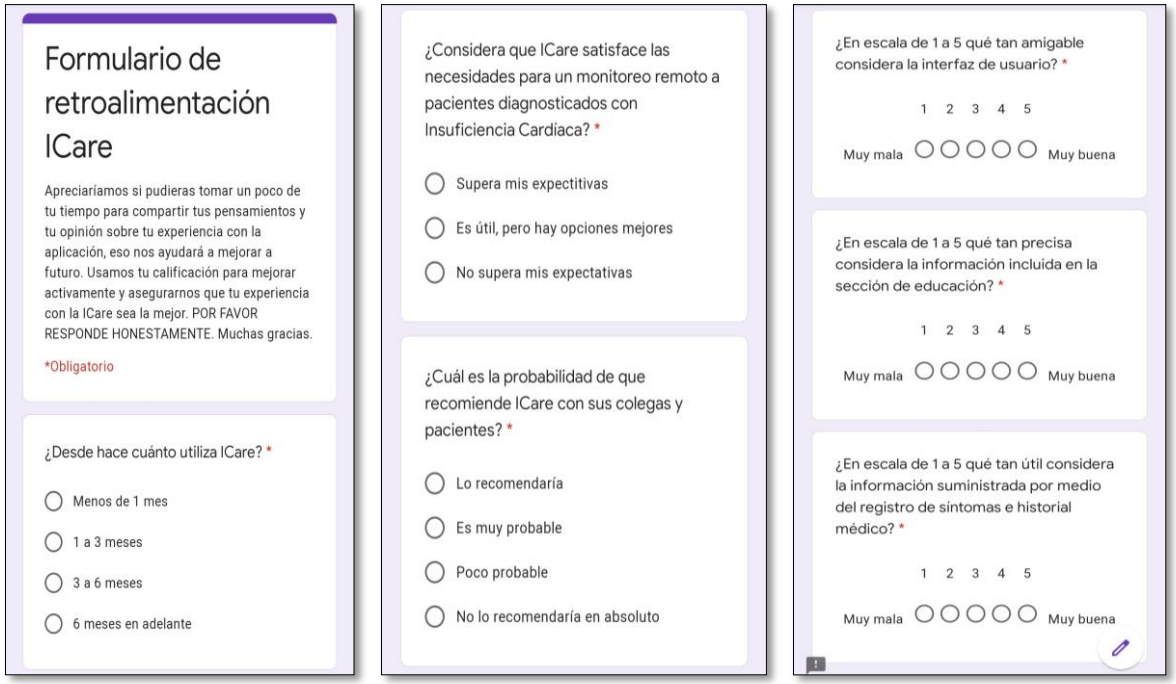
*Figura 29. Diagrama del sistema de alarmas para PA*



Es importante resaltar que la información personal mostrada en la Figura 30 no es real, así mismo, el correo electrónico incluye una sección de calificación, las cuales redireccionan al especialista a una encuesta de satisfacción elaborada en Google Forms con el fin de llevar un registro de retroalimentación y posibles recomendaciones por parte de los profesionales de salud para mejorar el desempeño del sistema de monitoreo remoto (Figura 31).

*Figura 30. Correo electrónico de alarma para PA*

*Figura 31. Encuesta de satisfacción para especialistas*



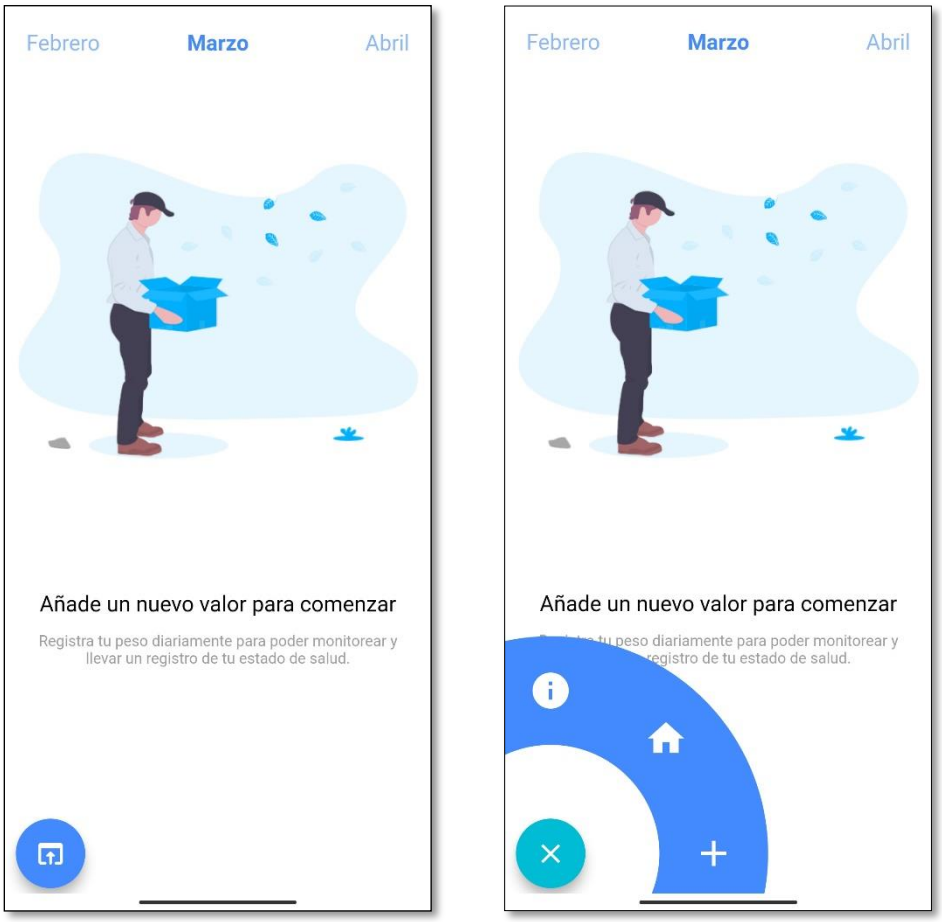

Dentro de la pestaña de información general sobre la PA se implementa una gráfica con cada uno de los registros añadidos de la presión sistólica y diastólica (Figura 32). Esta permite visualizar las variaciones en dichas mediciones por separado a lo largo de cada mes, así como el historial de PA.

*Figura 32. Páginas de detalle para PA sistólica y diastólica*

#### 3.6.4.3. Peso

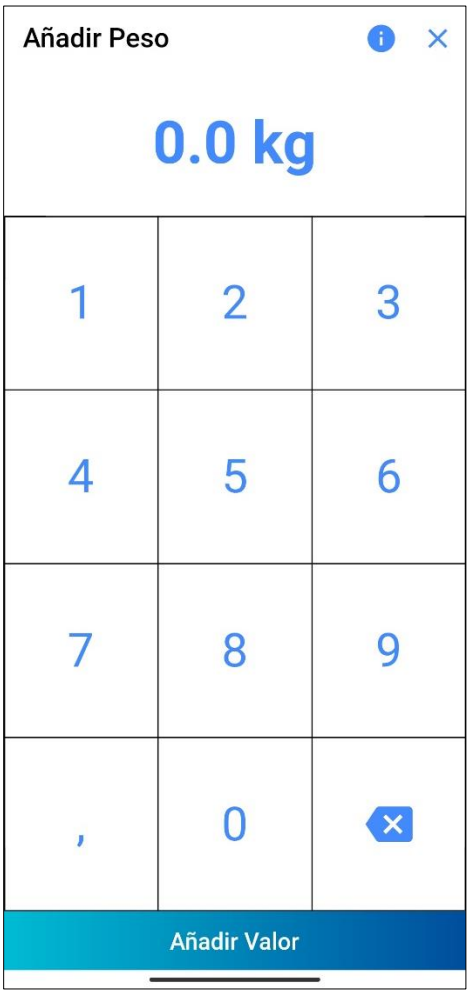
La página de detalle del monitoreo esta variable cuenta con un diseño similar al de la página de FC mostrada en la Figura 22, la diferencia más notable radica en los colores implementados en la misma. En cuanto a la visualización de información en caso de que no haya información registrada previamente se mostrará la UI ilustrada en la Figura 33.

*Figura 33. Página de peso sin valores añadidos*



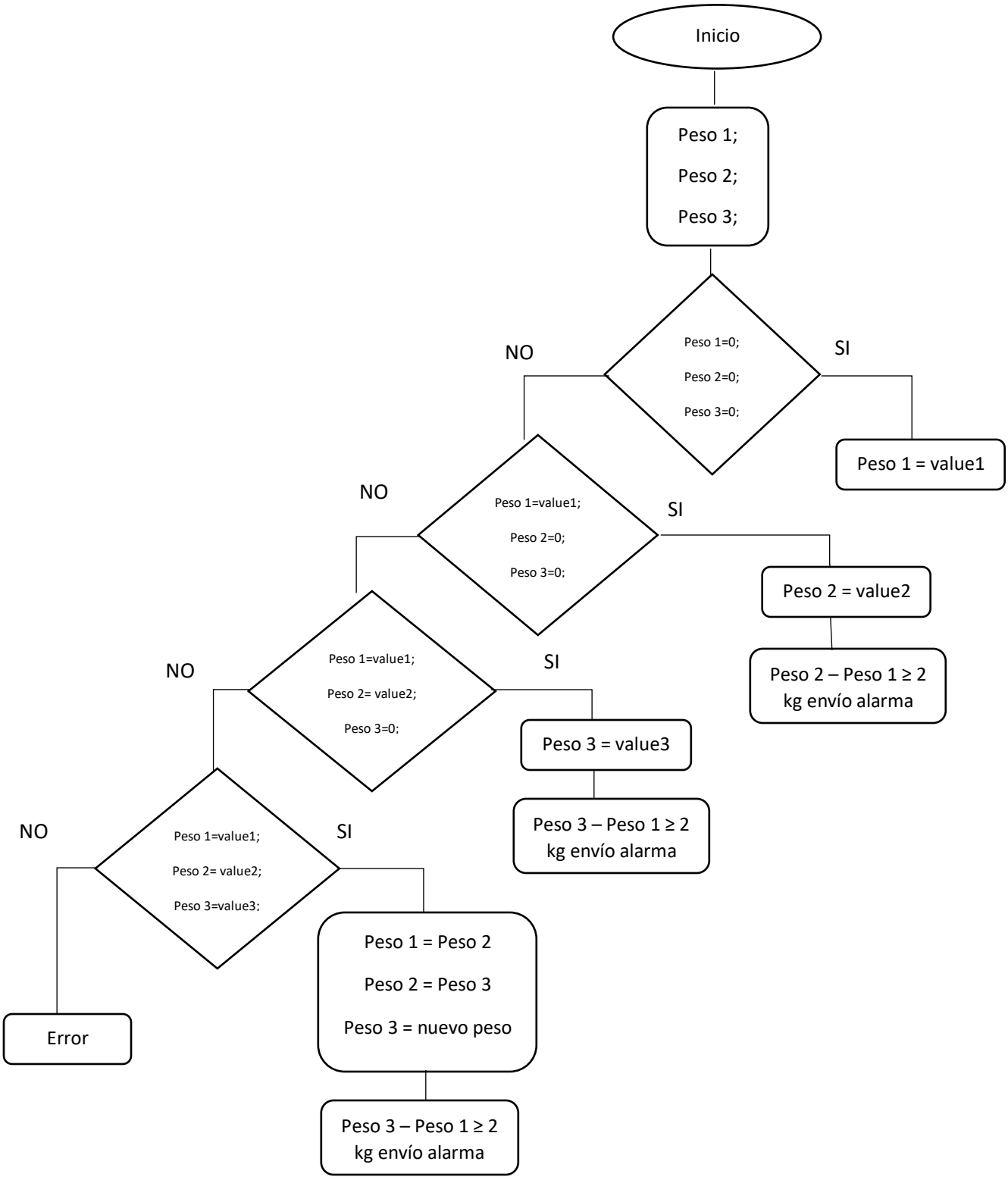

De igual forma que para el caso de FC, el botón ubicado en la esquina inferior izquierda despliega una serie de opciones que le permiten al usuario navegar a través de la aplicación, dentro de las cuales se encuentran la sección de notas que muestra la relación entre IC y la ganancia de peso por medio de una ventana emergente (ícono de “i”), la opción de volver al menú principal (ícono de una casa) y la sección de añadir una nueva medición (ícono de “+”) mostrada en la Figura 34.

*Figura 34. Página para añadir mediciones de peso*



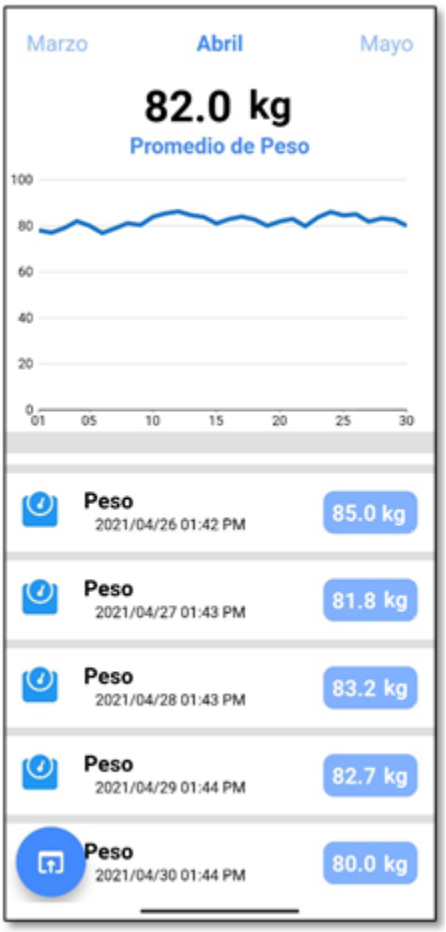

Al momento de digitar y presionar el botón de “Añadir Valor” se ejecutará el sistema de alertas del peso mostrado en el diagrama de bloques de la Figura 35, el cuál será el encargado de determinar si existe ya sea una ganancia de peso mayor o igual a 2 kg en un periodo de 2 días o si dicha medición no ha presentado ningún cambio con respecto a la última lectura añadida.

*Figura 35. Diagrama del sistema de alarmas para peso*



De igual forma que para el caso de los parámetros anteriores, el diseño de la página de información detallada sobre los registros de peso cuenta con las mismas secciones encargadas de mostrar información relevante sobre esta variable fisiológica durante la fase de tratamiento (Figura 36).

*Figura 36. Página de detalle para peso*




De forma similar si existe alarma de ganancia de peso, se enviará un correo electrónico con toda la información de los pesos que fueron comparados y están indicando un aumento significativo de la variable medida, al igual que su fecha de medición tal con el diseño mostrado en la Figura 37. Así mismo, se tiene una sección

de calificación encargada de redireccionar al especialista a una encuesta de satisfacción con el fin de llevar un registro de retroalimentación y posibles recomendaciones por parte de los profesionales de salud para mejorar el desempeño del sistema de monitoreo remoto.

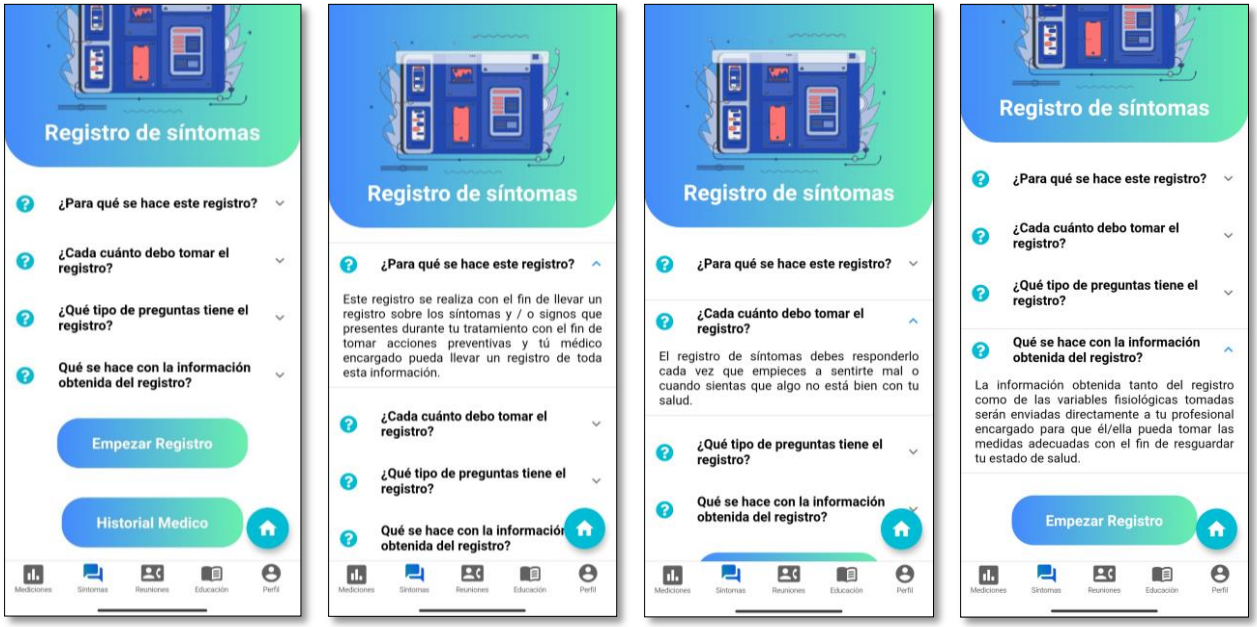
*Figura 37. Alarma de peso por ganancia mayor a 2 kg*

### 3.6.5. Página de registro de síntomas e historial médico

En esta sección se podrán realizar el registro de síntomas presentada durante la etapa de monitoreo y seguimiento del estado de salud del sujeto tratante. Inicialmente se contestan

una serie de preguntas con la finalidad de aclarar: ¿Para qué se hace el registro?, ¿Cada cuánto se debería realizar el registro?, ¿Qué tipo de preguntas poseen cada registro?, ¿Qué se hace con la información obtenida a través de los registros? Esta página se desarrolla con un *Material Design* (normativa de diseño enfocado a la visualización del SO Android), colocando cada una de las preguntas en un Widget llamado *Expansion Tile* en un lugar apropiado dentro el contorno de interfaz, permitiendo crear un mosaico detallado en forma de lista para cada una de las preguntas. De esta manera, al dar clic en cada una de ellas, se desplegará una ventana oculta con la información de interés (Figura 38).

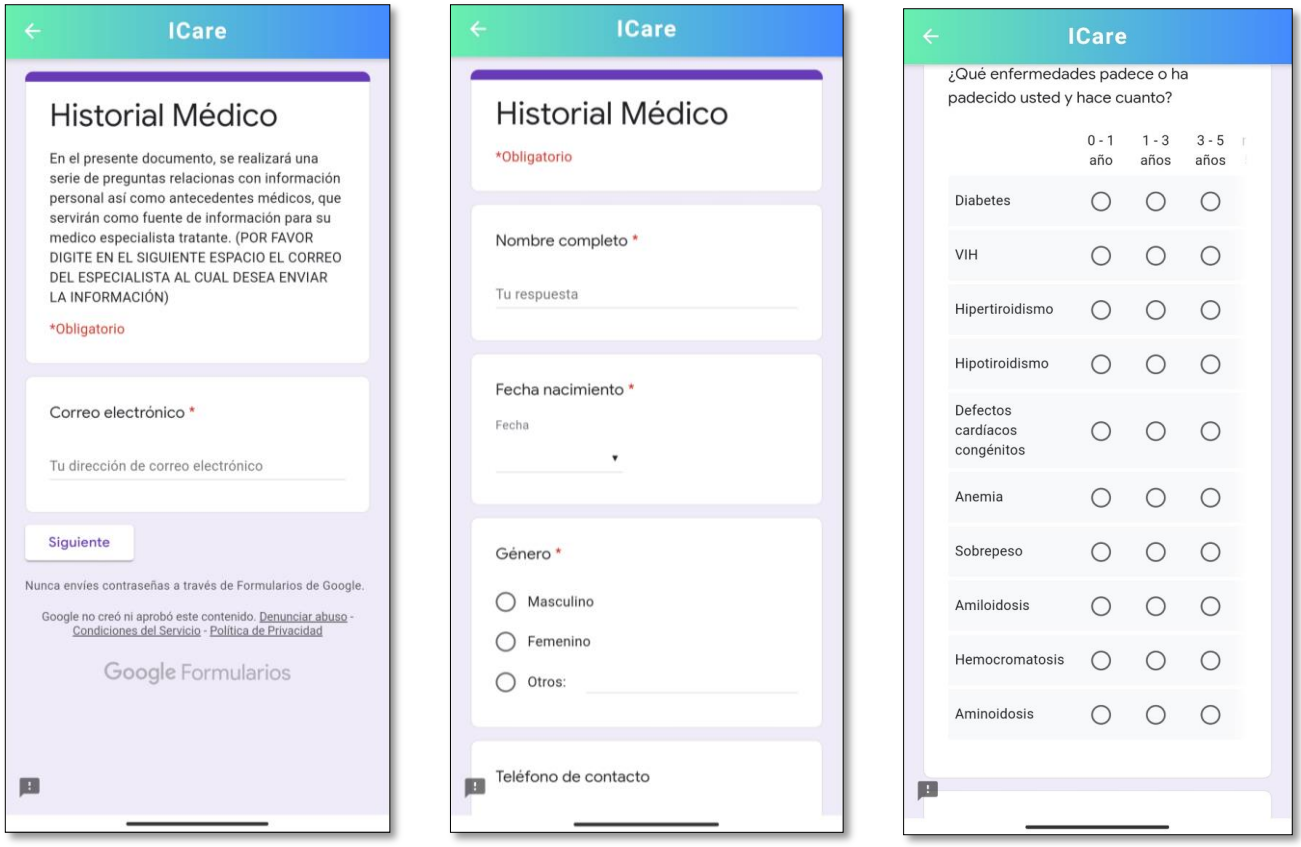
*Figura 38. Página de registro de síntomas e historial médico*




De igual forma se tiene una sección dedicada al registro de antecedentes médicos que le permite al usuario informar sobre comorbilidades que puedan ser de interés por parte del médico especialista. Para su elaboración e implementación, se utilizó la plataforma de

Google Forms, la cual permite registrar la información y enviar las repuestas por correo electrónico al auxiliar de enfermería, médico responsable o especialista tratante que el usuario especifique. Al dar clic a cualquier sección ya sea “empezar registro” o “historial médico”, dentro de la aplicación se implementó el widget *InAppWebView* que permite agregar una visualización de una página web nativa en línea directamente desde el dispositivo móvil, mediante el plugin llamado *flutter_inappwebview*. El cual autoriza el ingreso al sitio web de Google Forms y permite navegar dentro la aplicación de ICare por cada uno de los registros ya sea historial médico o síntomas para su respectiva respuesta.

*Figura 39. Interfaz de registro del historial médico del sujeto*



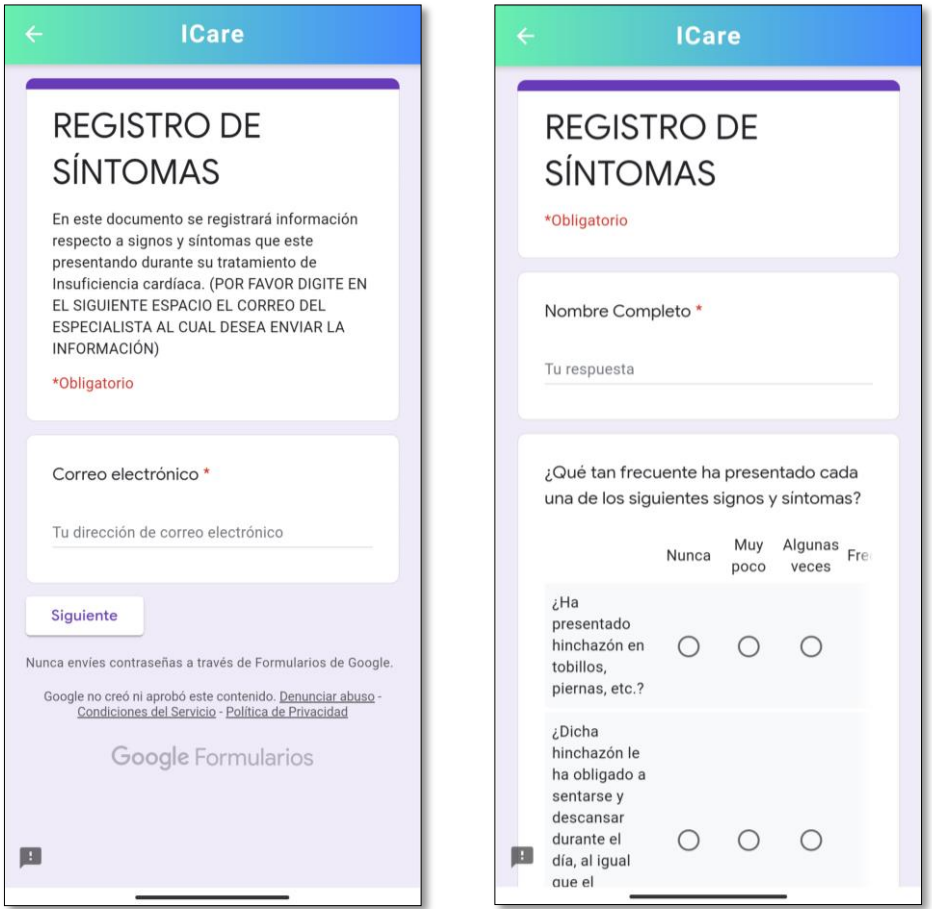
Al presionar el botón de Historial Médico, la aplicación redirecciona al usuario a la interfaz mostrada en la Figura 39, en donde se accede a un cuestionario con preguntas correspondientes a los antecedentes del sujeto con relación a las enfermedades (Tabla 10) con mayor incidencia en el tratamiento de IC (Nicholson, 2014), así como el periodo de tiempo desde que se le fue diagnosticada. Esta sección se recomienda realizarla cada vez que se requiera actualizar esta información.

*Tabla 10. Enfermedades presentes en el registro del historial médico*

| **Enfermedad** | **Definición general** |
|---|---|
| Diabetes | Enfermedad donde los niveles de glucosa (azúcar) de la sangre están muy altos. |
| VIH | Se trata de un virus que progresa hacia el fallo del sistema inmune, permitiendo el desarrollo de infecciones y cánceres potencialmente mortales. |
| Hipertiroidismo | La tiroides hiperactiva ocurre cuando la glándula tiroides produce más hormonas tiroideas de las que el cuerpo necesita. |
| Hipotiroidismo | Surge cuando la glándula tiroides no produce la suficiente cantidad de hormonas, influyendo en el control de funciones vitales, temperatura corporal y FC. |
| Defectos cardíacos congénitos | Enfermedades cardíacas que generan problemas con la estructura del corazón y se presentan desde el nacimiento. |
| Anemia | La anemia más común es causada por la escasez de hierro en el cuerpo, necesario para que la médula ósea produzca hemoglobina. |
| Sobrepeso | Aumento de peso corporal por encima de un patrón dado, puede ocurrir debido a exceso de músculo, hueso, agua o grasa corporal. |
| Amiloidosis | Enfermedad causada por la acumulación de la proteína amiloide en los espacios extracelulares de los tejidos y órganos del cuerpo, incluyendo el corazón, el hígado y los riñones. |
| Hemocromatosis | Enfermedad hereditaria que hace que el cuerpo absorba demasiado hierro de los alimentos ingeridos, el cual se almacena en órganos como el hígado, corazón y páncreas. |

Por otra parte, con el registro de signos y síntomas, se obtiene información de apoyo para la toma de decisiones del especialista. Esta sección (Figura 40) contiene las preguntas de la Tabla 8 tomadas a partir de la revisión bibliográfica de cuestionarios presentados en el capítulo 3 en la sección de síntomas en especial el cuestionario MLHFQ (de Tejada et al., 2019), donde el usuario evalúa la frecuencia con la que se han venido presentando dichas señales en cuatro niveles que son: nunca, muy poco, algunas veces y frecuentemente. Se recomienda realizar este registro cada vez que el paciente empiece a presentar sintomatología que puedan indicar posibles descompensaciones en su estado de salud.

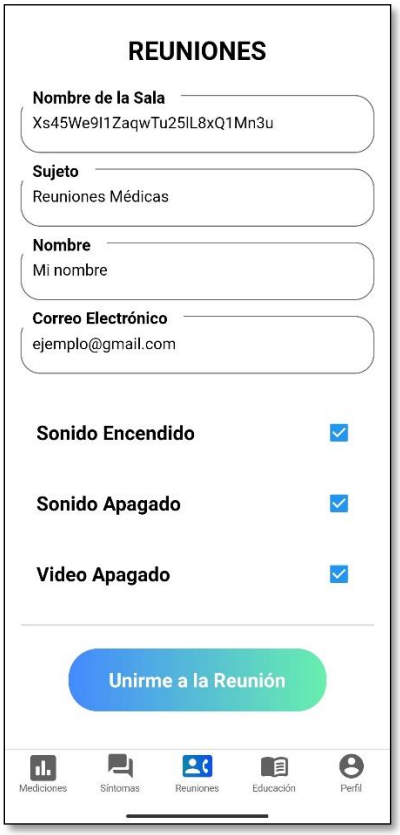
*Figura 40. Interfaz de registro de signos y síntomas*



### 3.6.6. Página de reuniones mediante videollamadas

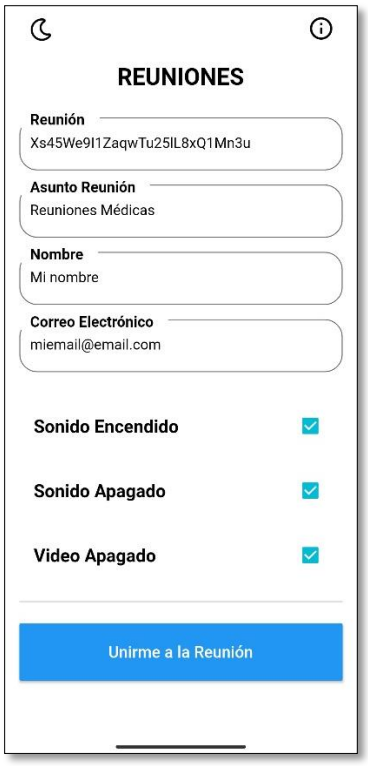
En esta página se implementó el plugin *Jitsi Meet* que consiste una aplicación de JavaScript *WebRTC.* Esta aplicación utiliza la herramienta *Jitsi Videobrigde* promulgada por desarrolladores para proveer video conferencias de alta calidad, seguras y escalables. *WebRTC* o también conocido como *Web Real Time Communications*, es un proyecto de código abierto promovido por Google que permite comunicaciones en tiempo real a través de una API de JavaScript facilitando llamadas por voz, chat de video y compartimiento de archivos entre usuarios (Asfar, 2021).

*Figura 41. Interfaz de reuniones virtuales*



En la Figura 41 se puede observar la interfaz para las reuniones virtuales por medio de la plataforma *Jitsi Meet*, donde se encuentra información relacionada con la configuración de la videollamada: el nombre de la sala, el motivo de la reunión, el nombre del usuario y el correo electrónico del mismo. Por otra parte, se pueden configurar opciones por medio de selectores para encender o apagar el sonido y el video. Al momento de presionar el botón en la parte inferior se creará la sala con el nombre especificado anteriormente de la sala a través de la cual se pueden conectar de igual forma el especialista, quien se puede unir por medio del sitio web de *Jitsi Meet*, la aplicación móvil de *Jitsi Meet* o ICare Meetings que consiste en una aplicación sencilla con la misma interfaz (Figura 42).

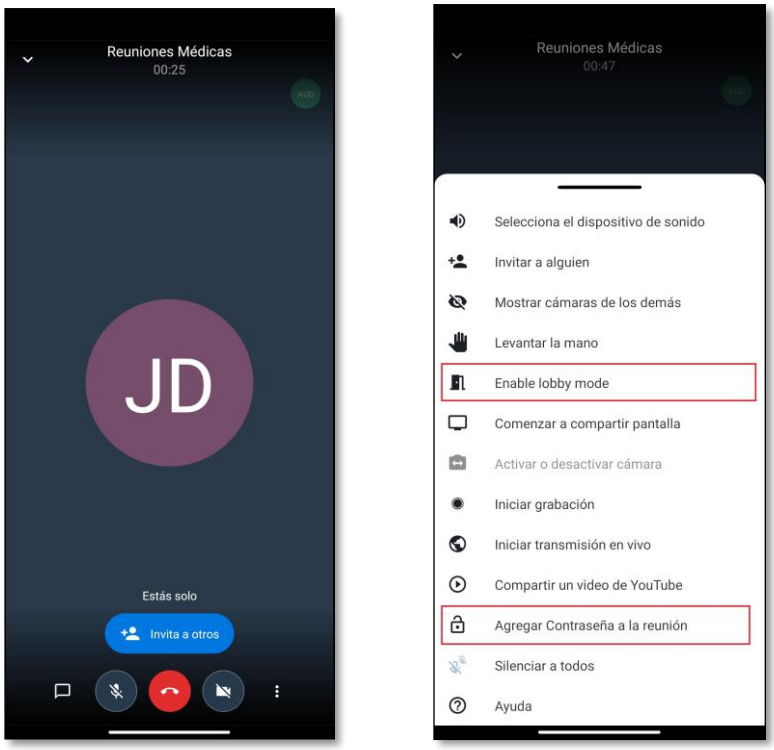
*Figura 42. ICare Meetings para especialistas*



En muchos aspectos, las reuniones de *Jitsi* son simplemente privadas por diseño. Para empezar, todas las salas de reuniones son efímeras: solo existen mientras la reunión se está llevando a cabo. Se crean cuando el primer participante se une y se destruyen cuando el último la abandona. Gracias a que se permiten "pre-crear" salas con un nombre determinado, es posible que un atacante potencial se pueda unir a la reunión y obtener información. Por ello, se debe tener en cuenta que el nombre de la reunión es delicado y debe protegerse para evitar que terceros accedan a dicha sala.

Como se puede observar en la Figura 41 y 42, el nombre de la sala contiene letras en mayúsculas y minúsculas en combinación con una serie de números con el fin de aumentar la seguridad de la reunión. Por defecto, tanto la aplicación del usuario como la del especialista contienen el mismo nombre de la sala con la finalidad de facilitar dichos encuentros. Es posible cambiar el nombre de la sala, pero deben evitarse nombres como “Test”, “Testing” o combinaciones que tengan alta probabilidad de ser implementadas por alguien más. Sin embargo, una vez creada la sala se puede restringir el acceso a los participantes por medio de la opción de lobby y contraseña en donde se podrán unir únicamente los usuarios a los que se les permita el acceso o posean la contraseña de dicha sala. Así mismo, en la Figura 43 se pueden observar las demás opciones que ofrece esta plataforma como el compartir pantalla, la grabación de las reuniones, transmisión en vivo, entre otras.

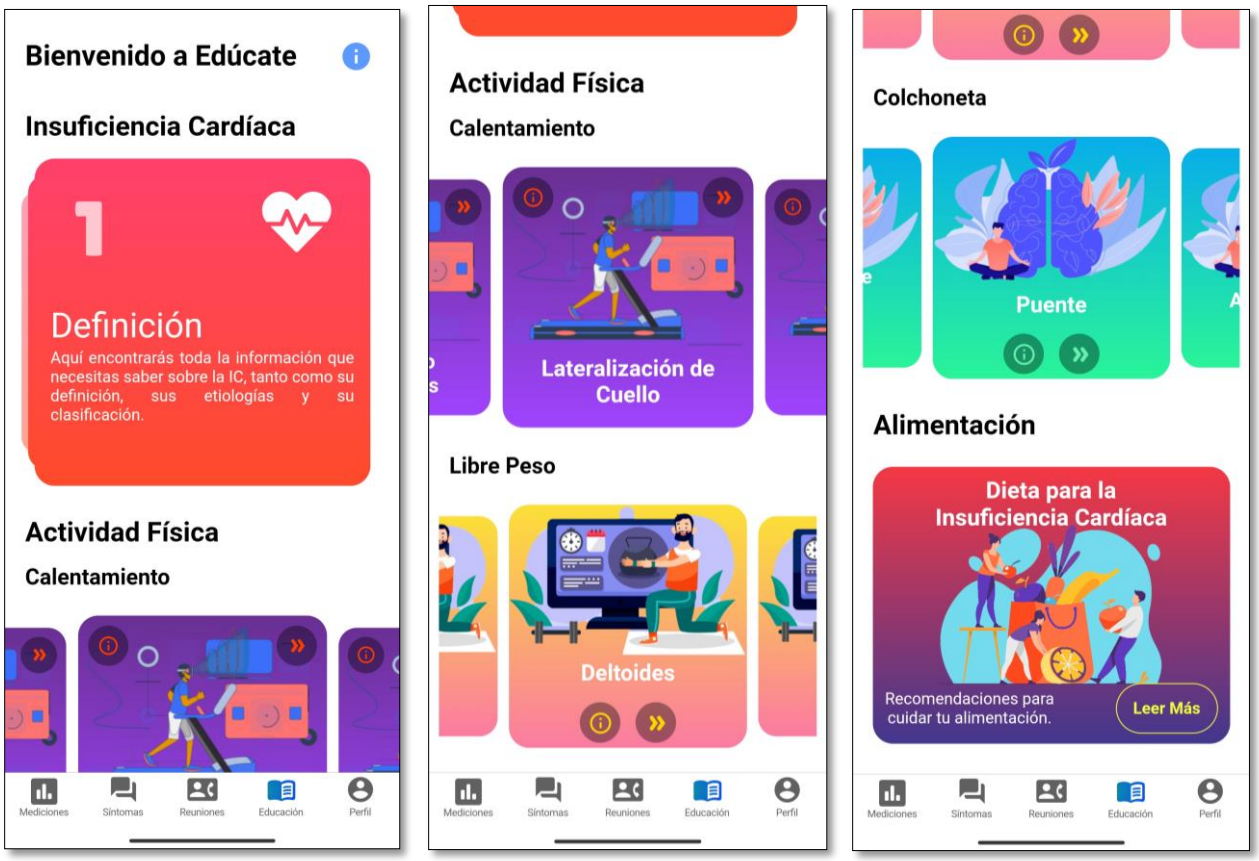
*Figura 43. Añadir seguridad a la sala de reunión*




### 3.6.7. Página de Educación al Usuario

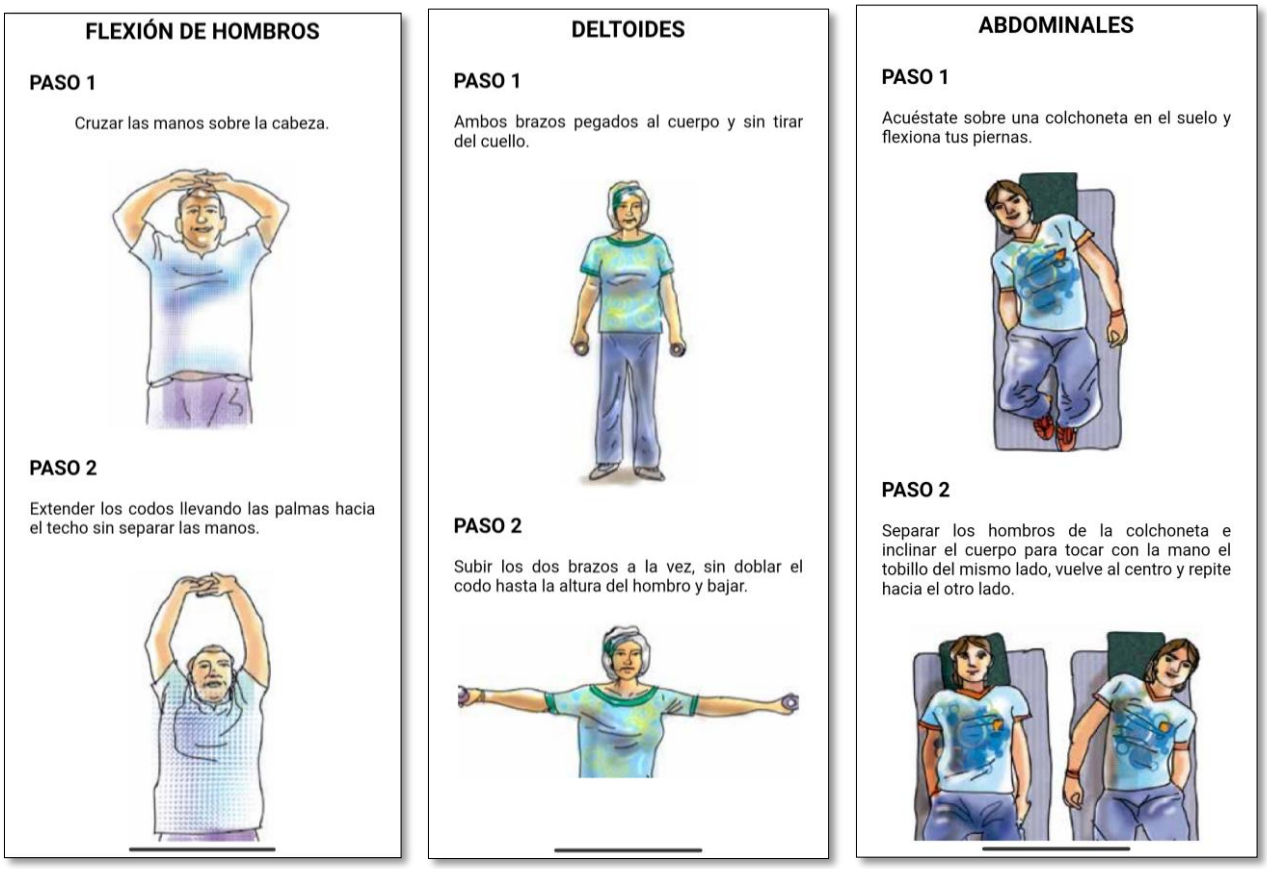
Para una mejor adherencia al tratamiento dentro ICare se desarrolló una sección dedicada a la educación al paciente sobre la IC (Figura 44), la cual contiene información correspondiente a su definición, síntomas, causas y posibles tratamientos. De igual manera, mediante el uso de tarjetas deslizantes se recomiendan una serie de actividades físicas aconsejadas para sujetos diagnosticados con IC, así como dietas y alimentos que pueden ser añadidos para una alimentación apropiada, así como aquellos alimentos de consumo limitado y definitivamente los que deben de ser evitados.

*Figura 44. Interfaz de educación al usuario*



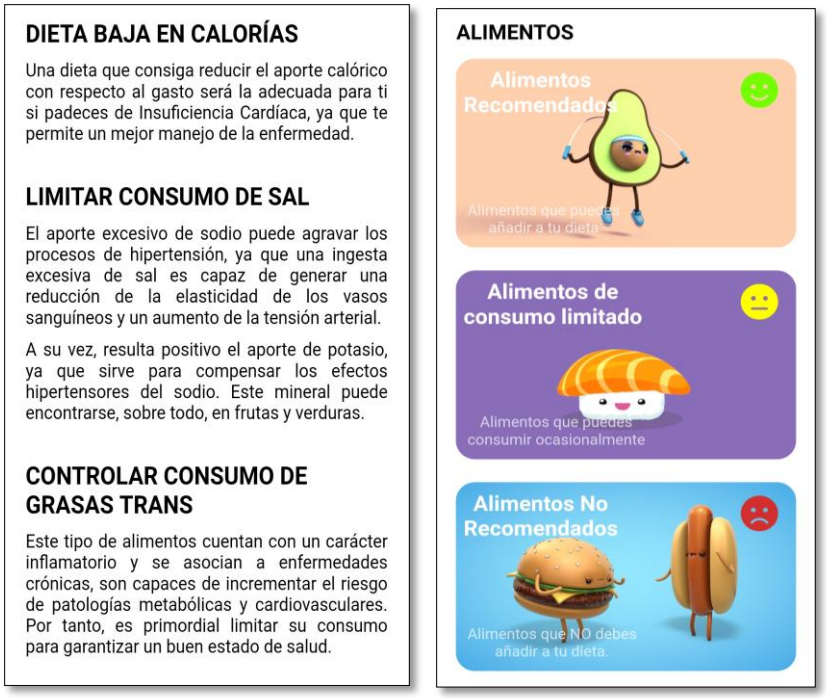

Por otra parte, las tarjetas de actividad física contienen una serie de ejercicios para sujetos con IC, el diseño de esta interfaz se ilustra en la Figura 45. Para cada ejercicio se indican los pasos representados en imágenes para una correcta y efectiva realización de la actividad física, correspondiente a la frecuencia con la que se debe realizar dicha actividad, así como el número de series a hacer. De igual forma, se incluyen los pasos y sus respectivas imágenes para una correcta y efectiva realización del ejercicio. La información e imágenes fueron recopiladas del Hospital Regional Universitario de Málaga, cuyos autores son la Dra. Francisca Fernández Luque, el Dr. Javier Mora Robles y la Dr. Marta Cantador Soto (Fernández, F, Mora, J, Soto, M. C, 2014)

*Figura 45. Sección de ejercicios y actividades físicas*



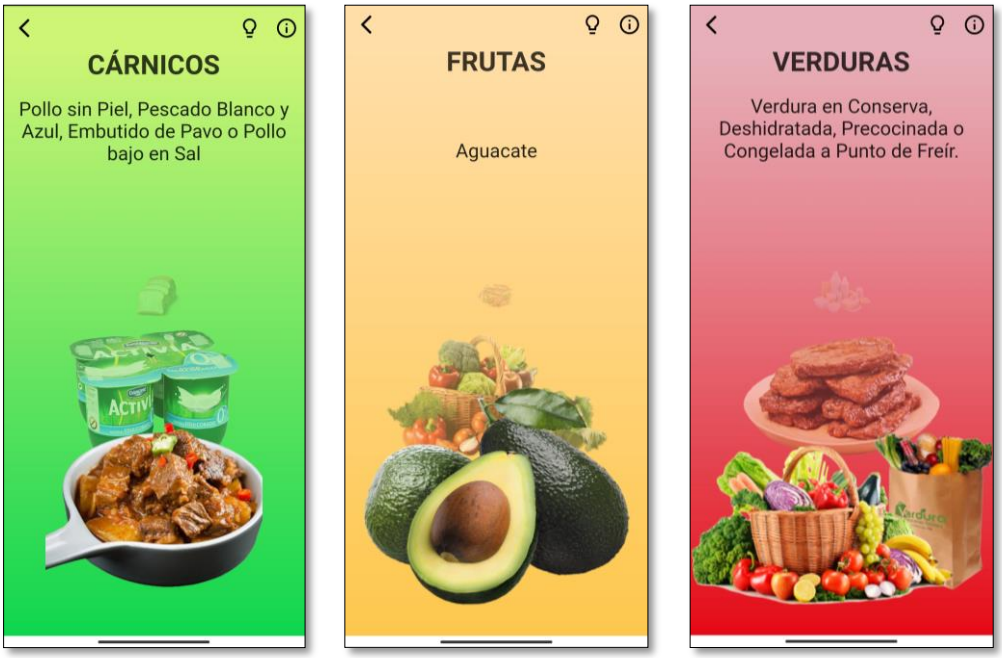

Por otro lado, la sección de alimentación contiene información sobre las dietas más recomendadas en sujetos con IC tal y como se observa en la Figura 46. Así mismo, en las tarjetas de la parte inferior se encuentran aquellos alimentos que se suelen recomendar y evitar durante el tratamiento de esta patología.

*Figura 46. Interfaz de educación alimentaria*




Para mostrar los alimentos respectivos dentro de cada tarjeta se implementa un visualizador de listas que permite desplegar imágenes y texto de forma rápida y con una apariencia bastante agradable. Las imágenes fueron obtenidas de un servicio web gratuito que permite descargar estos archivos en formato PNG lo que da el efecto de fondo transparente tal y como se ilustra en la Figura 47. Las páginas mostradas corresponden a los alimentos recomendados (color verde), alimentos de consumo limitado (color amarillo) y por último los alimentos no recomendados (color rojo).

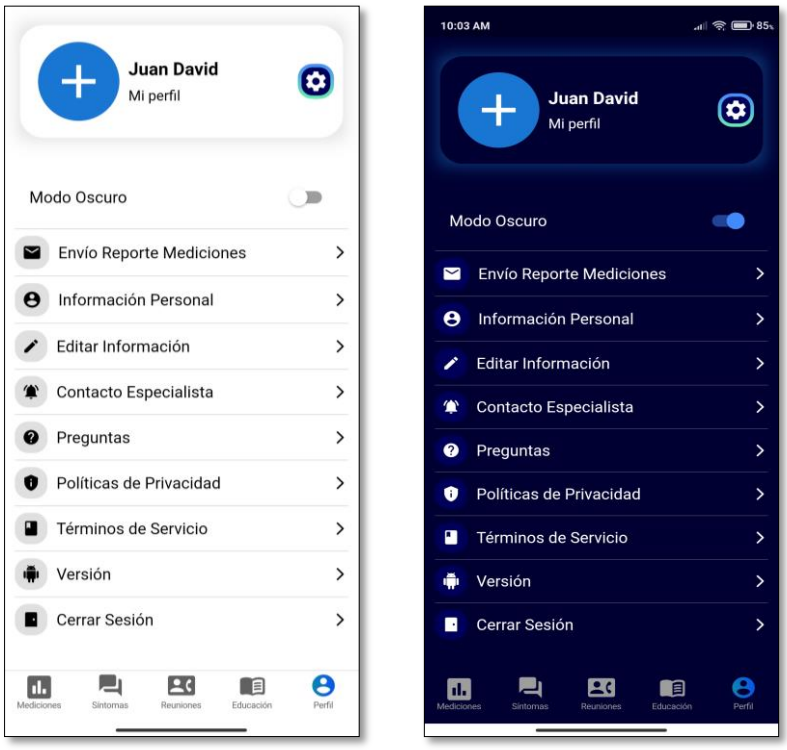
*Figura 47. Interfaz de alimentos*




### 3.6.8. Página Perfil de Usuario

Finalmente se encuentra la página dedicada al manejo de la información personal del usuario registrado en ICare, donde se podrán editar los datos relacionados al nombre del usuario, género, edad, entre otros. De igual forma, se encuentran opciones para visualizar las políticas de privacidad, versión de la aplicación, añadir el correo del especialista al que se desea enviar las alarmas por medio de correo electrónico y un interruptor para cambiar a modo oscuro toda la interfaz de la aplicación (Figura 48). El contenedor en la parte superior de la interfaz ofrece la opción de añadir una imagen de perfil al usuario, el cual la podrá seleccionar desde la galería del dispositivo móvil en el que se encuentra instalada la app.

*Figura 48. Perfil de usuario*




Igualmente, se incorpora la opción de enviar reportes de historial por medio de correo electrónico al especialista, esto con el fin de que se lleve un registro de cada uno de los parámetros fisiológicos tomados por el sujeto (Figura 49). En esta interfaz se añade un campo de texto para digitar el email, así como 4 botones diferentes encargados de leer la información correspondiente del parámetro seleccionado de la base de datos y almacenar dicho contenido en un archivo CSV según sea llamado el servicio.

Asimismo, el usuario de ICare puede consultar tanto los términos y condiciones de servicio, así como las políticas de privacidad de la aplicación, para esto, debe dirigirse a la pestaña de la cual desea tener más información y se le mostrará la información correspondiente (Figura 50).

*Figura 49. Centro de reporte de historial*

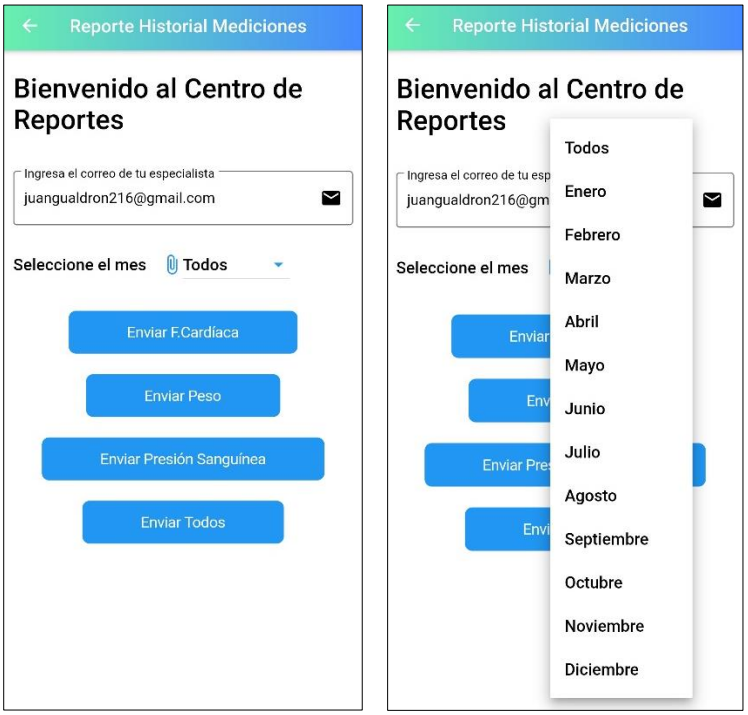



*Figura 50. Términos de servicio y políticas de privacidad de ICare*

# CAPÍTULO 4

# EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN ICARE

En este capítulo se presentará la evaluación del funcionamiento de la aplicación durante la puesta en marcha del sistema de monitoreo remoto. Para este fin se realizó la verificación del correcto funcionamiento tanto de cada una de las funciones encargadas de generar las alarmas al detectar mediciones inusuales que son indicadores de posibles descompensaciones.

Esta sección se encuentra dividida en 5 etapas, la primera de ellas consiste en la validación del algoritmo de detección de rangos inusuales para FC y PA, y en la segunda donde se implementa un experimento para el sistema de alarmas que evalúa cambios en el peso. En cada caso, se pondrá a prueba la aplicación utilizando los valores frontera de cada uno de los rangos especificados anteriormente para cada parámetro fisiológico, esto con el fin de asegurar que la aplicación tendrá el comportamiento esperado bajo situaciones reales. Vale la pena resaltar que para la evaluación de alarmas no se contó con información de sujetos diagnosticados con IC, sin embargo, durante la fase de pruebas se simularon algunos incrementos en el valor de peso con el fin de comprobar y validar el correcto funcionamiento de las alertas del sistema de monitoreo conforme fueron diseñadas. En la tercera etapa se realiza una evaluación del correcto envío de los reportes de historial médico del usuario de ICare al correo electrónico del especialista con el fin de verificar el correcto funcionamiento. A continuación, se lleva a cabo un análisis del reporte generado en Firebase por medio de la

herramienta llamada *Analytics* para comprobar la actividad de usuarios en la aplicación durante la puesta en marcha de la misma. Finalmente, en la última sección se realiza una evaluación por parte de profesionales en el área de la salud de la FCV sobre ICare.

## 4.1. Verificación del sistema de alarmas de PA y FC

Basados en el capítulo 3 en la sección 3.2 donde se indican los rangos para los parámetros a monitorear (Tabla 6 y Tabla 7), se realizó una evaluación y verificación de la detección correcta de descompensaciones en el estado de salud del sujeto por medio de la selección de valores atípicos registrados en la aplicación (Tabla 11).

*Tabla 11. Valores de verificación para PA*

| **VERIFICACIÓN DE RANGOS PARA PA** | | | |
|---|---|---|---|
| **Condiciones Limites** | **Presión Sistólica [mmHg]** | **Presión Diastólica [mmHg]** | **Reporte según la aplicación** |
| **Rangos Bajos** | 90 | 60 | Presión Baja |
| **Rangos normales** | 91 | 61 | Presión Normal |
| | 119 | 79 | Presión Normal |
| **Rangos Altos** | 120 | 79 | Presión Elevada |
| | 129 | 79 | Presión Elevada |
| **Rangos Hipertensión** | 130 | 80 | Hipertensión Nivel 1 |
| | 130 | 89 | Hipertensión Nivel 1 |
| | 139 | 80 | Hipertensión Nivel 1 |
| | 139 | 89 | Hipertensión Nivel 1 |
| | 140 | 90 | Hipertensión Nivel 2 |
| | 180 | 120 | Crisis Hipertensiva |

Al comparar los mensajes de alarma obtenidos por medio de la aplicación con los rangos presentados en la Tabla 6 se comprobó que la app detecta y clasifica de manera acertada dichas lecturas atípicas de PA. Del mismo modo, se llevó a cabo la evaluación del sistema de alarmas de FC, los valores implementados se muestran en la Tabla 12.

*Tabla 12. Valores de verificación para FC*

| VERIFICACIÓN DE RANGOS PARA FC | | |
|---|---|---|
| **Condiciones Limites** | **Frecuencia Cardíaca [ppm]** | **Reporte según condiciones** |
| **Rangos bajos** | FC < 65 | Frecuencia Baja |
| **Rango normal** | 65 ≤ FC ≤ 85 | Frecuencia Normal |
| **Rangos altos** | FC > 85 | Frecuencia Alta |

Igualmente, este proceso de validación arrojó los resultados esperados. Donde para valores superiores a 85 pulsaciones por minuto (ppm) la aplicación genera la alerta de FC elevada y para aquellas lecturas inferiores a 65 ppm se genera la alarma correspondiente a FC baja.

### 4.2. Verificación del sistema de alarmas de peso

Para comprobar el funcionamiento del sistema de alertas de peso se llevó a cabo una prueba simulada del registro del peso durante 4 días. La Tabla 13 muestra las medidas registradas en la base de datos, el día que fue añadida y la respectiva notificación generada por la aplicación. Como se puede observar en la Tabla 13, la alarma se genera automáticamente una vez detecte un aumento de peso mayor a 2 kg en un máximo de 2 días o incluso menos. Es importante resaltar que este proceso se implementó utilizando valores enteros, sin embargo, su funcionamiento es el mismo si se añaden lecturas con valores decimales.

*Tabla 13. Valores de verificación para peso*

| VERIFICACIÓN DE CAMBIOS EN EL PESO | | |
|---|---|---|
| **Día** | **Lectura de peso en kg** | **Reporte generado por la aplicación** |
| **Día 1** | 70 kg | No hay reporte debido a que es el primer registro |
| **Día 2** | 71 kg | No se genera alarma debido a que la ganancia de peso es menor a 2 kg |
| **Día 3** | 72 kg | Alerta, aumento de peso igual a 2 kg en 2 días |
| **Día 4** | 74 kg | Alerta, aumento de peso de 2 kg en 1 día y de 3 kg en 2 días |

Una vez generada la alarma de aumento de peso, se comprobó que ICare envía una alarma (Figura 51) al correo del especialista especificado por el sujeto. Para el caso de la prueba descrita anteriormente, se comprobó el envío de 2 alertas al correo electrónico deseado.

*Figura 51. Alerta de aumento de peso*

### 4.3. Reporte de historial de mediciones

Por otro lado, se comprobó el correcto funcionamiento de la opción de envío del historial de mediciones para cada parámetro fisiológico. Para esto, se ingresó una dirección de correo electrónico, a través de la pestaña del perfil del usuario (Figura 48) y se comprobó el envío del mensaje con los archivos en formato csv con el reporte de las variables seleccionadas, ya sea de forma individual o unificada. En la Figura 52 se puede observar el formato en que llega dicha información con el nombre de la variable respectiva.

*Figura 52. Imágenes de los reportes de historial de mediciones*

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Categoría | Día | Mes | Año | Hora | Presión Arterial [mm | Presión Sistólica [mr | Presión Diastólica [m |
| 2 | BP | 1 | 5 | 2021 | Saturday, 11:34 AM | 90/58 | 90 | 58 |
| 3 | BP | 2 | 5 | 2021 | Sunday, 11:35 AM | 90/54 | 90 | 54 |
| 4 | BP | 3 | 5 | 2021 | Monday, 11:37 AM | 121/75 | 121 | 75 |
| 5 | BP | 4 | 5 | 2021 | Tuesday, 11:37 AM | 125/79 | 125 | 79 |
| 6 | BP | 5 | 5 | 2021 | Wednesday, 11:38 A | 131/81 | 131 | 81 |
| 7 | BP | 6 | 5 | 2021 | Thursday, 11:57 AM | 140/95 | 140 | 95 |
| 8 | Categoría | Día | Mes | Año | Hora | Valor [ppm] | | |
| 9 | FRECUENCIA CARD | 1 | 5 | 2021 | Saturday , 10:56 AM | 65 | | |
| 10 | FRECUENCIA CARD | 2 | 5 | 2021 | Sunday, 11:32 AM | 85 | | |
| 11 | FRECUENCIA CARD | 3 | 5 | 2021 | Monday, 11:34 AM | 58 | | |
| 12 | FRECUENCIA CARD | 4 | 5 | 2021 | Tuesday, 11:36 AM | 69 | | |
| 13 | FRECUENCIA CARD | 5 | 5 | 2021 | Wednesday, 11:37 A | 69 | | |
| 14 | FRECUENCIA CARD | 6 | 5 | 2021 | Thursday, 12:09 PM | 88 | | |
| 15 | Categoría | Día | Mes | Año | Hora | Valor [kg] | | |
| 16 | PESO | 1 | 5 | 2021 | Saturday, 12:16 PM | 60 | | |
| 17 | PESO | 2 | 5 | 2021 | Sunday, 12:18 PM | 61.2 | | |
| 18 | PESO | 3 | 5 | 2021 | Monday, 12:19 PM | 62.1 | | |
| 19 | PESO | 4 | 5 | 2021 | Tuesday, 12:20 PM | 62 | | |
| 20 | PESO | 5 | 5 | 2021 | Wednesday, 12:21 P | 62.7 | | |
| 21 | PESO | 6 | 5 | 2021 | Thursday, 12:22 PM | 63.1 | | |

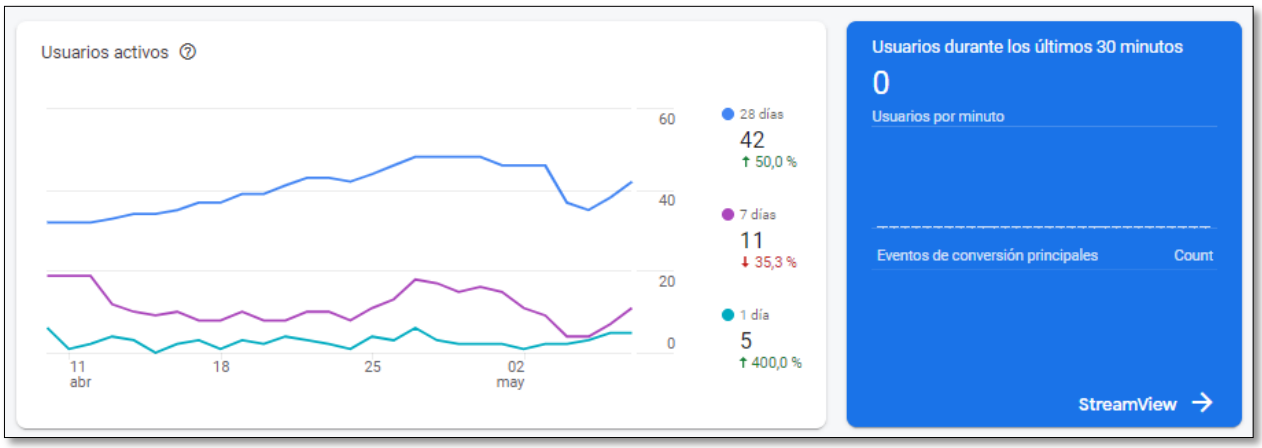
La información almacenada en cada archivo contiene el mes, el día, la hora y el valor en que se añadió una nueva lectura al sistema de monitoreo. Dichos datos corresponden a todas las mediciones realizadas hasta la fecha en que se envíe el reporte, pero también se comprobó la selección de la información de acuerdo al mes de interés. Se decidió almacenar este historial en un archivo CSV ya que puede ser abierto de manera rápida y sencilla por herramientas ofimáticas como Excel, en donde se puede hacer una exploración más detallada de los datos; así como la realización de diferentes gráficos que faciliten al especialista observar la tendencia y los cambios en cada uno de los parámetros fisiológicos a lo largo del tiempo de manera más dinámica.

### 4.4. Analítica para el seguimiento de la actividad en la aplicación

Como se mencionó anteriormente, *Firebase* ofrece una herramienta online dentro de su plataforma llamada *Firebase Analytics*, la cual ofrece un reporte general de la actividad

reciente de los usuarios en la aplicación para los desarrolladores una vez se comience con la fase de pruebas de la misma. En la Figura 53 se puede observar un gráfico que ilustra la cantidad de usuarios activos, así como su respectiva actividad durante los últimos 30 días, mientras que en el lado derecho se indican la cantidad de usuarios activos en los últimos 30 minutos

*Figura 53. Usuarios activos en la aplicación*

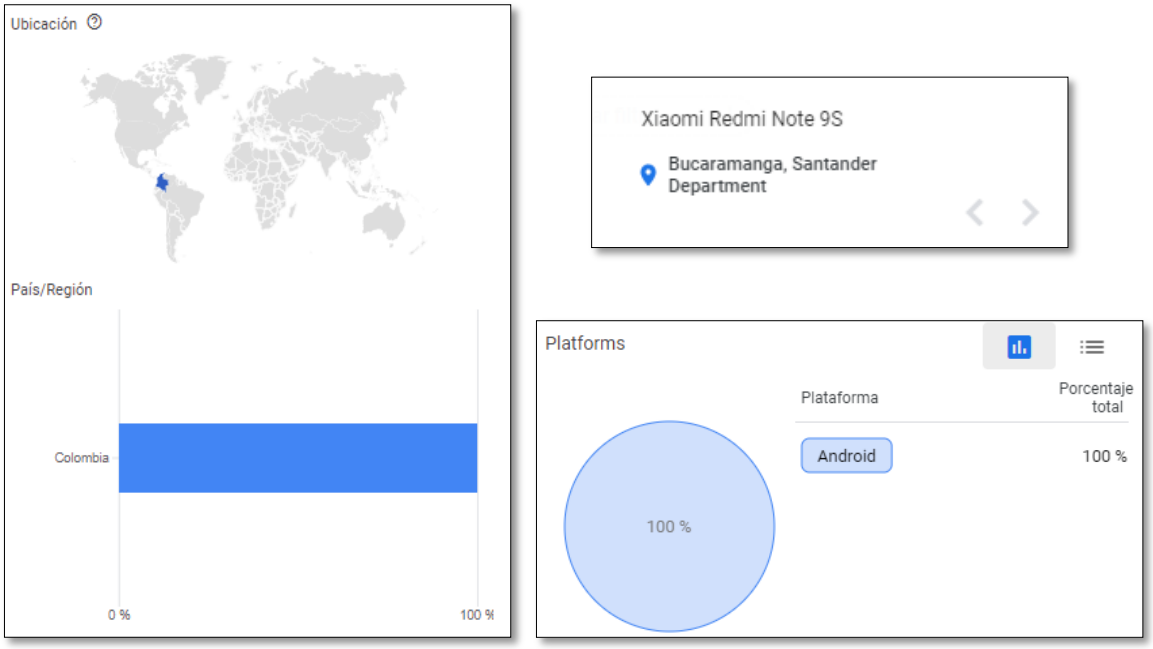



De igual forma, se indica la interacción diaria de los usuarios en la aplicación a lo largo del mes con el respectivo tiempo de interacción para cada actividad, en la Figura 54 se puede observar el gráfico que ofrece *Analytics* para dicha funcionalidad. Las pantallas en las cuales se consumió más tiempo durante la fase de pruebas fueron en la sección principal, es decir, la lectura y escritura de las mediciones para cada variable fisiológica, ya que se deseaba comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas de alarmas implementados. A continuación, se encuentra la sección de *Jitsi Meet*, donde se programaron una cantidad reservada de encuentros virtuales por medio de la opción reuniones explicada anteriormente. Y, por último, las actividades de registro e ingreso de usuarios a la aplicación por medio de cuentas de Google.

*Figura 54. Interacción diaria de usuarios en la aplicación*

Así mismo, se pueden visualizar los países desde los cuales los usuarios se han registrado a la aplicación, la versión y marca del dispositivo móvil que utilizan, el SO, la versión de la app que utilizan y si han presentado fallos durante la fase de pruebas de la misma, esto se ilustra en la Figura 55. En esta sección solo se puede observar a un único usuario, que corresponde a la cuenta de Google que se implementó durante la fase de pruebas, por esta razón, en *Firebase Analytics* solo se encuentra la información correspondiente a un solo dispositivo móvil.

*Figura 55. Información del dispositivo móvil del usuario*




## 4.5 Evaluación de la aplicación por expertos del área de la salud

Con el fin de evaluar la funcionalidad y sensibilidad del sistema de monitoreo a través del estudio de casos simulados por un profesional del área, se ha contado con el apoyo de especialistas de la Fundación Cardiovascular (FCV). A continuación, en la Tabla 14 se muestran las actividades planteadas que se realizaron en la semana que va del 24 de mayo al 3 de junio. En primer lugar, se realizó una socialización de la aplicación con la FCV, a continuación, se llevó a cabo una fase de pruebas por parte de los especialistas de la FCV para explorar las funcionalidades de ICare. Finalmente, se hizo una reunión para la socialización de las experiencias del uso de ICare.

*Tabla 14. Cronograma de actividades y socialización FCV*

| Actividad | Fecha | Actividad e Instrumento |
|---|---|---|
| Solicitud de evaluación de la aplicación por medio de casos simulados donde los registros de la frecuencia cardiaca y la presión arterial; además de la variabilidad del peso puedan representar estados de alerta. | Lunes 24 de mayo | Reunión Teams para la socialización de ICare a los especialistas de la Fundación Cardiovascular.<br>QR para descarga de la aplicación.<br>Anexo B<br>Anexo C |
| Evaluación de la aplicación con relación a la funcionalidad y usabilidad. | Del 24 de mayo al 1 de junio | Pruebas de la aplicación por parte de especialistas de la fundación cardiovascular, mediante escenarios simulados.<br>Cuestionario a través de Forms para evaluar la funcionalidad y usabilidad (Anexo A). |
| Socialización de experiencias en relación a la aplicación, observaciones y recomendaciones. | Martes 3 de junio | Reunión en Teams: Socialización de pruebas y de la experiencia en el uso de ICare. Recepción de recomendaciones y sugerencias. |

La socialización con la FCV se realizó el día 03 de junio de 2021, en donde se tuvo una retroalimentación por parte de investigadores del proyecto titulado “Optimización del proceso de atención de pacientes diagnosticados con falla cardiaca, mediante la mejora en la

oportunidad y la adherencia al tratamiento, implementando herramientas de telemonitoreo" financiado por MINCIENCIAS.

1. Cristian Jesús Gómez Vecino. Ingeniero Electrónico y estudiante de Maestría en Ingeniería Electrónica UPB. Investigador Principal.
2. PhD. Anny Carolina Saavedra. Bacterióloga. Especialidad Médica: Epidemiología. Pasante posdoctoral.

En esta reunión compartieron sus puntos de vista acerca de la aplicación para el monitoreo remoto denominado ICare, a partir de la experiencia de sus investigaciones y/o proyectos sobre IC. Algunas de las recomendaciones hechas por parte de la FCV para implementar en futuras versiones de ICare con el fin de mejorar y optimizar el funcionamiento de la aplicación son las presentadas a continuación.

- Agregar una sección en el cuestionario de síntomas en donde el paciente guarde la información relacionada con la prescripción médica que le ha sido asignada por su especialista tratante, agrupando los diferentes medicamentos que se utilizan para tratar esta patología.
- En la sección de educación se recomienda incluir actividades físicas para sujetos que se encuentren con alguna discapacidad motriz.
- Ampliar la cobertura de acceso a la aplicación mediante la implementación de esta aplicación móvil en cualquier sistema operativo, además de optimizar el código para liberar espacio de memoria ocupado por la aplicación.
- Proporcionar un valor promedio de las medidas de estas variables fisiológicas para ampliar el panorama respecto a sus cambios.

- Añadir una herramienta que permita realizar recordatorios de toma de medicamentos, con notificaciones al sujeto a la hora puntual en que debe tomarse la prescripción médica.

En cuanto a los aspectos positivos por parte de la FCV sobre ICare se tiene en primer lugar, que de acuerdo a sus investigaciones y proyectos implementados en sujetos con IC, se presenta una similitud en cuanto a las variables fisiológicas seleccionadas y el envío de alarmas causadas por descompensaciones durante la fase de tratamiento. Asimismo, consideran que la información contenida en la sección de educación le permite al usuario apropiarse de su patología y generar conciencia sobre el autocuidado.

De igual forma, encontraron útil la herramienta del registro de síntomas e historial médico, ya que permite tener una información más detallada sobre posibles comorbilidades que se hayan presentado o se estén presentando en el sujeto y faciliten la toma de decisiones durante la fase de tratamiento.

Finalmente, consideraron pertinente la herramienta de envío de reportes al médico especialista, ya que le permite tener accesos a las lecturas de los parámetros fisiológicos organizados de forma cronológica, ya sea individualmente para cada variable fisiológica o de forma grupal.

Para el análisis de alarmas, la FCV propuso los escenarios de alerta presentados en Tabla 15, con los rangos seleccionados para diferentes parámetros fisiológicos implementado en sus proyectos de Falla Cardíaca.

*Tabla 15. Rangos de parámetros fisiológicos de la FCV*

| **Parámetros Fisiológicos** | **Niveles de alarmas** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Normal /Sin alerta** | **Bajo** | **Medio** | **Crítico** |
| **Presión Arteria Sistólica** | 90- 110 | 111- 180 | <90<br>>180 | <80<br>>200 |
| **Frecuencia Cardíaca** | 40 -70 | >70 | >80 | <40<br>>90 |
| **Peso** | <1kg en los últimos 3 días | >1kg en los últimos 3 días | >2kg en los últimos 3 días | >3kg en los últimos 3 días |

Al realizar la comparación con los rangos estipulados por la FCV y los implementados en ICare se puede observar que existen algunas diferencias. En el sistema de monitoreo remoto diseñado en el presente proyecto se hace una clasificación más detallada con respecto a las diferentes categorías de PA, en donde se encuentran PA baja, normal, elevada, hipertensión arterial nivel 1, hipertensión arterial nivel 2 y crisis hipertensiva; adicionalmente, ICare toma en cuenta tanto la PA sistólica como la diastólica mientras que la FCV solamente la sistólica. En el caso de la PA diastólica, la FCV sugiere el valor promedio en los últimos tres días . Para el caso de FC, la FCV implementa 4 niveles de alarmas (Normal, bajo, medio y crítico), mientras que para el caso de ICare sólo se utilizan 3 (Bajo, normal y acelerado). Asimismo, el rango normal para este parámetro en estado de reposo en ICare se encuentra entre 60 y 85 ppm mientras que la FCV lo define entre 40 y 70 ppm.  Esto pone en manifiesto que no existe

un consenso definitivo entre cardiólogos para estas medidas de alerta. Finalmente, se puede observar que el valor de ganancia de peso tanto para la FCV y ICare es el mismo valor, pero el tiempo de seguimiento es un día más en el caso de la FCV. En cuanto al peso, el valor de ganancia que indica una alerta tanto para la FCV como para ICare es el mismo (2 k), sin embargo, el seguimiento realizado por la FCV se lleva a cabo en 3 días, mientras que ICare lo hace en 2 días.

Respecto al cuestionario de síntomas, una de las diferencias que se presentan en el registro de la FCV con respecto a ICare corresponde a relacionar el momento del día en el que se padecen determinados síntomas (Tabla 16). Además, se tienen niveles de alarma relacionados con la cantidad de días en los que se han presentado dichos síntomas. En ICare esta evaluación se realiza cada vez que se genere una alarma o según lo especifique el médico tratante sin preguntar el tiempo que se ha presentado esta señal. En cuanto a las preguntas, se pueden observar que para ambos casos son muy similares, debido a que registra la misma sintomatología. En el caso de ICare se implementan todas las preguntas mostradas en la Tabla 16 estipuladas por la FCV. Además, es importante añadir que el registro de signos en ICare implementa preguntas relacionadas con síntomas que se pueden presentar durante actividades físicas (fatiga o cansancio al realizar ejercicios) y signos psicológicos (preocupación y depresión) permitiendo así al médico especialista llevar un registro más detallado sobre la sintomatología del sujeto

*Tabla 16. Preguntas del registro de signos y síntomas de la FCV*

| | | **Niveles de alarma** | | |
|---|---|---|---|---|
| **Hora del día** | **Ejemplo de pregunta** | **Bajo** | **Medio** | **Crítico** |
| Mañana | ¿Sintió asfixia al acostarse? | 1 a 2 días | 3 – 4 días seguidos | Mayor a 5 días seguidos |
| Mañana | ¿Sintió falta de aire el día de hoy? | 1 a 2 días | 3 – 4 días seguidos | Mayor a 5 días seguidos |
| Mañana | ¿Se despertó ahogado durante la noche? | 1 a 2 días | 3 – 4 días seguidos | Mayor a 5 días seguidos |
| Tarde | ¿Ha observado hinchazón en las piernas? | 1 a 2 días | 3 – 4 días seguidos | Mayor a 5 días seguidos |
| Tarde | ¿Experimentó algún dolor en el pecho? | 1 a 2 días | 3 – 4 días seguidos | Mayor a 5 días seguidos |

De acuerdo con la encuesta realizada al personal de salud de la FCV con el fin de conocer su opinión acerca de la funcionalidad y experiencia de usuario con ICare se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 17. Se debe tener en cuenta que para la valoración de las preguntas se tiene que 5 es la mejor calificación y 1 es la más baja calificación. A partir de esta valoración se obtiene un puntaje promedio de 4.33 para la aplicación.

*Tabla 17 Formulario de evaluación de la FCV*

| **Preguntas formulario evaluación de la FCV** | **Respuestas** |
|---|---|
| ¿Considera que ICare satisface las necesidades para un monitoreo remoto a pacientes diagnosticados con Insuficiencia Cardíaca? | Supera mis expectativas |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan eficiente y útil considera el sistema de alarmas de la aplicación para el caso de Frecuencia Cardíaca y Presión Arterial? | 5 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan pertinente considera la información recibida cuando es notificada una alarma para Frecuencia Cardíaca y Presión Arterial? | 4 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan eficiente y útil considera el sistema de alarmas de la aplicación según la variación del peso en uno o dos días? | 5 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan pertinente considera la información recibida cuando es notificada una alarma para la variación del peso? | 4 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan útil considera la información suministrada por medio del registro de síntomas e historial médico? | 4 |
| Encuentra útil el uso de la herramienta de videollamadas en ICare | 3 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan pertinente considera la información incluida en la sección de educación? | 5 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan acertada considera la información incluida en la sección de educación? | 4 |
| ¿En escala de 1 a 5 qué tan amigable considera la interfaz de usuario? | 5 |

# CAPÍTULO 5

# FINALIZACIÓN DEL DOCUMENTO Y CONCLUSIONES

A continuación, se da por finalizado el presente trabajo titulado “SISTEMA DE TELEMONITOREO PARA SUJETOS CON INSUFICIENCIA CARDÍACA”, haciendo énfasis en el cumplimiento de cada uno de los objetivos para este proyecto. El objetivo general de este trabajo era desarrollar un sistema de monitoreo remoto para sujetos con IC que facilitara la gestión de esta patología. Este se logró a partir de la integración de instrumentos de mediciones de parámetros fisiológicos anteriormente mencionados en el capítulo 2, con el sistema de monitoreo denominado ICare. Se realizó la valoración y evaluación de cada uno de los sistemas de alarmas para valores atípicos de los parámetros de interés para verificar su correcto funcionamiento y así poder detectar posibles fallos en el sistema antes de ser puesto en marcha bajo entornos reales.

Se comprobó que el sistema desarrollado presenta un funcionamiento deseado, capaz de detectar anomalías y posibles descompensaciones que se puedan presentar en el sujeto diagnosticado con IC durante su fase de tratamiento a través de las diferentes alarmas. De igual forma, se verificó que tanto el historial de registro para cada variable fisiológica como las desviaciones respecto a los rangos normales de los parámetros monitoreados fueran enviados a tiempo al correo electrónico del especialista especificado por el usuario.

## 5.1. Conclusiones

Teniendo en cuenta distintas fuentes de información como los fueron artículos médicos, revistas científicas y asociaciones de cardiología tanto a nivel nacional como a nivel mundial, se identificaron los rangos de variabilidad para los parámetros fisiológicos como peso, FC y PA que representan signos de alarma. De igual forma, se extrajo información relevante sobre la patología, actividades físicas y alimentación recomendada para educar e informar al paciente sobre esta enfermedad.

Se diseñó y desarrolló un sistema de monitoreo remoto no invasivo para sujetos diagnosticados con IC por medio de herramientas ofimáticas, lenguajes de programación, frameworks y con la ayuda de tecnologías móviles, instrumentos de medición y dispositivos vestibles que permite un monitoreo a sujetos con IC sin la necesidad de encuentros presenciales. En primer lugar, el sistema cuenta con una sección de mediciones

Dicho sistema contiene múltiples secciones divididas de la siguiente manera:

- Mediciones: se puede registrar y hacer seguimiento de cada una de las lecturas tomadas para los diferentes parámetros fisiológicos y enviar alertas que indiquen posibles descompensaciones en el estado de salud del sujeto.
- Síntomas e historial médico: el usuario puede diligencia información correspondiente a sintomatología y enfermedades que padece y posiblemente influyan durante su fase de tratamiento de IC.
- Reuniones: permite realizar encuentros programados entre el sujeto y especialista por medio de videollamadas de forma rápida y segura, con opciones de restringir acceso a usuarios no deseados y establecer contraseñas a las salas de reunión.

- Educación: provee información al usuario sobre la patología correspondiente a su definición, síntomas, causas y tratamiento, de igual forma sugiere algunas actividades físicas, dietas, alimentos recomendados, de consumo limitado y no recomendados a sujetos diagnosticados con IC.
- Perfil: Contiene diferentes opciones donde se puede visualizar y editar información personal como nombres, apellidos, número de identificación y teléfono de contacto. De igual forma permite modificar la dirección del correo electrónico del especialista al cual se le desea enviar las alarmas. Por otro lado, la opción llamada "Envío reporte mediciones" envía la información del historial de registro de cada variable fisiológica ya sea en archivos CSV separados o en uno solo que contiene los datos históricos para cada parámetro de los diferentes meses del año o uno en específico. Finalmente, la aplicación permite visibilizar los términos y condiciones y políticas de privacidad de ICare.

Por otra parte, la socialización con la FCV sirvió para validar la selección de parámetros fisiológicos, así como su respectiva variabilidad para un apropiado monitoreo remoto de sujetos diagnosticados con IC. De igual forma, se comprobó la eficiencia y utilidad de la información obtenida por medio del registro de síntomas e historial médico para una apropiada toma de decisiones por parte del especialista.

A partir de dicha reunión se llevó a cabo la validación de la funcionalidad y sensibilidad del sistema de monitoreo remoto con la puesta en marcha bajo un entorno simulado por parte de profesionales de salud, dando como resultado un apropiado funcionamiento del sistema de alarmas, del envío de los cuestionarios de sintomatología e historial médico, y el reporte de mediciones; además de la experiencia de usuario con la interfaz de ICare.

El proyecto elaborado cumple con las expectativas propuestas durante la fase de desarrollo, así como se evidencia la escalabilidad de éste al permitir el seguimiento del estado de salud de múltiples usuarios en esta plataforma.

## 5.2. Trabajos futuros

El siguiente paso para próximos proyectos es la implementación de ICare en un grupo de sujetos ambulatorios diagnosticados con IC. Esto permitirá evaluar el impacto de aplicaciones como ICare durante el periodo de tratamiento tanto desde la perspectiva del sujeto como la del especialista. Así mismo, sirve de apoyo para futuras versiones de monitoreo remoto teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por parte de la FCV mostradas en el capítulo 4 sección 4.5, dentro de las cuales se podría integrar una plataforma más robusta para el personal de salud.

Actualmente los dispositivos vestibles y que son de fácil acceso no tienen integrado sensores para medir cada una de las variables fisiológicas que se requieren para un constante monitoreo de sujetos con IC. Por ejemplo, para la medición de PA existen muy pocos relojes de marcas reconocidas que implementan dicha tecnología; por tal motivo a medida que esta tecnología se consolide y se desarrollen nuevas versiones capaces de incluir sensores de medición para PA en futuros trabajos se podrían implementar al sistema los relojes que cumplan con estos requisitos, para que de forma automática se añada la lectura a ICare, el cual se encargará de evaluar las medidas registradas y enviar las alertas al especialista tratante según corresponda.

# REFERENCIAS

Abdar, M., Książek, W., Acharya, U. R., Tan, R. S., Makarenkov, V., & Pławiak, P. (2019). *A new machine learning technique for an accurate diagnosis of coronary artery disease*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 179(July). https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.104992

Aladin, A. I., Whellan, D., Mentz, R. J., Pastva, A. M., Nelson, M. B., Brubaker, P., ... & Kitzman, D. W. (2021). *Relationship of physical function with quality of life in older patients with acute heart failure*. Journal of the American Geriatrics Society.

Alfaro, M., Castro, P., Concepción, R., Díaz, F., Garcés, E., & Greig, D. (2015). *Guía Clínica Insuficiencia Cardíaca*. Sociedad Chilena de Cardiología y Cirugía Cardiovascular y Ministerio de Salud.

Anand, I. S., Tang, W. H. W., Greenberg, B. H., Chakravarthy, N., Libbus, I., & Katra, R. P. (2012). *Design and performance of a multisensor heart failure monitoring algorithm: Results from the multisensor monitoring in Congestive Heart Failure (MUSIC) study*. Journal of Cardiac Failure, *18*(4), 289–295. https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2012.01.009

Aponte Gómez, S., & Dávila Ramírez, C. A. (2012). *Sistemas operativos móviles: funcionalidades, efectividad y aplicaciones útiles en Colombia*. Universidad Ean.

Arian, M., Mirmohammadkhani, M., Ghorbani, R., & Soleimani, M. (2019). *Health-related quality of life (HRQoL) in beta-thalassemia major (β-TM) patients assessed by 36-item short form health survey (SF-36): a meta-analysis*. Quality of Life Research, *28*(2), 321-334.

Arnett, D. K., Blumenthal, R. S., Albert, M. A., Buroker, A. B., Goldberger, Z. D., Hahn, E. J., Himmelfarb, C. D., Khera, A., Lloyd-Jones, D., McEvoy, J. W., Michos, E. D., Miedema, M. D., Muñoz, D., Smith, S. C., Virani, S. S., Williams, K. A., Yeboah, J., & Ziaeian, B. (2019). *2019 ACC/AHA Guideline on the Primary Prevention of Cardiovascular Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines*. In Circulation (Vol. 140, Issue 11). https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000678

Arnold, J. M. O., Liu, P., Demers, C., Dorian, P., Giannetti, N., Haddad, H., Heckman, G. A., Howlett, J. G., Ignaszewski, A., Johnstone, D. E., Jong, P., McKelvie, R. S., Moe, G. W., Parker, J. D., Rao, V., Ross, H. J., Sequeira, E. J., Svendsen, A. M., Teo, K., … White, M. (2006). *Canadian Cardiovascular Society consensus conference recommendations on heart failure 2006: Diagnosis and management*. Canadian Journal of Cardiology, 22(1), 23–45. https://doi.org/10.1016/S0828-282X(06)70237-9

Asfar, A. M. I. T., & Asfar, A. M. I. A. (2021). *The effectiveness of distance learning through Edmodo and Video Conferencing Jitsi Meet*. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1760, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

Atherton, J. J., Sindone, A., De Pasquale, C. G., Driscoll, A., MacDonald, P. S., Hopper, I., Kistler, P., Briffa, T. G., Wong, J., Abhayaratna, W. P., Thomas, L., Audehm, R., Newton, P. J., O'Loughlin, J., Connell, C., & Branagan, M. (2018). *National Heart Foundation of Australia and Cardiac Society of Australia and New Zealand: Australian clinical guidelines for the management of heart failure 2018*. The Medical Journal of Australia, 209(8), 363–369. https://doi.org/10.5694/mja18.00647

Barisani, J. L. (2010). *Consenso de diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia cardíaca crónica*. Revista Argentina de Cardiologia, 78(2), 166–181.

Calderón Anyosa, R. J. C. (2018). *Ensayo controlado aleatorizado de tele-monitoreo domiciliario de la presión arterial con un tensiómetro adaptado con capacidad SMS*. Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Dabbish, L., Stuart, C., Tsay, J., & Herbsleb, J. (2012). *Social coding in GitHub: transparency and collaboration in an open software repository*. In Proceedings of the ACM 2012 conference on computer supported cooperative work (pp. 1277-1286).

De Boer, C., Ghomrawi, H., Many, B., Bouchard, M. E., Linton, S., Figueroa, A., ... & Abdullah, F. (2021). *Utility of Wearable Sensors to Assess Postoperative Recovery in Pediatric Patients After Appendectomy*. Journal of Surgical Research, 263, 160-166.

Delía, L. N. (2017). *Desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma*. Universidad Nacional de la Plata.

Del Sole, A. (2018). *Visual Studio Code Distilled: Evolved Code Editing for Windows, MacOS, and Linux*. Apress.

De Tejada, M. G. S., Bilbao, A., Ansola, L., Quirós, R., García-Perez, L., Navarro, G., & Escobar, A. (2019). *Responsiveness and minimal clinically important difference of the Minnesota living with heart failure questionnaire*. Health and quality of life outcomes, 17(1), 1-8.

DiMarzio, J. (2016). *Beginning Android Programming with Android Studio*. John Wiley & Sons.

Djenno, M., Insua, G. M., & Pho, A. (2015). *From paper to pixels: using Google Forms for collaboration and assessment*. Library Hi Tech News.

Estragó, V., & Álvarez, P. (2013). *3er Consenso Nacional de Insuficiencia Cardíaca*. Sociedad Uruguaya de Cardiología.

Evangelista, L. S., Rasmusson, K. D., Laramee, A. S., Barr, J., Ammon, S. E., Dunbar, S.,

Ziesche, S., Patterson, J. H., & Yancy, C. W. (2010). *Health Literacy and the Patient With Heart Failure-Implications for Patient Care and Research: A Consensus Statement of the Heart Failure Society of America*. Journal of Cardiac Failure, 16(1), 9–16. https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2009.10.026

Ezekowitz, J. A., O'Meara, E., McDonald, M. A., Abrams, H., Chan, M., Ducharme, A., Giannetti, N., Grzeslo, A., Hamilton, P. G., Heckman, G. A., Howlett, J. G., Koshman, S. L., Lepage, S., McKelvie, R. S., Moe, G. W., Rajda, M., Swiggum, E., Virani, S. A., Zieroth, S., … Sussex, B. (2017). *2017 Comprehensive Update of the Canadian Cardiovascular Society Guidelines for the Management of Heart Failure*. Canadian Journal of Cardiology, 33(11), 1342–1433. https://doi.org/10.1016/j.cjca.2017.08.022

Farmakis, D., Parissis, J., Lekakis, J., & Filippatos, G. (2015). *Insuficiencia Cardíaca aguda: epidemiología, factores de riesgo y prevención*. Revista Española de Cardiología, 68(3), 245-248.

Fernández, F., Mora, J., Cantador, Ma., & Soto, M. J. (2014). *Guía de ejercicios para pacientes con enfermedad cardiovascular*. Servicio Andaluz de Salud y Hospital Regional de Málaga.

Goud, R. (2009). *Computerized decision support to improve guideline implementation in cardiac rehabilitation: the CARDSS project*. University of Amsterdam.

Hamine, S., Gerth-Guyette, E., Faulx, D., Green, B. B., & Ginsburg, A. S. (2015). *Impact of mHealth chronic disease management on treatment adherence and patient outcomes: A systematic review*. Journal of Medical Internet Research, 17(2), 1–15. https://doi.org/10.2196/jmir.3951

Hauptman, P. J., Rich, M. W., Heidenreich, P. A., Chin, J., Cummings, N., Dunlap, M. E., Edwards, M. L., Gregory, D., O'connor, C. M., Pezzella, S. M., & Philbin, E. (2008).

*The Heart Failure Clinic: A Consensus Statement of the Heart Failure Society of America*. Journal of Cardiac Failure, 14(10), 801–815. https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2008.10.005

Hernández Pinzón, C., & Flórez Flórez, M. L. (2017). *Adherencia al tratamiento en la insuficiencia cardíaca y las tecnologías de la información y comunicación.* Revista Colombiana de Cardiología.

Jaramillo, C., Gòmez, E., Hernàndez, E., Saldarriaga, C., Flòrez, N., & Buitrago, R. (2014). *Consenso colombiano para el diagnóstico y tratamiento de la Insuficiencia cardíaca crónica*. Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular.

Llorens Soriano, P., Manito Lorite, N., Manzano Espinosa, L., Martín Sánchez, F. J., Comín Colet, J., Formiga Pérez, F., ... & Miró i Andreu, Ò. (2015). *Consenso para la mejora de la atención integral a los pacientes con insuficiencia Cardíaca aguda*. Emergencias, 2015, vol. 27, num. 4, *p. 245-266.*

Marzal, D. (2017). *Aplicación ICapp. Simulación de casos clínicos con ICapp*. Sociedad Española de Cardiología.

Mathew, J., Lail, J., Chang, A. C., & Jefferies, J. L. (2018). *Outpatient Monitoring and Self-Care. In Heart Failure in the Child and Young Adult: From Bench to Bedside* (pp. 755–772). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802393-8.00058-2

Meystre, S. (2005). *The current state of telemonitoring: A comment on the literature*. Telemedicine Journal and E-Health, 11(1), 63–69. https://doi.org/10.1089/tmj.2005.11.63

Moe, G. W., Ezekowitz, J. A., O'Meara, E., Lepage, S., Howlett, J. G., Fremes, S., Al-Hesayen, A., Heckman, G. A., Abrams, H., Ducharme, A., Estrella-Holder, E., Grzeslo, A., Harkness, K., Koshman, S. L., McDonald, M., McKelvie, R., Rajda, M., Rao, V.,

Swiggum, E., … White, M. (2015). *The 2014 Canadian cardiovascular society heart failure management guidelines focus update: Anemia, biomarkers, and recent therapeutic trial implications*. Canadian Journal of Cardiology, 31(1), 3–16. https://doi.org/10.1016/j.cjca.2014.10.022

Moroney, L. (2017). *The firebase realtime database. In The Definitive Guide to Firebase* (pp. 51-71). Apress, Berkeley, CA.

Moskala, M., & Wojda, I. (2017). *Android Development with Kotlin*. Packt Publishing Ltd.

Mosterd, A., & Hoes, A. W. (2007). *Clinical epidemiology of heart failure*. Heart, 93(9), 1137-1146.

Nicholson, C. (2014). *Chronic heart failure: pathophysiology, diagnosis and treatment.* Nursing older people, 26(7).

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *La COVID-19 afecta significativamente a los servicios de salud relacionados con las enfermedades no transmisibles*. Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 1689–1699.

O'Meara, E., McDonald, M., Chan, M., Ducharme, A., Ezekowitz, J. A., Giannetti, N., Grzeslo, A., Heckman, G. A., Howlett, J. G., Koshman, S. L., Lepage, S., Mielniczuk, L. M., Moe, G. W., Swiggum, E., Toma, M., Virani, S. A., Zieroth, S., De, S., Matteau, S., … Sussex, B. (2020). *CCS/CHFS Heart Failure Guidelines: Clinical Trial Update on Functional Mitral Regurgitation, SGLT2 Inhibitors, ARNI in HFpEF, and Tafamidis in Amyloidosis*. Canadian Journal of Cardiology, 36(2), 159–169. https://doi.org/10.1016/j.cjca.2019.11.036

Parrilla, F. (2020). *Monitorización de usuarios con pulseras y relojes inteligentes. Aplicación móvil para recomendación de hábitos saludables* (pp. 1–55). Escuela Politécnica

Superior.

Pérez, A. M. (2017). *Básculas médicas y aparatos de medición*. Recuperado de: https://docplayer. es/486049r94-Basculas-medicas-y-aparatos-de-medicion. html.

Pino-Ortega, J., Gómez-Carmona, C. D., & Rico-González, M. (2021). *Accuracy of Xiaomi Mi Band 2.0, 3.0 and 4.0 to measure step count and distance for physical activity and healthcare in adults over 65 years*. Gait & Posture, 87, 6-10.

Saldarriaga Giraldo, C.I, Gómez López, E.A. (2017). *Consenso Colombiano Para El Diagnóstico y Tratamiento De La Insuficiencia Cardíaca*. Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, 2017 ISBN: 978-958-98393-3-1.

Schulz, M., Griese-Mammen, N., Anker, S. D., Koehler, F., Ihle, P., Ruckes, C., ... & Wachter, R. (2019). *Pharmacy-based interdisciplinary intervention for patients with chronic heart failure: results of the PHARM-CHF randomized controlled trial*. European journal of heart failure, 21(8), 1012-1021.

Seferovic, P. M., Ponikowski, P., Anker, S. D., Bauersachs, J., Chioncel, O., Cleland, J. G. F., de Boer, R. A., Drexel, H., Ben Gal, T., Hill, L., Jaarsma, T., Jankowska, E. A., Anker, M. S., Lainscak, M., Lewis, B. S., McDonagh, T., Metra, M., Milicic, D., Mullens, W., … Coats, A. J. S. (2019). *Clinical practice update on heart failure 2019: pharmacotherapy, procedures, devices and patient management. An expert consensus meeting report of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology*. European Journal of Heart Failure, 21(10), 1169–1186. https://doi.org/10.1002/ejhf.1531

Seto, E., Leonard, K. J., Cafazzo, J. A., Barnsley, J., Masino, C., & Ross, H. J. (2012). *Developing healthcare rule-based expert systems: Case study of a heart failure telemonitoring system*. International Journal of Medical Informatics, 81(8), 556–565.

https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2012.03.001

Soriano, P. L., Escoda, R., Andreu, Ó. M., Puente, P. H., Sánchez, F. J. M., Rodríguez, J. J., ... & Mebazaa, A. (2015). *Características clínicas, terapéuticas y evolutivas de los pacientes con insuficiencia Cardíaca aguda atendidos en servicios de urgencias españoles: Registro EAHFE (Epidemiology of Acute Heart Failure in Spanish Emergency Departments)*. Emergencias: Revista de la Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias, 27(1), 11-22.

Speranza Sánchez, M., Almonte, C., Castillo Chaves, G., Quesada Chaves, D., Effio, J., Frago, G., González, B., Molina, F., Núñez Ayala, E., Peralta López, E., Ramos Midence, C., Real, O., & Ventura Umanzor, J. (2018). *II Consenso Centroamericano y del Caribe de insuficiencia cardíaca biomarcadores séricos*. Rev. Costarric. Cardiol, 20(2018), 4–10.

Swedberg, K., Cleland, J., Dargie, H., Drexler, H., Follath, F., Komajda, M., Tavazzi, L., Smiseth, O. A., Gavazzi, A., Haverich, A., Hoes, A., Jaarsma, T., Korewicki, J., Lévy, S., Linde, C., Lopez-Sendon, J. L., Nieminen, M. S., Piérard, L., & Remme, W. J. (2005). *Guidelines for the diagnosis and treatment of chronic heart failure: Executive summary (update 2005)*. European Heart Journal, 26(11), 1115–1140. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehi204

Tamayo, D. C., Rodríguez, V. A., Rojas, M. X., Rincón, M., Franco, C., Ibarra, M. T., & Dennis, R. J. (2013). *Costos ambulatorios y hospitalarios de la falla Cardíaca en dos hospitales de Bogotá*. Acta Médica Colombiana, 38(4), 208–212.

Tedesco, S., Sica, M., Ancillao, A., Timmons, S., Barton, J., & O'Flynn, B. (2019). *Validity evaluation of the Fitbit Charge2 and the Garmin vivosmart HR+ in free-living environments in an older adult cohort*. JMIR mHealth and uHealth, 7(6), e13084.

Torres, A., & Gómez, E. (2016). *Capítulo 3. Unidades de falla cardiaca: una propuesta para el sistema de salud colombiano*. Revista Colombiana de Cardiología, 23, 13-19.

Vázquez Rodríguez, V. (2019). *Desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma con Flutter*. Universidad de Almería.

Villar, R. (1994). *Escala NYHA ( New York Heart Association )*. Medicina Interna.

Winkler, S., Schieber, M., Lücke, S., Heinze, P., Schweizer, T., Wegertseder, D., Scherf, M., Nettlau, H., Henke, S., Braecklein, M., Anker, S. D., & Koehler, F. (2011). *A new telemonitoring system intended for chronic heart failure patients using mobile telephone technology - Feasibility study*. International Journal of Cardiology, 153(1), 55–58. https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.08.038

Yancy, C. W., Jessup, M., Bozkurt, B., Butler, J., Casey, D. E., Drazner, M. H., Fonarow, G. C., Geraci, S. A., Horwich, T., Januzzi, J. L., Johnson, M. R., Kasper, E. K., Levy, W. C., Masoudi, F. A., McBride, P. E., McMurray, J. J. V., Mitchell, J. E., Peterson, P. N., Riegel, B., … Wilkoff, B. L. (2013). *2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: A report of the American college of cardiology foundation/american heart association task force on practice guidelines*. Journal of the American College of Cardiology, 62(16), e147–e239. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.05.019

Yanicelli, L. M., Vegetti, M., Goy, C. B., Martínez, E. C., & Herrera, M. C. (2020). *SiTe iC: A telemonitoring system for heart failure patients*. International Journal of Medical Informatics, 141(March), 104204. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104204

# ANEXO A

## FORMULARIO DE RETROALIMENTACIÓN DE ICARE

Apreciamos si pudiera tomar un poco de su tiempo para compartir sus pensamientos y su opinión sobre su experiencia con ICare. Usamos su calificación para mejorar activamente y asegurarnos que su experiencia con la ICare sea la mejor. POR FAVOR RESPONDA HONESTAMENTE. Muchas gracias.

*Obligatorio

1. ¿Desde hace cuánto utiliza ICare? *

   *Marca solo un óvalo.*

   - ◯ Menos de 1 mes
   - ◯ 1 a 3 meses
   - ◯ 3 a 6 meses
   - ◯ 6 meses en adelante

2. ¿Considera que ICare satisface las necesidades para un monitoreo remoto a pacientes diagnosticados con Insuficiencia Cardíaca? *

   *Marca solo un óvalo.*

   - ◯ Supera mis expectitivas
   - ◯ Es útil, pero hay opciones mejores
   - ◯ No supera mis expectativas

3. ¿Cuál es la probabilidad de que recomiende ICare con sus colegas y pacientes? *

   *Marca solo un óvalo.*

   - ◯ Lo recomendaría
   - ◯ Es muy probable
   - ◯ Poco probable
   - ◯ No lo recomendaría en absoluto

4. ¿En escala de 1 a 5 qué tan eficiente y útil considera el sistema de alarmas de la aplicación para el caso de Frecuencia Cardíaca y Presión Arterial? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

5. ¿En escala de 1 a 5 qué tan pertinente considera la información recibida cuando es notificada una alarma para Frecuencia Cardíaca y Presión Arterial? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

6. ¿En escala de 1 a 5 qué tan eficiente y útil considera el sistema de alarmas de la aplicación según la variación del peso en uno o dos días? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

7. ¿En escala de 1 a 5 qué tan pertinente considera la información recibida cuando es notificada una alarma para la variación del peso? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

8. Tiene recomendaciones con relación a los rangos considerados para las alarmas de las variables Presión Arterial, Frecuencia Cardíaca y Peso *

9. ¿Cómo considera que es la información suministrada al sujeto con relación a las notificaciones de alarma? *

10. ¿En escala de 1 a 5 qué tan útil considera la información suministrada por medio del registro de síntomas e historial médico? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

11. Respecto a la información solicitada en los registros de síntomas e historial médico tiene alguna recomendación *

12. Encuentra útil el uso de la herramienta de videollamadas en ICare *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

13. ¿En escala de 1 a 5 qué tan pertinente considera la información incluida en la sección de educación? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

14. ¿En escala de 1 a 5 qué tan acertada considera la información incluida en la sección de educación? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

15. ¿En escala de 1 a 5 qué tan amigable considera la interfaz de usuario? *

*Marca solo un óvalo.*

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Muy mala | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | ◯ | Muy buena |

16. ¿Qué recomendaciones tiene para mejorar el desempeño de la aplicación o para implementar en futuras versiones? *

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

# ANEXO B

# LINK DE DESCARGA Y CÓDIGO QR DE ICARE

A continuación, se encuentra el link de descarga y el código QR para la instalación de ICare en dispositivos móviles con sistema operativo Android cuya versión recomendada sea mayor a 6.0 para un funcionamiento óptimo y deseado de la aplicación.

**LINK**

https://drive.google.com/uc?id=1O8HVDhEnttOqu5otiR mY_NM09WSHmhk&export=download

**CÓDIGO QR**

# ANEXO C

# LINK DE DESCARGA Y CÓDIGO QR DE ICARE MEETINGS

De igual forma, en este anexo se encuentra el link de descarga y el código QR para la instalación de ICare Meetings en dispositivos móviles con sistema operativo Android cuya versión recomendada sea mayor a 6.0 para un funcionamiento óptimo y deseado de la aplicación.

**LINK**

https://drive.google.com/file/d/1K52G92qBlqm0SauZL9FGwXyWWdB4-KZU/view

**CÓDIGO QR**