

PROTOTIPO ELECTRÓNICO QUE PERMITA EL MONITOREO DE SIGNOS
VITALES COMO ALTERNATIVA DE APOYO EN LA CLASIFICACIÓN DEL TRIAGE
EN URGENCIAS.

DAVID MAURICIO FAJARDO PRADA.
WILMER STIVEN MONTOYA MORENO.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2020

PROTOTIPO ELECTRÓNICO QUE PERMITA EL MONITOREO DE SIGNOS
VITALES COMO ALTERNATIVA DE APOYO EN LA CLASIFICACIÓN DEL TRIAGE
EN URGENCIAS.

DAVID MAURICIO FAJARDO PRADA.
WILMER STIVEN MONTOYA MORENO.

Trabajo de grado para para optar el título de Ingeniero Electrónico y de
Telecomunicaciones

PhD. YURY ANDREA JIMÉNEZ AGUDELO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2020

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciente (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de grado está dedicado a todas las personas que fueron y son apoyo para nuestro proceso como profesionales. Muchas gracias a nuestras familias quienes creyeron en nosotros y que ahora pueden apreciar el fruto de lo que sembraron cuando comenzamos esta carrera. A los docentes quienes forjaron y pulieron nuestros conocimientos y valores como profesionales. Muchas gracias a la doctora Yury Andrea Jiménez por permitirnos trabajar conjuntamente y guiarnos en el proceso.

Los autores.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1. GENERALIDADES.....	16
1.1 ANTECEDENTES	16
1.1.1 Tipos de triage estructurados.....	16
1.1.2 Caso Colombia.....	17
1.1.3 Desarrollos tecnológicos.....	18
1.1.4 Dispositivos presentes en el mercado	24
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.3 OBJETIVOS	28
OBJETIVO GENERAL	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
1.4 JUSTIFICACIÓN	29
1.5 DELIMITACIÓN	30
1.5.1 Delimitación espacial.....	30
1.5.2 Delimitación temporal	30
1.5.3 Delimitación del universo	30
1.5.4 Delimitación del contenido.....	30
1.6 MARCO REFERENCIAL	31
1.6.1 MARCO TEÓRICO.....	31
1.6.1.1 Niveles de hospitales	31
1.6.1.2 Escala de Glasgow.....	31
1.6.1.3 La escala australiana de Triage (ATS).....	32
1.6.1.4 La Escala de clasificación aguda del Departamento de emergencias canadiense (CTAS)	33
1.6.1.5 Sistema Manchester de Triage (MTS).....	34
1.6.1.6 Índice de gravedad en emergencias (ESI)	34

1.6.1.7 El Sistema Español de Triage (SET)	34
1.6.1.8 Telemedicina	35
1.6.1.9 E-Health	35
1.6.1.10 M-Health.....	36
1.6.1.11 Microcontrolador	36
1.6.1.12 Computación en la nube.....	36
1.6.1.13 Internet de las cosas	37
1.6.1.14 WBAN	37
1.6.1.15 Flujoograma del proceso realizado en el hospital MARCO FELIPE AFANADOR de Tocaima, Cundinamarca:.....	37
1.6.1.16 Interfaz usada por el software en el hospital MARCO FELIPE AFANADOR para la clasificación de triage:.....	39
 1.6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	 40
1.6.2.1 Triage	40
1.6.2.2 Calidad de atención de salud	41
1.6.2.3 Eficiencia de atención en salud.....	41
1.6.2.4 Servicio de urgencias hospitalario (SUH)	42
1.6.2.5 Signos vitales	42
1.6.2.6 Oximetría	42
1.6.2.7 Presión Arterial	43
1.6.2.8 Frecuencia cardiaca	46
1.6.2.9 Temperatura corporal	47
1.6.2.10 Bluetooth	47
1.6.2.11 PCB (Printed Circuit Board).....	49
1.6.2.12 Servidor.....	49
1.6.2.13 Aplicación móvil.....	49
1.6.2.14 Internet.....	50
1.6.2.15 Salud preventiva	50
1.6.2.16 Discriminantes y escalas de gravedad	50
 1.7 METODOLOGÍA.....	 52
 1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	 53
1.8.1 ANÁLISIS 53	
1.8.1.1 Investigación sobre los sensores para obtener los signos vitales.....	53
1.8.1.2 Plataformas de computación en la nube.....	56
1.8.2 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS	59
1.8.2.1 Requerimientos del prototipo.	59
1.8.2.2 Requerimientos del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.....	59
1.8.2.3 Requerimientos del módulo de transmisión.	60
1.8.2.4 Requerimientos del módulo de visualización.....	60
 1.8.3 DISEÑO 62	

1.8.3.1	Diseño del prototipo.....	62
1.8.3.2	Diseño del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.	63
1.8.3.3	Diseño del módulo de transmisión de los signos vitales.	66
1.8.3.4	Diseño del módulo de visualización de los signos vitales.	67
1.9	IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS	73
1.9.1	Impacto social	73
1.9.2	Impacto económico	73
1.9.3	Impacto educativo	73
1.9.4	Impacto tecnológico	73
2.	DESCRIPCIÓN LOS COMPONENTES	74
2.1	Componentes de Hardware.....	74
2.1.1	Sensor: MAX30102.....	74
2.1.2	Sensor: Termocupla DS18B20.....	75
2.1.3	Sensor: Tensiómetro CK100.	76
2.1.4	Sensor: AS608.....	77
2.1.5	Módulo de comunicaciones: Bluetooth HC-05.....	78
2.1.6	Tarjeta de desarrollo: Arduino.....	79
2.2	Componentes del Software	80
2.2.1	Android Studio.....	80
2.2.2	Firebase.	80
3.	IMPLEMENTACIÓN.	81
3.1	Implementación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.	84
3.1.1	Implementación de captación de datos.	84
3.1.1.1	Frecuencia cardiaca	85
3.1.1.2	Saturación de oxígeno.	85
3.1.1.3	Temperatura	86
3.1.1.4	Huella dactilar.....	86
3.1.2	Implementación de procesamiento de datos.....	86
3.1.3	Implementación de almacenamiento de datos.	87
3.2	Implementación del módulo de transmisión.....	87
3.3	Implementación del módulo de visualización de los signos vitales.....	88
4.	VALIDACIÓN.....	96
4.1	Validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.....	96
4.1.1	Frecuencia cardiaca.	96

4.1.2 Saturación de oxígeno en la sangre	98
4.1.3 Temperatura	98
4.1.4 Huella dactilar	99
4.2 Validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales y el módulo de transmisión.	100
4.3 Validación del prototipo de monitoreo de signos vitales.	101
4.4 Validación de transmisión a diferentes distancias.....	103
5. DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	106
6. CONCLUSIONES.....	107
7. TRABAJOS FUTUROS.	109
8. BIBLIOGRAFÍA.....	110

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los desarrollos tecnológicos.	23
Tabla 2. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación ATS por niveles.	32
Tabla 3. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación CAEP por niveles.	33
Tabla 4. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación MTS por niveles.	34
Tabla 5. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación SET por niveles.	35
Tabla 6. Rangos de saturación de oxígeno en la sangre en hombres y mujeres a partir de la altura sobre el nivel del mar.	43
Tabla 7. Presión arterial sistólica y diastólica en niños entre 3 y 13 años.	44
Tabla 8. Rangos de saturación de oxígeno en la sangre en hombres y mujeres a partir de la altura sobre el nivel del mar.	45
Tabla 9. Rangos de frecuencia cardiaca por edad.	46
Tabla 10. Rangos de temperatura corporal por edad.	47
Tabla 11. Versiones de Bluetooth.	48
Tabla 12. Comparativo de sensores para frecuencia cardiaca.	53
Tabla 13. Comparativo de sensores para saturación de oxígeno en la sangre.	53
Tabla 14. Comparativo de sensores para temperatura.	54
Tabla 15. Comparativo de sensores para presión arterial.	55

Tabla 16. Comparativo de sensores para reconocimiento dactilar.	56
Tabla 17. Comparación entre los servicios de la nube.	58
Tabla 18. Referencias de los dispositivos seleccionados.	65
Tabla 19. Resumen de los dispositivos seleccionados.	65
Tabla 20. Comparación de tecnologías inalámbricas.	67
Tabla 21. Comparación de bases de datos NoSQL.	71
Tabla 22. Límites de uso para Cloud Firestore.	80
Tabla 23. Resultados prueba frecuencia cardíaca.	96
Tabla 24. Resultados saturación de oxígeno en la sangre.	98
Tabla 25. Resultados prueba de temperatura.	98
Tabla 26. Resultados prueba de huella dactilar.	99
Tabla 27. Resultados prueba de distancia transmitida.	105
Tabla 28. Costos del proyecto.	106

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo.....	19
Figura 2. Prototipo final.	21
Figura 3. Prototipo final.	22
Figura 4. Apple watch series 6.	24
Figura 5. Galaxy Watch3 LTE.....	25
Figura 6. Flujograma de atención prestada a personas recién llegadas a urgencias. .	38
Figura 7. Página dinámica gerencial, formato de triage.	39
Figura 8. Definición de escalas de triage.....	40
Figura 9. Metodología.....	52
Figura 10. Mapa de calor del cuerpo humano.	55
Figura 11. Esquema del prototipo.....	62
Figura 12. Diagrama de bloques de conexión entre dispositivos.....	66
Figura 13. Diagrama de casos de uso.	68
Figura 14. Modelo de la interfaz.	70
Figura 15. Modelo de datos Cloud Firestore.	71
Figura 16. Sensor: MAX30102.	74
Figura 17. Sensor DS18B20.....	75
Figura 18. Tensiómetro de muñeca CK100.....	76
Figura 19. Sensor AS608.	77
Figura 20. Módulo de comunicaciones: Bluetooth HC-05.....	78
Figura 21. Tarjeta de desarrollo Arduino.	79

Figura 22. Diagrama de arquitectura de los módulos.	81
Figura 23. Fragmento de código, UTILIZABLES.	82
Figura 24. Fragmento de código, parte: SETUP.	82
Figura 25. Fragmento de código, parte: FUNCIONES.	83
Figura 26. Diagrama de flujo del funcionamiento del módulo de captación de datos. .	84
Figura 27. Diagrama de conexiones del prototipo.	88
Figura 28. Inicialización del proceso de sincronización.	89
Figura 29. Librerías para los archivos del proyecto Android.	90
Figura 30. Sincronización entre Android Studio y Firebase.	91
Figura 31. Implementación del servicio de autenticación y Cloud Firestore.	91
Figura 32. Ventanas de inicio de sesión y registro.	92
Figura 33. Lógica de almacenamiento en Cloud Firestore.	93
Figura 34. Prueba de registro.	93
Figura 35. Visualización de los datos en Firebase.	94
Figura 36. Prueba de funcionamiento del Bluetooth.	95
Figura 37. Ventana principal de la aplicación.	95
Figura 36. Resultados frecuencia cardiaca de los dispositivos.	97
Figura 39. Prueba de transmisión de datos.	100
Figura 40. Inicio de sesión a la aplicación.	101
Figura 41. Resultados validación del prototipo de monitoreo.	102
Figura 42. Creación de la subcolección y documento.	103
Figura 43. Área de pruebas de transmisión.	104
Figura 44. Resultados prueba de transmisión.	105

INTRODUCCIÓN

Es muy importante ofrecer una asistencia eficiente a los pacientes en los servicios de urgencias, garantizando que son atendidos de una forma oportuna y organizada. Para tal fin, existe un consentimiento entre las sociedades científicas de urgencias, que consiste en el uso de un sistema de triage estructurado. Dicho sistema permite categorizar a los pacientes según su urgencia, definida con base en los síntomas y signos vitales, con el fin de asegurar que los pacientes con mayor prioridad son los primeros en ser atendidos.

En Colombia, cuando un paciente ingresa al servicio de urgencias debe ser acogido por el personal médico encargado. Este personal es el encargado de realizar una encuesta donde intentará conocer los síntomas del paciente. Dependiendo de los resultados obtenidos en la encuesta, el personal decide si el paciente pasa a una etapa de clasificación, es decir el paciente tiene una urgencia médica. Dicha etapa consiste en la medición de los signos vitales y su debida clasificación en un nivel de triage, de acuerdo con todos los resultados obtenidos previamente. Por último, dependiendo del nivel de clasificación, el paciente será remitido, por el personal médico, al área adecuada para recibir atención médica o de nuevo tendrá que dirigirse a la sala de espera.

La saturación de los servicios de urgencias hospitalarios (SUH) es un problema universal. Las causas son numerosas y están relacionadas con aspectos provenientes de la gestión y administración de las instituciones. Dentro de estas causas se pueden evidenciar problemas relacionados con el número de pacientes, el tiempo de espera para su clasificación en el triage, y tiempos de atención médica una vez son clasificados. La saturación que se genera en los SUH es un problema trascendental, que genera un alto riesgo para la salud e integridad de las personas que van a urgencias¹.

En este contexto, el presente trabajo de grado propone el desarrollo tecnológico de un sistema que permita captar los signos vitales y conocer los síntomas que presenta el paciente de una manera rápida. El objetivo de esta solución es apoyar al personal médico encargado de estas tareas. En este documento se puede encontrar los antecedentes de los diferentes tipos de triage existentes para los servicios de urgencias a nivel mundial, como también, los sistemas propuestos en el ámbito nacional e internacional para optimizar la gestión de los pacientes en estos servicios.

Además, se realiza el planteamiento y formulación sobre la problemática anteriormente mencionada haciendo énfasis en las condiciones en las que se encuentran los hospitales de la ciudad de Bogotá. Se definen los objetivos necesarios para el desarrollo

¹ TUDELA, P; MODOL, J. *La saturación en los servicios de urgencias hospitalarios*, Barcelona, 2015. Vol. 27, N°. 2. p. 115. ISSN 1137-6821.

del prototipo anteriormente mencionado y, por último, se elabora el cronograma en base a las actividades propuestas para cada uno de los objetivos definidos y un presupuesto estimado para el desarrollo e implementación de este trabajo de grado.

1. GENERALIDADES.

1.1 ANTECEDENTES

La presentación de los antecedentes se encuentra dividida, en primer lugar, por los tipos de triage estructurados existentes a nivel mundial, la aplicación a nivel nacional, los desarrollos tecnológicos realizados para mejorar los servicios de urgencias médicas y los dispositivos presentes en el mercado para la medición de algunos signos vitales.

1.1.1 Tipos de triage estructurados.

El término triage es utilizado por primera vez alrededor de 1964 cuando Richard Weinerman lo propone para clasificar a los pacientes que se encuentren en una situación de urgencia en la ciudad de Baltimore, Estados Unidos. Durante los años 60 en Estados Unidos se implementa un sistema de clasificación de tres niveles, que para finales del siglo XX fue reemplazado por un sistema de clasificación de cuatro niveles. En simultáneo con el sistema americano de cuatro niveles surge en Australia una escala de clasificación de cinco niveles planteada por el colegio Australiano de Medicina de Emergencias en el año 1993 y posteriormente en el año 2000 acogida como escala nacional de triage. En el mundo se pueden encontrar diferentes escalas de triage; estas son definidas por los grupos o entidades profesionales en salud de cada país².

El triage estructurado es realizado a partir de escalas válidas, útiles y reproducibles. A nivel mundial reconocen cinco modelos de triage estructurado con una amplia implantación³, que son nombrados a continuación:

1. La escala australiana de Triage (ATS).
2. La escala de clasificación aguda del Departamento de emergencias canadiense (CTAS).
3. Sistema Manchester de Triage (MTS).
4. Índice de gravedad en emergencias (ESI).
5. El Sistema Español de Triage (SET).

²GOMEZ, J; RAMON, P; PARDO C. *MANUAL para la IMPLEMENTACIÓN de un SISTEMA de TRIAJE para los CUARTOS de URGENCIAS*, Washington DC, 2011. p. 60. ISBN 978-92-75-33165-1.

³SOLER, W; GOMEZ MUÑOZ, M; BRAGULAT, E. *El triaje: herramienta fundamental en urgencias y emergencias*. 2010. Vol. 33. p. 57. ISSN 1137-6627.

1.1.2 Caso Colombia.

En Colombia, la resolución número 005596 del año 2015 expedida por el ministerio de salud y protección social⁴ establece los criterios para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage". En el artículo 5 de esta resolución se definen las categorías del triage, las cuales se encuentran organizadas de mayor a menor riesgo.

En el artículo 6 se estipula que es responsabilidad de cada institución prestadora del servicio "Definir e implementar un método de triage de cinco categorías", así como también, para los triage III, IV Y V deben establecer promedios de los tiempos de atención. Estos tiempos promedios deben ser informados a los pacientes y sus acompañantes o estar especificados en un área visible.

Los artículos 8 y 9 estipulan que el personal responsable del triage en los servicios de alta y mediana complejidad es un profesional en medicina o enfermería. Mientras que, para los servicios de baja complejidad, podrá ser realizado por auxiliares de enfermería o tecnólogos en atención prehospitalario. Además, dicho personal es encargado de organizar y garantizar el orden, así como, entrevistar al paciente y/o acompañante.

La clasificación de un paciente cuando se encuentra en una sala de urgencias sigue un proceso que realiza el personal médico, mencionado anteriormente en los artículos. Dicho proceso está dividido en las siguientes etapas⁵ (Se asumirá que el proceso lo realiza un enfermero):

1. **Recepción y acogida:** El enfermero de triage es el encargado de establecer relación con el paciente, debe identificarse ante él y explicarle todo el proceso. Además, tiene la potestad de remitir pacientes directamente al área donde se les brindará el servicio adecuado debido a sus evidentes patologías.
2. **Valoración:** En primer lugar, el enfermero llevará a cabo una entrevista a partir de preguntas concretas donde intentará conocer lo que padece el paciente, las enfermedades que presenta y si había tenido los síntomas con anterioridad. Dependiendo del estado del paciente el enfermero toma la decisión de medir algunas variables, como, por ejemplo: Frecuencia Cardíaca (FC), Temperatura

⁴COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 00005596 (Bogotá D.C, 2015). Por la cual se definen los criterios técnicos para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage". En: MinSalud. Diciembre, 2015. p. 3.

⁵CLINICA MAR CARIBE. *GUIA PARA EL TRIAGE DE URGENCIAS*. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-23. Disponible en: <https://dokumen.tips/reader/f/guia-para-el-triage-de-urgencias-clinica-mar-caribe-medicina-o-enfermeria-el>

corporal (TC), Saturación de Oxígeno (Sat O2) y Presión Arterial (PA).

3. **Clasificación:** La clasificación se hace siempre en base a los signos vitales (FC, PA, Tº, Sat O2) y síntomas presentados por el paciente, ya que cada nivel de la escala del triage tiene signos y síntomas diferentes.
4. **Distribución:** El enfermero redirige al paciente al área donde se le brindara el servicio adecuado en base a la clasificación asignada.

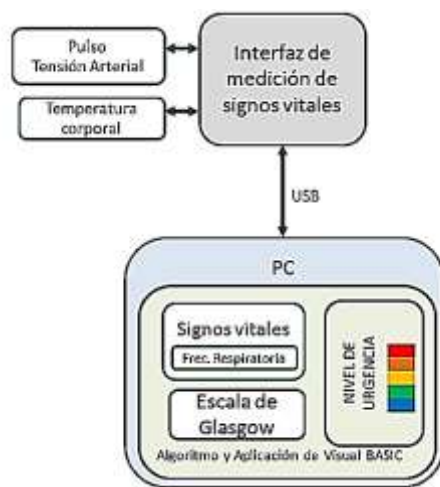
A continuación, se muestran las alternativas tecnológicas que se han propuesto y/o desarrollado a nivel nacional e internacional en el campo de los servicios de urgencias médicas.

1.1.3 Desarrollos tecnológicos.

En el artículo⁶, los autores plantean el desarrollo de un prototipo para el sistema de triage en un servicio de urgencias, con el objetivo de unificar el sistema de Urgencias en México. Esto se debe a que en México cada hospital ha adaptado el proceso de triage de forma que pueda satisfacer su demanda específica. Según los autores, en la actualidad México no cuenta con un (Sistema de triage Estructurado) STE propio, lo que ha provocado una clasificación subjetiva de los pacientes en urgencias. El prototipo propuesto está compuesto por una interfaz gráfica hecha en Visual BASIC, dos dispositivos de medición de signos vitales (temperatura corporal y presión arterial) y un algoritmo de priorización para la asignación del nivel de urgencia. Adicionalmente, otros signos vitales son considerados, tales como: frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y el valor de la escala de Glasgow. Los resultados obtenidos reflejan una coincidencia del 50% en el color o nivel de triage asignado por el personal médico y el triage asignado por el prototipo. En la Figura 1 se puede observar el diagrama de bloques usado en el artículo mencionado.

⁶RIVERA, L; RIVERA, M.; SANCHEZ, J. *Interfaz para unificar el sistema de triage en un servicio de urgencias médicas*. 2014. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-23. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6868572>

Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo.



Fuente: RIVERA, L; RIVERA, M.; SANCHEZ, J. *Interfaz para unificar el sistema de triage en un servicio de urgencias médicas*. 2014. [En línea]. Recuperado en 2019-10-23. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6868572>

En el documento⁷, los autores proponen el diseño e implementación de un sistema inalámbrico de telemedicina. El objetivo de este sistema es monitorear continuamente diferentes señales fisiológicas, mientras ofrece libre movilidad a los pacientes, con el fin de no afectar sus actividades diarias. El sistema propuesto consta del monitoreo de las señales mediante sensores fisiológicos, el procesamiento de estas señales se hace a través de un sistema embebido y la comunicación inalámbrica a través de Internet y la red celular. Los parámetros fisiológicos monitoreados son los siguientes: ECG, frecuencia cardíaca, temperatura corporal, presión sanguínea, oxigenación en la sangre y frecuencia respiratoria. Las señales monitoreadas son transmitidas a través de Internet, sin embargo, en caso de detectar anomalías en los valores de las mediciones, los datos se transmiten por medio de la red celular. Dichas señales son almacenadas en una base de datos que provee un acceso remoto a la información a través de una interfaz web. Según los autores el prototipo ofrecerá un alto nivel de atención médica, debido a que la interfaz web provee al personal médico facilidad para observar los signos vitales monitoreados a los pacientes y poder implementar un tratamiento de forma remota.

El desarrollo de internet de las cosas (IoT) permite la comunicación entre varios dispositivos inteligentes a través de Internet generando interoperabilidad de los datos.

⁷ABO-ZAHHAD, M; AHMED, S; ELNAHAS, O. *A wireless emergency telemedicine system for patients monitoring and diagnosis*, International Journal of Telemedicine and Applications. 2014, Vol. 2014, p. 11. ISSN: 380787.

Los autores en 2014⁸, desarrollan un sistema basado en IoT para el servicio de urgencias médicas. Este sistema tiene como fin demostrar cómo recopilar, integrar y relacionar los datos de pacientes, doctores, enfermeras y ambulancias, para permitir una mayor facilidad en el manejo de la información en los servicios médicos de urgencias. Para desarrollar el sistema utilizan el método de acceso a los datos denominado UDA-IoT. Dicho método es utilizado para realizar la adquisición y el procesamiento de la información. La arquitectura de manejo de la información se encuentra dividida en tres capas. La primera es la capa más baja, que se encuentra conformada por las bases de datos locales del hospital. La capa del medio es la capa de control al acceso de los datos, encargada de la administración de los recursos. Por último, la capa superior, denominada la capa de negocios, cuya función es compartir e interoperar los datos a través de una plataforma ubicada en la nube. Los autores concluyen que el uso de la tecnología IoT provee beneficios a los doctores y gerentes para acceder a un rango más amplio de datos a través de una plataforma en la nube, permitiendo un ambiente de adquisición de la información en tiempo real.

En 2018⁹, los autores afirman que en Colombia es común que ocurra congestión en las instituciones que prestan servicio de atención médica urgente. Como una alternativa para mejorar esta situación, los autores proponen el diseño y desarrollo de un prototipo capaz de monitorear los signos vitales, tales como frecuencia cardiaca, presión arterial y concentración de oxígeno de los pacientes cuando se encuentran en una sala de urgencias. El prototipo de monitoreo consta de los siguientes componentes: Placa Arduino Uno, tarjeta e-Health sensor versión 2.0, módulo Wifi, sensor SpO2 y el sensor de presión arterial e-Health versión 2.0. Para llevar a cabo las pruebas, se realizaron ensayos con pacientes en condiciones no críticas que se encontraban dentro de la institución y otras pruebas con personas que no se encontraban dentro de la institución. Basados en todas las pruebas realizadas se concluye que el desarrollo del prototipo permitió verificar la fiabilidad al utilizar las nuevas tecnologías en entornos reales, específicamente enfocadas a las instituciones prestadoras de servicios.

En el documento¹⁰, se estipula que los principales inconvenientes al momento de realizar los diagnósticos de los pacientes en la sala de urgencias, es el tiempo de espera al cual se deben someter los mismos. Por tal motivo, se desarrolla un prototipo de

⁸XU, B; XU, L. CAI, H.et al. *Ubiquitous data accessing method in iot-based information system for emergency medical services*, IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014, vol. 10, p. 1580.

⁹ HERNANDEZ, C; RODRIGUEZ, J; ROMERO GARAVITO, A; *The prototype of IoT Technological Infrastructure for Monitoring Vital Signs in Patients in an Emergency Department*. 2018. p. 7.

¹⁰ORJUELA, D; VARON, M. *PROTOTIPO DE EQUIPO PARA APOYO A LA EVALUACIÓN DE TRIAGE PARA LA SECRETARÍA DE SALUD*, 2018. [En línea]. Recuperado en 2019-10-25. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13460/1/OrjuelaFlorezDanielFelipe2018.pdf>

equipo para apoyo a la evaluación de triage para la secretaría de salud en Colombia. Los autores implementan un prototipo capaz de obtener variables como peso, temperatura, oximetría y pulso cardiaco a través de cinco dispositivos. Los cuales son: galgas extensiométricas, sensor de pulso MAX30105, sensor GY-906 y todos conectados por medio de un microcontrolador Atmega 328p. Para la visualización de los datos, la información es transmitida por comunicación serial a un computador que provee una interfaz desarrollada en LabVIEW. En los resultados se obtuvo que el sensor GY-906 provee una medición óptima debido a que tiene una variación mínima respecto al termómetro de referencia. En la Figura 2 se muestra el prototipo de equipo para la evaluación de triage.

Figura 2. Prototipo final.



Fuente: ORJUELA, D; VARON, M. *PROTOTIPO DE EQUIPO PARA APOYO A LA EVALUACIÓN DE TRIAGE PARA LA SECRETARÍA DE SALUD*, 2018. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-25. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13460/1/OrjuelaFlorezDanielFelipe2018.pdf>

En su trabajo, los autores exponen que, por lo general, las personas que asisten a los servicios de urgencia hospitalarios (SUH) no padecen de una condición clínica que amerite una atención inmediata, generando congestiones y retardando la atención a pacientes que sí requieren ser atendidos¹¹. Debido al contexto anterior, plantean el desarrollo de un prototipo para su uso como herramienta de apoyo al personal médico en la gradación de triaje para pacientes en los servicios de urgencias basado en sus signos vitales. Los signos que mide el prototipo son: La temperatura, presión arterial, frecuencia cardíaca y frecuencia respiratoria, que son enviados respectivamente a un microcontrolador encargado realizar el procesamiento digital (ver tabla 1).

La comunicación se realiza inalámbricamente a través de un módulo Wifi y los datos son visualizados en una interfaz desarrollada en plataforma web con el lenguaje HTML, CCS y PHP. Por último, se concluye que el prototipo obtuvo un porcentaje de error del 3% de las variables medidas con respecto a los valores obtenidos por los profesionales. La Figura 3 muestra el prototipo final usado para apoyar al personal médico en el servicio de urgencias.

Figura 3. Prototipo final.



Fuente: CERVANTES, J; REYES, J; BRACHO, G. *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA SU USO COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL PERSONAL MÉDICO EN LA GRADACIÓN DE TRIAJE PARA PACIENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS BASADO EN SUS SIGNOS VITALES*, 2017. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-26. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2390/239057355006/movil/index.html>

¹¹CERVANTES, J; REYES, J; BRACHO, G. *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA SU USO COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL PERSONAL MÉDICO E LA GRADACIÓN DE TRIAJE PARA PACIENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS BASADO EN SUS SIGNOS VITALES*, 2017. [En línea]. Recuperado en 2019-10-26. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2390/239057355006/movil/index.html>

Tabla 1. Comparación de los desarrollos tecnológicos.

Ref.	Signos captados	Hardware	Tecnología de transmisión	Visualización
6	T°, PA, FC, FR y el valor de la escala de Glasgow.	Microcontroladores no especificados.	Puerto serial universal.	Interfaz gráfica hecha en Visual BASIC.
7	T°, PA, FC, FR y Sat O2.	PIC18f458, módulo LCD/keypad, memoria Flash, circuito de adquisición de signos vitales, módulo GSM/GPRS, módulo Ethernet.	Internet o red celular.	Interfaz web.
9	FC, PA y Sat O2	Placa Arduino Uno, tarjeta e-Health sensor versión 2.0, módulo Wifi, sensor SpO2 y el sensor de presión arterial e-Health versión 2.0.	Internet y Wifi.	Interfaz web.
10	T°, FC, Sat O2 y peso	Sensor del pulsioximetría MAX30105, sensor GY-906 y microcontrolador Atmega 328p	Puerto serial universal.	Interfaz gráfica hecha en LabVIEW.
11	T°, PA, FC y FR	Sensor de temperatura DS18B20, sensor de presión MPS2103, amplificador de instrumentación AD620, frecuencia respiratoria sensor de sonido SEN12945P.	Wifi.	Interfaz web.

Fuente: Autores.

1.1.4 Dispositivos presentes en el mercado

En primera instancia, se realiza una breve línea del tiempo con la aparición de los dispositivos de monitoreo en el mercado. En el año 2013 inicia la proliferación de dispositivos que monitorizan las actividades físicas¹², lo cual es una carrera tecnológica por motivar a los usuarios a mantener un control sobre las variables fisiológicas. En dicha competencia surgen populares dispositivos como lo fueron, Nike Fuelband, Fitbit Flex o Jawbone Up. Sin embargo, el mercado fue evolucionando cada vez más rápido, y en la carrera tecnológica empezaron a aparecer los relojes inteligentes. Tanto así, que, por ejemplo, Nike decidió crear un mercado donde empezaría a competir con las grandes empresas fabricantes de tecnología, tales como: Samsung y Apple. Los relojes inteligentes en la actualidad son dispositivos que han aumentado la capacidad de características que brindan a los usuarios. A continuación, en la Figura 4 se puede observar el último reloj inteligente de Apple.

Figura 4. Apple watch series 6.



Fuente: APPLE. *Apple watch series 6*. [En línea]. Recuperado en: 2020-11-23. Disponible en: <https://www.apple.com/co/apple-watch-series-6/>

En la Figura 4, se muestra el Apple watch series 6. Dicho dispositivo, permite medir el nivel de oxígeno en la sangre con una app y un sensor revolucionario. El sensor de oxígeno en la sangre tiene cuatro clústeres LED y cuatro fotodiodos. Viene integrado en el renovado cristal trasero del reloj y trabaja en conjunto con la aplicación para

¹² LA VANGUARDIA. *Proliferan los dispositivos que monitorizan nuestra actividad física diaria*. [En línea]. Recuperado en: 2020-11-23. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20131110/54393940782/dispositivos-monitorizan-actividad-fisica.html>

determinar los niveles de oxígeno. La medición se realiza a través de la proyección de luz sobre los vasos sanguíneos de la muñeca, y los fotodiodos miden la cantidad de luz reflejada. Finalmente, por medio de algoritmos avanzados se analiza el color de la sangre, lo que permite determinar la cantidad de oxígeno que contiene. Asimismo, dicho dispositivo provee la capacidad de realizar un electrocardiograma a través del dedo. Se debe mantener el dedo por 30 segundos para generar una onda y visualizarla por medio de la aplicación ECG.

Por otra parte, otro ejemplo de la integración de nuevas funcionalidades en estos dispositivos es el reloj inteligente lanzado por Samsung que se puede observar en la Figura 5.

Figura 5. Galaxy Watch3 LTE.



Fuente: SAMSUNG. *Galaxy Watch3 LTE (45mm)*. [En línea]. Recuperado en: 2020-11-17. Disponible en: <https://www.samsung.com/co/watches/galaxy-watch/galaxy-watch3-45mm-mystic-black-lte-sm-r845fzkacom/>

De igual forma que el dispositivo de Apple, el reloj Galaxy Watch3 LTE que se puede observar en la Figura 5, realiza la medición de saturación de oxígeno en la sangre y pulso cardíaco. Debido a que la saturación de oxígeno está directamente relacionada con la actividad física, Galaxy realiza la medición de saturación por medio de un LED rojo y rayos infrarrojos, que permiten calcular los niveles de SpO2 o la cantidad de oxígeno en sangre. Finalmente, Samsung sigue trabajando en otro dispositivo que pueda medir la presión sanguínea a través del análisis de ondas de pulso.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La prestación de servicios de salud en Colombia obedece a la ley 1122 de 2007, la cual fue reglamentada por la Política Nacional de Prestación de Servicios de Salud. La política de prestación de servicios de salud está dirigida para las instituciones prestadoras de servicios públicas y privadas, así como también cubre la población asegurada y no asegurada dentro del territorio nacional. Los decretos y reglamentos tienen como principal objetivo garantizar el acceso y calidad a los servicios, optimizar el uso de los recursos, promover los enfoques de atención centrada en el usuario y lograr la sostenibilidad financiera de las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud Públicas (IPS).

Según la Política Nacional de Prestación de Servicios de Salud las problemáticas en los servicios de salud se encuentran acumuladas. Por ejemplo, una de ellas es la baja capacidad resolutiva que se ha evidenciado en las instituciones de salud de baja y media complejidad, con factores asociados a la deficiente actualización del recurso humano, las condiciones de la infraestructura y la forma en que se determina e incorpora la tecnología en estas instituciones. La segunda problemática se basa en que el país no ha desarrollado los suficientes mecanismos que permitan identificar, evaluar, incorporar y gestionar la tecnología biomédica. En muchos casos la introducción e incorporación de técnicas, equipos o medicamentos se da de forma tardía por la ausencia de un sistema de evaluación de tecnología en el país.

En Colombia el sistema de salud se divide en Régimen Subsidiado y Régimen Contributivo, el primer régimen es la vía de acceso a los servicios de salud para la población pobre y más vulnerable del país, mientras que las personas que tienen la capacidad de pago se encuentran en el régimen contributivo. El Observatorio Nacional de Salud (ONS) ente encargado de la gestión del conocimiento en salud del país, muestra en uno de sus estudios que la falta de una red de monitoreo de signos vitales en los hospitales impide detectar de forma oportuna la necesidad de urgencia de los pacientes.

La red de medicina de urgencias (EMNet) lleva a cabo una encuesta de los inventarios nacionales de los servicios de urgencias (NEDI). Una encuesta realizada sobre 85 instituciones que prestan el servicio de urgencias entre públicas y privadas para la ciudad de Bogotá en el año 2015, reveló que, de cada 1000 personas de los 7.5 millones de habitantes que tiene la capital, 627 visitan los servicios de urgencias. En la encuesta dedicada a la experiencia de los pacientes, el 63% de los encuestados respondieron que aproximadamente el 80% de la población llegó a la institución por su propia cuenta. En el 59% de las instituciones el promedio de estadía fue entre 1 y 6 horas. En el 38%, la duración promedio de la estadía fue mayor a 6 horas. Tan solo el 3% restante de los encuestados reportó un tiempo menor a una hora.

A pesar de que, en los informes de las entidades de salud, no se muestran datos reales críticos de los tiempos de espera en sala de urgencia ni tampoco se referencia el número de personas que mueren por no ser atendidas a tiempo en las salas de espera en el país, no es un secreto que los tiempos de espera en sala de urgencia en los centros médicos, especialmente públicos, son muy largos.

¿Cómo monitorear los signos vitales de los pacientes como alternativa de apoyo en la clasificación del triage en urgencias?

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo electrónico que permita el monitoreo de signos vitales como alternativa de apoyo en la clasificación del triage en urgencias.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir los requerimientos del prototipo electrónico para el monitoreo de los signos vitales.
2. Diseñar el prototipo electrónico con base en los requerimientos definidos.
3. Implementar el prototipo acoplado el hardware desarrollado.
4. Validar el prototipo electrónico implementado.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En la siguiente descripción, se puede apreciar una estimación de tiempo por proceso realizado a una persona en el servicio de urgencias:

En el servicio de urgencias el paciente puede ingresar por medio de una ambulancia, remitido por un médico de atención primaria, o acudir por cuenta propia. En los dos últimos casos puede acercarse a una institución que preste el servicio de urgencias y esperar su turno para ser valorado por el personal encargado del triage. En esta espera puede pasar entre 30 min y 1,5 horas en la cola, dependiendo de la saturación de la institución. En el triage es atendido por el personal anteriormente mencionado, quien, después de tomar los signos vitales, asigna una clasificación que puede ir del 2 al 5 (Teniendo en cuenta que la categoría 1, ingresa directamente al área dónde se le brindará el servicio adecuado debido a la gravedad de su estado), dependiendo de la prioridad que requiera, o enviarlo para la casa si no clasifica como urgencia.

Una vez que el paciente pasa por el triage inicial, espera su turno para ser atendido por el médico, lo que puede suponer de 30 min a 2 o 3 horas dependiendo del tipo de triage que le hayan asignado y de la congestión que presente el servicio. Si el médico solicita exámenes, debe esperar de 1 a 2 horas para que los tomen y de 3 a 5 horas para que los resultados lleguen al médico que los solicitó. Una vez que llegan los resultados, puede tardar alrededor de una hora para que lo llamen nuevamente. Si los resultados apoyan un diagnóstico, el médico puede enviar al paciente a su casa con tratamiento o puede solicitar la hospitalización si lo requiere.

Teniendo en cuenta el párrafo anterior, en el peor de los casos que le pueda suceder a una persona que asiste al servicio de urgencias, podrá presentar un tiempo de espera de 12.5 horas para que el médico lo llame a revisar los resultados obtenidos de los exámenes previamente realizados. El tiempo de espera para ser clasificado comprende aproximadamente el 15% del total. Por dicho motivo, surge la necesidad de apoyar el proceso realizado por el personal médico en la etapa de clasificación a través de un prototipo de monitoreo, como se plantea en el presente proyecto.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Delimitación espacial

El contexto principal de la investigación y análisis del proyecto se encuentra en la ciudad de Bogotá, Colombia, sin embargo, el prototipo podrá ser utilizado en cualquier parte del mundo desde que se tenga acceso a Internet.

1.5.2 Delimitación temporal

Se inició a trabajar en el proyecto en julio del año 2019 y este proyecto finaliza en noviembre del año 2020.

1.5.3 Delimitación del universo

La población a la cual está dirigido el presente proyecto es para las personas adultas, pero también puede ser utilizado por niños o adultos mayores, pero se requieren unas condiciones de apoyo para la medición de los signos vitales.

1.5.4 Delimitación del contenido

El prototipo está propuesto para el monitoreo de los signos vitales de las personas, identificando la persona por medio de la huella dactilar, almacenando en la nube y visualizando los datos en una aplicación móvil la cual se conecta al prototipo.

1.6 MARCO REFERENCIAL

1.6.1 MARCO TEÓRICO.

1.6.1.1 Niveles de hospitales

El nivel de los hospitales está determinado por el número de profesionales que conforma el equipo médico contratado, en caso de no poseer la infraestructura necesaria para poder atender al paciente, solo se le realizarán los primeros auxilios.

- **Nivel I:** Son hospitales locales donde se brinda atención básica, no se presta atención quirúrgica.
- **Nivel II:** Son hospitales regionales, con mínimo 4 especialistas y cuentan con un laboratorio médico donde es posible realizar exámenes básicos de sangre, orina y materia fecal.
- **Nivel III:** Son hospitales altamente especializados, con un alto número de especialistas y donde llegan los pacientes remitidos por los hospitales de segundo nivel.
- **Nivel IV:** Son hospitales altamente especializados que a diferencia de los hospitales de tercer nivel estos requieren más estructuras especializadas como: UCI pediátrica, Unidades de neurocirugía y unidad renal. Además de poseer mejor tecnología que los hospitales de otros niveles¹³.

La complejidad en los servicios de salud viene dada por la resolución 5261 de 1994 donde se precisan los niveles de complejidad siendo los mencionados anteriormente bajo las categorías “Baja” (Nivel I), “Media” (Nivel II) y “Alta” (Nivel III y IV)¹⁴.

1.6.1.2 Escala de Glasgow

La escala de Glasgow es una escala fisiológica que tiene como objetivo valorar el nivel de conciencia de un paciente, teniendo en cuenta tres criterios de observación clínica; respuesta ocular, verbal y motora. El profesional realiza cada una de las pruebas y

¹³EL TIEMPO, *CLASIFICACION DE LOS HOSPITALES*. 26 Julio 1997. [En línea]. Recuperado en 2019-10-26. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-627858>.

¹⁴COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 5261 de 1994. Por la cual se establece el Manual de Actividades, Intervenciones y Procedimientos del Plan Obligatorio de Salud en el Sistema General de Seguridad Social en Salud. En: MINISTERIO DE SALUD. 5 Agosto, 1995. p. 1 – 138.

asigna un número el cual determina el nivel de gravedad del paciente ante la valoración (entre mayor sea el número más cuerdo se encuentra el paciente), el número máximo que puede ser registrado depende de la respuesta que se está observando, respuesta ocular de 1-4, respuesta verbal de 1-5 y respuesta motora de 1-6. Dentro de la valoración se realizan pruebas como: localización del dolor, respuesta ante estímulos verbales y respuesta ante estímulos tales como flexionar las extremidades y sacar la lengua, son pruebas básicas que se realizan al paciente en esta valoración¹⁵.

1.6.1.3 La escala australiana de Triage (ATS)

Acogida de la NTS (National Triage Scale for Australasian Emergency Departments). Es una herramienta clínica utilizada para establecer el tiempo máximo de espera para la evaluación médica y el tratamiento de un paciente¹⁶. (Véase la Tabla 2).

Tabla 2. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación ATS por niveles.

Australasian Triage Scale Category	Treatment Acuity (Maximum waiting time for medical assessment and treatment)	Performance indicator Threshold
ATS 1	Immediate	100%
ATS 2	10 minutes	80%
ATS 3	30 minutes	75%
ATS 4	60 minutes	70%
ATS 5	120 minutes	70%

Fuente: AUSTRALIAN COLLEGE FOR EMERGENCY MEDICINE, *Triage*. [En línea]. Recuperado en 2019-10-17. Disponible en: <https://acem.org.au/Content-Sources/Advancing-Emergency-Medicine/Better-Outcomes-for-Patients/Triage.z>

¹⁵HOSPITAL UNIVERSITARIO GREGORIO MARAÑÓN, *MEDICIÓN DE SIGNOS NEUROLÓGICOS (ESCALA DE GLASGOW)*, Madrid, 2011. [En línea]. Recuperado en: 19-10-26. Disponible en: <http://www.agapap.org/druagapap/system/files/EscalaGlasgow.pdf>

¹⁶AUSTRALIAN COLLEGE FOR EMERGENCY MEDICINE, *Triage*. [En línea]. Recuperado en 2019-10-17. Disponible en: <https://acem.org.au/Content-Sources/Advancing-Emergency-Medicine/Better-Outcomes-for-Patients/Triage.z>

1.6.1.4 La Escala de clasificación aguda del Departamento de emergencias canadiense (CTAS)

Fue introducido por la asociación canadiense de médicos de urgencias (CAEP) en el año 1995, utilizando como referencia la ATS. En la Tabla 3 se pueden apreciar los niveles de triage CTAS, la categoría o nivel de emergencia y el tiempo de atención promedio que se requiere para atender estas necesidades.

Tabla 3. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación CAEP por niveles.

Nivel	Categoría	Tiempo de atención
Nivel I	Resucitación	Atender al paciente inmediatamente
Nivel II	Emergencia	Dentro de 15 minutos
Nivel III	Urgencia	Dentro de 30 minutos
Nivel IV	Menos urgencia	Dentro de 60 minutos
Nivel V	No urgencia	Dentro de 120 minutos

Fuente: SASKATOON INSTITUTE FOR MEDICAL SIMULATION. CTAS - CANADIAN TRIAGE ACUITY SCALE. [En línea]. Recuperado en 2019-10-27. Disponible en: <https://sims.pike13.com/courses/63882>

1.6.1.5 Sistema Manchester de Triage (MTS)

Adjudicado por el grupo de triage de Manchester en 1996. Consiste en un sistema de clasificación de cinco niveles cada uno identificado con un número, color y nombre. En la Tabla 4 se relacionan los números o niveles del triage MTS, el nombre que recibe, el color con el que se identifica cada uno y el tiempo máximo dispuesto para esa urgencia.

Tabla 4. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación MTS por niveles.

Número	Nombre	Color	Tiempo máximo
1	Atención inmediata	Rojo	0 minutos
2	Muy urgente	Naranja	10 minutos
3	Urgente	Amarillo	60 minutos
4	Normal	Verde	120 minutos
5	No urgente	Azul	240 minutos

Fuente: SOLER, W; GOMEZ MUÑOZ, M; BRAGULAT, E. *El triaje: herramienta fundamental en urgencias y emergencias*. 2010. Vol 33. P. 55-68. ISSN: 1137-6627.

1.6.1.6 Índice de gravedad en emergencias (ESI)

Sistema de cinco niveles de triage, desarrollado por el grupo de trabajo del ESI en los E.E.U.U en 1999.

1.6.1.7 El Sistema Español de Triage (SET)

En el año 2000 se aprueba el modelo andorrano de triage (MAT) que nace de una adaptación del CTAS. Más tarde, en 2003 se adapta el MAT como estándar español de triage. En la Tabla 5 se puede apreciar la relación entre los 5 niveles de triage SET, el color con el que se identifican, la categoría o nivel de urgencia y el tiempo de atención promedio requerido para atender la urgencia.

Tabla 5. Tiempo de espera establecido para el sistema de clasificación SET por niveles.

Nivel	Color	Categoría	Tiempo de atención
I	Azul	Reanimación	Inmediato
II	Rojo	Emergencia	Inmediato. Enfermería / Médicos 7 minutos
III	Naranja	Urgente	30 minutos
IV	Verde	Menos urgente	45 minutos
V	Negro	No urgente	60 minutos

Fuente: SOLER, W; GOMEZ MUÑOZ, M; BRAGULAT, E. *El triaje: herramienta fundamental en urgencias y emergencias*. 2010. Vol 33. P. 55-68. ISSN: 1137-6627.

1.6.1.8 Telemedicina

La palabra telemedicina etimológicamente significa “curación a distancia”, es decir, el uso de las tecnologías de la comunicación y la información para mejorar el acceso de las personas a los servicios de salud. La organización mundial de la salud adoptó la siguiente definición: “La prestación de servicios de salud, donde la distancia es un factor crítico, por parte de todos los profesionales de la salud que utilizan tecnologías de la información y la comunicación para el intercambio de información válida para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades y lesiones, investigación y evaluación, y para la educación continua de los proveedores de atención médica, todo ello en aras de promover la salud de individuos y sus comunidades”.¹⁷

1.6.1.9 E-Health

Es un campo que combina la informática médica y la salud pública, utilizando tecnologías digitales como Internet. Permite que los profesionales de la salud tengan acceso a la información de los usuarios, facilitando la mejora de los servicios de salud. Una aplicación de este campo es ayudar a las personas que se encuentran en áreas rurales y remotas, los médicos brindan consultas a los pacientes que se encuentran muy lejos de su ubicación¹⁸.

¹⁷OMS. *TELEMEDICINE Opportunities and developments in Member States*. 2010. [En línea]. Recuperado en 2019-11-01. Disponible en: https://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf

¹⁸PETERS, K; et al. *E-health, health care*. Britannica. 2007. [En línea]. Recuperado en 2019-10-12. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/e-health>.

1.6.1.10 M-Health

Es la combinación entre la práctica de medicina y la atención médica a través de dispositivos móviles y demás dispositivos inalámbricos. Se enfoca en obtener los datos o información de un usuario de manera inmediata para diagnosticar el tipo de enfermedades que puede padecer, realizar un seguimiento al estado del cuerpo y brindar información oportuna a los usuarios. Es importante en áreas remotas donde se dificulta el acceso a los profesionales de la salud¹⁹.

1.6.1.11 Microcontrolador

Es un dispositivo dedicado a realizar una tarea y ejecutar una aplicación específica, se utilizan mucho en dispositivos electrónicos controlados automáticamente, como teléfonos móviles. Posee elementos como memoria, periféricos de entrada y salida y un procesador. El entorno de programación de microcontroladores ofrece amplias posibilidades para controlar los diferentes tipos de aplicaciones según sus necesidades²⁰.

1.6.1.12 Computación en la nube

Es un modelo de computación que permite al proveedor tecnológico ofrecer servicios informáticos a través de Internet. A partir de ello, los recursos como: hardware, software y los datos se pueden ofrecer a los clientes bajo demanda. De esta forma se puede acceder a un conjunto de recursos compartidos y configurables (redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden ser ágilmente asignados y puestos al servicio del cliente con la mínima gestión por parte del proveedor. Por lo tanto, el cliente se abstrae de la infraestructura tecnológica necesaria para poder utilizar una determinada aplicación, ya que simplemente requiere un navegador web con acceso a Internet para poder visualizar los procesos o los datos²¹.

¹⁹OMS. *mHealth New horizons for health through mobile technologies*. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: https://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf

²⁰Techopedia. *Microcontroller*. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: <https://www.techopedia.com/definition/3641/microcontroller>

²¹INSTITUTO NACIONAL DE CIBERSEGURIDAD. *Cloud computing. Una guía de aproximación para el empresario*, España. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: https://www.incibe.es/sites/default/files/contenidos/guias/doc/guia_ransomware_mestad.pdf

1.6.1.13 Internet de las cosas

“Internet de las Cosas se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana. Sin embargo, no existe ninguna definición única y universal”.²² Internet de la cosas anuncia un gran impacto en el análisis de datos, lo que puede generar una transformación en diferentes ámbitos de la vida, bien sea, personal, familiar, laboral, social, cultural, etc.

1.6.1.14 WBAN

Hace referencia a la conexión entre dispositivos de baja potencia usados en el cuerpo humano. WBAN es la abreviación de su nombre en inglés, Wireless Body Area Network. Estas redes pueden ser usadas en aplicaciones militares, biomédicas y económicas. Una parte esencial de sus aplicaciones se desarrolla en entornos médicos a través de sensores biomédicos. En un sistema de WBAN existen 3 nodos principales. El primero es el encargado de captar y enviar los datos al segundo nodo. Esta transmisión generalmente puede hacerse por Bluetooth o Wi fi. El segundo nodo se compone de personal especializado, que a través de la información proporcionada puede tomar una decisión. El tercer nodo está conformado por las entidades intermediarias en el manejo de esa información.²³

1.6.1.15 Flujograma del proceso realizado en el hospital MARCO FELIPE AFANADOR de Tocaima, Cundinamarca²⁴:

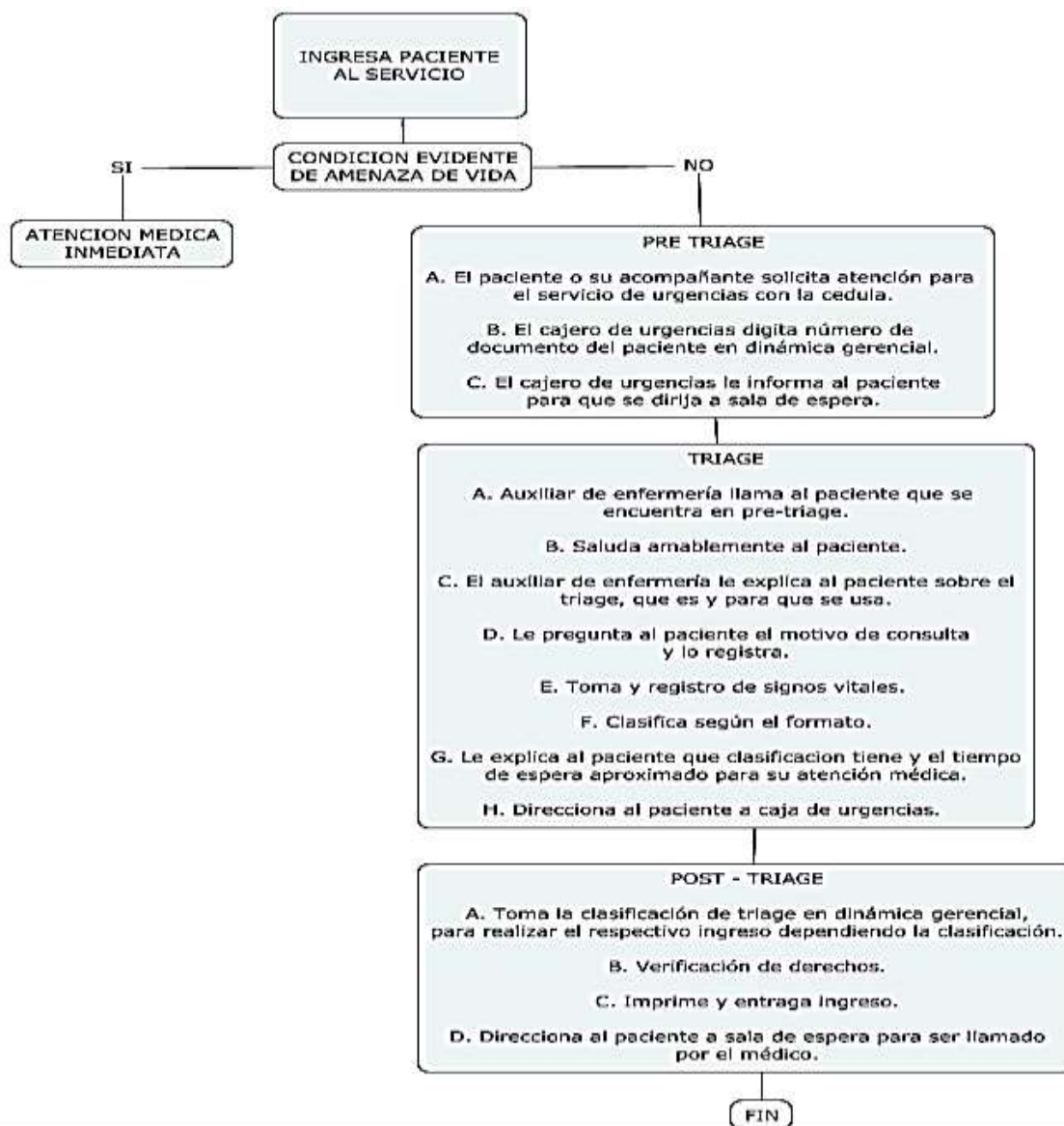
El hospital Marco Felipe Afanador ubicado en Tocaima, Cundinamarca. Presentó en 2017 un flujograma con los pasos que se deben seguir en urgencias cuando un paciente llega a las instalaciones. En la Figura 6 se puede apreciar el flujograma mencionado.

²² ROSE, K; ELDRIDGE, S. CHAPIN, L. *La Internet de las cosas – una breve reseña*. INTERNET SOCIETY: octubre de 2015. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2015/iot-overview>

²³ BAHENA, K; TU, M. *WBAN SECURITY MANAGEMENT IN HEALTHCARE ENTERPRISE ENVIRONMENTS*. EMBRY-RIDDLE Aeronautical: 2016. [En línea]. Recuperado en 2020-02-10. Disponible en: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1368&context=adfs>

²⁴ HOSPITAL MARCO FELIPE AFANADOR. *Protocolo de Triage*. 2017. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: http://hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima.micolombiadigital.gov.co/sites/hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima/content/files/000126/6253_pt-de-triage.pdf

Figura 6. Flujograma de atención prestada a personas recién llegadas a urgencias.



Fuente: HOSPITAL MARCO FELIPE AFANADOR. *Protocolo de Triage*. 2017. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: http://hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima.micolombiadigital.gov.co/sites/hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima/content/files/000126/6253_pt-de-triage.pdf

1.6.1.16 Interfaz usada por el software en el hospital MARCO FELIPE AFANADOR para la clasificación de triage²⁵:

Adicionalmente el hospital también presentó el formulario que el profesional de la salud utiliza para registrar los datos de la persona que llega a urgencias. En la Figura 7 se puede observar dicho formulario, en él se ingresan los datos personales de la persona, los valores de los signos vitales como frecuencia cardiaca y temperatura y la condición en la que llegó a las instalaciones.

Figura 7. Página dinámica gerencial, formato de triage.

Fuente: HOSPITAL MARCO FELIPE AFANADOR. *Protocolo de Triage*. 2017. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: http://hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima.micolombiadigital.gov.co/sites/hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima/content/files/000126/6253_pt-de-triage.pdf

²⁵ HOSPITAL MARCO FELIPE AFANADOR. *Protocolo de Triage*. 2017. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: http://hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima.micolombiadigital.gov.co/sites/hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima/content/files/000126/6253_pt-de-triage.pdf

1.6.2 MARCO CONCEPTUAL.

1.6.2.1 Triage

Según el Ministerio de Salud, el triage es un sistema de selección y clasificación de los pacientes dependiendo del estado en que se encuentren dentro de los servicios de urgencia. En 2015 el Ministerio de Salud y Protección Social estipula a través de la resolución 5596, que en Colombia se manejan cinco categorías de triage. En la Figura 8 se muestra la definición de triage proporcionada por el Ministerio de Salud. Cada definición explica la condición clínica del paciente y explica los riesgos de estar en cada nivel.

Figura 8. Definición de escalas de triage.



Fuente: Ministerio de Salud. *Triage*. [En línea]. Recuperado en 2020-02-20. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/PServicios/Paginas/triage.aspx>

Cada una de las categorías posee condiciones específicas que determinan cuando el paciente se encuentra en cada nivel, las razones principales de cada triage son:

- Triage I: Requiere atención inmediata. El paciente presenta una condición de riesgo o necesita reanimación por su estado. Además, cuando su estado ventilatorio, respiratorio, hemodinámico y neurológico u órgano se encuentran en pésimas condiciones. La pérdida de miembro también es causa primera para acceder a triage I.
- Triage II: Requiere una atención que no debe superar los treinta (30) minutos, ya que en este nivel la condición clínica del paciente está en presencia de dolores

extremos y puede desarrollarse hacia un rápido deterioro de su cuerpo incrementando el riesgo de pérdida de la vida, miembro u órgano.

- Triage III: La condición clínica del paciente requiere nuevos diagnósticos, necesitan un examen complementario o un tratamiento rápido, ya que se encuentran estables desde el punto de vista fisiológico, aunque su situación puede empeorar si no se actúa.
- Triage IV: El paciente posee una urgencia menor, sin riesgo vital. Demora máxima de 120 minutos.
- Triage V: El paciente no posee urgencia según sus variables fisiológicas, la patología presenta poca complejidad. Demora de hasta 240 minutos²⁶.

1.6.2.2 Calidad de atención de salud

La calidad de los servicios prestados en salud está definida como la cantidad de servicios a los cuales puede acceder el paciente por medio de un centro de salud. Esta calidad se establece como un elemento estratégico basado en dos principios fundamentales, la mejora continua de la calidad y la mejora en la atención para el usuario. Para aumentar la calidad de la atención en salud se busca:

- Incrementar el impacto de los servicios en la mejora del nivel de salud.
- Empoderamiento del usuario.
- Mejoramiento del talento humano en salud.
- Incorporación de tecnología biomédica²⁷.

1.6.2.3 Eficiencia de atención en salud

La eficiencia en un centro de salud es una estadística que depende de dos factores importantes, el presupuesto o recursos y los resultados obtenidos en base a esos recursos. Entre más favorabilidad exista entre estas dos variables, más eficiente es un centro de salud²⁸.

²⁶COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 00005596 (Bogotá D.C, 2015). Por la cual se definen los criterios técnicos para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage". En: MinSalud. Diciembre, 2015. p. 3.

²⁷ MINISTERIO DE SALUD. *Calidad de atención en salud*. 2005. [En línea]. Recuperado en 2020-03-02. p. 24. Disponible: <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Documents/Politica%20Nacional%20de%20Prestaci%C3%B3n%20de%20Servicios%20de%20Salud.pdf>

²⁸ *Ibíd.*, p. 28.

1.6.2.4 Servicio de urgencias hospitalario (SUH)

Es aquella unidad hospitalaria que atiende situaciones clínicas que entrañan un deterioro o peligro para la salud y que pueden implicar un alto riesgo para la vida del paciente. Dicha situación de riesgo está en estrecha relación con el tiempo transcurrido entre su aparición y la aplicación de un tratamiento clínico que la contrarreste²⁹.

1.6.2.5 Signos vitales

Los signos vitales son indicadores que proporcionan y reflejan información del estado fisiológico de los órganos vitales como lo son el cerebro, corazón y pulmones. Expresan de manera inmediata los cambios ocurrientes que suceden en el organismo de algún paciente, permiten la detección de problemas médicos; poder observar y evaluar el nivel de funcionamiento físico de la persona, dichos signos vitales pueden ser medidos en un entorno médico, en el hogar, o en el lugar de una emergencia médica o en otro lugar³⁰. A continuación, se presentan la definición y tablas correspondientes (Tabla 6-Tabla 10) a cada signo vital (Oximetría (saturación de oxígeno en la sangre), presión arterial, frecuencia cardíaca y temperatura corporal), que muestran los valores esperados para personas que se encuentran en condiciones normales o de reposo dependiendo de su edad.

1.6.2.6 Oximetría

Cuando el ser humano respira ingresa oxígeno al organismo, este es llevado por todo el cuerpo a través de la sangre gracias a la hemoglobina. Una parte de este oxígeno es transportado por la hemoglobina y otra parte permanece como oxígeno disuelto que se conoce como presión arterial. La altura a la que esté el paciente es inversamente proporcional a la saturación de oxígeno en la sangre.

El oxímetro produce rayos de luz que atraviesan la piel, estas ondas son absorbidas por la hemoglobina, en ese momento, se le conoce como hemoglobina oxigenada. La porción de hemoglobina que no está ocupada por oxígeno representa el porcentaje de hemoglobina desoxigenada, la forma de obtener esta variable es por métodos no invasivos, usando oximetría de pulso.

²⁹ MINISTERIO DE SANIDAD Y POLÍTICA SOCIAL. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA DE URGENCIAS Y EMERGENCIAS (SEMES). *Manual de indicadores de calidad para los Servicios de Urgencias de hospitales*. 2ª ed. Madrid. 2009. [En línea]. Recuperado en 2020-03-02. Disponible: <https://www.mscbs.gob.es/organizacion/sns/planCalidadSNS/docs/UUH.pdf>

³⁰ PENAGOS, S; SALAZAR, L; VERA, F. *CONTROL DE SIGNOS VITALES CAPITULO XV*. Bogota. Fundacion cardiointantil. p. 1469.

El oxímetro también posee una foto diodo capaz de detectar la luz que se refleja cuando chocan las ondas con el tejido. La saturación de oxígeno en la sangre se representa como SaO₂³¹.

Tabla 6. Rangos de saturación de oxígeno en la sangre en hombres y mujeres a partir de la altura sobre el nivel del mar.

Saturación de oxígeno (SaO₂)		
Altitud sobre el nivel del mar	SaO ₂ % Hombres Media (IC95%)	SaO ₂ % Mujeres Media (IC95%)
970 mt	94.8 (94.1 - 95.4)	96.4 (95.7 - 97.1)
1520 mt	95.5 (94.9 - 96.1)	95.6 (94.9 - 96.2)
1728 mt	95.7 (95.3 - 96.2)	96.1 (95.6 - 96.6)
1923 mt	95.1 (94.3 - 95.8)	96.0 (95.6 - 96.3)
2180 mt	95.2 (94.6 - 95.9)	95.4 (94.9 - 95.9)
2600 mt	93.6 (93.2 - 94.0)	94.4 (94.1 - 94.8)

Fuente: MINSALUD. *USO E INTERPRETACIÓN DE LA OXIMETRIA DE PULSO*. 2016. [En línea]. Recuperado en 2020-01-10. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/uso-interprtn-oximetria-pulso.pdf>.

1.6.2.7 Presión Arterial

Como se mencionó en la definición de Oximetría presentada anteriormente, la presión arterial hace referencia a la cantidad de oxígeno que no fue transportada por la hemoglobina durante la respiración. Esta cantidad de oxígeno no transportada ejerce presión en las paredes de las arterias cada vez que el corazón produce un latido, existen dos clases de presión arterial; la presión arterial sistólica y la presión arterial diastólica. La primera se conoce como el valor máximo registrado por el tensiómetro cuando el corazón late y la segunda se conoce como el valor mínimo registrado por el

³¹ MINSALUD. *USO E INTERPRETACIÓN DE LA OXIMETRIA DE PULSO*. 2016. [En línea]. Recuperado en 2020-01-10. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/uso-interprtn-oximetria-pulso.pdf>.

tensiómetro entre latidos. La presión arterial se representa como PaO₂³². En la Tabla 7 se evidencian los rangos de presión arterial sistólica y diastólica para un grupo de diferentes edades, todos estos rangos son para niños menores a 13 años.

Tabla 7. Presión arterial sistólica y diastólica en niños entre 3 y 13 años.

Presión arterial (PaO₂)			
Grupo	Edad	Presión arterial sistólica	Presión arterial diastólica
Niños	3 - 6 años	116	76
Niños	7 - 10 años	122	78
Niños	11 - 13 años	126	82

Fuente: TENSIOMETRO DIGITAL. *Tensión arterial normal por edades*. [En línea]. Recuperado en 2020-04-10. Disponible en: <https://www.tensiometrodigital.online/tension-arterial/valores-normales-tension-arterial/por-edades/>.

En la Tabla 8 se evidencian los rangos de presión arterial sistólica y diastólica para un grupo de diferentes edades, todos estos rangos son para personas mayores a 14 años hasta los 65 años.

³² SANITAS, *¿Qué es la tensión arterial?* [En línea]. Recuperado en 2020-03-04. Disponible en: [https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/cardiologia/salud cardiovascular/sin012200wr.html](https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/cardiologia/salud%20cardiovascular/sin012200wr.html).

Tabla 8. Rangos de saturación de oxígeno en la sangre en hombres y mujeres a partir de la altura sobre el nivel del mar.

Presión arterial (PA)			
Grupo	Edad	Presión arterial sistólica (mmHg)	Presión arterial diastólica (mmHg)
Adolescentes	14 - 16 años	136	86
Nivel óptimo para los adultos jóvenes	17 - 19 años	<= 120	<= 85
Adultos	20 - 24 años	120	79
Adultos	25 - 29 años	121	80
Adultos	30 - 34 años	122	81
Adultos	35 - 39 años	123	82
Adultos	40 - 44 años	125	83
Adultos	45 - 49 años	127	84
Adultos	50 - 54 años	129	85
Adultos	55 - 59 años	131	86
Adultos	60 - 64 años	134	87

Fuente: TENSIOMETRO DIGITAL. *Tensión arterial normal por edades*. [En línea]. Recuperado en 2020-04-10. Disponible en: <https://www.tensiometrodigital.online/tension-arterial/valores-normales-tension-arterial/por-edades/>.

1.6.2.8 Frecuencia cardiaca

Se define como la cantidad de veces que el corazón late en un tiempo determinado, por lo general un minuto. El valor de esta variable está sujeta a la intensidad de bombeo de la sangre, en otras palabras, depende del estado del cuerpo, si se está en reposo la frecuencia cardiaca debe ser menor, por otro lado, cuando el cuerpo experimenta un ritmo alto a partir del ejercicio la frecuencia cardiaca puede pasar los límites de normalidad³³. Para medir la frecuencia cardiaca se utilizan pulsómetros, existen factores diferentes al reposo y ejercicio que pueden influir en el valor de la frecuencia, como la edad, tamaño del cuerpo, temperatura del aire, entre otros. La frecuencia cardiaca posee unidades de latidos por minuto (lat/min)³⁴. En la Tabla 9 se muestran los rangos de frecuencia cardiaca para diferentes rangos de edad.

Tabla 9. Rangos de frecuencia cardiaca por edad.

Frecuencia cardíaca (FC)	
Edad	Latidos por minuto
Recién nacidos (0 a 1 mes)	70 a 190
Bebés de 1 a 11 meses	80 a 160
Niños de 1 a 2 años	80 a 130
Niños de 3 a 4 años	80 a 120
Niños de 5 a 6 años	75 a 115
Niños de 7 a 9 años	70 a 110
Niños de 10 años y adultos (incluso ancianos)	60 a 100

Fuente: MEDLINEPLUS. *Pulso*. [En línea]. Recuperado en 2020-04-12. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003399.htm>.

³³INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER. *Frecuencia cardiaca*. [En línea]. Recuperado en 2020-04-13. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/frecuencia-cardiaca>.

³⁴DR. LASKOWSKI, E. *¿Cuál es la frecuencia cardiaca normal en reposo?* MAYO CLINIC: 2019. [En línea]. Recuperado en 2020-04-12. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979>.

1.6.2.9 Temperatura corporal

Se entiende por temperatura corporal a la capacidad del individuo para nivelar el calor presente en su cuerpo. Esta variable se obtiene gracias a un termómetro el cual puede ser ubicado en diferentes partes del cuerpo como la boca, oído y axila para poder medir el calor expulsado por el cuerpo. Si la temperatura corporal sufre de un aumento se concluye que el cuerpo expulsa más calor del que posee y esto se conoce como fiebre, o el caso contrario cuando el cuerpo no puede expulsar calor ya que la temperatura del exterior es menor a la del cuerpo³⁵. En la Tabla 10 se presentan los rangos de temperatura corporal promedio a diferentes edades.

Tabla 10. Rangos de temperatura corporal por edad.

Temperatura corporal (TC)	
Edad	GRADOS CENTÍGRADOS (°C)
Recién nacido	36.1 - 37.7
Lactante	37.2
2 - 8 años	37.0
8 - 15 años	36.5 - 37.0
Adulto	36.4 - 37.2
Vejez	<= 36.0

Fuente: UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO. *Practica 3.1: TOMA DE SIGNOS VITALES*. [En línea]. Recuperado en 2020-05-12. Disponible en: http://famen.ujed.mx/doc/manual-de-practicas/a-2016/03_Prac_01.pdf

1.6.2.10 Bluetooth

Es una tecnología de comunicación inalámbrica desarrollada en 1994 por Ericsson en Suecia. Dicha tecnología surge con la necesidad de eliminar las conexiones de cable presentes para la transmisión de información entre dispositivos. Bluetooth se caracteriza por ser una tecnología de radio de corto alcance, bajo costo, y bajo

³⁵CIGNA, *Temperatura corporal*. 2019. [En línea]. Recuperada en 2020-03-12. Disponible en: <https://www.cigna.com/individuals-families/health-wellness/hw-en-espanol/pruebas-medicas/temperatura-corporal-hw198785>

consumo, que puede ser integrada en cada dispositivo. En el año 1998 se realizó la especificación Bluetooth IEEE 802.15, la cual estandarizó el desarrollo de dispositivos con el objetivo de permitir interoperabilidad entre los diferentes fabricantes. La tecnología opera sin restricciones en la banda industrial, científica y médica (ISM) de 2.4 gigahercios (GHz). Los dispositivos utilizan setenta y nueve frecuencias de 1 megahercio (de 2,402 a 2,480 GHz) y manejan una técnica llamada salto de frecuencia para minimizar interceptación e interferencia de otras redes. En dicha técnica, los datos se dividen en pequeños fragmentos llamados paquetes. El transmisor y el receptor intercambian un paquete de datos en una frecuencia y luego, saltan a otra frecuencia para intercambiar otro paquete³⁶. En la Tabla 11 se evidencia la versión de bluetooth asociada a la fecha de lanzamiento y las velocidades máximas de transmisión.

Tabla 11. Versiones de Bluetooth.

Versión de Bluetooth	Lanzamiento	Máxima velocidad de transmisión
Bluetooth 1.0a	Julio de 1999	732,2 kb/s
Bluetooth 1.0b	Diciembre de 1999	732,2 kb/s
Bluetooth 1.1	Febrero de 2001	732,2 kb/s
Bluetooth 1.2	Noviembre de 2003	1 Mb/s
Bluetooth 2.0 + EDR	Noviembre de 2004	2,1 Mb/s
Bluetooth 2.1 + EDR	Agosto de 2007	2,1 Mb/s
Bluetooth 3.0 + HS	Abril de 2009	24 Mb/s
Bluetooth 4.0 LE (Bluetooth smart)	Diciembre de 2009	24 Mb/s
Bluetooth 4.1	Diciembre de 2013	25 Mb/s
Bluetooth 4.2	Diciembre de 2014	25 Mb/s
Bluetooth 5.0	Diciembre de 2016	50 Mb/s

Fuente: IOMOS. *¿Qué es bluetooth? Toda la información sobre el estándar inalámbrico. 2020.* [En línea]. Recuperado en 2020-07-24. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-bluetooth/>

³⁶HP. *Bluetooth wireless technology basics.* 2004. [En línea]. Recuperado en 2020-05-10. Disponible en: <http://www.hp.com/ctg/Manual/c00186949.pdf>

1.6.2.11 PCB (Printed Circuit Board)

Son placas de un material base no conductor (sustrato) que se emplean para el montaje e interconexión de componentes electrónicos a través de rutas o pistas de un material conductor impresas sobre el sustrato. Las principales ventajas de las PCBs es que tienen un tamaño muy reducido, el coste por unidad es bajo, tienen un alto nivel de repetitividad y uniformidad de las características eléctricas, debido a su señalización el equipamiento es fácilmente identificable, asimismo, el tiempo de inspección se reduce, porque los circuitos impresos reducen la probabilidad de error³⁷.

1.6.2.12 Servidor

Un servidor por lo general es una gran computadora, es decir, con una mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento, capaz de proporcionar datos a muchos usuarios al mismo tiempo. La palabra servidor puede referirse a la computadora física o pieza de hardware, como también, al software del servidor real o el daemon (programa residente) que se ejecuta en la máquina. Un daemon hace referencia a un programa que ofrece un servicio a otros programas, generalmente a través de la red³⁸. Las principales características de un servidor son: 1. Estar en espera de las peticiones de los usuarios a través de sus puertos. 2. Recibir las peticiones de los usuarios. 3. Procesar las peticiones y buscar los recursos solicitados. 4. Enviar los recursos por la misma conexión por donde recibió la petición. 5. Volver al punto inicial.

1.6.2.13 Aplicación móvil

Las aplicaciones móviles se componen de un conjunto de instrucciones de software que se ejecutan en un dispositivo móvil y realizan determinadas tareas para el usuario. Las aplicaciones móviles son fáciles de usar, económicas, descargables desde Internet y capaces de ser ejecutadas en la mayoría de los teléfonos móviles. Los desarrollos de las aplicaciones móviles dependen del sistema operativo de su fabricante, bien sea: iOS, BlackBerry OS, Android, Symbian, Windows Mobile, etc. Dichas aplicaciones tienen amplios usos para su vasta área de funcionamiento, en temas como: llamadas, mensajería, navegación, chat, redes sociales, comunicación, audio, juegos, etc. En los últimos años, todas las empresas se empeñan en la fabricación de teléfonos móviles inteligentes con una mayor cantidad de funciones, asimismo, aumentan la potencia

³⁷ BRAVO, J. *Descripción, fabricación y montaje de una PCB*. UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS: 2017. [En línea]. Recuperada en 2020-10-01. Disponible en:

https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/151210/Memoria_EPSU0862.pdf?sequence=1

³⁸ LAB 1.1 CLIENT / SERVER BÁSICS. *¿WHAT IS A WEB SERVER?* [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/0130225347/samplechapter/0130225347.pdf>

informática de dichos teléfonos y la capacidad de alojar un mayor número de aplicaciones, lo que provee un mayor desarrollo de aplicaciones móviles, con mejores características de cara al usuario³⁹.

1.6.2.14 Internet

Internet es una red mundial de conexiones gestionadas por gobiernos, empresas, universidades y demás organizaciones para que puedan comunicarse entre sí. Se requieren de diferentes equipos de red, como: enrutadores, servidores, centros de datos, repetidores. Para conectar la red entre continentes se hace uso de cables con recubrimientos especiales que se encuentran atravesando los océanos del planeta, llamados cables submarinos. Asimismo, se necesitan de antenas y satélites que permitan que la información sea transmitida a cualquier lugar⁴⁰.

1.6.2.15 Salud preventiva

Son estrategias que asumen los gobiernos para disminuir el número de muertes en el país. Los institutos nacionales de salud adoptan estrategias para reducir el número de enfermedades que puede padecer una población, promoviendo un estilo de vida más saludable. A largo plazo las personas serán menos propensas a sufrir enfermedades, aumentaría su productividad laboral y mejoraría su economía y la del país. Además, se puede generar una reducción de presión sobre los servicios de salud⁴¹.

1.6.2.16 Discriminantes y escalas de gravedad

Un discriminante es un factor que permite diferenciar el grado de urgencia que posee un paciente cuando se realiza el de triage, bajo el modelo SET y se divide en constantes, signos vitales y dolor:

- Constantes: Discriminan a los pacientes con la misma sintomatología, entre el nivel II y el III (temperatura, presión arterial, frecuencia cardiaca, SpO₂ (oximetría), glucemia capilar, Glasgow, NIHSS).
- Signos vitales anormales (estado de la piel, estado del pulso radial, frecuencia y profundidad respiratoria y somnolencia o confusión).

³⁹RASHEDUL, M; MAZUMDER, T. *Mobile application and its global impact*. Research Gate: 2010.

⁴⁰ Brittanica. *Internet computer network*. [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/Internet>

⁴¹ Appt. *What is preventative healthcare? And, why is it important?* [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://www.appt-health.co.uk/category/faqs-what-is-preventative-healthcare>.

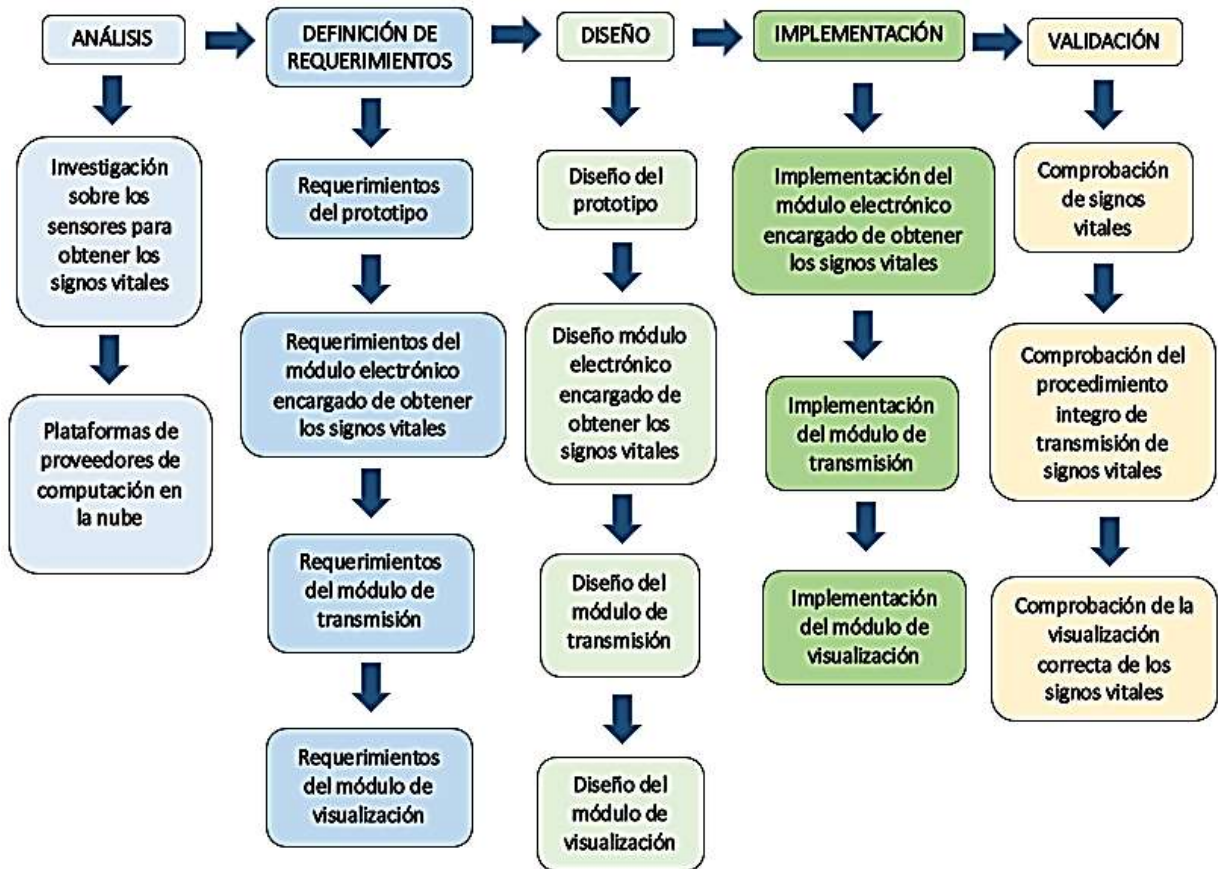
- Dolor: el SET dispone de una guía clínica de evaluación el dolor en el triage que permite objetivar los valores que los pacientes manifiestan⁴².

⁴²SOLER, W; GOMEZ MUÑOZ, M; BRAGULAT, E. *El triaje: herramienta fundamental en urgencias y emergencias*. 2010. Vol. 33. P. 55-68. ISSN 1137-6627.

1.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo de grado se sigue la metodología ADDIV que consiste en cinco fases, como se muestra en la Figura 9 (Análisis, Definición, Diseño, Implementación y Validación).

Figura 9. Metodología.



Fuente: Los autores.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

En esta sección se explica en detalle el desarrollo de cada una de las fases mostradas en la metodología en la Figura 9.

1.8.1 ANÁLISIS

1.8.1.1 Investigación sobre los sensores para obtener los signos vitales.

Para cada una de las variables: frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre, temperatura y presión arterial se hace una revisión de los dispositivos comerciales para su implementación.

- **Frecuencia cardiaca.**

Inicialmente se realiza una investigación de los dispositivos electrónicos capaces de medir la frecuencia cardiaca. En la Tabla 12, se relacionan las características generales de cada uno.

Tabla 12. Comparativo de sensores para frecuencia cardiaca.

Sensor / Características	Voltaje de entrada	Consumo de corriente	Fuente	Precio (Pesos Colombianos)
SENS-PULSO	3-5V	4mA	I+D Electrónica	\$ 10.829
SEN – 11574	5V	4mA	I+D Electrónica	\$ 139.230
SEN – 11575	5V	4mA	Electroniclab	\$ 15.000
MAX30102	1.7-5.25V	1mA	I+D Electrónica	\$ 26.180
AD8232	3.3V	<10mA	Sigma Electrónica	\$ 102.340

Fuente: Autores.

- **Saturación de oxígeno en la sangre.**

En la Tabla 13, se relacionan las características de diferentes oxímetros, dispositivos que miden la saturación de oxígeno en la sangre.

Tabla 13. Comparativo de sensores para saturación de oxígeno en la sangre.

Sensor / Características	Voltaje de entrada	Consumo de corriente	Interfaz	Fuente	Precio (Pesos Colombianos)
ADPD105	3.3V	<370mA	I2C	I+D Electrónica	\$ 190.730
MAX30102	1.7-5.25V	<1mA	I2C	I+D Electrónica	\$ 26.180
MAX30103	1.7-5.25V	<1mA	I2C	Ferretrónica	\$ 22.000
MAX30105	5V	<1mA	I2C	Melopero	\$ 67.925
MAX30101	5V	<1mA	I2C	Cool Components	\$ 146.515

Fuente: Autores.

- **Temperatura**

En la Tabla 14, se relacionan las características de diferentes dispositivos electrónicos investigados para medir la temperatura. La empresa alemana Dräger especializada en proyectos hospitalarios del área médica, publicó un documento sobre la importancia de la temperatura corporal central⁴³. Este documento muestra diferentes tipos de termómetros para usar en diversas partes del cuerpo con el objetivo de obtener un valor temperatura corporal central. La Figura 10 representa un mapa de calor del cuerpo humano suministrado por el documento previamente mencionado, donde se puede observar que la distribución de temperatura es más fuerte en la zona torácica y en la cabeza (En la Figura 10 esta zona se muestra en rojo). A partir de ello, se concluye que estas dos zonas son las más adecuadas para medir la variable corporal y es un factor a tener en cuenta para la obtención de la misma.

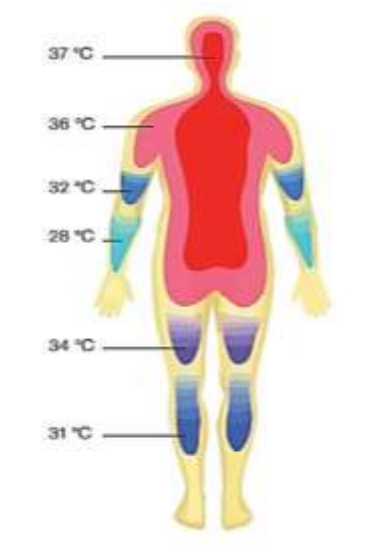
Tabla 14. Comparativo de sensores para temperatura.

Sensor/ Características	Voltaje	Consumo de corriente	Precisión	Tipo	Rango	Fuente	Precio (Pesos Colombianos)
XH - W1209	12V	65mA	0.1 °C	Termostato	-50 a 110 °C	I+D Electrónica	\$ 10.829
SHT35	3-5V	<0.6mA	0.1 °C	Temp y hum.	-10 a 100 °C	I+D Electrónica	\$ 63.070
GY - 906 MLX90614E SF	3-5V	2.5mA	0.5 °C	Infrarrojo	-70 a 380 °C	Vistronica	\$ 157.794
GY - 906 MLX90614E SF	3-5V	2.5mA	0.5 °C	Infrarrojo	-70 a 380 °C	Electrolab	\$ 155.000
DS18B20	3.3-5V	2mA	0.5 °C	Termocupla	-10 a 85 °C	AliExpress	\$ 5.000
AMG8833	3.3-5V	2mA	2.5 °C	Infrarrojo	0 a 80 °C	I+D Electrónica	\$ 187.484
WS-13461	3.3-5V	2mA	0.5 °C	Infrarrojo	-70 a 380 °C	I+D Electrónica	\$ 117.525
DS18B20	3-5V	2mA	0.5 °C	Termocupla	-10 a 85 °C	I+D Electrónica	\$ 11.000
GY- MLX90614 - DCI	3-5V	1,3mA	0.5 °C	Infrarrojo	-40 a 125°C	Mercado libre	\$ 312.000

Fuente: Autores.

⁴³ Dräger. *La importancia de la temperatura corporal central Fisiopatología y métodos de medición.* [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://www.draeger.com/Library/Content/t-core-bk-9101301-es-1604-1.pdf>

Figura 10. Mapa de calor del cuerpo humano.



Fuente: Dräger.

- **Presión arterial**

En la Tabla 15, se relacionan las características de diferentes tensiómetros, dispositivos usados para medir la presión arterial.

Tabla 15. Comparativo de sensores para presión arterial.

Ref. Tensiómetro / Características	Alimentación	Precisión	Presión (mmHg)	Tamaño	Precio (Pesos Colombianos)
CK100	3 Bat. AAA	+/- mmHg 3	0-299	70x72x23 mm	\$ 75.000
Hem-7130	4 Bat. AA	+/- mmHg 3	0-299	103x80x129 mm	\$ 339.000
BP-1305	4 Bat. AA o adaptador AC.	+/- mmHg 3	0-300	166x114x72 mm	\$ 171.400
HomeLife MASTER LF7	Bat litio 3.7V, 1800 mA, recargable	+/- mmHg 3	0-280	120x120x40 mm	\$ 179.000

Fuente: Autores.

- **Huella dactilar.**

En la Tabla 16, se detallan las características de diferentes dispositivos capaces de reconocer y registrar huellas dactilares. En la tabla, la columna F.A.R. (False Acceptance Rate) hace referencia al porcentaje de huellas erróneas que puede aceptar el sensor y la columna F.R.R. (False Recognition Rate) hace referencia al porcentaje de rechazo de huellas que han sido guardadas.

Tabla 16. Comparativo de sensores para reconocimiento dactilar.

Ref. Sensor	Voltaje	Consumo de corriente	F.A.R.	F.R.R.	Cantidad de huellas	Fuente	Precio (Pesos Colombianos)
AS608	3.8-7V	<65mA	<0.001%	<1%	127	Maetrónica	\$ 54.000
ZFM60	3.6-6V	<150mA	<0.001%	<1%	162	Vistrónica	\$ 98.044
SEN0348	3.3V	<60mA	<0.001%	<1%	80	Sigma electrónica	\$ 83.300

Fuente: Autores.

1.8.1.2 Plataformas de computación en la nube.

- **Firestore.**

Es una plataforma creada por Google, que permite el desarrollo de aplicaciones web y aplicaciones móviles. El principio de Firestore es proveer las herramientas para facilitar la creación de apps de una alta calidad y de una forma rápida. Dicha plataforma provee tres diferentes planes para sus usuarios: Spark, Flame y Blaze. El plan Spark permite el uso de todos los productos gratuitos, tales como: Cloud Messaging, Compositor de Notifications, Remote Config, App Indexing y además ofrece el uso limitado de los productos de infraestructura paga, dependiendo de la cantidad de datos, operaciones de escritura, entre otros. Dichos productos son: realtime database, cloud firestore, storage, functions, hosting, test lab, machine learning y phone auth. Para los dos siguientes planes de pago, además de incluir las capacidades del plan Spark, Firestore ofrece una calculadora de costos para que los usuarios puedan realizar una estimación de la cantidad de gastos mensuales dependiendo cada uno de los recursos que considere óptimos contratar para el correcto funcionamiento de su aplicación.

- **AWS (Amazon Web Services).**

Es un conjunto de herramientas y servicios de computación en la nube. AWS ofrece más de 160 servicios a nivel global para proveer opciones de almacenamiento, conectividad, redes y bases de datos. AWS especifica los cinco pilares para crear una infraestructura de desarrollo de aplicaciones. Dichos pilares se basan en la excelencia operativa, seguridad, fiabilidad, eficacia del rendimiento y optimización de costos. AWS brinda un sistema que se basa en la utilidad sobre demanda, es decir, se encargan de entregar una disponibilidad casi inmediata y solo se paga por lo que se consume y cuando se cancela el servicio no se aplican costos adicionales. Por otra parte, también ofrece una capa gratuita, donde cada producto en AWS tiene un tipo de oferta limitado para permitir a los usuarios probar y explorar los servicios. Dicha capa consta de tres ofertas diferentes: gratis para siempre, 12 meses de uso gratuito y para pruebas.

- **Microsoft Azure.** Es un conjunto de servicios en la nube que permiten la libertad de crear, administrar e implementar aplicaciones. Los servicios más populares son: Análisis de la información, conexión de redes a través de una VPN, creación e implementación de modelos de aprendizaje automático, protección contra amenazas a cualquier infraestructura y virtualización. Los principios de los servicios de Azure se basan en el pago solo por lo que se usa, sin costos iniciales y sin tarifas de cancelación. Azure también ofrece una cuenta gratuita por 12 meses para que los usuarios puedan explorar características limitadas de los servicios. Dentro de esta cuenta gratuita se incluyen los servicios más populares y 25 servicios que siempre se encuentran gratuitos. En la Tabla 17 se puede observar la comparación entre ventajas y desventajas entre diferentes plataformas de servicios en la nube.

Tabla 17. Comparación entre los servicios en la nube.

	Firebase	Amazon Web Services	Azure
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • La característica más importante es ofrecer velocidad en tiempo real. • La interfaz de usuarios es agradable y fácil de navegar. • Actualizaciones rápidas. • La característica principal es que las herramientas están todas en un solo lugar y que no necesita preocuparse por el sistema backend y la infraestructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variedad de soluciones que provee. • Facilidad de implementación, construcción y lanzamiento. • Las características más valiosas son los balanceadores de carga, las bases de datos y los depósitos. • Las soluciones ocupan poco espacio. 	<ul style="list-style-type: none"> • La característica más valiosa es la interfaz y la personalización. • Soluciones flexibles. con facilidad de uso. • Confiable con la cantidad de servicios adicionales. • Interoperabilidad con otras aplicaciones de Microsoft, por ejemplo, Office, Outlook, Chatline y OneDrive.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • A medida que se crece en usuarios el precio aumenta y es alto. • Necesita ampliar el soporte técnico para clientes. • Facilitar los posibles escenarios de prueba. 	<ul style="list-style-type: none"> • La gestión de datos respecto a sus competidores. • Necesita brindar mayor orientación para sus usuarios. • Limitaciones de aplicaciones a nivel regional. • Consolidar y simplificar los planes de servicios y costos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la simplicidad para su facilidad de uso. • Limitaciones en los servicios sin servidor. • Las implementaciones de mayor arquitectura pueden afectar la estabilidad.

Fuente: CENTRAL STATION. *Compare Amazon AWS vs. Google Firebase vs. Microsoft Azure*. [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: https://www.itcentralstation.com/products/comparisons/amazon-aws_vs_google-firebase_vs_microsoft-azure

1.8.2 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

1.8.2.1 Requerimientos del prototipo.

Para la definición de los requerimientos del prototipo de monitoreo de signos vitales, se debe tener en cuenta los módulos en los cuales se divide el desarrollo. Los requerimientos de los módulos: electrónico y de transmisión se encuentran orientados a la selección de dispositivos y/o tecnologías que satisfagan ciertas características técnicas.

Por otra parte, los requerimientos del módulo de visualización se encuentran divididos en requerimientos funcionales y no funcionales. Los requerimientos funcionales están orientados a detallar la interacción que existe entre el módulo y el usuario, mientras que, los requerimientos no funcionales asocian las características propias de los módulos, es decir, aspectos relacionados con la seguridad, rendimiento, disponibilidad, etc.

1.8.2.2 Requerimientos del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.

El módulo electrónico debe cumplir tres funciones, captar, procesar y almacenar los datos sensados. A continuación, se explican los requerimientos para cada una de estas funciones.

- **Requerimientos de captación de datos.** Son los requerimientos asociados a la exactitud de las mediciones del dispositivo. Es decir, que los valores medidos tengan un valor aproximado a los reales cuando se realice una comparación con otro tipo de dispositivo, de ser posible con uno certificado. Por otra parte, se debe tener en cuenta la seguridad de los usuarios, de tal forma que los dispositivos no generen descargas electrostáticas que puedan atentar contra la misma.
- **Requerimientos de procesamiento de datos.** Son los requerimientos asociados a las características de la tarjeta de desarrollo a ser implementada de modo que cumpla aspectos como: velocidad de procesamiento, capacidad de memoria, entre otras. De tal forma que el tiempo de procesamiento sea el menor posible para la adecuación de los datos a transmitir. Asimismo, se debe tener en cuenta un rápido reconocimiento de los usuarios.
- **Requerimientos de almacenamiento de datos.** Son los requerimientos relacionados con la capacidad de memoria para almacenar los datos capturados de los usuarios, de tal forma que cuando no se pueda establecer conexión entre el prototipo y la aplicación (app móvil), se pueda garantizar que las mediciones tomadas de los signos vitales de los usuarios se mantienen por un determinado tiempo en el prototipo para no perderlas.

1.8.2.3 Requerimientos del módulo de transmisión.

Son los requerimientos relacionados con la integridad de los datos, es fundamental que los datos obtenidos en el prototipo sean los mismos que se pueden observar en la aplicación (app móvil). Por ende, se debe seleccionar el formato adecuado para la transmisión de los datos, para que los mismos puedan ser transmitidos en el menor tiempo posible desde el prototipo a la aplicación (app móvil).

1.8.2.4 Requerimientos del módulo de visualización.

Los requerimientos de este módulo están divididos en, funcionales y no funcionales.

Requerimientos funcionales.

- **Requerimiento de registro de usuarios.** La aplicación (app móvil) permite al usuario registrarse de manera correcta. El usuario debe suministrar los datos mínimos de reconocimiento, tales como: nombres, apellidos, cédula, correo electrónico, y contraseña. Los usuarios deben realizar dicho registro de forma previa para recibir el acceso a la aplicación.
- **Requerimiento de autenticación de usuario.** Los usuarios deben acceder a través de dos datos de registro en la aplicación, por medio del correo electrónico y la contraseña. La aplicación puede ser consultada por cada usuario que disponga con una cuenta previamente registrada.
- **Requerimiento de consulta de información.** La aplicación ofrece al usuario los valores de medición de los signos vitales tomados por medio del prototipo, así como también el acceso al historial de las mediciones tomadas.

Requerimientos no funcionales.

- **Requerimiento de interfaz.** Las visualizaciones de las mediciones de los signos vitales deben ser mostradas de manera comprensible y cómoda para los usuarios y debe ser coherente con los datos obtenidos por el prototipo y transmitidos por el mismo. Por lo tanto, la aplicación presenta una interfaz de usuario sencilla, es decir, debe ser de uso intuitivo, para generar una fácil interpretación de las mediciones.
- **Requerimiento de desempeño.** La aplicación ofrece a los usuarios una visualización de las mediciones en el menor tiempo posible. Además, el tiempo que tarda en cargar las diferentes pantallas de la interfaz debe ser menor a tres segundos, así como también, todos los gráficos, texto, imágenes y otros elementos de la interfaz serán suministrados con la menor distorsión y pixelado posible.

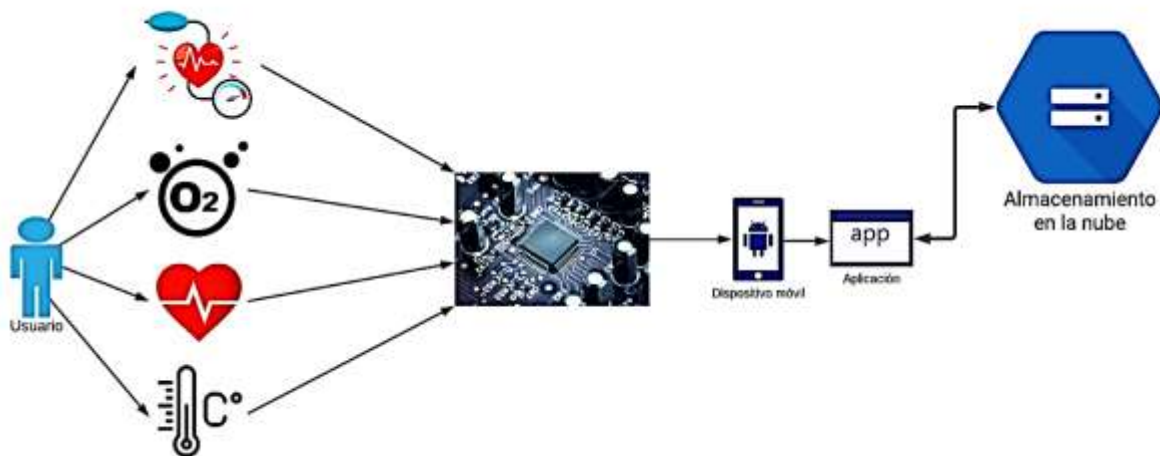
- **Requerimiento de almacenamiento de los datos.** La aplicación ofrece al usuario la capacidad de almacenar los valores medidos de los signos vitales cada vez que use el prototipo, de esta forma se garantiza el acceso al historial.

1.8.3 DISEÑO

1.8.3.1 Diseño del prototipo.

Para realizar el diseño general del prototipo se deben tener en cuenta cada uno de los módulos propuestos para el desarrollo del trabajo de grado. En la Figura 11 se muestra el esquema donde se encuentran integrados cada uno de ellos. En primera instancia se puede observar la relación que tiene el usuario con la medición de cada uno de los signos vitales (tensión arterial, saturación de oxígeno, frecuencia cardíaca y temperatura corporal) a través de los sensores, los cuales se encuentran conectados en una topología de estrella a una tarjeta de desarrollo encargada del procesamiento. Asimismo, dicha tarjeta se encarga de la transmisión de los signos vitales a la aplicación (app móvil) instalada en el teléfono celular del usuario. Como se puede observar en la dirección de las flechas del esquema, la comunicación entre los sensores, la tarjeta de desarrollo y la aplicación (app móvil) es simple, debido a que la información sólo fluye en un sentido. Mientras que, la interacción entre la aplicación (app móvil) y el servicio de almacenamiento en la nube se encuentra en doble sentido, lo que se refiere a una comunicación full-dúplex, en vista de que, la información de las mediciones es almacenada pero el usuario también puede consultar el historial de almacenamiento.

Figura 11. Esquema del prototipo.



Fuente: Autores.

1.8.3.2 Diseño del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.

De acuerdo con las características de los dispositivos mencionados en la investigación sobre los sensores realizada en la fase de análisis, en primera instancia se procede a la selección con base en tres criterios principales:

- **Voltaje de alimentación:** La tarjeta de desarrollo se alimenta con una batería externa de 2200 mAh a 7.7V. Todos los sensores van a ser alimentados por la tarjeta de desarrollo, por lo tanto, no pueden superar el valor máximo que esta pueda suministrar.
- **Consumo de corriente:** Un criterio representativo de la selección de los dispositivos es el valor requerido de corriente para su operación, garantizando que sea el menor posible. Asimismo, se debe asegurar que el consumo de todos los dispositivos no supere la cantidad de corriente que la tarjeta de desarrollo puede suministrar.
- **Precisión de los dispositivos:** Un criterio bastante importante debido al enfoque del proyecto, es la precisión de los dispositivos. Se requiere de dispositivos capaces de tener el menor error posible al medir los signos vitales.

A continuación, se explican en detalle los criterios de selección anteriormente mencionados para cada uno de los dispositivos encargados de obtener los signos vitales, así como características particulares que propiciaron su selección.

- **Frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno**

La clave para escoger el MAX30102 es la capacidad de poder sensor/medir dos de las variables propuestas, estas son frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno en la sangre. Disminuir físicamente uno de los sensores significa que el prototipo tiene un tamaño reducido, sin embargo, esta función la tienen diferentes dispositivos de la familia MAX3010X.

Dentro de las fichas técnicas de cada uno de estos dispositivos se relacionan las características básicas de cada uno, como: alimentación, consumo de corriente y el diagrama del sistema. Para los sensores investigados MAX 30101, MAX 30102 y MAX 30105, el consumo de corriente no varía significativamente y en el caso del MAX30102 el consumo de corriente es 100uA mayor con respecto a los otros sensores. La condición esencial para seleccionar este sensor es que está diseñado con el modelo de cuerpo humano (Human Body Model), este parámetro lo poseen los dispositivos que han sido probados a descargas electrostáticas. Esto es una gran ventaja, ya que, debido a la interacción que tiene el dispositivo con los usuarios se disminuye la probabilidad de que estos dispositivos puedan sufrir daños a dichas descargas.

- **Temperatura**

Los sensores de temperatura son dispositivos que se caracterizan por no tener una alta precisión. La precisión depende del rango de temperatura medido, (Ej. -10 a 85 °C: Error = +/- 0.5, -30 a 100 °C: Error = +/- 1 °C). El dispositivo DS18B20 fue escogido debido a su precisión en comparación a otros sensores y su bajo consumo de corriente, como se muestra en la Tabla X. El rango de temperatura que puede medir este sensor oscila entre la -30 y 100 °C.

- **Presión arterial**

Como se muestra en la Tabla X, se buscaron diferentes dispositivos que miden la presión arterial. Una de las desventajas de estos dispositivos, es que en general, no es posible obtener los datos digitales de presión arterial sistólica y diastólica de salida. Por lo que se requiere aplicar ingeniería inversa al tensiómetro para poder obtener sus valores. Para ello se selecciona el tensiómetro CK100. Este dispositivo se escoge ya que, al aplicar ingeniería inversa, es posible obtener los valores de presión arterial sistólica y diastólica.

- **Huella dactilar**

Todos los sensores de huella dactilar investigados cumplen con los requisitos definidos de alimentación para su funcionamiento, voltaje proporcionado por la tarjeta de desarrollo. Es importante aclarar que entre más bajos los porcentajes de FAR y FRR mencionados en la fase de análisis, se tienen unas mejores características de reconocimiento. Sin embargo, dichos porcentajes no son representativos de la selección del sensor, porque todos los dispositivos presentan valores similares. Adicionalmente, todos cuentan con capacidad de almacenamiento, pero cada uno de ellos difiere en la cantidad de huellas que puede almacenar. Teniendo en cuenta el contexto planteado, el sensor AS608 fue seleccionado por su relación entre precio asequible y la capacidad de huellas que permite almacenar.

En la Tabla 18, se puede observar las referencias de los dispositivos escogidos.

Tabla 18. Referencias de los dispositivos seleccionados.

Signos vitales	Sensor
Frecuencia cardiaca	MAX30102
Saturación de oxígeno en la sangre	MAX30102
Temperatura	DS18B20
Presión arterial	CK100
Huella dactilar	AS608

Fuente: Autores.

- **Tarjeta de desarrollo**

El procesamiento de datos es realizado por una tarjeta de desarrollo, esta tiene como objetivo procesar los datos medidos por los sensores para su posterior transmisión a la aplicación. Además, debe tener los puertos suficientes para poder conectar todos los sensores. La Tabla 19 muestra una relación entre diferentes tarjetas de desarrollo consultadas y las características generales de cada una.

Tabla 19. Resumen de los dispositivos seleccionados.

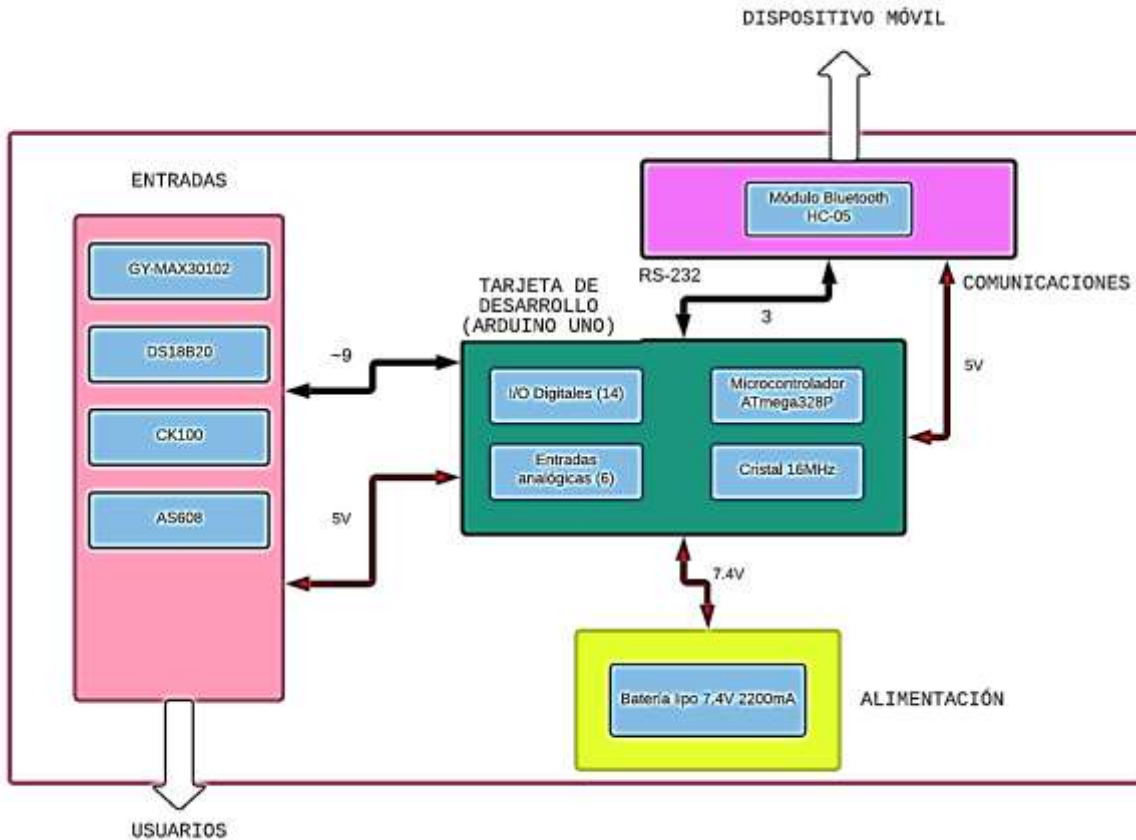
Nombre	Lenguaje prog.	Número de puertos	Procesador	Precio (Pesos Colombianos)
Raspberry PI 4	C++	40	ARM Cortex-A72	\$ 198.000
NUCLEO F446RE	C++	50	SMT32	\$ 118.000
Arduino Uno	C++	20	ATmega328	\$ 75.900

Fuente: Autores.

La tarjeta de desarrollo Arduino Uno fue escogida gracias a su documentación, su alta disponibilidad en el mercado y debido al conocimiento disponible que facilita su implementación.

Finalmente, en la Figura 12 se muestra un diagrama de bloques donde se muestra la conexión de todos los dispositivos seleccionados.

Figura 12. Diagrama de bloques de conexión entre dispositivos.



Fuente: Los autores.

1.8.3.3 Diseño del módulo de transmisión de los signos vitales.

El diseño del módulo de transmisión se encuentra seccionado en dos partes.

En primera instancia se tiene una comunicación de forma local entre el prototipo y la aplicación (app móvil). Dicha comunicación se realiza a través de tecnología inalámbrica debido a sus características de alcance permitiendo mayor movilidad de los usuarios con respecto a la tecnología alámbrica, velocidad de transferencia, bajo costo y su integración en dispositivos del mercado. Teniendo en cuenta que la comunicación se realiza con una aplicación (app móvil) alojada en un teléfono celular se opta por la

adopción de la tecnología Bluetooth, debido a que, según el Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group) en una noticia publicada⁴⁴ menciona que el 100% de teléfonos celulares, tabletas y computadoras portátiles desde el año 2018 incluyen dicha tecnología. La Tabla 20 muestra una relación entre diferentes módulos de comunicación Bluetooth y las características generales de cada uno, en la columna rol la notación “e” significa esclavo y “M” significa maestro.

Tabla 20. Comparación de tecnologías inalámbricas.

Nombre	Pines	Volt. Alimentación	Corriente consumida	Interfaz. Comunicaciones	Alcance	Rol
HC-05	6	3.3-6V	<40mA	UART	10m	M/e
HC-06	4	3.3-6V	<40mA	UART	10m	e
JDY-31	4	1.8-3.6V	7.3mA	UART	30m	e

Fuente: Autores

Teniendo como referencia la Tabla 20, donde se muestran tres módulos Bluetooth, se selecciona el módulo HC-05 debido a su capacidad de actuar en el rol de maestro o esclavo, lo cual lo diferencia de las demás opciones y permite que este sensor sea flexible en caso de escalar el proyecto. Además, otro factor es su alta disponibilidad en el mercado, esto contribuye a encontrar un mayor nivel de documentación que facilita el despliegue de operación y su respectiva configuración.

La segunda sección hace referencia a la comunicación que se realiza entre la aplicación (app móvil) y el servicio de almacenamiento en la nube. Teniendo en cuenta que independientemente de la selección del proveedor de dicho servicio la comunicación se realiza vía Internet, por lo tanto, se lleva a cabo mediante el protocolo TCP/IP encargado de la transferencia de los datos del usuario.

1.8.3.4 Diseño del módulo de visualización de los signos vitales.

El diseño del módulo de visualización se encuentra dividido en dos partes. Primero se realiza el diseño de la visualización de los signos vitales de los usuarios a través de una aplicación móvil, y posteriormente se selecciona el proveedor de servicios en la nube encargado del almacenamiento de los datos del usuario.

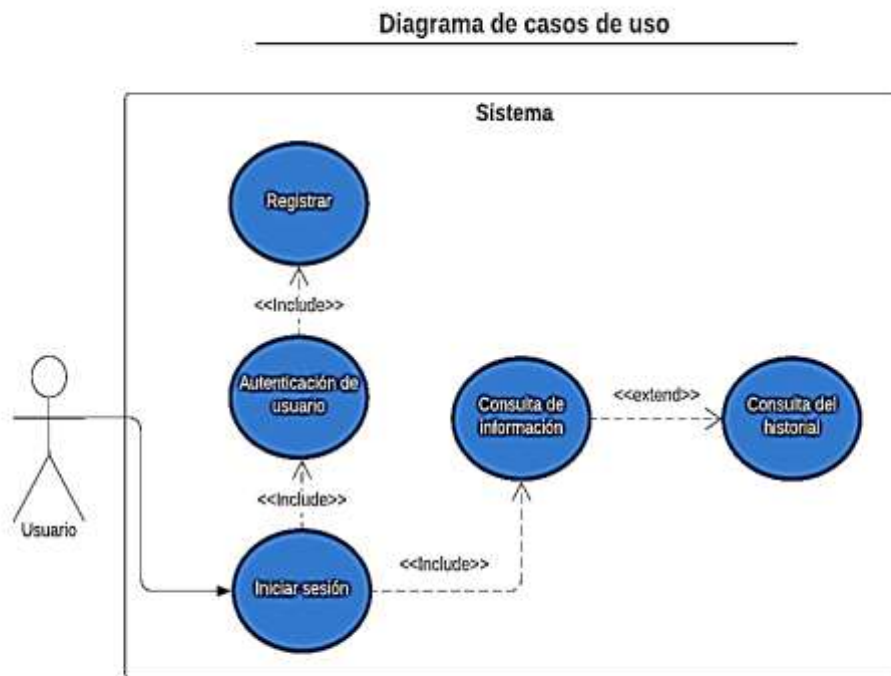
⁴⁴ BLUETOOTH. *Why the Future is Blue*. 2018. [En línea]. Recuperado en 2020-07-10. Disponible en: <https://www.bluetooth.com/blog/why-the-future-is-blue/>

- **Aplicación móvil.**

Para el diseño de la visualización se hace un diagrama UML (Unified Modeling Language) de casos de uso que se puede observar en la Figura 13. A través de este diagrama se realiza la representación de la interacción existente entre el usuario y cada uno de los requerimientos funcionales del módulo de visualización.

En la Figura 13 se muestra un rectángulo que representa el sistema que comprende la aplicación (app móvil). Mientras que, el actor, el cual se encuentra localizado por fuera del rectángulo hace referencia al usuario de esta. Dentro del sistema se pueden encontrar óvalos los cuales representan cada uno de los requisitos funcionales de la aplicación (app móvil), cada uno de ellos tiene una línea conectora que indica la relación entre ellos.

Figura 13. Diagrama de casos de uso.



Fuente: Autores.

La línea conectora que se desprende del actor (usuario) es la que desencadena el inicio de los requerimientos, por lo tanto, se tiene que la primera acción es “Iniciar sesión”, la cual se encuentra conectada con la “Autenticación de usuario” mediante una relación de “Include”. La relación de “Include” significa que la siguiente acción no se puede desencadenar, sino se han cumplido todas las relaciones asociadas con ese mismo tipo. De esta forma se tiene que, para que el usuario pueda acceder a “Consultar información” previamente debe cumplir con la “Autenticación del usuario”, esto se hace a partir del ingreso de los datos de registro, correo electrónico y contraseña. Por último, para que exista dicha autenticación se debe cumplir con el requerimiento de “Registrar”, lo cual indica que el usuario ya ingresó los datos necesarios para el registro (nombres, apellidos, cédula, correo electrónico y contraseña) y se encuentran almacenados en la base de datos.

Siguiendo con el proceso, después de haber realizado todos los requerimientos para el inicio de sesión, el usuario se encuentra en “Consulta de la información” donde puede visualizar las variables medidas por el prototipo. La última relación es la que tiene el requerimiento “Consulta de la información” y “Consulta del historial”, de tipo “extend”. Dicha relación significa que el otro requerimiento no se debe ejecutar estrictamente, ya que, es decisión del usuario si quiere acceder a ella para visualizar el historial de los signos sensados.

La aplicación (app móvil) es desarrollada en Android Studio porque según una noticia⁴⁵ publicada por The Verge, donde indica que Google en su conferencia de desarrolladores realizada en el año 2019 anunció que, para ese entonces había 2.500 millones de dispositivos Android activos. Adicionalmente, dicha herramienta es compatible con los sistemas operativos de los dispositivos de los autores, tales como: computadores y teléfonos móviles.

Continuando con el diseño de la aplicación (app móvil) se realiza un modelo que representa visualmente la composición de la misma, Figura 14. Dicho diseño debe cumplir los requerimientos no funcionales planteados en torno a la facilidad de comprensión y entendimiento de los contenidos mostrados. A continuación, en la Figura 14, se puede observar el modelo de la interfaz realizada en la aplicación web Cacao para diseño y dibujo de diagramas.

⁴⁵ THE VERGE. *There are now 2.5 billion active Android devices*. 2019. [En línea]. Recuperado en 2020-09-02. Disponible en: <https://www.theverge.com/2019/5/7/18528297/google-io-2019-android-devices-play-store-total-number-statistic-keynote>

Figura 14. Modelo de la interfaz.



Fuente: Autores.

- **Plataforma de proveedores en la nube.**

Partiendo de la investigación sobre los proveedores de servicios en la nube, realizada en la fase de análisis, se procede a la selección de acuerdo con las características de cada uno de ellos. Todos los proveedores tienen características similares tales como: una amplia y variada cantidad de servicios, brindan un sistema que se basa en la utilidad sobre demanda, ofrecen planes gratuitos con limitaciones sobre servicios pagos, etc. Es importante resaltar que, en el contexto del trabajo de grado, esta herramienta se utiliza para la conexión con la aplicación móvil, la autenticación de usuarios y el almacenamiento de los datos. Debido a ello es crucial para la interacción con los usuarios que dicha comunicación se realice en el menor tiempo posible. De acuerdo con el contexto planteado, se selecciona Firebase debido a una característica que destaca sobre los demás, que es velocidad transmisión en tiempo real. Además, Firebase provee una gran cantidad de documentación en su página web, que permite un rápido despliegue de sus funcionalidades en diferentes aplicaciones.

Teniendo en cuenta los requerimientos propuestos en el presente trabajo de grado se utiliza el plan Spark, porque ofrece uso limitado de forma gratuita para los servicios pagos necesarios en la implementación. En términos de almacenamiento, Firebase ofrece dos servicios, ambos basados en bases de datos NoSQL, los cuales son: Realtime Database y Cloud Firestore. Con base a la información presentada en la Tabla 21, se selecciona el uso de Cloud Firestore para el trabajo de grado.

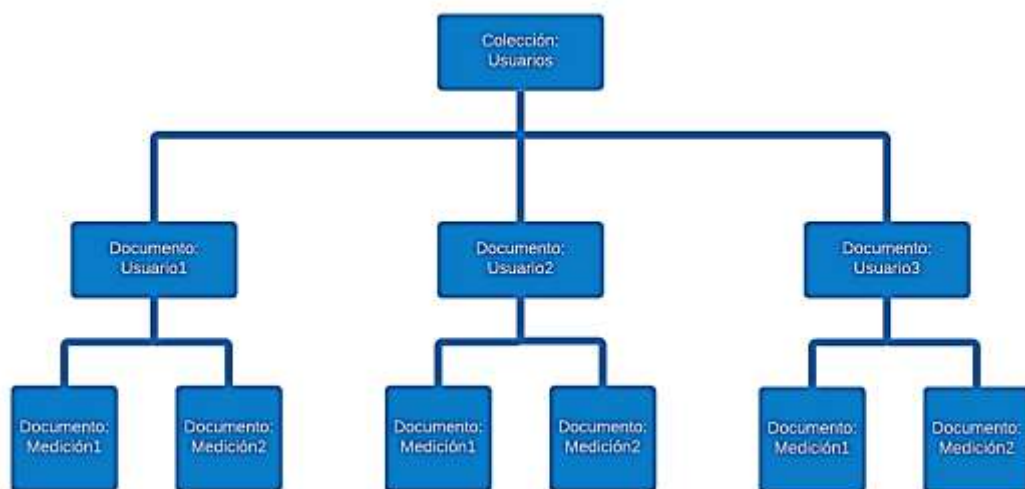
Tabla 21. Comparación de bases de datos NoSQL.

Cloud Firestore	Realtime Database
<ul style="list-style-type: none"> Más reciente. Modelo de datos nuevo y más intuitivo. Consultas más ricas y rápidas. 	<ul style="list-style-type: none"> Base de datos más original de Firebase Solución eficiente y de baja latencia
<ul style="list-style-type: none"> Almacena los datos como colecciones de documentos: <ol style="list-style-type: none"> Simple: Fáciles de almacenar en documentos, similares a JSON. Complejos y jerárquicos: Organizar a escala, subcolecciones. Necesita menos desnormalización. 	<ul style="list-style-type: none"> Almacena los datos como un gran árbol de JSON: <ol style="list-style-type: none"> Simple: Fáciles de almacenar. Complejos y jerárquicos: Complejos de organizar a escala.

Fuente: Autores.

En vista de la selección de Cloud Firestore y partiendo de las características mencionadas en la Tabla 21, tales como almacenamiento en forma de colecciones de documentos. En la Figura 15 se realiza el modelo de datos considerando dicha forma en que la base de datos almacena la información.

Figura 15. Modelo de datos Cloud Firestore.



Fuente: Autores

En la Figura 15 se observa la estructura jerárquica de almacenado de datos. En la parte superior se tiene la colección principal titulada usuarios y se encuentra conformada por los documentos que representan a cada uno de los usuarios de la aplicación. Cada documento contiene la información de registro de los usuarios, tal como: nombres, apellidos, cédula y correo electrónico. Por último, de cada documento de usuario se desprende una subcolección de documentos que contienen los valores de medición de los signos vitales.

1.9 IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS

A partir del desarrollo de este trabajo de grado se espera generar un impacto positivo a nivel social, económico y educativo y tecnológico.

1.9.1 Impacto social

Se espera que los datos obtenidos en el desarrollo de este prototipo tecnológico puedan ser usados por el personal de salud especializado para una atención médica oportuna. El prototipo implementado puede ser usado por cualquier persona adulta, así como por adultos mayores y niños, pero bajo la supervisión de algún adulto. Este prototipo está diseñado para ser utilizado por cualquier persona, en cualquier lugar del mundo, de cualquier género y edad.

1.9.2 Impacto económico

Con el uso de este dispositivo se espera que las personas periódicamente midan sus signos vitales para que de esta manera el personal médico pueda hacer un seguimiento y sea posible prevenir algunas enfermedades, de ser posible, como enfermedades crónicas no transmisibles. También se espera que este prototipo pueda ser usado para evitar el aglomeramiento en las salas de espera, específicamente para los casos de clasificación de una persona desde el triage 3 al triage 5.

1.9.3 Impacto educativo

Este trabajo de grado puede ser utilizado como referencia para nuevos trabajos académicos y para proporcionar soporte técnico sobre la implementación y justificación de los componentes utilizados. Se espera que esta solución pueda ser usada para continuar mejorando las propuestas tecnológicas de técnicas de adquisición, procesamiento y transmisión de los datos. Con el propósito de fomentar los beneficios de la salud preventiva.

1.9.4 Impacto tecnológico

Este prototipo integra la medición de diferentes variables fisiológicas como lo son: frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre, temperatura y presión arterial. Sin embargo, es posible aumentar el número de variables a sensar y reducir su tamaño, buscando la comercialización.

2. DESCRIPCIÓN LOS COMPONENTES

A continuación, se explican los componentes usados tanto en hardware como en software.

2.1 Componentes de Hardware

2.1.1 Sensor: MAX30102.

Este sensor está diseñado para obtener la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en la sangre. Su voltaje de operación está entre 1.7v y 5.25v, la corriente máxima que puede consumir este dispositivo es 12000 uA, utiliza el protocolo de comunicaciones I2C. Este MAX se diferencia de los demás ya que en su ficha técnica es posible encontrar la variable HBM, que representa Human Body Model, modelo para proteger al dispositivo de daños producidos por descargas electroestáticas. Las descargas electrostáticas pueden ser producidas cuando se genera un contacto entre una persona y el dispositivo al momento de la medición. Según los fabricantes el MAX30100 está descontinuado y en sus versiones siguientes el MAX30101 y MAX30102 solo se diferencian en el color de sus leds⁴⁶. En la Figura 16 se observa el sensor MAX30102.

Figura 16. Sensor: MAX30102.



Fuente: I+D ELECTRÓNICA. *Sensor de concentración de oxígeno y ritmo cardíaco MAX30102*. Recuperado en 2020-10-09. [En línea]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/biomedicos/sensor-medidor-de-concentraci%C3%B3n-de-ox%C3%ADgeno-y-ritmo-card%C3%ADaco-max30102-sensores-de-pulso-cardiaco-concentraci%C3%ADn-de-ox%C3%ADgeno-ritmo-cardiaco-pulsiox%C3%ADmetros-pulsioximetr%C3%ADa-gy-max30102-detail>

⁴⁶ MAXIM SUPPORT. *DIFFERENCES BETWEEN THE MAX30100, MAX30101, AND MAX30102*. [En línea]. Recuperado en 2020-05-16. Disponible en: <https://maximsupport.microsoftcrmportals.com/en-us/knowledgebase/article/000099832>

2.1.2 Sensor: Termocupla DS18B20.

Esta termocupla se muestra en la Figura 17, posee una longitud de 2 metros, está recubierta por un material impermeabilizado. Internamente dentro del cilindro metálico se encuentra el sensor DS18B20. El voltaje de operación va desde 3V a 5.5V. Posee una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ cuando se encuentra entre -10°C y 85°C . Tiene una resolución de 9 a 12 bits. Posee 3 terminales VCC (rojo), GND (negro) y DATOS (amarillo)⁴⁷.

Figura 17. Sensor DS18B20.



Fuente: I+D ELECTRÓNICA. *Sensor de temperatura a prueba de agua DS18B20 - Cable 2MTS*. Recuperado en 2020-10-09. [En línea]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-sensores-de-temperatura-sondas-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-dfrobot-1273-detail>

⁴⁷ I+D ELECTRÓNICA. *Sensor de temperatura a prueba de agua DS18B20 - Cable 2MTS*. Recuperado en 2020-10-09. [En línea]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-sensores-de-temperatura-sondas-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-dfrobot-1273-detail>

2.1.3 Sensor: Tensiómetro CK100.

El tensiómetro de la Figura 18, posee una pantalla LCD Digital en la cual se puede observar los valores de la presión arterial diastólica y sistólica. La circunferencia de la muñeca debe estar entre 135-195 mm. Alimentado con 3V DC (2 baterías AAA) este tensiómetro puede almacenar hasta 60 mediciones en su memoria. La precisión de este dispositivo es de ± 3 mmHg⁴⁸.

Figura 18. Tensiómetro de muñeca CK100.



Fuente: MERCADO LIBRE. *Tensiómetro Digital Ck De Muñeca, Para Presión Arterial* [En línea]. Recuperado en 2020-04-20. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensiometro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-_JM?quantity=1

⁴⁸ MERCADO LIBRE. *Tensiómetro Digital Ck De Muñeca, Para Presión Arterial* [En línea]. Recuperado en 2020-04-20. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensiometro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-_JM?quantity=1

2.1.4 Sensor: AS608.

Este sensor tiene un voltaje de operación entre 3.8V a 7V y un consumo de corriente máximo de 65 mA. Este sensor posee un valor menor a 0.001% (FAR) y menor a 1% (FRR). Las siglas FAR significan tasa falsa de aceptación, en inglés (False Acceptance Rate): Representa el porcentaje de huellas erróneas que puede aceptar. Otro valor a tener en cuenta es la FRR, Tasa falsa de rechazo, en inglés (False Reject Rate): Representa el porcentaje de rechazo de huellas que han sido guardadas anteriormente⁴⁹.

Figura 19. Sensor AS608.



Fuente: Mactronica. *MODULO LECTOR DE HUELLA FINGER PRINT AS608*. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.mactronica.com.co/modulo-lector-de-huella-finger-print-as608>

⁴⁹ Mactronica. *MODULO LECTOR DE HUELLA FINGER PRINT AS608*. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.mactronica.com.co/modulo-lector-de-huella-finger-print-as608>

2.1.5 Módulo de comunicaciones: Bluetooth HC-05.

Este módulo es compatible con la tarjeta de desarrollo utilizada, su voltaje de operación está entre 3.6V a 6V DC, el valor máximo de corriente que puede consumir este módulo es de 50mA. La frecuencia de operación es la banda ISM (banda de radio industrial, científica, médica) es de 2.4GHz. Puede ser configurado como esclavo o maestro y su salida está dada por una señal serial a 9600 baudios, aunque puede ser programada para transmitir hasta a 115200 baudios⁵⁰.

Figura 20. Módulo de comunicaciones: Bluetooth HC-05.



Fuente: I+D Electrónica. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/modulo-bluetooth-hc05-tarjetas-modulos-de-con-comunicaci%C3%B3n-bluetooth-maestro-esclavo-detail>

⁵⁰ I+D Electrónica. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/modulo-bluetooth-hc05-tarjetas-modulos-de-con-comunicaci%C3%B3n-bluetooth-maestro-esclavo-detail>

2.1.6 Tarjeta de desarrollo: Arduino.

Esta tarjeta está basada en un microcontrolador de referencia ATmega328. Posee 14 pines para entradas o salidas digitales, 6 entradas análogas, un cristal de 16MHz, un botón de reset, reguladores de voltaje y un conector USB para alimentación y sobreescritura de códigos⁵¹.

Figura 21. Tarjeta de desarrollo Arduino.



Fuente: ARROW ELECTRONICS. A000073 | *Arduino Uno Rev3 SMD*. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.arrow.com/es-mx/products/a000073/arduino-corporation>

⁵¹ ARROW ELECTRONICS. A000073 | *Arduino Uno Rev3 SMD*. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.arrow.com/es-mx/products/a000073/arduino-corporation>

2.2 Componentes del Software

2.2.1 Android Studio.

Android Studio es el IDE (entorno de desarrollo integrado) oficial para Android. Android Studio es una colaboración entre JetBrains y Google, lo que significa que está construido sobre IntelliJ de JetBrains. Android Studio es revolucionario porque agiliza el proceso de desarrollo de Android y hace que el desarrollo de Android sea mucho más accesible.⁵² Android studio tiene una gran cantidad de características que permiten mejorar el desarrollo y la calidad de los productos. Dichas características son: editor de diseño visual, analizador de APK, emulador rápido, editor de código inteligente, sistema de construcción flexible y monitoreador del rendimiento. Android Studio puede ser instalado en sistemas operativos Windows, Mac, Linux y Chrome OS.

2.2.2 Firebase.

Como se menciona en la fase de diseño, Firebase se utiliza para la conexión con la aplicación móvil, la autenticación de usuarios y el almacenamiento de los datos. Para la autenticación de los usuarios Firebase ofrece un servicio gratuito que limita las operaciones teniendo en cuenta la frecuencia de uso. Es decir, permite la creación de 100 cuentas nuevas/ dirección IP por hora y permite la eliminación de 10 cuentas por segundo. Por otra parte, teniendo en cuenta la selección de Cloud Firestore, el cual es un servicio pago con límite gratuito, como servicio de almacenamiento, en la Tabla 22 se realiza la presentación de los límites de uso para dicho servicio.

Tabla 22. Límites de uso para Cloud Firestore.

GiB almacenados	1 GiB en total
Salida de red	10 GiB por mes
Operaciones de escritura de documentos	20,000/día
Operaciones de lectura de documentos	50,000/día
Operaciones de eliminación de documentos	20,000/día

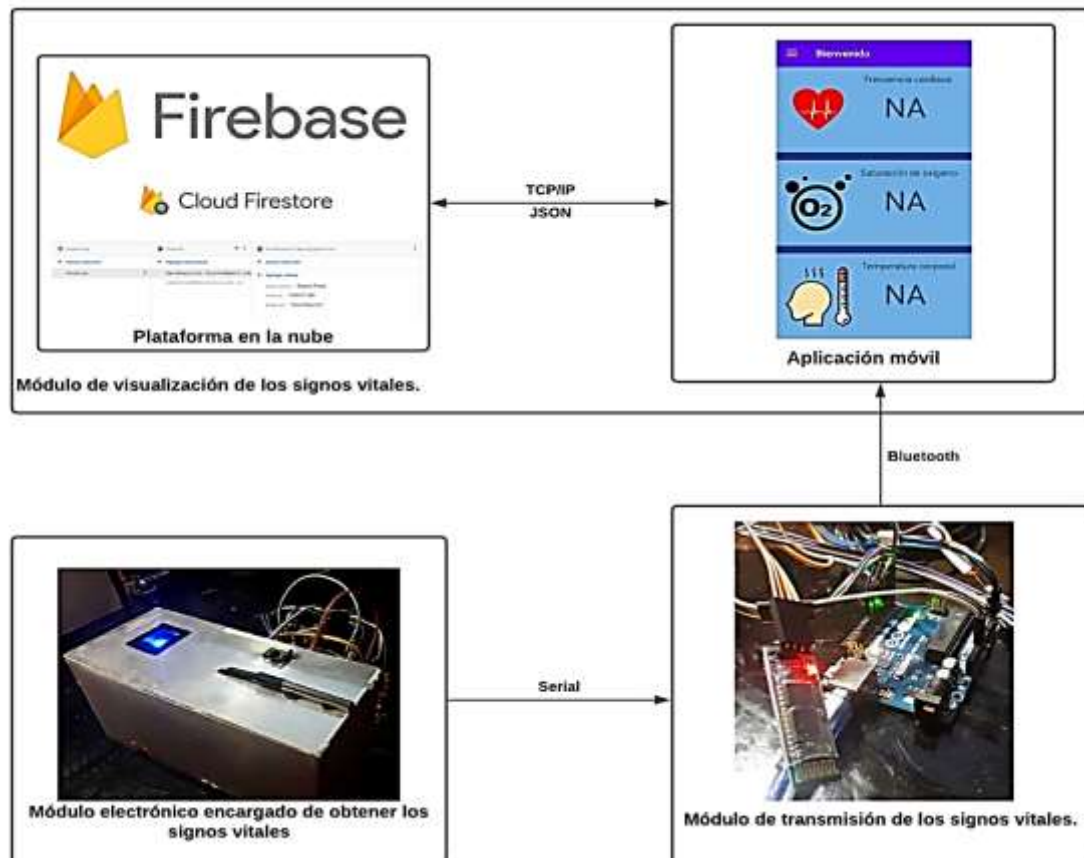
Fuente: FIREBASE. *Planes de precios*. [En línea]. Recuperado en 2020-10-01. Disponible en: <https://firebase.google.com/pricing?hl=es-419>

⁵² GERBER, A; CRAIG, C. *Learn Android Studio Build Android Apps Quickly and Effectively* [En línea]. Recuperado en 2020-09-21. Disponible en: http://barbra-coco.dyndns.org/student/learning_android_studio.pdf

3. IMPLEMENTACIÓN.

En esta sección se realiza una descripción detallada de la construcción de cada uno de los módulos definidos en el diseño. La implementación consiste en la construcción del módulo electrónico, módulo de transmisión y módulo de visualización. En la Figura 22 se muestra la arquitectura de conexión entre los módulos. Seguidamente se explica cómo se implementa cada uno de estos.

Figura 22. Diagrama de arquitectura de los módulos.



Fuente: Autores.

Toda la programación de la tarjeta de desarrollo se realiza en el IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) de Arduino. El código se encuentra anexo al final del documento. Las líneas de código pertenecientes a la implementación del módulo electrónico, módulo de transmisión y módulo de visualización se encuentran en las secciones: UTILIZABLES, SETUP y FUNCIONES.

En la primera parte del código se encuentra la sección de UTILIZABLES, donde se definen las variables globales y las instrucciones correspondientes para incluir las librerías de los sensores. En la Figura 23 se puede apreciar un fragmento del código, UTILIZABLES.

Figura 23. Fragmento de código, UTILIZABLES.

```
// ----- LIBRERIAS -----
// ----- LIBRERIAS -----
// ----- LIBRERIAS -----

#include <Wire.h> // Libreria para el Sensor MAX30102
#include "MAX30105.h" // Libreria para el Sensor MAX30102
#include "heartRate.h" // Libreria para el Sensor MAX30102
#include "spo2_algorithm.h" // Libreria para el Sensor MAX30102

#include <Adafruit_Fingerprint.h> // Libreria para el Sensor AS605
|
// -----
// ----- VARIABLES GLOBALES -----
// -----

MAX30105 particleSensor; // MAX30102 : Variable MAX

#define DATO 6 // Variable Temp
OneWire ourWire(DATO); // Variable Temp
DallasTemperature sensors (&ourWire); // Variable Temp
```

Fuente: Autores.

La Figura 24 presenta un fragmento de la segunda parte del código que corresponde al SETUP, esta es una función que contiene la definición de los pines usados, la inicialización de variables y las condiciones de fallo cuando algunos sensores se encuentran mal conectados.

Figura 24. Fragmento de código, parte: SETUP.

```
void setup()
{
  // DEFINICION de pines de Arduino usados
  pinMode(6, OUTPUT); // Pin asignado para DS18B20
  pinMode(7, OUTPUT); // Pin asignado para led AZUL
  pinMode(8, OUTPUT); // Pin asignado para led NARANJA

  Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); // Inicialización de var temperatura

  // -----
  // -CONDICIONES DE FALLO DE CONEXION-
  // -----
  // -----SENSOR : MAX30102-----

  if (!particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST)) //Use default I2C port, 400kHz speed
  {
    Serial.println("MAX30105 was not found. Please check wiring/power. ");
    while (1);
  }
  //Serial.println("Place your index finger on the sensor with steady pressure.");

  particleSensor.setup(); //Configure sensor with default settings
  particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A); //Turn Red LED to low to indicate sensor is running
  particleSensor.setPulseAmplitudeGreen(0); //Turn off Green LED
```

Fuente: Autores.

La Figura 25 muestra un fragmento de la tercera parte del código corresponde al conjunto de FUNCIONES que contienen las instrucciones específicas para el funcionamiento de cada sensor. En esta parte también se encuentra la función “loop” que se encarga de ejecutar el código principal.

Figura 25. Fragmento de código, parte: FUNCIONES.

```
// -----
// ----- FUNCION : TEMPERATURA -----
int Monitoreo_Temperatura(){

    int valorTemp=0;
    int contFinal=0;
    bool VarAceptada = false;
    // TEMPERATURA CORPORAL ENTRE 35° Y 38° (DEPENDE DE LA EDAD)
    int valorMinTemp=26; // VALOR MODIFICADO PARA PRUEBAS
    int valorMaxTemp=38;

    while(VarAceptada==false){
        sensors.requestTemperatures();
        //Serial.print(sensors.getTempCByIndex (0));
        //Serial.println(" Grados C");

        if (sensors.getTempCByIndex (0)>valorMinTemp && sensors.getTempCByIndex (0)<valorMaxTemp){
            contFinal++;
            valorTemp = valorTemp + sensors.getTempCByIndex (0);
            if(contFinal==10){
                valorTemp = valorTemp / 10;
                VarAceptada = true;
            }else{
                //Serial.print("estoy aca Temp ");
            }
        }
    }
    return valorTemp;
}
// -----
// ----- FUNCION : HUELLA DACTILAR -----
int getFingerprintIDez() { // Funcion se usa para dar o denegar acceso y comparacion entre ID's

    uint8_t p = finger.getImage();
    if (p != FINGERPRINT_OK) return -1;

    p = finger.image2Tz();
    if (p != FINGERPRINT_OK) return -1;

    p = finger.fingerFastSearch();
    if (p != FINGERPRINT_OK) {
        accesoDenegado();
    }
}
```

Fuente: Autores.

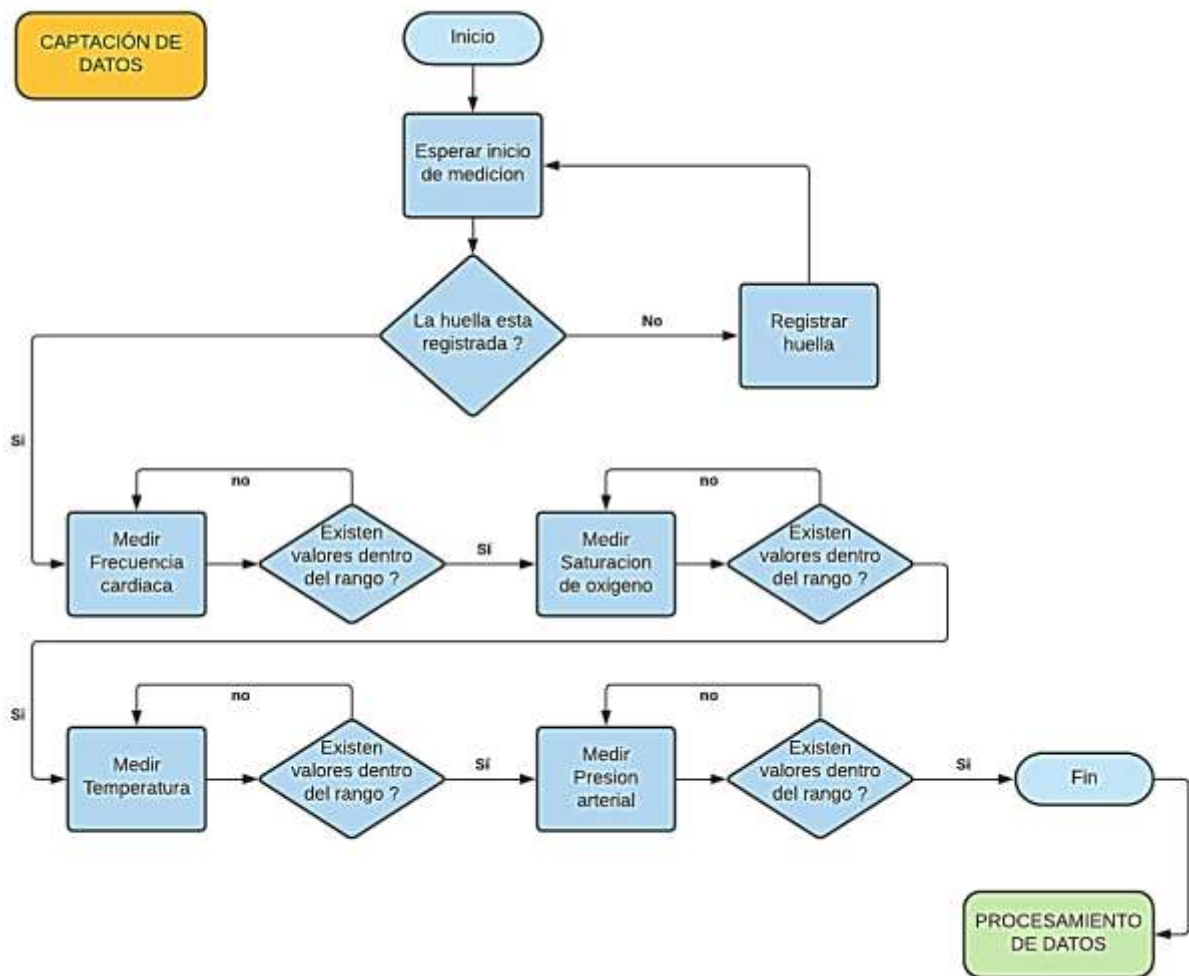
3.1 Implementación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.

En esta sección se requiere definir la implementación de los datos captados, procesamiento y almacenamiento.

3.1.1 Implementación de captación de datos.

Cada variable fisiológica posee una función asociada que ejecuta instrucciones para obtener los valores de los sensores, en la Figura 26 se muestra el funcionamiento general de este módulo.

Figura 26. Diagrama de flujo del funcionamiento del módulo de captación de datos.



Fuente: Autores.

3.1.1.1 Frecuencia cardiaca

Para la operación del MAX30102 se utiliza la librería MAX3010x Pulse and Proximity sensor library, creada por SparkFun, esta librería permite obtener los valores de frecuencia cardiaca en unidades de bpm (beats por minuto) y saturación de oxígeno en la sangre en porcentaje (%) de uno a cien.

La función de frecuencia cardiaca (Monitoreo_FrecuenciaCardiaca) está creada con el objetivo de obtener un promedio de los valores de latidos por minuto. Para ello se espera a que se la persona ubique su dedo en el lugar de medición, durante los primeros segundos las mediciones del sensor oscilarán entre diferentes valores que pueden o no estar en rangos normales, es por eso que se definen límites para las mediciones y seguidamente se realiza el promedio de las lecturas obtenidas. Por último, la función retorna este valor promedio. En esta función también es posible mostrar los valores en el monitor serial e identificar la distancia a la cual se encuentra el dedo de la persona para la medición, con el fin de indicar si se encuentra en la posición adecuada para obtener menor margen de error.

3.1.1.2 Saturación de oxígeno.

La función de saturación de oxígeno (Monitoreo_SaturacionOxigeno) está creada con el objetivo de obtener un valor de saturación de oxígeno válido a partir de la ley de Beer-Lambert. Esta ley utiliza la intensidad de una luz entrante a un medio para calcular la absorción ejercida. En la Ecuación 1⁵³ se muestra la forma obtener el valor de saturación de oxígeno en la sangre.

Ecuación 1. Saturación de oxígeno en la sangre

$$SaO2 = \frac{HbO2}{HbO2 + Hb} * 100 \quad (1)$$

Dónde: HbO2 = Valor de oxihemoglobina y Hb = Valor de hemoglobina.

Los valores requeridos (Hb y HbO2) son obtenidos a través de las instrucciones `particleSensor.getRed()` y `particleSensor.getIR()`. Usadas para medir los valores de Hemoglobina y oxihemoglobina respectivamente. El resultado obtenido de la saturación de oxígeno debe multiplicarse por 100 para obtener el porcentaje.

⁵³ ALARCO, J. Medida del nivel de saturación de oxígeno en sangre: desarrollo de un pulsioxímetro de bajo coste y comparativa con otros sistemas existentes. Trabajo de grado ingeniería de tecnologías y servicios de telecomunicación, Madrid: Universidad politécnica de valencia. Facultad de ingeniería. p. 2-57.

3.1.1.3 Temperatura

Para la operación del sensor DS18B20 se utiliza la librería Dallas temperature creada por Miles Burton, Tim Newsome, Guil Barros y Rob Tiyard. Gracias a esta librería es posible obtener los valores de la temperatura a la cual se encuentra el transistor y generar alertas cuando la temperatura sobrepase rangos programados.

La función de obtención de temperatura (Monitoreo_Temperatura) tiene como objetivo solicitar el valor generado por el sensor y retornar un valor válido para mostrarlo junto con sus unidades en grados centígrados. A diferencia de las señales generadas por los sensores anteriores quienes pueden obtener valores fuera de los rangos establecidos y dependen de promedios para retornar valores válidos, la temperatura requiere de tiempo mientras el cuerpo calienta sensor hasta que se estabilice al obtener un valor válido.

3.1.1.4 Huella dactilar

Para la operación del sensor AS608 se utiliza la librería Fingerprint creada por Adafruit, gracias a esta librería es posible guardar la imagen de la huella dactilar de una persona como ID en la memoria del sensor, identificar una huella previamente registrada y sobrescribir registros.

Por último, la función de detección de huellas (getFingerprintIDez()) tiene como objetivo, iniciar y finalizar el proceso de medición de datos. Cuando una persona ubica su dedo sobre el sensor, esta captura la imagen de la huella dactilar actual y la compara entre los diferentes ID's o huellas dactilares previamente registradas. Si la huella se encuentra registrada se habilita la medición de datos. Una vez la persona termine de medir los signos vitales, debe volver a ubicar el dedo sobre el sensor para proceder con su transmisión.

Cuando una persona ubica su dedo sobre el sensor y este no detecta la huella, automáticamente se ejecuta la función de registro (getFingerprintEnroll()), que tiene como objetivo registrar una huella a partir de una serie de pasos, para obtener una muestra de la imagen dactilar. En caso de que la huella de una persona ya se encuentre registrada y el dispositivo no la reconozca, lo enviará a la función de registro. Sin embargo, la persona deberá esperar 10 segundos para que el dispositivo retorne a la función principal e intente de nuevo, en estos casos se recomienda limpiar la superficie del sensor.

3.1.2 Implementación de procesamiento de datos.

Los datos retornados por las funciones cumplen con los criterios para poder ser transmitidos a la aplicación. El orden en cómo van a ser transmitidos es: valor de frecuencia cardiaca, valor de saturación de oxígeno en la sangre, valor de temperatura y valor de presión arterial.

Es necesario que la persona realice la medición de todos los signos vitales en el orden mencionado. Una vez finalice la medición de los signos el dispositivo espera a que se vuelva a colocar el dedo para transmitirlos.

3.1.3 Implementación de almacenamiento de datos.

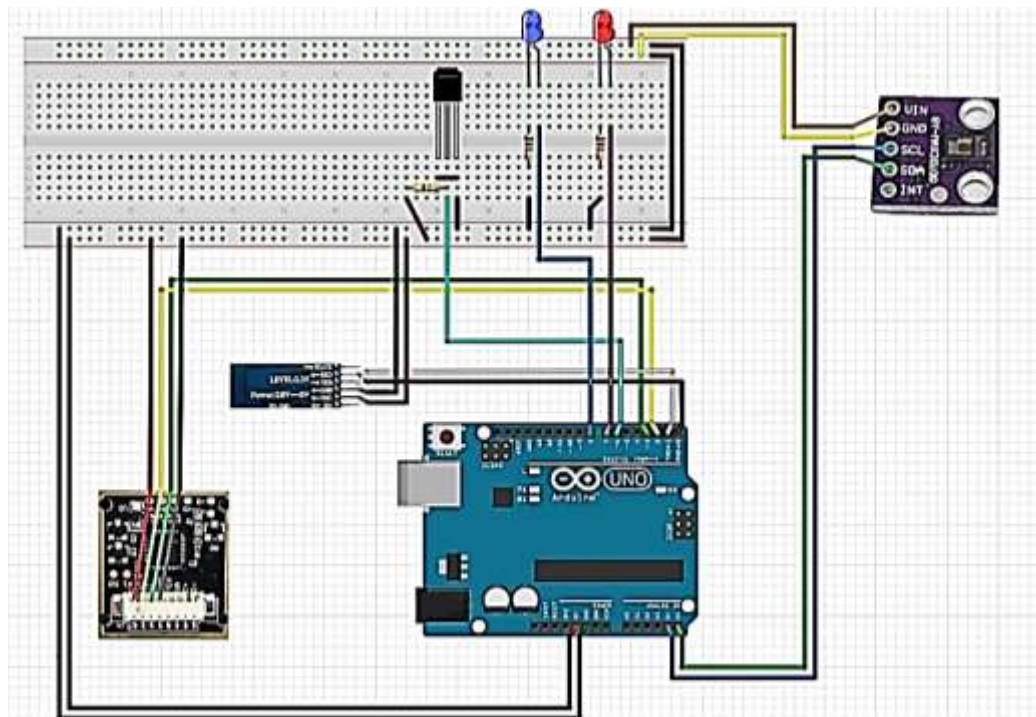
Actualmente cada función de captación de signos vitales retorna un valor que es almacenado en una variable global en la memoria de la tarjeta de desarrollo. El código consume un 44% de la memoria de la tarjeta, cuando el dispositivo no esté alimentado (Voltaje VCC) los datos almacenados no se pueden recuperar. En el caso de las huellas, estos registros quedan almacenados en la memoria flash del sensor AS608, las huellas almacenadas no se borran independientemente si el prototipo se encuentra desconectado. Como se menciona en la sección de descripción de los componentes, la capacidad máxima de huellas almacenadas por este sensor es de 127.

3.2 Implementación del módulo de transmisión

Para la operación del módulo de comunicaciones HC-05 no se requiere de una librería específica. Las únicas instrucciones usadas son `Serial.read ()` y `Serial.write ()` para recibir y transmitir datos respectivamente. Además se usa el comando `Serial.available ()` para saber si el módulo bluetooth emisor y receptor se encuentran disponibles para que se puedan comunicar.

Este módulo tiene como objetivo establecer comunicación con la aplicación (módulo de visualización) para enviar los datos captados en el módulo electrónico. Es importante que los módulos Tx y Rx bluetooth estén programados a la misma velocidad de transmisión, de lo contrario el módulo de visualización no podrá procesar correctamente los datos. El módulo de visualización está diseñado para recibir datos a 9600 baudios, por ende el dispositivo HC-05 se programa para transmitir a esta velocidad, aunque puede ser programado a otras velocidades. Finalmente, en la Figura 27 se puede apreciar la construcción de los módulos previamente descritos.

Figura 27. Diagrama de conexiones del prototipo.



Fuente: Autores.

En la Figura 27 se puede observar el diagrama de conexiones del prototipo simulado en Fritzing. Se evidencia en la parte inferior izquierda el sensor AS608, se caracteriza porque su circuito impreso es de color negro. El sensor MAX30102 se encuentra ubicado en la parte superior derecha, este posee un led infrarrojo iluminado con un led de color rojo donde se ubica el dedo para la medición. El sensor DS18B20 se encuentra representado por el transistor sobre la protoboard. Dicha distribución se debe a qué es el componente que se encuentra dentro de la sonda. Se pueden apreciar también dos leds ubicados sobre la protoboard, uno de color azul y otro de color rojo que son utilizados como indicadores para el usuario.

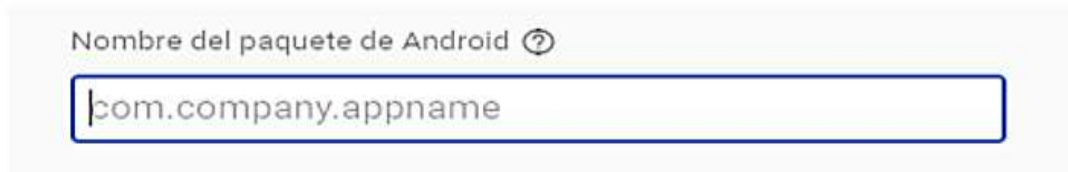
3.3 Implementación del módulo de visualización de los signos vitales.

Para la implementación del módulo de visualización se realiza en paralelo el desarrollo del proyecto en Android Studio, la sincronización entre la aplicación Android y Firebase y las configuraciones realizadas en la página web de Firebase. En primera instancia se procede a la creación del proyecto en Android Studio a través de su IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) y la creación de una pantalla de inicio de sesión para los usuarios. Teniendo en cuenta que la autenticación se realiza mediante Firebase, se debe realizar el registro de la aplicación previamente creada. Para ello, como se observa en la Figura

28 parte (a), se debe suministrar el nombre del paquete de la aplicación Android a través de la página web de Firebase. Adicionalmente, en la Figura 28 (b) se indica el nombre del archivo dentro del proyecto Android (AndroidManifest) donde se encuentra el nombre del paquete.

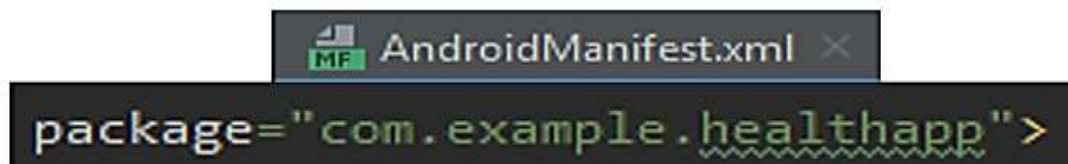
Figura 28. Inicialización del proceso de sincronización.

(a)



Nombre del paquete de Android ?

(b)



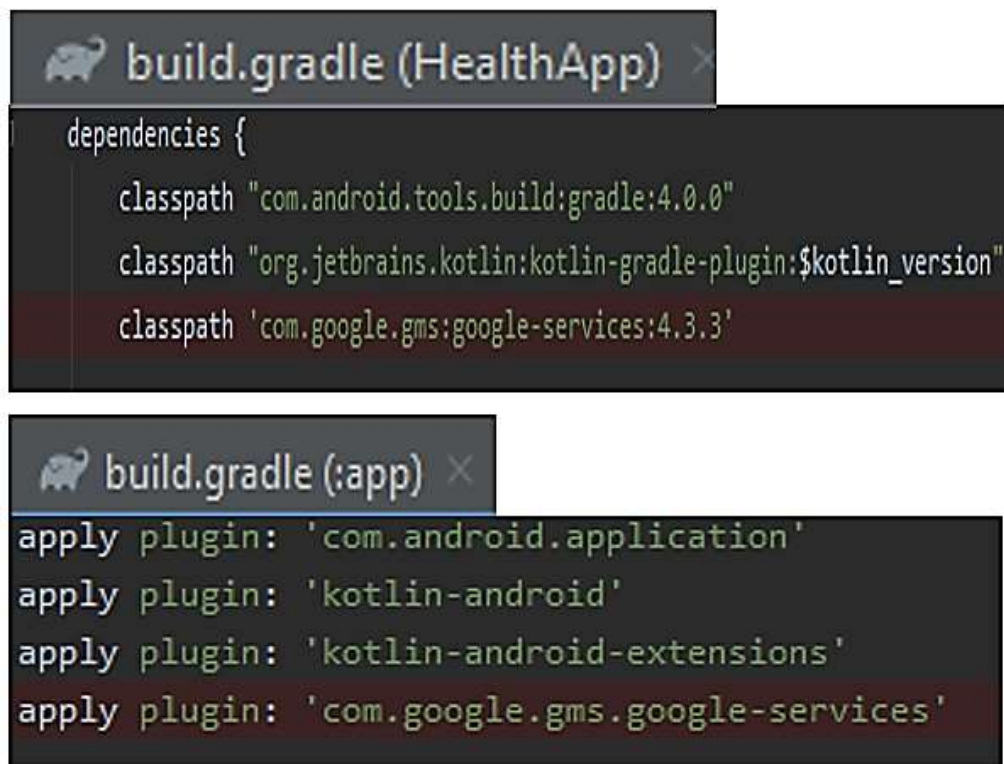
```
AndroidManifest.xml
```

```
package="com.example.healthapp">
```

Fuente: Autores.

Continuando con el proceso, se debe descargar el archivo suministrado por Firebase cuyo nombre es "google-services.json" y añadirlo a la carpeta del proyecto. Asimismo en los archivos del proyecto de Android titulados "build.gradle(HealthApp)" y "build.gradle(:app)" se debe añadir la implementación de las librerías que se pueden observar en la Figura 29.

Figura 29. Librerías para los archivos del proyecto Android.



The image shows two screenshots of the Android Studio IDE. The top screenshot shows the 'build.gradle (HealthApp)' file with the following dependencies:

```
dependencies {  
    classpath "com.android.tools.build:gradle:4.0.0"  
    classpath "org.jetbrains.kotlin:kotlin-gradle-plugin:$kotlin_version"  
    classpath 'com.google.gms:google-services:4.3.3'
```

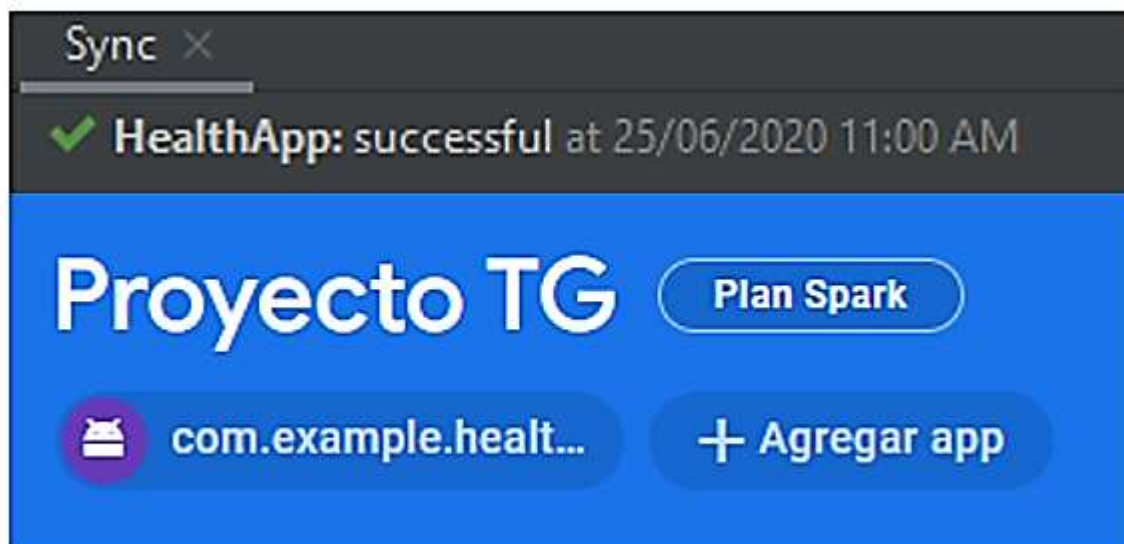
The bottom screenshot shows the 'build.gradle (:app)' file with the following plugins:

```
apply plugin: 'com.android.application'  
apply plugin: 'kotlin-android'  
apply plugin: 'kotlin-android-extensions'  
apply plugin: 'com.google.gms.google-services'
```

Fuente: Autores.

Finalmente, en Android Studio se procede a realizar la sincronización del proyecto y en la página web de Firebase se puede observar que aparece el nombre del paquete de Android. En la Figura 30 se evidencia dicho proceso.

Figura 30. Sincronización entre Android Studio y Firebase.



Fuente: Autores.

Partiendo de la sincronización realizada, en la página web de Firebase se debe ir a la pestaña de autenticación y seleccionar en métodos de ingreso donde se despliegan todos los proveedores de acceso. Para el presente proyecto se selecciona el proveedor de correo electrónico y contraseña. Asimismo, se debe realizar la creación de la base de datos en la pestaña de Cloud Firestore. Dentro de dicha pestaña se solicita la ubicación donde se almacenan los datos. Para ello, Firebase recomienda seleccionar la región más cercana donde se encuentran los usuarios y por ende, se procede a seleccionar sudamérica, la cual se encuentra denotada como: "southamerica-east1".

Se debe tener en cuenta que, para el funcionamiento del servicio de autenticación y base de datos Cloud Firestore en el documento "build.gradle(:app)" del desarrollo de la aplicación en Android Studio se deben agregar las líneas de código correspondientes a la implementación de los dos servicios previamente mencionados como se muestra en la Figura 31.

Figura 31. Implementación del servicio de autenticación y Cloud Firestore.

```
implementation 'com.google.firebase:firebase-firestore:22.0.0'  
implementation 'com.google.firebase:firebase-auth-ktx:20.0.0'
```

Fuente: Autores.

Luego de ello, en la configuración del proyecto Android se realiza la creación de una ventana de inicio de sesión y una ventana para el registro de usuarios como se puede observar en la Figura 32.

Figura 32. Ventanas de inicio de sesión y registro.

Iniciar sesión	Registrar
Email	Nombres
Contraseña	Apellidos
REGISTRAR	Cédula
ACCEDER	Email
	Contraseña
	REGISTRAR

Fuente: Autores

Es importante aclarar que los usuarios apenas ingresan a la aplicación se encuentran con la ventana de “Iniciar sesión” y los encargados de la interacción son los dos botones que se observan en la Figura 32. Además, se pueden relacionar los campos solicitados para iniciar sesión y para registrar usuarios, los cuales son mencionados en la fase de diseño del proyecto. Después de colocar dichos datos los usuarios pueden continuar a la siguiente ventana de la aplicación a través del botón “ACCEDER”, de lo contrario se deben obturar el botón de “REGISTRAR” para ser direccionados a la ventana de “Registrar” donde se implementa la lógica de almacenamiento en la base de datos como se puede observar en la Figura 33.

Figura 33. Lógica de almacenamiento en Cloud Firestore.

```
val Users = hashMapOf(
    "Nombres" to nombreEditText.text.toString(),
    "Apellidos" to apellidosEditText.text.toString(),
    "Cedula" to cedulaEditText.text.toString()
)

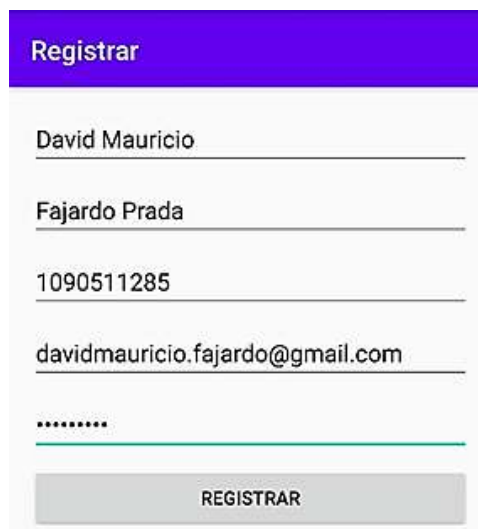
db.collection( collectionPath: "Usuarios").document(emailEditText.text.toString())
    .set(Users)
```

Fuente: Autores.

En la Figura 33 se puede observar un objeto llamado "Users" el cual contiene los campos de los nombres, apellidos y cédula. El campo del correo electrónico también se almacena en Cloud Firestore, sin embargo, no se encuentra relacionado en dicho objeto porque es utilizado como el identificador del documento de cada usuario. En la parte inferior de la Figura, se puede relacionar la función encargada de crear la colección de los usuarios a través de una variable "db", la cual está encargada de instanciar la conexión con Cloud Firestore. Asimismo, en dicha función se relaciona el documento con su identificador, que consiste en el campo del correo electrónico de los usuarios y finalmente le envía el objeto "Users" que hace referencia al contenido del documento.

A continuación, se realiza una prueba para verificar el correcto funcionamiento del registro de usuarios. En la Figura 34 se muestran los datos ingresados en la aplicación.

Figura 34. Prueba de registro.



The image shows a mobile application registration screen. At the top, there is a purple header with the word "Registrar" in white. Below the header, there are five input fields with light blue borders and rounded corners. The first field contains "David Mauricio", the second "Fajardo Prada", the third "1090511285", and the fourth "davidmauricio.fajardo@gmail.com". The fifth field contains seven dots, representing a password. At the bottom of the form, there is a grey button with the text "REGISTRAR" in black capital letters.

Fuente: Autores.

En la Figura 35 parte (a) se pueden observar los datos registrados en el servicio de autenticación y en la Figura 35 parte (b) se visualizan los datos almacenados en Cloud Firestore. Dichos datos son consultados por medio de la página web de Firebase.

Figura 35. Visualización de los datos en Firebase.



Fuente: Autores.

Después de iniciar sesión el usuario se encuentra con la ventana de selección de dispositivos Bluetooth. La implementación de Bluetooth se realiza mediante la librería BluetoothJhr, que provee las herramientas necesarias para la recepción de información transmitida por el módulo de transmisión, así como también se encarga de generar el listado de dispositivos emparejados en el teléfono móvil. En dicha ventana se debe elegir el dispositivo seleccionado en la fase de diseño (HC-05) para realizar el acople con el módulo de transmisión. En la Figura 36 se puede observar la generación de la lista de dispositivos.

Figura 36. Prueba de funcionamiento del Bluetooth.

HealthApp	
HC-05	00:18:E4:40:00:06
HC-06	00:18:E4:34:F6:79
BT speaker	00:58:50:00:2A:AF

Fuente: Autores.

Finalmente, cuando se selecciona el dispositivo Bluetooth y no se genera ningún inconveniente en la conexión, el usuario es direccionado a la ventana principal de la aplicación, donde puede observar las mediciones realizando los procesos mencionados en la fase de implementación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales. En la Figura 37 se muestra la ventana principal cuyos valores de los signos vitales se encuentran inicialmente en NA (no asignados).

Figura 37. Ventana principal de la aplicación.



Fuente: Autores.

4. VALIDACIÓN.

En esta sección se realizan las pruebas que validan el correcto funcionamiento del prototipo de monitoreo de signos vitales. El desarrollo de la sección está comprendido por la validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales. Posteriormente, se realiza la integración con el módulo de transmisión y por último, el acople de todos los módulos en funcionamiento. Finalmente, con todos los módulos acoplados se realiza una prueba en función de la distancia a la cual se encuentra el módulo electrónico y el módulo de transmisión con respecto a la aplicación móvil del módulo de visualización.

4.1 Validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales.

La validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales se encuentra orientada a poder visualizar las características de precisión de los sensores. Como se menciona en la fase de requerimientos en lo posible las pruebas están orientadas a realizarse comparando diferentes dispositivos comerciales. Sin embargo, la única variable a la cual no se le puede realizar una prueba con otro dispositivo es la saturación de oxígeno. Adicionalmente, se calcula la desviación estándar mediante la función “DESVESTAP ()” proporcionada por Excel.

4.1.1 Frecuencia cardiaca.

Para realizar la validación de los datos de frecuencia cardíaca se realiza una comparación entre los datos obtenidos por el sensor MAX30102, tensiómetro digital Lemman y el smartwatch Yamay. A continuación, en la Tabla 23 se muestran los resultados de las mediciones realizadas sobre una persona con los tres dispositivos y en la última columna se calcula la desviación estándar.

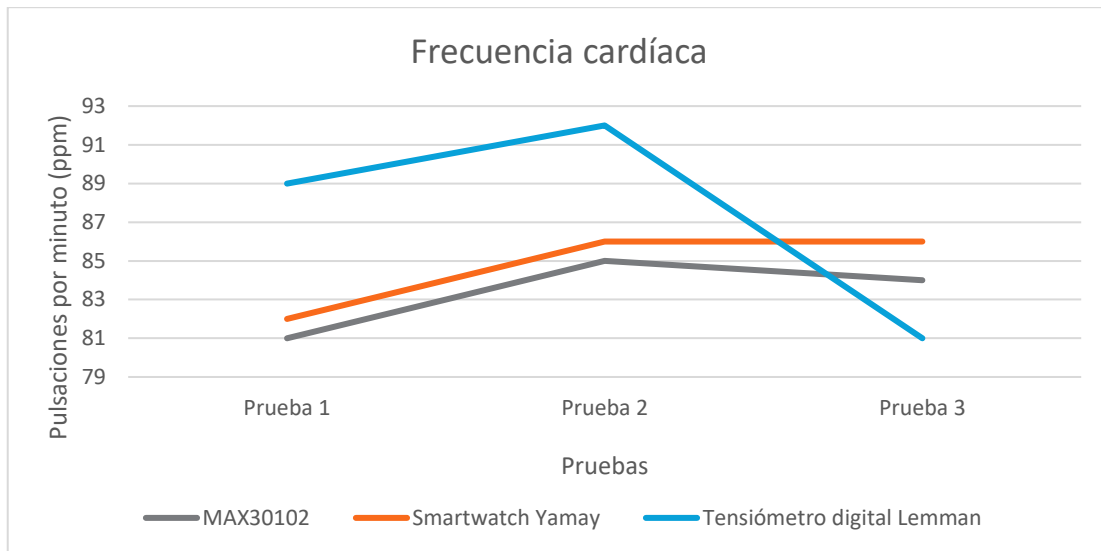
Tabla 23. Resultados prueba frecuencia cardíaca.

Dispositivo / Prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Desviación estándar
MAX30102	81 ppm	85 ppm	84 ppm	1.6996
Smartwatch Yamay	82 ppm	86 ppm	86 ppm	1.8856
Tensiómetro digital Lemman	89 ppm	92 ppm	81 ppm	4.6427

Fuente: Autores.

Como se puede observar en la Tabla 23, el dispositivo MAX30102 fue el que obtuvo el menor valor de desviación estándar, lo que significa que presenta una menor dispersión de datos respecto a los demás dispositivos comparados. En la Grafica 1 se realiza una relación entre los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas.

Gráfica 1. Comparación de mediciones entre dispositivos de frecuencia cardíaca.



Fuente: Autores.

En la Figura 36 se observan los resultados obtenidos en cada uno de los dispositivos para la prueba número uno.

Figura 38. Resultados frecuencia cardíaca de los dispositivos.



Fuente: Autores.

4.1.2 Saturación de oxígeno en la sangre.

Teniendo en cuenta lo planteado previamente sobre las pruebas de saturación de oxígeno, se realizan las mediciones con el MAX30102 a tres personas diferentes en estado de reposo. A continuación, se observan los resultados obtenidos en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultados saturación de oxígeno en la sangre.

Persona / Prueba	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Persona 1	93 %	93 %	94 %
Persona 2	93 %	94 %	94 %
Persona 3	93 %	93 %	93 %

Fuente: Autores.

De los resultados que se presentan en la Tabla 24, se concluye que los datos de saturación de oxígeno en la sangre son similares entre cada una de las mediciones, donde las variaciones generadas son casi nulas independientemente de la persona.

4.1.3 Temperatura

El valor de temperatura del sensor DS18B20 fue comparado con el valor generado por un termostato XH - W1209, un termómetro de mercurio y un termómetro digital de marca genérica. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 25 donde adicionalmente se coloca en la última fila el valor de la desviación estándar de las mediciones.

Tabla 25. Resultados prueba de temperatura.

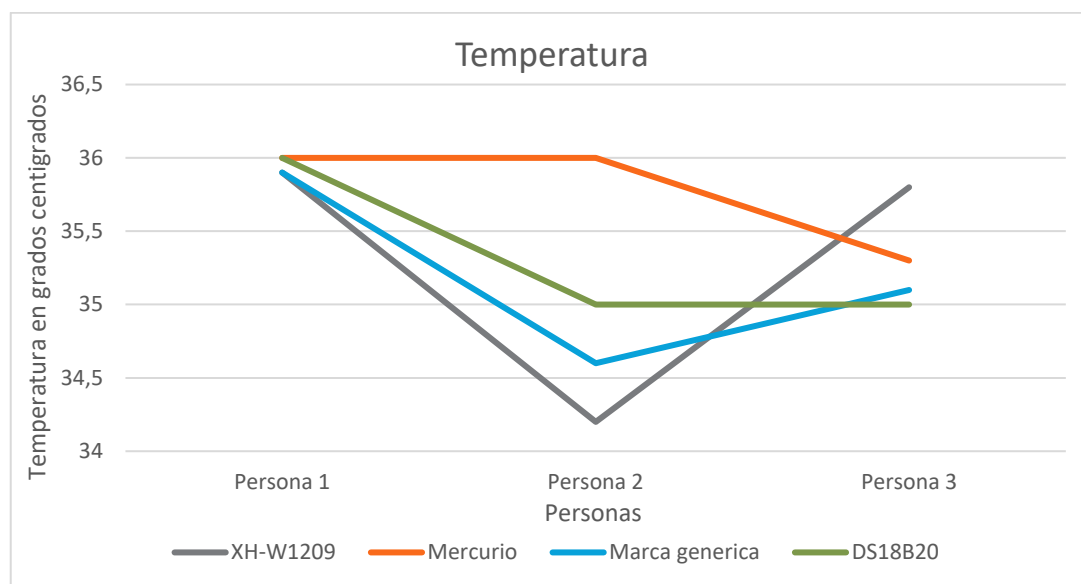
Personas /Termómetro	XH - W1209	Mercurio	Marca genérica	DS18B20
Persona 1	35.9 ° C	36 ° C	35.9 ° C	36 ° C
Persona 2	34.2 ° C	36 ° C	34.6° C	35 ° C
Persona 3	35.8 ° C	35.3 ° C	35.1 ° C	35 ° C
Desviación estándar	0.7788	0.3299	0.5354	0.4714

Fuente: Autores.

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 25, el sensor DS18B20 posee una desviación estándar que lo ubica en la segunda posición donde solo es superado por

el termómetro de mercurio. En la Grafica 2 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes sensores.

Gráfica 2. Comparación de mediciones entre dispositivos de temperatura.



Fuente: Autores.

4.1.4 Huella dactilar

Para validar el sensor de huella dactilar AS608, en primera instancia se registran las huellas de tres (3) personas. Posteriormente, la validación consiste en que cada persona coloqué su dedo sobre el sensor tres (3) veces para comprobar el número de aciertos, es decir, que identifica correctamente que le huella registrada. Los resultados se evidencian en la Tabla 26, donde “O” significa que el sensor identifica la huella y “X”, si ocurrió alguna incongruencia.

Tabla 26. Resultados prueba de huella dactilar.

Personas/Pruebas	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Persona 1	O	O	O
Persona 2	O	O	O
Persona 3	O	O	O

Fuente: Autores

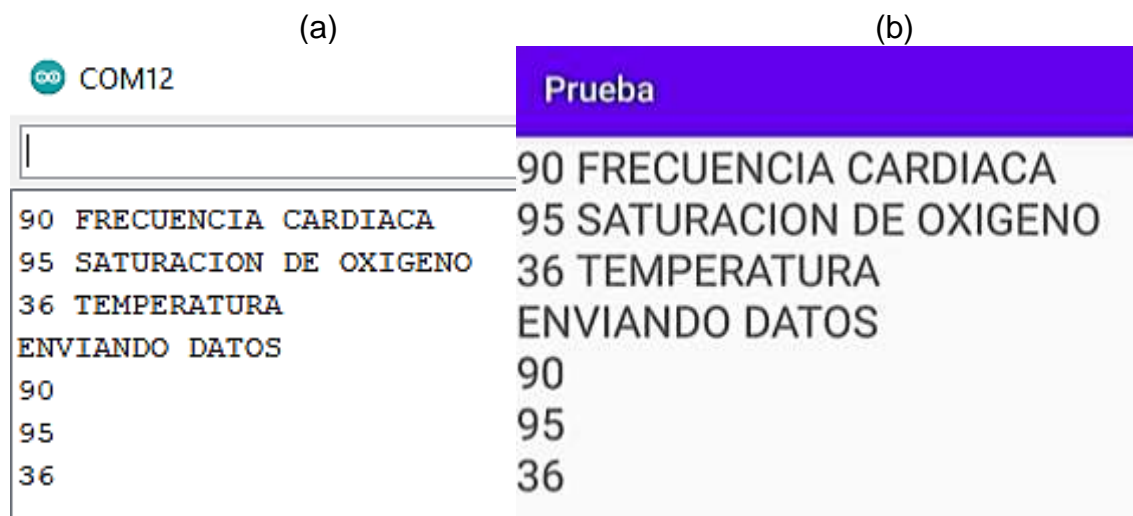
En la Tabla 26, se puede apreciar que, para todas las pruebas realizadas a cada una de las personas, no se generó ninguna incongruencia. Por lo tanto, se concluye que el sensor opera satisfactoriamente el 100% de las veces, independientemente de la

persona que lo utilice. Sin embargo, para mantener las características de precisión del sensor, es importante señalar que cada vez que se termina una identificación, se recomienda limpiar la superficie del dispositivo para evitar tener cualquier tipo de material que interrumpa el correcto funcionamiento.

4.2 Validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales y el módulo de transmisión.

La validación del módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales y el módulo de transmisión se realiza mediante la implementación de la librería BluetoothJhr en una aplicación de prueba realizada en Android Studio. Dicha aplicación de prueba consiste en una ventana con un campo de texto para recibir los valores provenientes de la tarjeta de desarrollo. La Figura 39 muestra una prueba de transmisión de datos mediante el uso de la aplicación de prueba. En la parte (a) se puede observar el monitor serial en el IDE de Arduino y en la parte (b) los resultados obtenidos desde la aplicación de prueba.

Figura 39. Prueba de transmisión de datos.



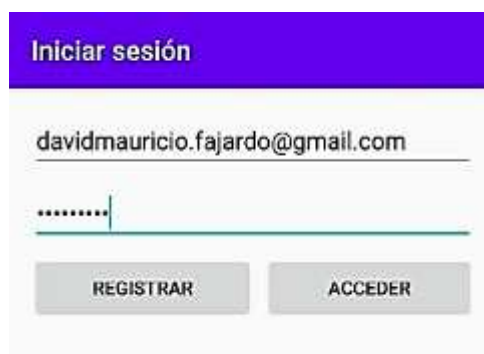
Fuente: Autores.

Teniendo como referencia la Figura 39, al comparar los resultados obtenidos, es posible observar que los valores mostrados en el monitor serial son equivalentes a los recibidos en la aplicación de prueba. Por lo tanto, se concluye el adecuado funcionamiento del módulo encargado de obtener los signos vitales y el módulo de transmisión, asegurando una captación y transmisión íntegra de los datos.

4.3 Validación del prototipo de monitoreo de signos vitales.

La validación del prototipo de monitoreo de signos vitales incluye el acople de todos los módulos presentes en el trabajo de grado. En primera instancia se realiza la validación del usuario en el módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales mediante la huella dactilar. Posteriormente el usuario debe empezar a realizar las mediciones de los signos vitales en el orden descrito en la fase de implementación. Cuando el usuario termina de tomarse los signos vitales, debe entrar a la aplicación móvil instalada en su teléfono móvil y colocar los datos necesarios para el ingreso como se observa en la Figura 34. Si el usuario se encuentra registrado en la base de datos, como se muestra en la Figura 40, podrá acceder. De lo contrario tendrá que realizar el proceso de registro como se indica en la fase de implementación y la Figura 34.

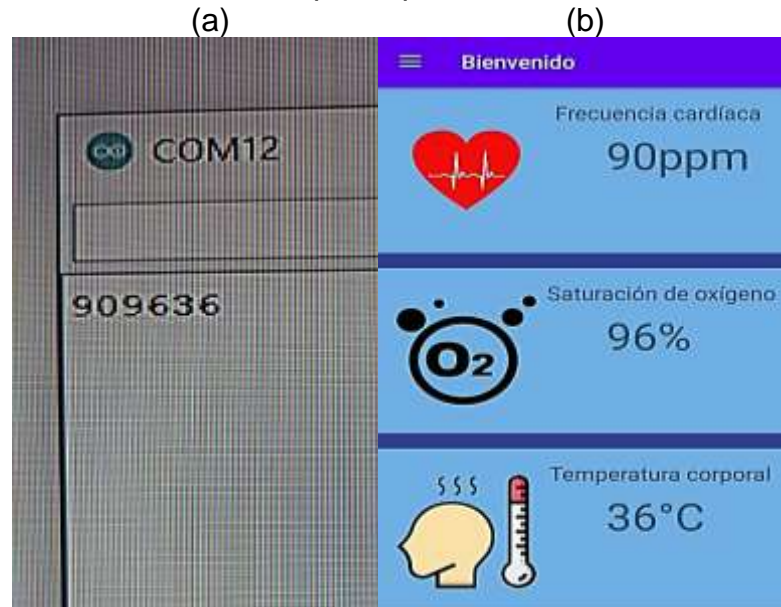
Figura 40. Inicio de sesión a la aplicación.



Fuente: Autores.

Sí los datos de inicio de sesión son incorrectos, colocará en pantalla una ventana emergente con un mensaje de error, indicando que el proceso no se completó satisfactoriamente. De lo contrario en la aplicación se muestra la ventana de selección del dispositivo Bluetooth como se observa en la Figura 36. En la ventana de selección del dispositivo se debe obturar el módulo HC 05 y consecuentemente quedará en la ventana principal de la aplicación donde puede visualizar los datos recibidos. Para finalizar el proceso y poder recibir los datos en la aplicación, el usuario debe colocar de nuevo la huella en el sensor y de esta forma indica el inicio de transmisión de los valores sensados. En la Figura 41 (a) se muestra el monitor serial del IDE de Arduino donde se indican los valores medidos por el usuario y en la Figura 41 (b) se evidencia la pantalla de la aplicación con la recepción de dichos valores.

Figura 41. Resultados validación del prototipo de monitoreo.

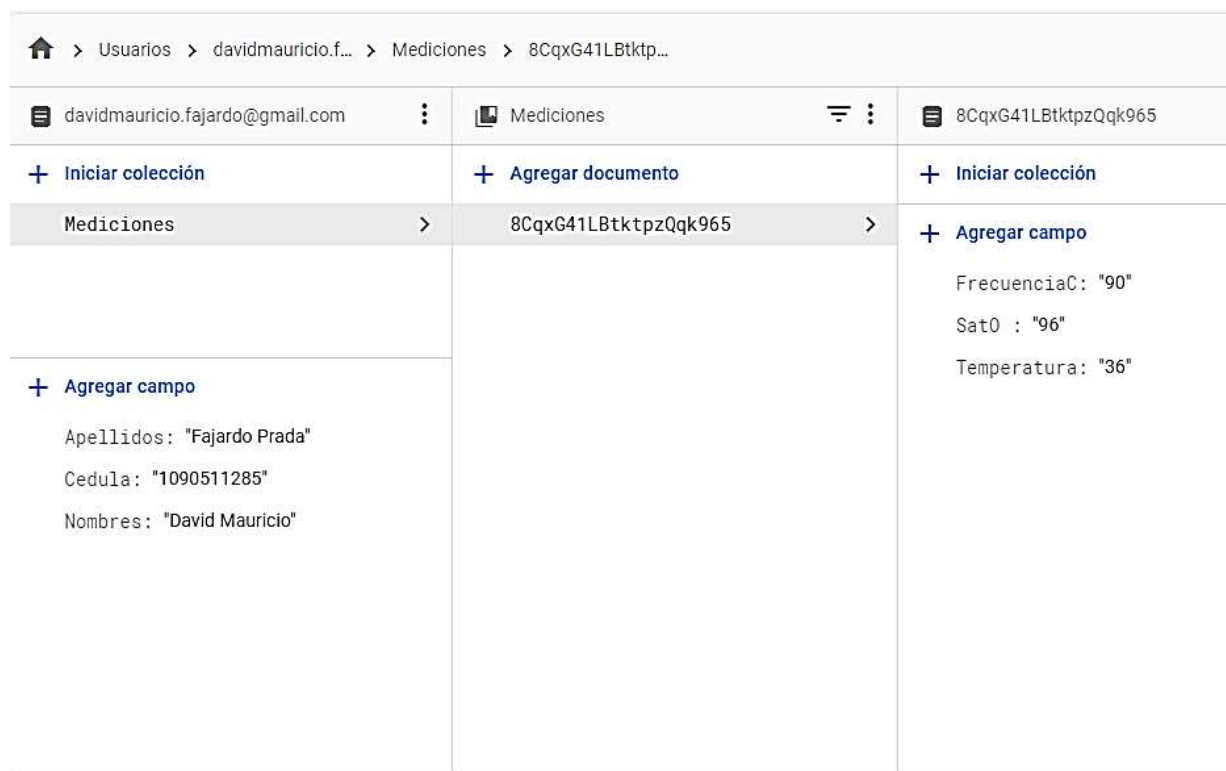


Fuente: Autores.

En la Figura 41, también se puede apreciar que el monitor serial simplemente muestra los datos como una secuencia de números, debido a que, en la aplicación móvil la configuración de visualización con los nombres de los signos vitales se encuentra programada de forma estática, lo que permite dividir y asignar los valores de las mediciones en orden de su llegada. Además, con base a los resultados obtenidos se concluye la correcta integridad de transmisión de la información, donde después de que el usuario coloca por última vez la huella en el sensor AS608 para transmitir, se obtiene un lapso aproximadamente de tres (3) segundos para que todos los valores correspondientes a los signos vitales estén asignados en los respectivos campos de la aplicación.

Finalmente, cuando todos los valores de los signos vitales están disponibles para los usuarios en la aplicación móvil, se ejecuta la función de creación de la subcolección y documento que almacena el registro de la medición. La Figura 42 representa los resultados obtenidos en la página web de Firebase de la creación de la subcolección y documento.

Figura 42. Creación de la subcolección y documento.



Fuente: Autores.

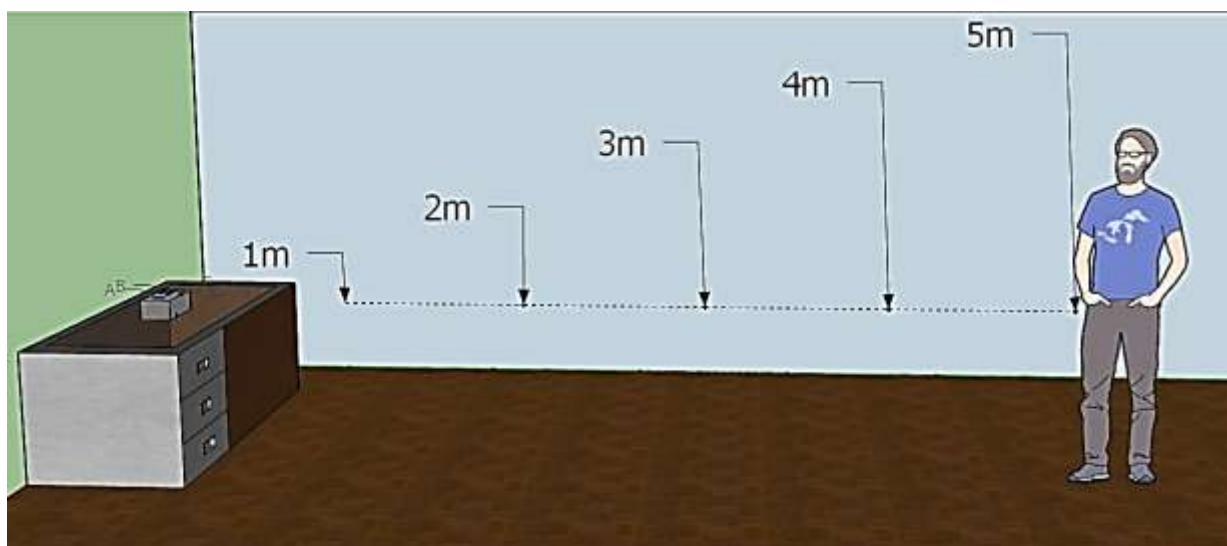
Como se puede observar en la Figura 42, los resultados de los signos vitales de los usuarios se almacenan en un documento, de la nueva subcolección de “Mediciones”. Dicho documento tiene un “id” generado automáticamente por Firebase y compuesto por valores alfanuméricos. Contrastando los resultados obtenidos en la Figura 41 y la Figura 42, se puede concluir que existe una transmisión y recepción congruentes de los datos en cada uno de los diferentes medios, es decir, que a pesar de que los datos son transmitidos en primera instancia por la tecnología Bluetooth y posteriormente a través de Internet, no sufren ninguna transformación. Asegurando de esta forma el funcionamiento del prototipo acoplado desde el módulo electrónico encargado de obtener los signos vitales hasta la parte de almacenamiento en la base de datos del módulo de visualización. Como dato a considerar es importante resaltar que el tiempo de transmisión entre la aplicación móvil y la base de datos Cloud Firestore es de aproximadamente dos (2) segundos.

4.4 Validación de transmisión a diferentes distancias.

Para ejecutar la validación de transmisión se deben realizar unas pruebas que consisten en aumentar la distancia a la que se encuentra la aplicación móvil del módulo electrónico y el módulo de transmisión. El objetivo de realizar dichas pruebas es

determinar la distancia máxima de transmisión donde se conserva la integridad de visualización entre los datos obtenidos en cada uno de los módulos previamente descritos. En la Figura 43 se muestra una representación del área de estudio utilizada para estas pruebas, donde se puede observar una línea de vista directa de cinco metros.

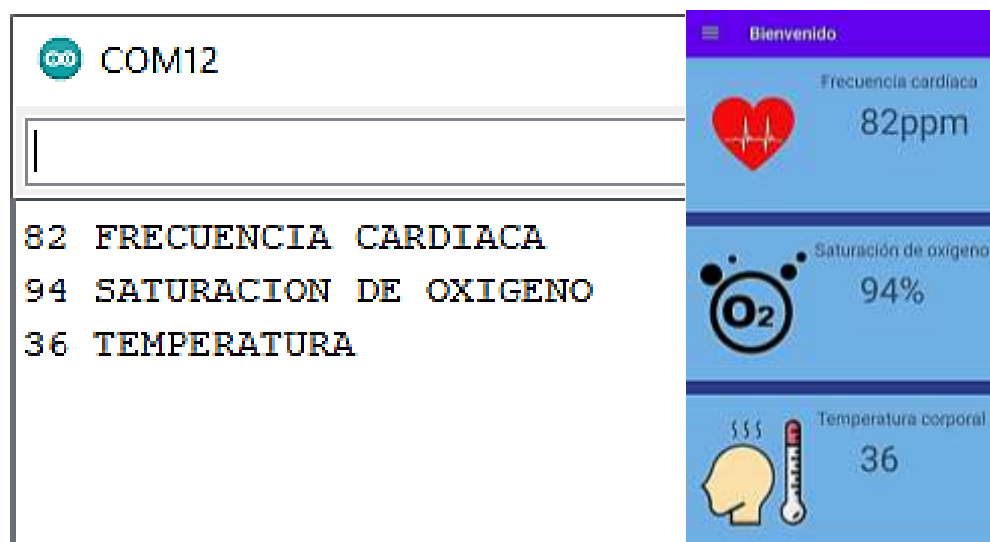
Figura 43. Área de pruebas de transmisión.



Fuente: Autores.

Como se muestra en la Figura 43, las pruebas desarrolladas consisten en establecer la conexión entre el módulo Bluetooth y el teléfono móvil, para comparar los datos de las mediciones que se obtienen tanto en el monitor serial y la aplicación móvil, como se muestra en la Figura 44. En la Tabla 27 se evidencian los resultados obtenidos donde los Valores MS son los registrados en el dispositivo y visualizados a través del monitor serial y los Valores AM hace referencia a los datos visualizados desde la aplicación móvil. Cuando un valor no puede ser visualizado correctamente se denota con la letra "E", de error en la transmisión.

Figura 44. Resultados prueba de transmisión.



Fuente: Autores.

Tabla 27. Resultados prueba de distancia transmitida.

Distancia	Pruebas con obstáculos						Pruebas sin obstáculos					
	Valores MS			Valores AM			Valores MS			Valores AM		
	ppm	%	°C	ppm	%	°C	ppm	%	°C	ppm	%	°C
1m	90	94	37	90	94	37	90	98	36	90	90	36
2m	95	93	37	95	93	37	87	97	36	87	97	36
3m	71	94	37	71	94	37	88	96	37	88	96	37
4m	80	93	37	E	E	E	71	94	37	71	93	37
5m	95	93	37	E	E	E	72	94	37	71	E	E

Fuente: Autores.

De la Tabla 27, se puede concluir que a una distancia de tres metros (3m) la aplicación móvil con línea de vista directa o con obstáculos, recibe de forma íntegra el 100% de los signos vitales. Asimismo, se puede evidenciar que, con línea de vista directa a una distancia de cuatro metros (4m) la aplicación puede seguir recibiendo los signos vitales con las mismas características.

5. DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Tabla 28. Costos del proyecto.

Para el cálculo de los honorarios se tiene en cuenta el costo de \$ 25.000/hora para los estudiantes y \$ 35.000/hora para el director de trabajo de grado. Los resultados se establecen en diez (10) horas de trabajo semanal por los estudiantes y cuatro (4) horas de trabajo semanal por el director. Todo ello, por un tiempo total de dieciséis (16) semanas.

Elemento	Valor Final (COP)
Sensor MAX30102	\$ 26.180
Sensor DS18B20	\$ 5.000
Sensor AS608	\$ 54.000
Tarjeta de desarrollo Arduino	\$ 75.900
Tensiómetro de muñeca CK100	\$ 70.000
Honorarios	\$ 6'240.000
Materiales	\$ 60.000
Imprevistos	\$ 50.000
Valor Total	\$ 6'581.080

Fuente: Los Autores.

6. CONCLUSIONES.

Con el desarrollo de este trabajo de grado se pudo concluir que en el ámbito mundial y particularmente en el colombiano, existen diversos factores que afectan a los servicios de urgencias, generando el hacinamiento de personas en dichas instituciones. Por lo tanto, es indispensable generar alternativas que permitan mejorar la calidad de atención de los colombianos, situación que ha tomado mayor fuerza debido a la complejidad causada por los estrictos protocolos de salubridad generados en torno a la pandemia que actualmente se presenta. Por esta razón, en el presente proyecto se desarrolla un prototipo de monitoreo de signos vitales remoto que permita a las personas de forma autónoma la medición de las variables, evitando el contacto directo que se tiene con el personal de la salud, lo que permite contribuir a la situación actual.

A partir del desarrollo del prototipo se pueden generar diferentes aplicaciones donde las personas desde sus hogares pueden medirse los signos vitales. Por ejemplo, las personas que posean enfermedades crónicas que requieran un seguimiento constante de los signos vitales utilizados en el contexto del proyecto de grado. Asimismo, es un prototipo que puede contribuir al sistema Ehealth, de forma que permita colaborar con la vigilancia remota, situación que beneficia escenarios como la pandemia que se presenta actualmente. Por último, temas relacionados con la medicina preventiva a través de la recolección y análisis de los datos de las personas para disminuir los riesgos asociados al desarrollo de diversas enfermedades.

A pesar de que en el mercado existen bastantes dispositivos que permiten sensor y almacenar los signos vitales de las personas, es importante resaltar que por ahora comercialmente no existe un único dispositivo que los integre todos. Por lo tanto, el prototipo desarrollado en el presente proyecto genera dicho factor diferenciador, además de permitir la funcionalidad de ser utilizado por más de una persona. Dicha funcionalidad se realiza por medio de una distinción a partir de la huella dactilar de cada usuario del prototipo. Finalmente, con base a las características de los dispositivos seleccionados para obtener los signos vitales, el prototipo generado presenta un reducido costo que permite ser adquirido por un mayor grupo de personas.

En cuanto a la transmisión de los signos vitales, se concluye que después de enviar los datos desde la tarjeta de desarrollo a la aplicación móvil instalada en el dispositivo, el tiempo que tarda en recibir la información es menor a 2 segundos. Esto genera una interacción inmediata, lo que puede proveer al prototipo características de usabilidad en cada una de las aplicaciones previamente mencionadas.

En términos de la visualización de la información, el uso de Android Studio como IDE de desarrollo permite alcanzar unas mejores capacidades de personalización en la aplicación, debido a todas las funcionalidades que provee. Adicionalmente, es la herramienta oficial para el desarrollo de aplicaciones en dicho sistema operativo.

Por otra parte, Firebase en su servicio gratuito permite un límite mensual de escritura y borrado de hasta 600.000 operaciones y un límite de lecturas de hasta 1.500.000 operaciones. Además, la característica de cobro por utilidad de demanda es una gran ventaja para la escalabilidad de la aplicación, debido a que solo se pagaría por los rangos que superen las operaciones previamente descritas.

7. TRABAJOS FUTUROS.

Como trabajos futuros se propone integrar a la solución algoritmos de inteligencia artificial o aprendizaje automático, tales como: aprendizaje supervisado, no supervisado, por refuerzo o profundo. Esto con el objetivo de tener la capacidad de clasificar a las personas en una categoría de Triage, a partir de las mediciones de los signos vitales de entrada en la base de datos.

Una de las desventajas de los prototipos electrónicos es el gran tamaño que pueden acarrear, debido a las características de la tarjeta de desarrollo, así como también, los dispositivos encargados de obtener los signos vitales. Por lo tanto, se plantea implementar el diseño de un producto electrónico que cumpla con los requisitos de tamaño reducido estipulados por el mercado, a través de la generación de un PCB multicapa, como también un dispositivo que pretenda una certificación de comercialización en diversos países. Además, se pueden mejorar las características del dispositivo con sensores que posean una mayor precisión, así como también con el uso de tecnologías de montaje superficial (SMT), que permitan mejores atributos en relación con el tamaño del producto.

En el tema de manejo de usuarios y almacenamiento de la información, se pretende realizar una evaluación de los recursos que se consumirían mensualmente un número estimado de usuarios. Esto por medio de la calculadora de costos de cada plataforma en la nube, con el propósito de analizar la escalabilidad de cada una de ellas, con relación al costo que puedan acarrear. Por último, con base a los resultados obtenidos, seleccionar la plataforma que mejor se adapte a las características del proyecto

Mejorar el desempeño de la aplicación móvil a través de la implementación de una arquitectura de software que permita optimizar los requerimientos. Asimismo, optar por la definición y aplicación de atributos de calidad, que propicien la generación de un registro exitoso del software.

Realización del estudio de patentabilidad, con el objetivo de analizar la viabilidad de patentar el prototipo y perseguir la realización de un producto electrónico que pueda ser comercializado. Además, se pueden realizar pruebas con diferentes usuarios para conocer la experiencia y mejorar las características del dispositivo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABO-ZAHHAD, M; AHMED, S; ELNAHAS, O. A wireless emergency telemedicine system for patients monitoring and diagnosis, *International Journal of Telemedicine and Applications*. 2014, Vol. 2014, p. 11. ISSN: 380787.
- Appt. What is preventative healthcare? And, why is it important? [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://www.appt-health.co.uk/category/faqs-what-is-preventative-healthcare>
- ARROW ELECTRONICS. A000073 | Arduino Uno Rev3 SMD. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.arrow.com/es-mx/products/a000073/arduino-corporation>
- AUSTRALIAN COLLEGE FOR EMERGENCY MEDICINE, Triage. [En línea]. Recuperado en 2019-10-17. Disponible en: <https://acem.org.au/Content-Sources/Advancing-Emergency-Medicine/Better-Outcomes-for-Patients/Triage>.
- BAHENA, K; TU, M. WBAN SECURITY MANAGEMENT IN HEALTHCARE ENTERPRISE ENVIRONMENTS. *EMBRY-RIDDLE Aeronautical*: 2016. [En línea]. Recuperado en 2020-02-10. Disponible en: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1368&context=adfs>
- BLUETOOTH. Why the Future is Blue. 2018. [En línea]. Recuperado en 2020-07-10. Disponible en: <https://www.bluetooth.com/blog/why-the-future-is-blue/>
- Brittanica. *Internet computer network*. [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://www.britannica.com/technology/Internet>
- CERVANTES, J; REYES, J; BRACHO, G. DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA SU USO COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL PERSONAL MÉDICO E LA GRADACIÓN DE TRIAJE PARA PACIENTES EN LOS SERVICIOS DE URGENCIAS BASADO EN SUS SIGNOS VITALES, 2017. [En línea]. Recuperado en 2019-10-26. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2390/239057355006/movil/index.html>
- CENTRAL STATION. Compare Amazon AWS vs. Google Firebase vs. Microsoft Azure. [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: https://www.itcentralstation.com/products/comparisons/amazon-aws_vs_google-firebase_vs_microsoft-azure
- CIGNA, Temperatura corporal. 2019. [En línea]. Recuperada en 2020-03-12. Disponible en: <https://www.cigna.com/individuals-families/health-wellness/hw-en-espanol/pruebas-medicas/temperatura-corporal-hw198785>

- CLINICA MAR CARIBE. GUIA PARA EL TRIAGE DE URGENCIAS. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-23. Disponible en: <https://dokumen.tips/reader/f/guia-para-el-triage-de-urgencias-clinica-mar-caribe-medicina-o-enfermeria-el>
- COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 00005596 (Bogotá D.C, 2015). Por la cual se definen los criterios técnicos para el Sistema de Selección y Clasificación de pacientes en los servicios de urgencias "Triage". En: MinSalud. Diciembre, 2015. p. 1-5.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 5261 de 1994. Por la cual se establece el Manual de Actividades, Intervenciones y Procedimientos del Plan Obligatorio de Salud en el Sistema General de Seguridad Social en Salud. En: MINISTERIO DE SALUD. 5 Agosto, 1995. p. 1 – 138.
- Dräger. La importancia de la temperatura corporal central Fisiopatología y métodos de medición. [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://www.draeger.com/Library/Content/t-core-bk-9101301-es-1604-1.pdf>
- DR. LASKOWSKI, E. ¿Cuál es la frecuencia cardiaca normal en reposo? MAYO CLINIC: 2019. [En línea]. Recuperado en 2020-04-12. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979>.
- EL TIEMPO, CLASIFICACION DE LOS HOSPITALES. 26 Julio 1997. [En línea]. Recuperado en 2019-10-26. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-627858>.
- GOMEZ, J; RAMON, P; PARDO C. MANUAL para la IMPLEMENTACIÓN de un SISTEMA de TRIAJE para los CUARTOS de URGENCIAS, Washington DC, 2011. p. 60. ISBN 978-92-75-33165-1.
- GERBER, A; CRAIG, C. Learn Android Studio Build Android Apps Quickly and Effectively [En línea]. Recuperado en 2020-09-21. Disponible en: http://barbaracoco.dyndns.org/student/learning_android_studio.pdf
- HOSPITAL UNIVERSITARIO GREGORIO MARAÑÓN, MEDICIÓN DE SIGNOS NEUROLÓGICOS (ESCALA DE GLASGOW), Madrid, 2011. [En línea]. Recuperado en: 19-10-26. Disponible en: <http://www.agapap.org/druagapap/system/files/EscalaGlasgow.pdf>
- HOSPITAL MARCO FELIPE AFANADOR. Protocolo de Triage. 2017. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: <http://hospital-marco-felipe>

afanador-de-tocaima.micolombiadigital.gov.co/sites/hospital-marco-felipe-afanador-de-tocaima/content/files/000126/6253_pt-de-triage.pdf

- HERNANDEZ, C; RODRIGUEZ, J; ROMERO GARAVITO, A; The prototype of IoT Technological Infrastructure for Monitoring Vital Signs in Patients in an Emergency Department. 2018. p. 7.
- HP. Bluetooth wireless technology basics. 2004. [En línea]. Recuperado en 2020-05-10. Disponible en: <http://www.hp.com/ctg/Manual/c00186949.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE CIBERSEGURIDAD. Cloud computing. Una guía de aproximación para el empresario, España. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: https://www.incibe.es/sites/default/files/contenidos/guias/doc/guia_ransomware_metad.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER. Frecuencia cardiaca. [En línea]. Recuperado en 2020-04-13. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/frecuencia-cardiaca>
- I+D ELECTRÓNICA. Sensor de temperatura a prueba de agua DS18B20 - Cable 2MTS. Recuperado en 2020-10-09. [En línea]. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-sensores-de-temperatura-sondas-de-temperatura-a-prueba-de-agua-ds18b20-dfrobot-1273-detail>
- I+D Electrónica. Modulo Bluetooth HC-05. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/comunicaciones/bluetooth/modulo-bluetooth-hc05-tarjetas-modulos-de-con-comunicaci%C3%B3n-bluetooth-maestro-esclavo-detail>
- LA VANGUARDIA. Proliferan los dispositivos que monitorizan nuestra actividad física diaria. [En línea]. Recuperado en: 2020-11-23. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20131110/54393940782/dispositivos-monitorizan-actividad-fisica.html>
- LAB 1.1 CLIENT / SERVER BÁSICS. ¿WHAT IS A WEB SERVER? [En línea]. Recuperado en 2020-10-02. Disponible en: <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/0130225347/samplechapter/0130225347.pdf>

- Mactronica. MODULO LECTOR DE HUELLA FINGER PRINT AS608. [En línea]. Recuperado en 2020-06-12. Disponible en: <https://www.mactronica.com.co/modulo-lector-de-huella-finger-print-as608>
- MAXIM SUPPORT. DIFFERENCES BETWEEN THE MAX30100, MAX30101, AND MAX30102. [En línea]. Recuperado en 2020-05-16. Disponible en: <https://maximsupport.microsoftcrmporals.com/en-us/knowledgebase/article/000099832>
- MERCADO LIBRE. Tensiómetro Digital Ck De Muñeca, Para Presión Arterial [En línea]. Recuperado en 2020-04-20. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensiometro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-_JM?quantity=1
- MINISTERIO DE SALUD. Calidad de atención en salud. 2005. [En línea]. Recuperado en 2020-03-02. Disponible: <https://www.minsalud.gov.co/salud/CAS/Paginas/calidad-atencion-en-salud-home.aspx>
- MINISTERIO DE SANIDAD Y POLÍTICA SOCIAL. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA DE URGENCIAS Y EMERGENCIAS (SEMES). Manual de indicadores de calidad para los Servicios de Urgencias de hospitales. 2ª ed. Madrid. 2009. [En línea]. Recuperado en 2020-03-02. Disponible: <https://www.msbs.gob.es/organizacion/sns/planCalidadSNS/docs/UUH.pdf>
- MINSALUD. USO E INTERPRETACIÓN DE LA OXIMETRÍA DE PULSO. 2016. [En línea]. Recuperado en 2020-01-10. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/uso-interprtn-oximetria-pulso.pdf>
- OMS. TELEMEDICINE Opportunities and developments in Member States. 2010. [En línea]. Recuperado en 2019-11-01. Disponible en: https://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf
- OMS. mHealth New horizons for health through mobile technologies. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: https://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf
- ORJUELA, D; VARON, M. PROTOTIPO DE EQUIPO PARA APOYO A LA EVALUACIÓN DE TRIAGE PARA LA SECRETARÍA DE SALUD, 2018. [En línea]. Recuperado en 2019-10-25. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13460/1/OrjuelaFlorezDanielFelipe2018.pdf>

- PENAGOS, S; SALAZAR, L; VERA, F. CONTROL DE SIGNOS VITALES CAPITULO XV. Bogota. Fundacion cardioinfantil. p. 1465 – 1473.
- PETERS, K; et al. E-health, health care. Britannica. 2007. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-12. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/e-health>
- RASHEDUL, M; MAZUMDER, T. Mobile application and its global impact. Research Gate: 2010.
- RIVERA, L; RIVERA, M.; SANCHEZ, J. Interfaz para unificar el sistema de triage en un servicio de urgencias médicas. 2014. [En línea]. Recuperado en: 2019-10-23. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6868572>
- ROSE, K; ELDRIDGE, S. CHAPIN, L. La Internet de las cosas – una breve reseña. INTERNET SOCIETY: octubre de 2015. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2015/iot-overview>
- SOLER, W; GOMEZ MUÑOZ, M; BRAGULAT, E. El triaje: herramienta fundamental en urgencias y emergencias. 2010. Vol. 33. P. 55-68. ISSN 1137-6627.
- SANITAS, ¿Qué es la tensión arterial? [En línea]. Recuperado en 2020-03-04. Disponible en: [https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/cardiologia/salud cardiovascular/sin012200wr.html](https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/cardiologia/salud%20cardiovascular/sin012200wr.html).
- TUDELA, P; MODOL, J. La saturación en los servicios de urgencias hospitalarios, Barcelona, 2015. Vol. 27, Nº. 2. p. 113-120. ISSN 1137-6821.
- Techopedia. Microcontroller. [En línea]. Recuperado en 2020-01-20. Disponible en: <https://www.techopedia.com/definition/3641/microcontroller>
- THE VERGE. There are now 2.5 billion active Android devices. 2019. [En línea]. Recuperado en 2020-09-02. Disponible en: <https://www.theverge.com/2019/5/7/18528297/google-io-2019-android-devices-play-store-total-number-statistic-keynote>
- XU, B; XU, L. CAI, H. et al. Ubiquitous data accessing method in iot-based information system for emergency medical services, IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014, vol. 10, p. 1578-1586.