



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Sistema de alerta y atención primaria para personas

con sintomatología de COVID-19, usando una

implementación basada en Internet of Healthcare

Things aplicado a Lima

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

AUTORES

Daniela Carina Pierina BENAVIDES SALVATIERRA

Yessenia Marycruz LUNAREJO GONZALES

ASESOR

Mg. Jorge Leoncio GUERRA GUERRA

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Benavides, D. & Lunarejo, Y. (2023). *Sistema de alerta y atención primaria para personas con sintomatología de COVID-19, usando una implementación basada en Internet of Healthcare Things aplicado a Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios autor/ asesor

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Daniela Carina Pierina Benavides Salvatierra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72112001
URL de ORCID	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Yessenia Marycruz Lunarejo Gonzales
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47499055
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Leoncio Guerra Guerra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08473333
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2392-7821
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Alfredo Herrera Quispe
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40362859
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Raúl Marcelo Armas Calderón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07156168
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.3. Tecnología de la Información y Comunicación
Grupo de investigación	Internet de las Cosas
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.0431800 Longitud: -77.0282400
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2021 – Octubre 2022
URL de disciplinas OCDE	Informática y Ciencias de la Información https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.02.00 Bioinformática https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.02.03 Otras ingenierías y tecnologías https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas

Acta Virtual de Sustentación de Tesis

Siendo las 19:00 horas del día 17 de noviembre del año 2023, se reunieron virtualmente los docentes designados como miembros de Jurado de Tesis, presidido por el Dr. José Alfredo Herrera Quispe, Ing. Raúl Armas Calderón (Miembro) y el Mg Jorge Leoncio Guerra Guerra (Miembro Asesor), usando la plataforma Meet (<https://meet.google.com/ufd-nhyi-fxi>), para la sustentación Virtual de la tesis Intitulada: **"SISTEMA DE ALERTA Y ATENCIÓN PRIMARIA PARA PERSONAS CON SINTOMATOLOGÍA DE COVID-19, USANDO UNA IMPLEMENTACIÓN BASADA EN INTERNET OF HEALTHCARE THINGS APLICADO A LIMA"**, de la Bachiller: **Yessenia Marycruz Lunarejo Gonzales**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó a la Bachiller a responder las preguntas formuladas por los Miembros del Jurado.

El Bachiller, en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez las preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros del Jurado, la bachiller obtuvo la nota de diecisiete (17)

A continuación, el Presidente del Jurado Dr. José Alfredo Herrera Quispe, declara a la Bachiller **Ingeniero de Sistemas**.

Siendo 20:30: horas, se levantó la sesión.



Firmado digitalmente por HERRERA
QUISPE José Alfredo FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.11.2023 12:02:46 -05:00

Dr. José Alfredo Herrera Quispe
Presidente

Ing. Raúl Armas Calderón
Miembro

Mg Jorge Leoncio Guerra Guerra
Miembro Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas**

Acta Virtual de Sustentación de Tesis

Siendo las 19:00 horas del día 17 de noviembre del año 2023, se reunieron virtualmente los docentes designados como miembros de Jurado de Tesis, presidido por el Dr. José Alfredo Herrera Quispe, Ing. Raúl Armas Calderón (Miembro) y el Mg Jorge Leoncio Guerra Guerra (Miembro Asesor), usando la plataforma Meet (<https://meet.google.com/ufd-nhyi-fxi>), para la sustentación Virtual de la tesis Intitulada: **"SISTEMA DE ALERTA Y ATENCIÓN PRIMARIA PARA PERSONAS CON SINTOMATOLOGÍA DE COVID-19, USANDO UNA IMPLEMENTACIÓN BASADA EN INTERNET OF HEALTHCARE THINGS APLICADO A LIMA"**, de la Bachiller: **Daniela Carina Pierina Benavides Salvatierra**; para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó a la Bachiller a responder las preguntas formuladas por los Miembros del Jurado.

La Bachiller, en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez las preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros del Jurado, la bachiller obtuvo la nota de diecisiete (17)

A continuación, el Presidente del Jurado Dr. José Alfredo Herrera Quispe, declara a la Bachiller **Ingeniero de Sistemas**.

Siendo 20:30 horas, se levantó la sesión.



UNMSM

Firmado digitalmente por HERRERA
QUISPE José Alfredo FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.11.2023 12:02:32 -05:00

Dr. José Alfredo Herrera Quispe
Presidente

Ing. Raúl Armas Calderón
Miembro

Mg Jorge Leoncio Guerra Guerra
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



Yo **Jorge Leoncio Guerra Guerra** en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Directoral N°00007-2021-EPISI-FISI de la tesis/monografía/informe de investigación/trabajo académico, cuyo título es **Sistema de alerta y atención primaria para personas con sintomatología de COVID-19, usando una implementación basada en Internet of Healthcare Things aplicado a Lima Metropolitana**, presentado por las bachilleres /magíster/egresado/licenciado/estudiante **Daniela Carina Pierina BENAVIDES SALVATIERRA** y **Yessenia Marycruz LUNAREJO GONZALES** para optar el grado/título/especialidad de Ingeniero de Sistemas CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 6 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites Correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor

DNI:

08473333

Nombres y apellidos del asesor:

Jorge L. Guerra G



Este trabajo está dedicado a mi madre, quien estuvo siempre brindándome su amor y apoyo en cada palabra de aliento para llegar a culminar mi profesión; este logro es más tuyo que mío. A mi padre, ya que a pesar de las dificultades ha sabido enseñarme a salir adelante y a no rendirme. Y por último a Kamila, Christian y Puppy por acompañarme en aquellos momentos en donde el estudio y el trabajo sobrepasaron mi tiempo y esfuerzo.

Daniela Carina Pierina
Benavides Salvatierra

Este trabajo está dedicado a mis padres Pilar y Milcerio quienes con su amor, paciencia y apoyo incondicional me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Finalmente, quiero dedicar esta tesis a Cuto que me acompañó en cada paso de este camino.

Yessenia Lunarejo Gonzales

AGRADECIMIENTOS

Extendemos nuestros más sinceros agradecimientos a nuestros padres y familiares, cuyo apoyo incondicional y motivación constante nos ha impulsado a seguir avanzando sin descanso en cada momento. Con amor, responsabilidad, respeto y tenacidad, nos han alentado a abrazar cada reto con la certeza de que podemos superarlo.

Deseamos expresar nuestro profundo reconocimiento a nuestro asesor de tesis, Jorge Guerra Guerra, quien ha sido un faro de orientación inquebrantable y un tesoro de conocimiento invaluable. Durante las clases de pregrado, así como en las reuniones para el avance y la conclusión de nuestra presente investigación, nos ha brindado su apoyo incondicional, guiándonos con experiencia y compromiso.

Nuestros profesores merecen un lugar especial en nuestra gratitud, pues han sido guías incansables en nuestra travesía educativa. Con sabiduría y paciencia, nos han moldeado y orientado en nuestro crecimiento como profesionales en formación.

No podemos olvidar a todas aquellas personas cuyo apoyo ha sido indirecto, pero igualmente valioso en la culminación de este trabajo. A cada uno de ustedes, nuestras más sinceras gracias. Cada aporte, cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo han sido hilos invisibles que han tejido el tapiz de nuestro éxito.

En este punto de reflexión, miramos atrás con humildad y hacia adelante con determinación. El camino recorrido ha estado lleno de desafíos y recompensas, y a medida que avanzamos hacia nuevos horizontes, llevamos con nosotros la profunda gratitud por aquellos que han sido parte fundamental de nuestro viaje. Con los corazones llenos de gratitud, decimos: ¡muchas gracias a todos!"

RESUMEN

Desde principios del 2020, debido a la crisis global de salud provocada por el COVID-19 y los fallidos intentos de controlar la propagación del virus, en el Perú, actualmente existe una gran demanda de monitoreo de pacientes con infección sintomática y asintomática por coronavirus. Por este motivo, esta investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema de alerta y atención primaria para personas con sintomatología COVID-19. Los datos obtenidos a partir del monitoreo se visualizarán en tiempo real mediante un sistema de control, que permitirá alertar debidamente al paciente y al médico si se detectan valores anormales. La implementación será basada en *Internet of Healthcare Things* (IoHT) donde se utilizarán sensores que captarán la información y se transmita de forma inalámbrica. Esta investigación propone establecer un sistema de alerta temprana que permita detectar en forma oportuna la ocurrencia de un problema de salud relacionado por coronavirus. Dicha solución permitirá reaccionar rápidamente y establecer en tiempo real una llamada a los servicios médicos para una actuación acertada acorde a la magnitud del problema encontrado. La propuesta es innovadora dado que el modelo se basará en IoHT. Se espera que con la implementación se disponga de un diagnóstico temprano de la enfermedad.

Palabras Claves: COVID-19, *Internet of Healthcare Things*, Sensores, Sistema de alerta.

ABSTRACT

Since the beginning of 2020, due to the global health crisis caused by COVID-19 and the failed attempts to control the spread of the virus, in Peru, there is currently a great demand for monitoring patients with symptomatic and asymptomatic coronavirus infection. For this reason, this research aims to develop an alert and primary care system for people with COVID-19 symptoms. The data obtained from the monitoring will be displayed in real time through a control system, which will be able to duly alert the patient and the doctor if abnormal values are detected. The implementation will be based on the Internet of Healthcare Things (IoHT) where sensors will be used to capture the information and transmit it wirelessly. This research proposes to establish an early warning system that allows detecting in a timely manner the occurrence of a health problem related to coronavirus. This solution will allow us to react quickly and establish in real time a call to the medical services for a correct action according to the magnitude of the problem encountered. The proposal is innovative since the model will be based on IoHT. It is hoped that with the implementation an early diagnosis of the disease will be available.

Keywords: COVID-19, Internet of Healthcare Things, Sensors, Alert system.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLAS.....	12
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Definición del problema	19
1.3 Hipótesis	20
1.4 Justificación	20
1.5 Objetivos.....	20
1.5.1 Objetivo principal.....	20
1.5.2 Objetivos secundarios	21
1.6 Alcance de la solución	21
1.7 Propuesta de la solución	21
1.7.1 Diagrama de concepto.....	21
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	23
2.1 Sistema de alerta y atención primaria:	23
2.2 IOHT	23
2.3 COVID-19	25
2.4 Sensores biomédicos:.....	25
2.4.1 MAX 30102	26
2.4.2 ESP32.....	27
2.5 Amazon Web Services - AWS.....	27
2.5.1 AWS Lambda.....	28
2.5.2 AWS Client VPN	29

2.5.3 Amazon S3 Glacier	29
2.5.4 Amazon OpenSearch.....	30
2.5.5 AWS OpenSearch Dashboards	30
2.5.6 Amazon SNS	31
2.6 React Native.....	31
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE	34
3.1 Técnica planteada: Monitoreo de la salud mediante chip personalizado.....	34
3.2 Técnica planteada: Uso de <i>machine learning</i> e IohT para cuidado de salud.	39
3.3 Técnica propuesta: Uso de IoHT para el cuidado de la salud en un sistema de alerta temprana.....	43
CAPÍTULO 4: APOORTE TEÓRICO	46
4.1 Comparativa de tecnologías.....	46
4.1.1 Definición de métricas de evaluación	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2 Definición de ponderados para cada factor	47
4.1.3 Matriz de evaluación	48
4.1.4 Conclusión de la evaluación.....	49
4.2 Metodología de solución.....	49
4.2.1 Requerimientos del sistema.....	49
4.3 Casos de uso del sistema.....	50
4.3.1 Captura de datos biomédicos del paciente	51
4.3.2 Envío de los datos a nube	51
4.3.3 Mostrar datos medidos del paciente	52
4.3.4 Procesamiento de los datos históricos para la emisión del pronóstico.....	52
4.4 Diagrama del sistema/componentes.....	53
CAPÍTULO 5: APOORTE PRÁCTICO.....	55
5.1 Diagrama de la solución	55
5.2 Arquitectura de la solución <i>cloud</i>	56

5.3	Conexión del circuito.....	58
5.4	Implementación del sistema.....	60
5.4.1	Codificación en Arduino	60
5.4.2	Aplicación Móvil	62
5.4.3	Modelo de datos	68
5.4.4	Implementación <i>Cloud</i>	69
5.5	Trabajos Futuros	75
5.6	Validación.....	75
5.7	Resultados de las muestras (<i>t-student</i>).....	80
5.8	Factibilidad Económica	81
5.8.1	Cálculo de VAN (Valor Actual Neto)	82
5.8.2	Cálculo de TIR (Tasa Interna de Retorno)	83
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		85
6.1	Conclusiones.....	85
6.2	Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cantidad de contagiados confirmados por Covid-19 en Lima Metropolitana en el período de marzo 2020 - enero 2022. Fuente: Propia	18
Figura 2: Cantidad de fallecidos confirmados por Covid-19 en Lima Metropolitana en el periodo de abril 2020- enero 2022. Fuente: Propia.....	19
Figura 3: Arquitectura general del sistema. Fuente: Propia	22
Figura 4: Ilustración de la arquitectura de IoHT. Fuente: (Muneer y otros, 2019).....	24
Figura 5: Redes BAN y PAN. Fuente: Propia.....	25
Figura 6: Sensor MAX 30102. Fuente: (Maxim Integrated Products Inc., 2018)	27
Figura 7: Microcontrolador ESP32. Fuente: (Revelivan, y otros, 2019)	27
Figura 8: Ejemplo de homologación de funciones en React Native. Fuente: (Meta Platforms, Inc., 2022).....	32
Figura 9: Lista de componentes principales en React Native homologados. Fuente: (Meta Platforms, Inc., 2022)	33
Figura 10: Diagrama de arquitectura para el monitoreo de salud. Fuente (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).	36
Figura 11: Diagrama del sistema integrado. Fuente (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).	37
Figura 12: Lectura de la saturación de oxígeno, temperatura y ritmo cardíaco. Fuente: (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).	38
Figura 13: Diagrama del modelo de predicción para la red IoT. Fuente: (Pavleen, Ravinder y Munish, 2019)	42
Figura 14: Precisión lograda para las diferentes enfermedades. Fuente:(Pavleen, Ravinder y Munish, 2019)	43
Figura 15: Arquitetura general del sistema. Fuente: Propia.....	54
Figura 16: Arquitetura del sistema. Fuente: Propia	56
Figura 17: Arquitectura de la solución cloud. Fuente: Propia	57
Figura 18: Conexión del circuito de medición. Fuente: Propia	58
Figura 19: Circuito de medición implementado. Fuente: Propia	59
Figura 20: Programa en el IDE Arduino. Fuente: Propia.....	60
Figura 21: Consola del IDE Arduino. Fuente: Propia.....	61

Figura 22: Mensaje de validación del sensor en la consola del IDE Arduino. Fuente: Propia	61
Figura 23: Imágenes de la aplicación móvil – Inicio de la aplicación. Fuente: Propia	63
Figura 24: Imágenes de la aplicación móvil – Módulo de Triage. Fuente: Propia	64
Figura 25: Código fuente para recibir datos vía <i>bluetooth</i> . Fuente: Propia	65
Figura 26: Imágenes de la aplicación móvil – Pantalla de monitoreo de signos vitales. Fuente: Propia	66
Figura 27: Imágenes de la aplicación móvil – Pantalla de notificación. Fuente: Propia	67
Figura 28: Modelo de datos. Fuente: Propia	68
Figura 29: Vista de consola de información general de instancia OpenSearch Service. Fuente: Propia	69
Figura 30: Instancia OpenSearch Service activa. Fuente: Propia	70
Figura 31: Vista principal de consola OpenSearch Dashboards. Fuente: Propia.....	70
Figura 32: Asignación de políticas en servicio Identity & Access Management. Fuente: Propia	71
Figura 33: Vista principal de consola OpenSearch Dashboards. Fuente: Propia.....	72
Figura 34: Revisión de estatus para nodos de datos, de acuerdo con parámetros operativos diversos. Fuente: Propia	72
Figura 35: Security checks para cluster de OpenSearch Service. Fuente: Propia.....	73
Figura 36: Descripción de <i>stack</i> tecnológico para clúster de OpenSearch Service. Fuente: Propia	73
Figura 37: Revisión de tabla indexada mediante <i>query</i> SQL por API Call en OpenSearch Service. Fuente: Propia.....	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Variación de la saturación de oxígeno con la altitud. Fuente: (Ministerio de Salud del Perú, 2019).....	15
Tabla 2 : Matriz de evaluación de tecnologías. Fuente: Creación Propia	48
Tabla 3: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 1. Fuente: Propia	75
Tabla 4: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 2. Fuente: Propia	76
Tabla 5: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 3. Fuente: Propia	76
Tabla 6: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 4. Fuente: Propia	76
Tabla 7: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 5. Fuente: Propia	77
Tabla 8: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 6. Fuente: Propia	77
Tabla 9: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 7. Fuente: Propia	78
Tabla 10: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 8. Fuente: Propia	78
Tabla 11: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 9. Fuente: Propia	79
Tabla 12: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 10. Fuente: Propia.	79
Tabla 13: Resultados del análisis comparativo del Oxímetro del Circuito desarrollado Vs El oxímetro Comercial. Fuente: Propia.	80
Tabla 14: Resultados del análisis comparativo del Ritmo cardíaco del Circuito desarrollado Vs el Ritmo cardíaco con el sensor Comercial. Fuente: Propia.	81
Tabla 15: Cotización de los recursos de la solución propuesta. Fuente: Propia.	81
Tabla 16: Flujo de caja del proyecto de implementación de la solución propuesta. Fuente: Propia.	82

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

A finales de diciembre del 2019, se identificó un nuevo coronavirus como el agente causal de un grupo de casos de neumonías en Wuhan - China, la Organización Mundial de la Salud en febrero de 2020 lo determina como coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo severo, SARS-CoV-2 (Phelan, y otros, 2020), desde ese momento se extendió rápidamente en China, seguida de un número creciente de casos en todo el mundo, generando la pandemia y emergencia sanitaria actual.

En el Perú, el estado de emergencia Nacional y Sanitaria se estableció desde el 11 de marzo del 2020, según (Minsa, 2020) debido a que la Constitución Política del Perú indica que todos tienen derecho a la protección de su salud, ésta se convirtió en la razón principal por la que se tomaron tempranas acciones de urgencia. Si bien estas medidas añadieron tiempo valioso para coordinar y equipar mejor el sistema de salud e impedir un aumento explosivo de la tasa de contagios, de acuerdo con (CEPLAN, 2020) se evidenció la falta de recursos y servicios médicos a lo largo del territorio, con mayor impacto en las provincias del país.

Por otro lado, el avance tecnológico y el apoyo a las investigaciones relacionadas al tema de la salud tomaron mayor importancia durante esta situación de emergencia a nivel mundial (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020). De acuerdo con el reporte sobre el uso domiciliario de Pulsioxímetro de (Essalud, 2020), en un contexto particular como el peruano es razonable el uso domiciliario de un pulsioxímetro de dedo, en un paciente del tipo leve y con sospecha de riesgo, para realizar el monitoreo.

El objetivo de la presente investigación consiste en implementar un sistema de alerta y atención primaria¹ que permita tener una primera interacción, rápida desde el hogar, con el paciente con sintomatología COVID y así solicitar el nivel de atención acorde a la gravedad de la situación, de este modo los servicios y recursos médicos serán gestionados eficientemente reduciendo el tiempo de atención.

¹: Esto se explica en el capítulo 2, sección 1. Página 23.

1.1 Antecedentes

El virus SARS-CoV-2 que causa la COVID-19 puede transmitirse por contacto con personas infectadas mediante secreciones respiratorias que se producen al toser, estornudar o hablar; según (OMS, 2020) dentro del grupo de personas que presentan síntomas, alrededor del 80% se recuperan sin necesidad de un tratamiento hospitalario; un 15% desarrollan un cuadro grave de la enfermedad para el que requieren de oxígeno asistido y el 5% genera un cuadro crítico el que precisa de cuidados intensivos.

Como medida de control temprano de la enfermedad se pueden adquirir dispositivos comerciales que realicen el monitoreo del paciente, la medición del nivel de oxígeno en la sangre, actualmente el dispositivo más utilizado es el pulsioxímetro, el cual debe colocarse en uno de los dedos de las manos sin esmalte o en el lóbulo de la oreja del paciente, sea este adulto o niño (MINSA, 2021).

De acuerdo con el (Ministerio de Salud del Perú, 2019), los valores regulares de saturación de oxígeno en la región de la costa oscilan entre 92 % y 99 %, mientras que el rango de valores de la región sierra, entre 96 % y 83 %, además el intervalo de la frecuencia cardíaca debe encontrarse entre 60 y 100, en el caso que los datos obtenidos no se encuentren en los intervalos mencionados respectivamente significa que es necesaria la asistencia médica inmediata.

Estado de saturación de Oxígeno según la altura sobre el nivel del mar						
m.s.n.m.	0	1000	3000	3400	3600	3900
Normal	93 - 100	92 - 99	88 - 96	87 - 95	84 - 93	83 - 92
Hipoxia Leve	88 - 92	88 - 91	84 - 87	83 - 86	80 - 83	79 - 82
Hipoxia Moderada	85 - 88	84 - 87	80 - 83	79 - 82	76 - 79	75 - 78
Hipoxia Severa	< 85	< 83	< 79	< 78	< 75	< 74

Tabla 1: Variación de la saturación de oxígeno con la altitud. Fuente: (Ministerio de Salud del Perú, 2019)

La actual pandemia presenta la mayor crisis de salud pública mundial desde la influenza de 1918 (Nasajpour, y otros, 2020); desde principios del 2020 el mundo ha estado luchando contra la propagación de este virus y debido a que no se han obtenido resultados aceptables se presenta una gran demanda para la realización del seguimiento del paciente con sintomatología covid-19 (Zhang, y otros, 2020).

Esta crisis, en el Perú, ha evidenciado la insuficiencia de recursos médicos, precariedad de establecimientos y la poca capacidad de respuesta en los servicios de salud a todo ello sumándole la mínima respuesta en la identificación temprana en el primer nivel de atención. Además, el incumplimiento de las medidas de restricción tuvo como consecuencia que el Perú ocupe el sexto lugar entre los países con más casos confirmados (Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, 2020).

Sin embargo, esta deficiencia en recursos y atención en el sector de la salud proviene desde años anteriores. Antes de la llegada de la pandemia, entre el 2000 y 2016, Perú solo destinaba el como máximo un 3.2% del PBI al gasto público en salud frente al 6% que recomienda la Organización Mundial de la Salud, aún en una época económica favorable la mejora del sistema y solución de los problemas no se ha realizado (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2020).

Por lo que se refiere en los avances tecnológicos de estos últimos años, *Internet of Things* (IoT) concentra una gran atención en la resolución de problemas del sector sanitario, donde se reconoce un rol importante de esta tecnología

(Christaki E., 2015). De hecho, la implementación de soluciones basadas en IoT, aplicadas a la situación actual, pueden acelerar la detección a través de la captura de información del paciente como por ejemplo midiendo la temperatura corporal mediante diversos sensores, tomando muestras de casos sospechosos, entre otros (Nasajpour, y otros, 2020).

El estudio de (Abdulrazaq, y otros, 2020) demostró que el uso de un casco inteligente integrado con una cámara térmica frente a las pistolas de termómetro resultó ser más seguro, dado que existe una menor interacción humana; si el casco obtiene valores elevados entonces alerta al móvil asignado, por medio del cual el personal médico correspondiente puede actuar, además se puede incorporar el historial de las ubicaciones de Google para encontrar los lugares más visitados por la persona sospechosa lo cual facilita la identificación de la ruta de propagación del virus.

Así surge *Internet of Healthcare Things* (IoHT), cuyo objetivo consiste en el seguimiento de las variables biomédicas del paciente durante las 24 horas del día, permitiendo un monitoreo constante, el cual mejora la calidad de salud a través de un costo mínimo, haciendo posible que los pacientes puedan realizar un seguimiento a su salud sin la necesidad de acudir al hospital (Uddin, 2019).

En IoHT, los signos vitales del paciente pueden ser monitoreados, los datos recopilados se pueden enviar de forma continua y en tiempo real a un doctor con bajo costo, estas mejoras en la industria de la salud permiten que las personas vivan más tiempo, asimismo ofrece independencia y libertad en casa durante un tiempo mayor a las personas de tercera edad (Zhang, y otros, 2017). Esta tecnología puede detectar, recopilar y almacenar los diferentes tipos de signos corporales mediante sensores biomédicos; la información recolectada es administrada por un programa desarrollado para el terminal de usuario, como relojes inteligentes. La puerta de enlace está conectada a un servidor o nube para procesar los datos y almacenarlos eventualmente (Umar, y otros, 2019).

En conjunto con IoHT se complementa la arquitectura denominada *Body Area Networks* (BAN), que es una red que detecta continuamente los signos vitales

del ser humano, actividades y acciones fisiológicas (Chen, y otros, 2011). Las redes BAN surgieron como una evolución de la WSN tradicional, la evolución se produjo porque WSN no cuenta con los protocolos necesarios para el monitoreo del cuerpo humano. Si bien la Red de Área Personal (PAN) es una colección de sensores colocados en el paciente, estos recolectan una gran cantidad de información, todos estos sensores están conectados a un nodo central formando una pequeña red (Honeine, y otros, 2011). Generalmente la BAN cubre el cuerpo humano, los sensores están en la piel o incorporado en la prenda de vestir. Los estándares utilizados tanto en BAN como en PAN son *Bluetooth* y Redes *ad-hoc*. *Bluetooth* es un sistema de radio inalámbrico de corto alcance y bajo consumo. Las redes *ad-hoc* son redes sin infraestructura que se forman sobre la marcha (es decir, que no dependen de una infraestructura preexistente), es una red bajo demanda (Ban, y otros, 2019).

Debido al avance tecnológico, se tiene una gran cantidad de sensores de monitoreo de salud disponibles en el mercado. Samsung ha presentado *S-health* en teléfonos móviles que pueden calcular los niveles de saturación de sangre y la frecuencia cardíaca, sin embargo, también existen estudios relacionados a sistemas integrados, que permiten realizar la actividad del seguimiento de los datos biomédicos del paciente a un bajo costo, de uso sencillo, portátil y confiable donde permite medir los niveles de saturación de oxígeno en la sangre, la frecuencia del pulso y la temperatura (Guowei, y otros, 2007).

Siguiendo a (Mian, y otros, 2020), medir de forma simultánea más de un parámetro de signo vital para la vida humana resulta necesario y permite actuar de modo preventivo, por ejemplo, el control simultáneo de la frecuencia del pulso y los niveles de saturación de oxígeno en la sangre ayudan a controlar la dificultad para respirar debido a neumonía o ataques cardíacos, mediante la combinación de medicamentos y técnicas de respiración adecuadas se puede aumentar los niveles de saturación de oxígeno en la sangre desde un nivel bajo de saturación hasta el 93%.

Además en la implementación realizada en (Mian, y otros , 2020), los datos capturados por la solución se transmiten vía inalámbrica a internet y al teléfono

móvil del paciente, este sistema está basado en la plataforma de Arduino el cual facilita la implementación enormemente por la cantidad de sensores en el mercado que son compatibles con esta plataforma, posteriormente a la captación de datos, estos son enviados mediante un módulo *bluetooth* HC-05 a la aplicación instalada en el teléfono móvil del paciente y del mismo modo el sistema integrado también carga los datos a una nube pública *Thingspeak* usando el módulo WiFi ESP8266, con la finalidad que la información del paciente pueda ser observada por un personal médico sin necesidad de una visita presencial.

En el Perú desde que inició la pandemia en marzo del 2020 hasta el 19 enero del 2021 (Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y control de enfermedades - MINSA, 2021), se han confirmado 2,512,789 casos positivos y 203,302 fallecidos, como se muestra en la Figura N° 1 y Figura N° 2.

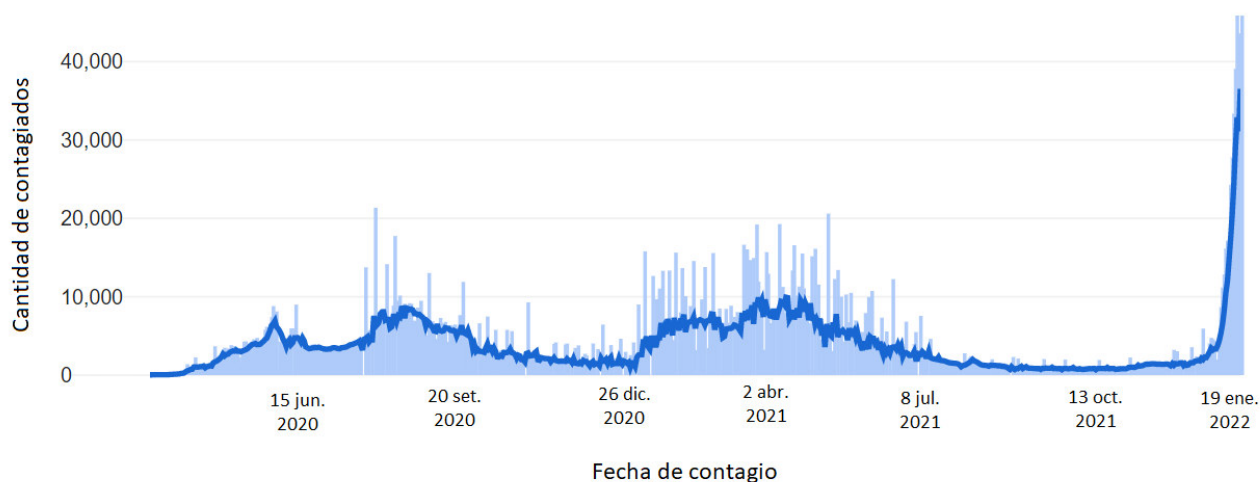


Figura 1: Cantidad de contagiados confirmados por Covid-19 en Lima Metropolitana en el período de marzo 2020 - enero 2022. Fuente: Propia

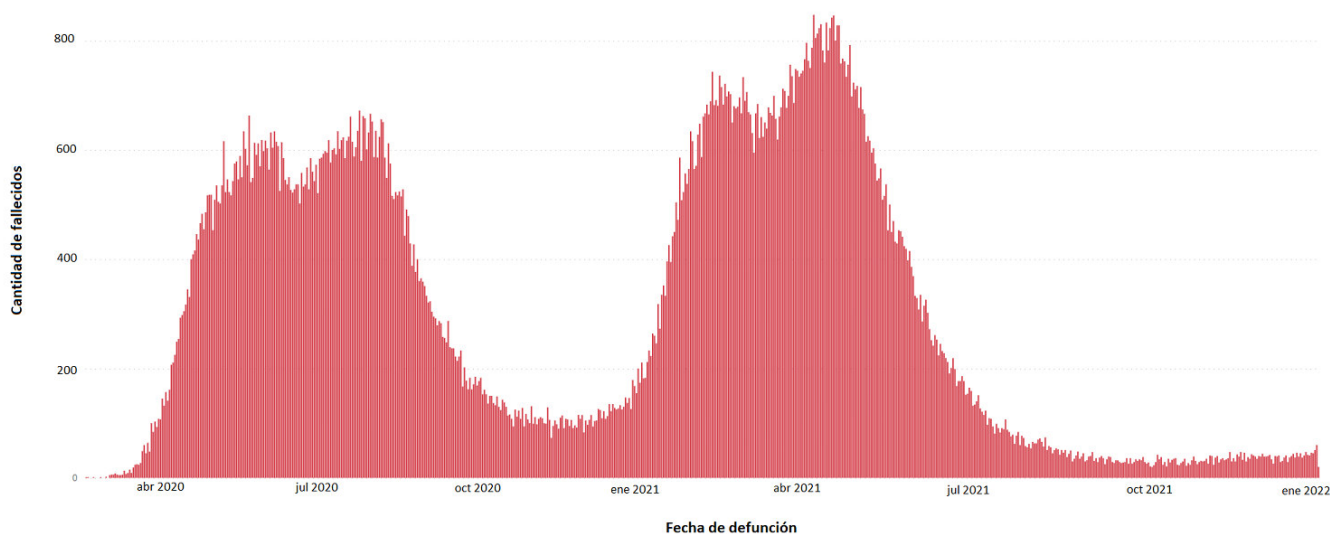


Figura 2: Cantidad de fallecidos confirmados por Covid-19 en Lima Metropolitana en el periodo de abril 2020- enero 2022. Fuente: Propia

1.2 Definición del problema

Según lo observado, la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2 ha evidenciado en el Perú la deficiencia de recursos en el sector salud. Además, la falta de cultura preventiva ha ocasionado que los pacientes COVID-19 acudan de forma tardía al centro de salud, todo ello desemboca en la sobredemanda de personal médico, saturación de camas UCI, falta de oxígeno.

La falta de un sistema de alertamiento temprano para los pacientes que presenta esta enfermedad genera problemas en la atención médica, en la distribución de los recursos, por lo cual, se propone implementar un mecanismo de alerta temprana que pueda diagnosticar los posibles casos de contagio desde el hogar de manera preventiva ya que aceleraría el proceso de atención y disminuiría la sobredemanda de recursos médicos, por ello la definición del problema que se propone es el siguiente. Será posible alertar de forma temprana al personal de salud el estado de un paciente con sintomatología COVID-19 implementando un sistema basado en tecnología IoT.

1.3 Hipótesis

La implementación de la propuesta basada en IoT será utilizada como un mecanismo de alerta temprana para diagnosticar los posibles casos de contagio del virus COVID-19 de manera preventiva, acelerando el proceso de atención médica al iniciarse el monitoreo desde el hogar.

1.4 Justificación

La implementación de esta propuesta permitirá detectar anomalías en el seguimiento al paciente y en el caso que persistan se alertará en forma oportuna y en tiempo real al personal médico pertinente, lo cual suma un nivel de atención primario desde el hogar.

En consecuencia, esta implementación reducirá el tiempo de respuesta por parte del centro de salud y realizará un análisis del tipo de atención que el paciente requiera inclusive antes de que éste se acerque al centro de salud.

Esta implementación utilizará sensores de bajo costo con la finalidad de facilitar la adquisición de este sistema a todos los sectores de la población, reduciendo costos operativos en atenciones de emergencias.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo principal

Implementar un sistema de alerta y atención primaria para personas con sintomatología de COVID-19, aplicando un paradigma basado *en Internet of Healthcare Things* aplicado a Lima Metropolitana.

1.5.2 Objetivos secundarios

Determinar los sensores y el microcontrolador a utilizar en esta investigación.

Construir el módulo integrado que se comunicará con un sistema informático de monitoreo.

Implementar la aplicación móvil la cual permitirá visualizar los valores biomédicos del paciente.

Implementar la solución *cloud* que permitirá el procesamiento de los datos y envío de alerta vía SMS.

1.6 Alcance de la solución

Esta implementación de solución recabará los datos biomédicos de los pacientes con sintomatología COVID-19 considerando el nivel de oxígeno en la sangre y ritmo cardiaco, restringiendo el área de medición a los pacientes que se encuentran en Lima Metropolitana.

1.7 Propuesta de la solución

1.7.1 Diagrama de concepto

Este diagrama refleja a alto nivel la implementación de la investigación, cuál será el recorrido de los datos, posterior a la de los mismos. Manteniendo la integridad de la información en todo momento.

El paciente con sintomatología COVID-19 interactúa con el dispositivo de medición (*wearable*) realizándose el monitoreo de los datos biomédicos, luego de capturados los datos por el sistema, estos son enviados a la aplicación móvil donde visualizarán en tiempo real. Finalmente, los datos serán enviados a la base de datos alojada en la nube, para su almacenamiento y generación del historial estos datos podrán ser visualizados por el personal médico.

En el caso que el paciente obtenga un dato anómalo, será reportado de manera inmediata y se notificará al médico correspondiente.

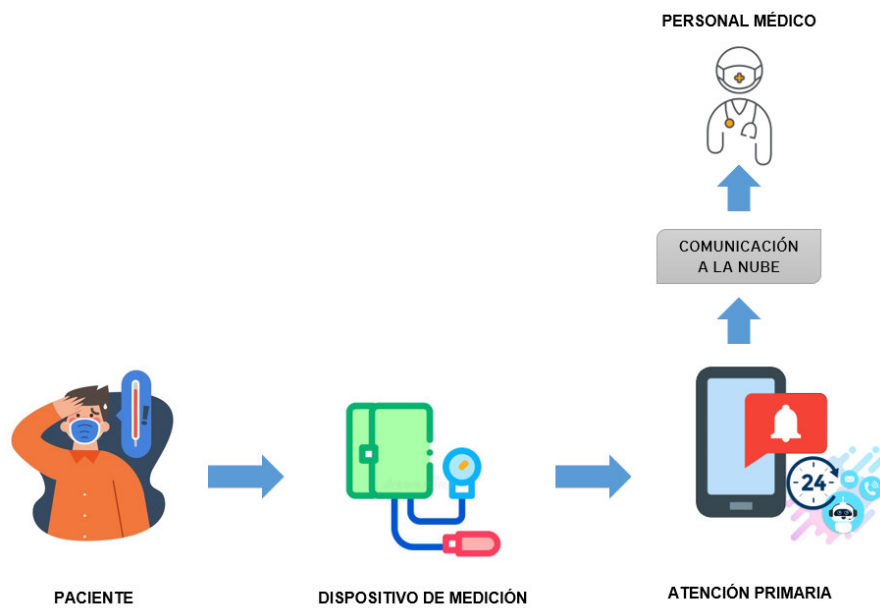


Figura 3: Arquitectura general del sistema. Fuente: Propia

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de alerta y atención primaria:

El uso de este término en la presente investigación hace referencia a un sistema que permite monitorear las variables biomédicas del paciente que utilice el dispositivo implementado en esta investigación con el objetivo de identificar valores anómalos a los regulados y notificar al paciente y contacto de emergencia para una atención oportuna. La atención primaria es fundamental en medio de una crisis como la pandemia de COVID-19, esto se ha visto reflejado en la atención aguda para pacientes con síntomas moderados y críticos por la afección del coronavirus. (Vilaseca y Howe, 2022)

2.2 IOHT

El concepto de *Internet of Things* o Internet de las Cosas (IoT) representa un conjunto de dispositivos interconectados, en cualquier periodo de tiempo y desde cualquier red. Este paradigma de IoT ha generado diversas derivaciones, una de ellas es *Internet of Things Healthcare* (IoHT) o también llamando “IoThNet”, que es el derivado de la Internet de las Cosas en el ámbito de la salud, mediante el uso de IoHT en una implementación el flujo de datos que se transmiten y reciben son datos médicos (M. Riazul y otros, 2015).

Un sistema basado en el Internet de las cosas para el cuidado de la salud presenta una red de sensores que permiten a los pacientes interconectarse, de forma remota, a los centros médicos, (Li y otros, 2017). Estos sensores permiten detectar, medir y almacenar datos de los diferentes signos biomédicos, la información obtenida a partir de dichos sensores es administrada por un programa de software desarrollado para el terminal del usuario; este terminal se comunica a través de protocolos de corto alcance como, por ejemplo, *Bluetooth* o redes de área personal de bajo consumo, hacia un *gateway* y este a su vez se encuentra conectado a una nube o servidor, donde se realiza un tratamiento de los datos como se muestra en la Figura 3 (Muneer y otros, 2019).

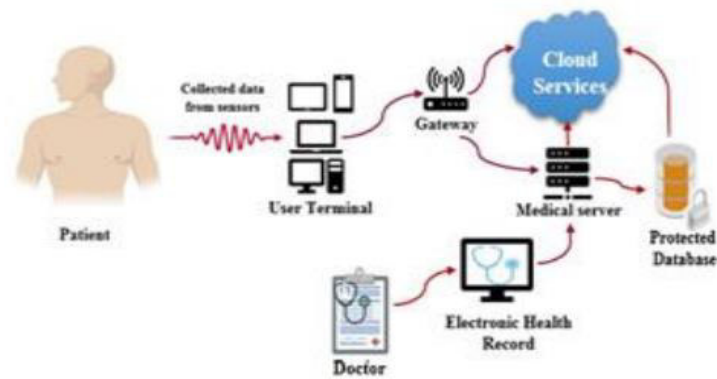


Figura 4: Ilustración de la arquitectura de IoHT. Fuente: (Muneer y otros, 2019).

Implementar un sistema basado en IoHT tiene numerosas ventajas como reducir el tiempo de las visitas médicas, disminuir los costos de acudir al hospital, mejorar la calidad de la atención, entre otros. Sin embargo, también existen desventajas como la seguridad de los datos sensibles que son transmitidos, posible desconexión del servicio del sistema por pérdida de señal o agotamiento de la batería. (Amin y otros, 2019)

Bajo este paradigma, generalmente se utilizan dos arquitecturas de red genéricas: *Body Area Network* (BAN) y *Personal Area Network* (PAN). Las redes BAN continuamente detectan los signos vitales del ser humano, actividades y acciones fisiológicas, estos pueden ser detectados por un dispositivo informático corporal (Chen y otros, 2011). Acerca de la red PAN, ésta es una colección que se coloca alrededor del paciente, estos sensores obtienen gran volumen de información sobre el entorno vital del paciente, en donde estos sensores se encuentran formando una pequeña red. (Mardini y otros, 2019). A continuación, se muestra un gráfico de las redes BAN y PAN.

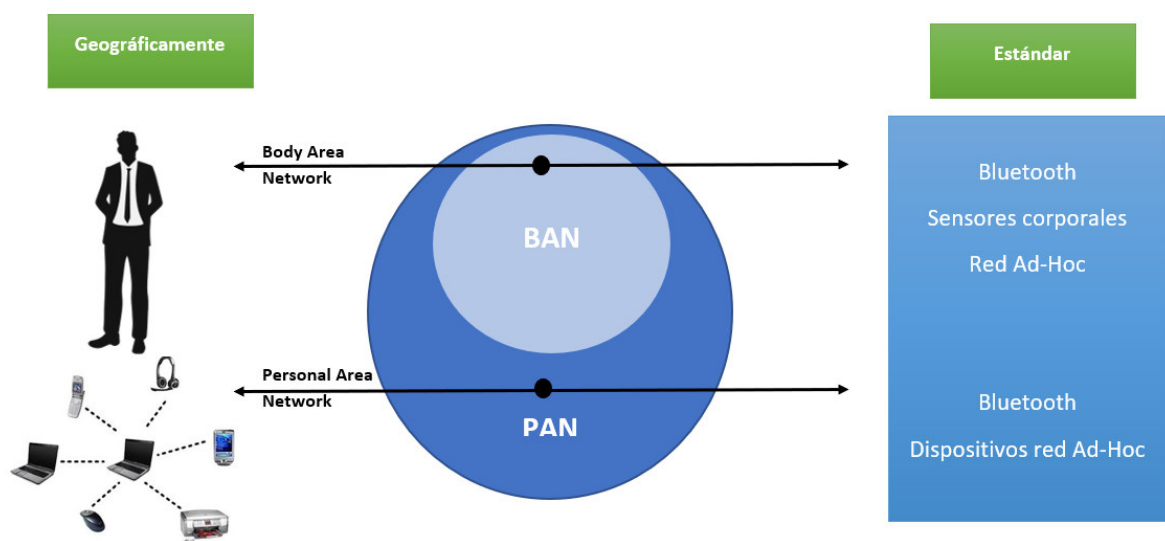


Figura 5: Redes BAN y PAN. Fuente: Propia

Con el propósito de una mejor explicación, se clasifican en:

M-Health, llamado *Mobile Health*, debido al rápido crecimiento, popularidad, disponibilidad y la performance de los dispositivos como celular o tablet se creó esta nueva rama denominada *Mobile-Health* que apoya a la salud médica y pública mediante aplicaciones, se puede definir como la integración de las tecnologías de comunicación y redes móviles (Khan y otros, 2019)

Wearable Things, dispositivos usados en diferentes sectores como seguridad, campo médico, etc. En el campo médico es una revolución usar biosensores con la finalidad de mejorar la calidad de vida (Muner y otros, 2019)

Telehealth-care, Teleasistencia presta servicios a distancia y el monitoreo remoto del paciente. Uno de los mayores beneficios es reducir el costo de visitas rutinarias al doctor (Muner y otros, 2019)

2.3 COVID-19

La COVID-19 es la enfermedad causada por el nuevo coronavirus conocido como SARS-CoV-2. La OMS tuvo noticia por primera vez de la existencia de este nuevo virus el 31 de diciembre de 2019, al ser informada de un grupo de casos de neumonía vírica que se habían declarado en Wuhan. El virus que causa la COVID- 19 se transmite principalmente a través de las gotículas generadas cuando una persona infectada tose, estornuda o espira. Estas gotículas son demasiado pesadas para permanecer suspendidas en el aire y caen rápidamente sobre el suelo o las superficies. (OMS, 2020)

2.4 Sensores biomédicos:

Los sensores o transductores biomédicos son los componentes principales de la instrumentación médica de diagnóstico que se encuentra en muchos consultorios

médicos, laboratorios clínicos y hospitales. Se utilizan de forma rutinaria en tiempo real para realizar un seguimiento continuo invasivo y no invasivo de variables fisiológicas críticas. Estos se destacan por reducir los costos de atención médica, optimizar la eficiencia y brindar una mejor atención en entornos menos costosos sin comprometer la atención del paciente y están dando forma al futuro de la medicina clínica. (Mendelson, 2012)

2.4.1 MAX 30102

Se trata de un aparato que fusiona un pulsioxímetro con un monitor de ritmo cardíaco, resultando en una eficiente combinación de funciones. El consumo de energía de este dispositivo es mínimamente perceptible, lo cual lo convierte en la elección primordial para aplicaciones en movimiento. Su versatilidad lo hace especialmente adecuado para su implementación en herramientas médicas de seguimiento, dispositivos de acondicionamiento físico y una amplia gama de *wearables*.

Este innovador dispositivo amalgama emisores de luz con un sensor de alta precisión diseñado para evaluar la intensidad de la luz reflejada por la punta del dedo del paciente. A través de un proceso cuidadosamente calibrado, el sensor detecta las fluctuaciones en la luz, correlacionándolas con los niveles de oxígeno en la corriente sanguínea. En términos simples, la sangre oxigenada actúa como un filtro para la luz infrarroja, resultando en una menor absorción, mientras que la sangre menos oxigenada favorece la absorción de la luz roja.

Este dispositivo encapsula una serie de avances tecnológicos en un paquete compacto, ofreciendo tanto practicidad como precisión en sus mediciones. Su potencial para mejorar la monitorización médica y el seguimiento personalizado de la salud es insoslayable, solidificando su lugar en la vanguardia de la innovación en el ámbito de la salud y la tecnología portable. (Maxim Integrated Products Inc., 2018)

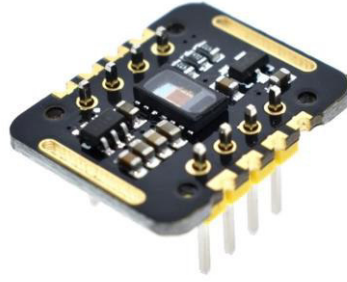


Figura 6: Sensor MAX 30102. Fuente: (Maxim Integrated Products Inc., 2018)

2.4.2 ESP32

Es un microcontrolador integrado con interfaces para conectarse a varios periféricos incluyendo: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C. Este microcontrolador tiene dos núcleos, un núcleo para ejecutar funciones WiFi y un núcleo para ejecutar programas cargados, asimismo también tiene un módulo WiFi y *bluetooth*, y 36 GPIO. En su mayoría se utiliza Arduino como lenguaje de programación para soluciones IoT. (Revelivan, y otros, 2019)



Figura 7: Microcontrolador ESP32. Fuente: (Revelivan, y otros, 2019)

2.5 Amazon Web Services - AWS

Amazon Web Services es un proveedor de servicios en la nube, que ofrece más de 200 servicios integrales de centros de datos a nivel global. Entre sus servicios cuenta con almacenamiento, bases de datos, mensajería, seguridad, móviles y muchos otros. Los

precios de AWS están basados en un esquema de pago por uso. (Amazon Web Services, Inc., 2022)

A continuación, se describirán los servicios que se utilizarán más adelante para la solución:

2.5.1 AWS Lambda

Lambda representa una innovación en el campo de la informática, brindando la capacidad de ejecutar código sin la necesidad de configurar o gestionar servidores. Este servicio lleva a cabo la ejecución de código en una infraestructura altamente disponible, asumiendo todas las tareas asociadas a la administración de recursos informáticos. Esto abarca desde el mantenimiento de servidores y sistemas operativos hasta la asignación de capacidad y el escalado automático, además de abarcar la supervisión del código y la función de registro.

La versatilidad de Lambda es asombrosa, ya que se presta para la ejecución de código en prácticamente cualquier contexto de aplicación o servicio de backend. Para invocar las funciones que se despliegan en Lambda, se dispone de la API correspondiente, ofreciendo un control completo sobre cuándo y cómo se accede a estas capacidades. No obstante, la verdadera potencia de Lambda se manifiesta cuando se le permite responder a eventos generados por otros servicios dentro del ecosistema de AWS.

Ilustrando esto con ejemplos concretos, Lambda puede desempeñar el papel de un desencadenante de procesamiento de datos para servicios de renombre como Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) o Amazon DynamoDB. La capacidad de procesar datos de flujo almacenados en Amazon Kinesis es otra aplicación viable. No menos importante, Lambda otorga la capacidad de construir un backend personalizado que funcione en sintonía con la escala, el rendimiento y la seguridad que define al entorno AWS.

En última instancia, Lambda emerge como una solución que redefine la manera en que concebimos y ejecutamos el código, liberando a los desarrolladores de las preocupaciones operativas y permitiéndoles concentrarse en la innovación y la creación de soluciones robustas y escalables en el vasto y dinámico ecosistema de la nube.

2.5.2 AWS Client VPN

Las soluciones de Red Privada Virtual (VPN) proporcionadas por AWS establecen conexiones seguras que enlazan de manera confiable sus redes locales, oficinas remotas, dispositivos clientes y la vasta red global de AWS. *AWS VPN* abarca dos servicios fundamentales: *AWS Site-to-Site VPN* y *AWS Client VPN*. La conjunción de estos dos servicios conforma una solución de VPN en la nube que destaca por su alta disponibilidad, su capacidad de gestión integral y su flexibilidad adaptable, todo ello destinado a salvaguardar su tráfico de red.

AWS Site-to-Site VPN crea canales cifrados entre su infraestructura local y las instancias de *Amazon Virtual Private Cloud* (Amazon VPC) o el *AWS Transit Gateway*. Este enfoque garantiza la integridad y la seguridad de los datos a medida que fluyen entre las dos entidades, asegurando una comunicación segura y confiable incluso en entornos geográficamente distantes.

Por otro lado, *AWS Client VPN* asume la responsabilidad de habilitar el acceso remoto de los usuarios, conectándolos sin fisuras a los recursos alojados en AWS o en sus instalaciones físicas mediante el uso de un cliente de software VPN. Esta metodología brinda a sus usuarios la capacidad de acceder y utilizar recursos de manera segura sin importar su ubicación geográfica.

La conjunción de ambos servicios conforma un entorno de VPN en la nube altamente resiliente y gestionable, que se adapta de manera elástica a sus necesidades cambiantes. Esta solución no solo potencia la protección de su tráfico de red, sino que también simplifica la administración de la conectividad a lo largo de su infraestructura, creando un ecosistema de red más seguro y dinámico en la nube.

2.5.3 Amazon S3 Glacier

Amazon S3 Glacier representa una categoría distinguida dentro del conjunto de almacenamiento que Amazon S3 ofrece. Esta opción garantiza seguridad, durabilidad y un costo excepcionalmente bajo, convirtiéndola en la elección ideal para el almacenamiento de datos y la salvaguardia a largo plazo mediante copias de seguridad.

Con S3 Glacier, los clientes pueden almacenar sus datos por un precio muy económico durante meses, años e incluso décadas. S3 Glacier permite a los clientes descargar las cargas administrativas de operar y escalar el almacenamiento a AWS, por lo que no tienen que preocuparse por la planificación de la capacidad, el aprovisionamiento de hardware, la replicación de los datos, la detección y reparación de errores de hardware o las laboriosas migraciones de hardware.

2.5.4 Amazon OpenSearch

OpenSearch representa una colección distribuida de herramientas de análisis y búsqueda de código abierto que se despliega para atender una variedad de propósitos. Desde la vigilancia en tiempo real de aplicaciones hasta el análisis exhaustivo de registros y la exploración de sitios web, *OpenSearch* emerge como un recurso versátil y adaptable. Su capacidad para ofrecer un marco altamente escalable resulta fundamental, permitiendo un acceso veloz y respuestas eficientes ante grandes volúmenes de datos.

Dentro de su oferta, este servicio no escatima en características de seguridad y control. La provisión de cifrado, autenticación, autorización y auditoría confiere un entorno confiable y robusto para la manipulación y el análisis de datos sensibles. En términos de consultas, *OpenSearch* se apega a la familiar sintaxis de SQL, permitiendo a los usuarios emplear agregaciones, agrupaciones y cláusulas *Where* para navegar y desentrañar los datos.

Un punto crucial de flexibilidad se encuentra en la capacidad de *OpenSearch* para consumir datos en diversos formatos, incluyendo documentos JSON y tablas CSV. Esta versatilidad abre un abanico de posibilidades para que los usuarios elijan el formato que mejor se adapte a las demandas específicas de cada caso. Con estos atributos en conjunto, *OpenSearch* se erige como una solución integral que abarca desde la exploración inicial de datos hasta el análisis profundo y significativo, todo dentro de un entorno potente y personalizable.

2.5.5 AWS OpenSearch Dashboards

OpenSearch Dashboards emerge como una herramienta de visualización de código abierto ampliamente reconocida, diseñada para operar en conjunto con *OpenSearch*.

Amazon OpenSearch Service introduce una oferta que incluye una implementación de *OpenSearch Dashboards* de manera integral en todos los dominios del servicio *OpenSearch*. La accesibilidad a esta herramienta es sencilla, ya que se proporciona un enlace directo a Dashboards en el panel de control del dominio, disponible en la interfaz de usuario de la consola de *Amazon OpenSearch Service*.

De esta manera, los usuarios pueden acceder a las capacidades de visualización proporcionadas por Dashboards de manera eficiente y directa, mejorando así la experiencia de análisis y comprensión de los datos alojados en el entorno de *OpenSearch*.

2.5.6 Amazon SNS

Amazon SNS presenta una funcionalidad que permite la transmisión de mensajes de texto, también conocidos como mensajes SMS, a dispositivos habilitados para recibirlos. Esta característica se traduce en la capacidad de dirigir mensajes tanto a un número de teléfono específico como a múltiples números al mismo tiempo. Este proceso se puede llevar a cabo de dos maneras: enviando directamente a un número de teléfono o suscribiendo estos números a un tema y transmitiendo el mensaje a través de dicho tema.

En la configuración de la cuenta AWS, se encuentra la opción de personalizar las preferencias de entrega de SMS para adaptarlas a sus necesidades y restricciones presupuestarias. Esto se traduce en un mayor control sobre cómo se gestionan y se envían los mensajes SMS. Por ejemplo, es posible seleccionar si los mensajes se optimizan en función de los costos o si se prioriza una entrega confiable y rápida. Además, existe la posibilidad de establecer límites de gastos tanto para entregas individuales de mensajes como para el gasto total mensual en su cuenta de AWS.

Este conjunto de capacidades de Amazon SNS no solo simplifica la administración de mensajes SMS a gran escala, sino que también brinda la flexibilidad necesaria para adaptarse a diversos casos de uso y preferencias. Con una gama de opciones de configuración y la capacidad de administrar la entrega de mensajes dentro de los límites presupuestarios establecidos, Amazon SNS emerge como una herramienta poderosa para la comunicación efectiva y eficiente mediante mensajes SMS.

2.6 React Native

React Native es un *framework* creado por Facebook en abril del 2015 de código abierto, el cual soporta la creación de aplicaciones en las plataformas de IOs y Android, a fin de ejecutar las aplicaciones directamente sobre las plataformas móviles nativas. Este *framework* está basado en JavaScript y CSS para el desarrollo de aplicaciones móviles (Hugo Brito, 2018).

Este *framework* se encuentra desarrollado sobre la librería de JavaScript React para la creación de componentes visuales. React Native utiliza el mismo paradigma de creación de bloques de UI que las aplicaciones nativas de IOs y Android, además gestiona la interacción entre ellos usando las capacidades de JavaScript y React.

Las vistas en el desarrollo de aplicaciones en Android o IOs representa el componente mínimo en la UI, este elemento puede usarse para mostrar una imagen, texto o esperar una entrada del usuario. A continuación, se presenta una imagen para ejemplificar como se visualiza la homologación de una vista de las plataformas Android e IOs (Meta Platforms, Inc., 2022).

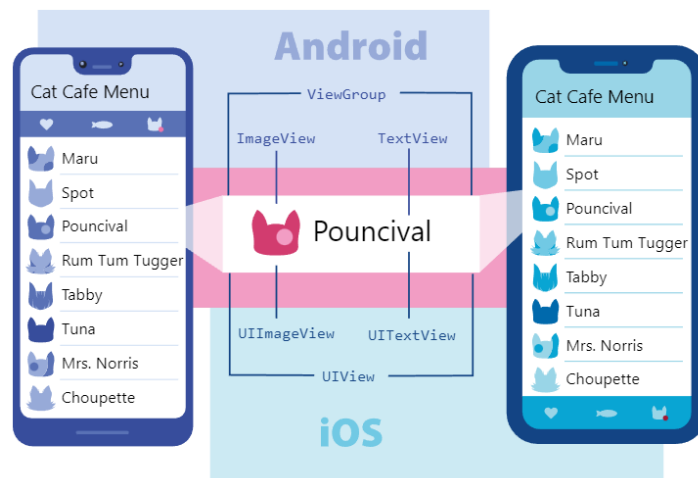


Figura 8: Ejemplo de homologación de funciones en React Native. Fuente: (Meta Platforms, Inc., 2022)

En el desarrollo de IOs se codifica en Swift u Objective-C, en el caso de Android se usa Kotlin o Java. Estas vistas pueden ser invocadas con JavaScript usando componentes React. En tiempo de ejecución, React Native crea las vistas respectivas de Android o IOs para estos componentes. Dado que los componentes están basados en las mismas vistas de Android e IOs, las aplicaciones que se crean con React Native se visualizan y funcionan como cualquier aplicación nativa en cada plataforma.

En este *framework* se han creado componentes propios para Android e IOs con el objetivo de satisfacer las necesidades de su aplicación. En el siguiente cuadro se presenta los componentes principales.

COMPONENTE DE INTERFAZ DE USUARIO NATIVO DE REACT	VISTA ANDROID	VISTA IOS	ANALÓGICO WEB	DESCRIPCIÓN
<code><View></code>	<code><ViewGroup></code>	<code><UIView></code>	Un no-desplazamiento <code><div></code>	Un contenedor que admite el diseño con flexbox, estilo, algunos controles táctiles y de accesibilidad
<code><Text></code>	<code><TextView></code>	<code><UITextView></code>	<code><p></code>	Muestra, diseña y anida cadenas de texto e incluso maneja eventos táctiles
<code><Image></code>	<code><ImageView></code>	<code><UIImageView></code>	<code></code>	Muestra diferentes tipos de imágenes.
<code><ScrollView></code>	<code><ScrollView></code>	<code><UIScrollView></code>	<code><div></code>	Un contenedor de desplazamiento genérico que puede contener múltiples componentes y vistas
<code><TextInput></code>	<code><EditText></code>	<code><UITextField></code>	<code><input type="text"></code>	Permite al usuario ingresar texto

Figura 9: Lista de componentes principales en React Native homologados. Fuente: (Meta Platforms, Inc., 2022)

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se realizó una revisión bibliográfica, con el objetivo de identificar investigaciones, artículos científicos o publicaciones en donde los autores emplearon métodos o herramientas alternativos a la solución propuesta en esta investigación para una problemática similar: brindar atención primaria a los pacientes con sintomatología COVID-19 desde el hogar.

Técnica planteada: Monitoreo de la salud mediante chip personalizado.

En esta investigación, se planteó realizar la monitorización de factores claves de la salud mediante la implementación de un sistema basado en chip personalizado utilizando un modelo *cloud*.

Este sistema hecho a medida cuenta con un circuito integrado, basado en hardware libre, el cual consta de sensores que permiten medir variables biomédicas del paciente, después de realizar la medición de los datos, estos datos son analizados y pasan por un filtro donde se eliminan los valores que generen ruido.

Luego de que los datos han sido procesados, el sistema se comunica y envía los datos al dispositivo móvil del paciente donde son almacenados y enviados a una nube pública con la finalidad de que sean visualizados por el personal médico correspondiente.

Este dispositivo desarrollado a medida puede ser utilizado por un paciente en un centro de salud o en el lugar donde se encuentre, lo que permite tener un monitoreo en tiempo real y se orienta a cualquier tipo de paciente.

A partir de la investigación revisada, podemos concluir lo siguiente:

Ventajas:

El envío de los datos procesados a una nube facilita la visualización por parte del personal médico correspondiente, agilizando la identificación del estado del paciente.

La aplicación de fórmulas matemáticas para calibrar los datos capturados por los sensores reduce el ruido y minimiza el margen de error.

Desventajas:

No todas las organizaciones cuentan con la infraestructura o tecnología necesaria para realizar el diseño y elaboración de un chip personalizado y esto incrementa el tiempo de la implementación del sistema.

El uso de una nube pública favorece al envío de datos para el personal médico; sin embargo, tiene una contraparte en cuanto a la vulnerabilidad del sistema.

Casos de estudio

Diseño de un sistema de monitorización de la salud de bajo costo basado en Internet de las Cosas y Android para medir el nivel de oxígeno en la sangre, la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).

En esta investigación se planteó la implementación de un sistema de monitoreo de bajo costo para la salud, que mide el nivel de saturación de la sangre, frecuencia cardíaca y temperatura; basado en la plataforma de Arduino con comunicación vía *bluetooth* a un dispositivo móvil. También puede ser utilizado como un sistema integrado inalámbrico para la monitorización de factores clave de la salud humana esta implementación está orientada a cualquier tipo de pacientes, que se encuentre tanto en casa o en centros de salud.

Para realizar las mediciones de las variables se planteó, a través del diseño y elaboración de un microsistema de detección que permita medir el nivel de

oxigenación en la sangre y el ritmo cardíaco. La detección consiste en el uso de dos diodos emisores de luz (LED) con diferente longitud de onda 640 nm (roja) y 940 (infrarroja) y un fototransistor, estos diodos se colocan al lado opuesto del fototransistor con un espacio donde se pueda colocar el dedo del paciente.

Los diodos se encienden alternativamente y la luz generada atraviesa el dedo del paciente y parte de esta luz es absorbida por el flujo sanguíneo variable causada por el calor del cuerpo antes de ser detectado por el fototransistor, estos diodos son encendidos alternativamente durante un periodo de 5 segundos, así se realizan varias mediciones a las que se les aplica una media con la finalidad de eliminar ruidos durante la medición. Una vez hallada la proporción entre las longitudes de onda de cada diodo, se aplica la ecuación Spo_2 que permite hablar el porcentaje de saturación de la sangre, esta medición será mostrada en la pantalla LCD con el valor obtenido. Para la medición del ritmo cardíaco, se halla el nivel de voltaje alto y bajo de la onda de CA para calcular la frecuencia cardíaca. Por último, la medición de la temperatura se realiza mediante el sensor DS18B20 que se encuentra conectado a Arduino y transmite la temperatura automáticamente.

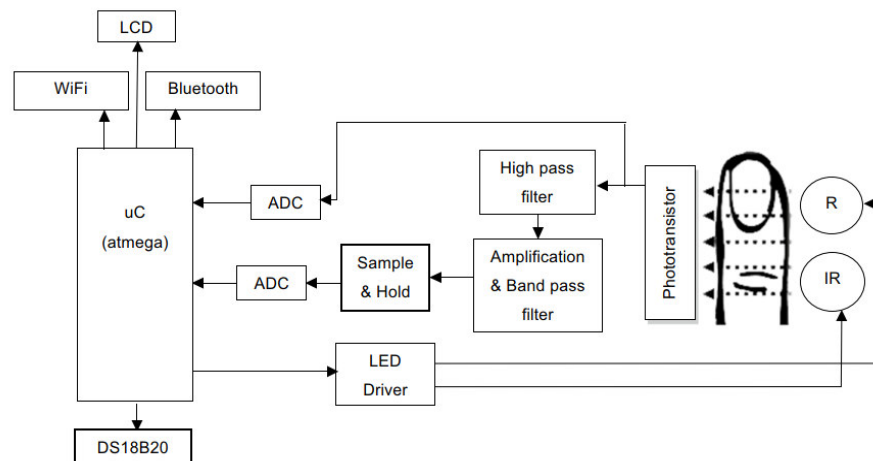


Figura 10: Diagrama de arquitectura para el monitoreo de salud. Fuente (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).

Luego, estos valores se envían mediante un módulo *bluetooth* HC-05 a la aplicación Android instalada en el teléfono móvil del paciente. Además, se

envían los datos a una nube pública Thingspeak usando el módulo WiFi ESP8266 con la finalidad de que la información del paciente pueda ser observada por un personal médico de forma remota.

La arquitectura del sistema integrado se muestra en la siguiente figura:

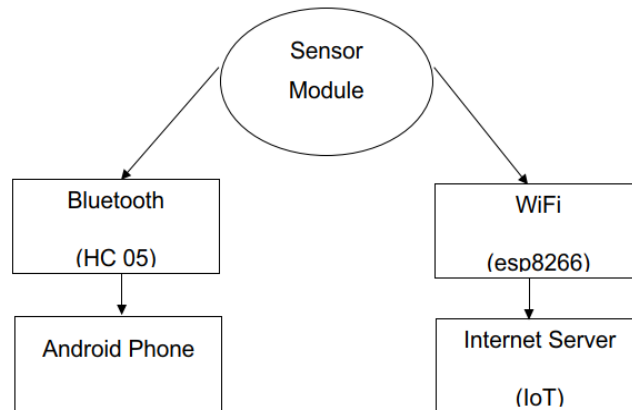


Figura 11: Diagrama del sistema integrado. Fuente (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).

Se realizó el proceso de captura de datos a 5 personas utilizando este dispositivo y los valores obtenidos fueron comparados frente a un módulo comercial “ChoiceMMed” obteniéndose una desviación promedio máxima del 2%.

En esta comparación se consideraron las variables: ritmo cardíaco, nivel de oxígeno en la sangre y temperatura, así como también, de acuerdo con los datos obtenidos por las mediciones, se encontraron variaciones del 5% en el caso de nivel de oxígeno en la sangre y el ritmo cardíaco; para el caso de la temperatura la desviación máxima es de 3.25%.

Los resultados capturados, por el prototipo, son enviados al servidor de Thingspeak para su almacenamiento y visualización, en el siguiente gráfico se presenta un ejemplo.

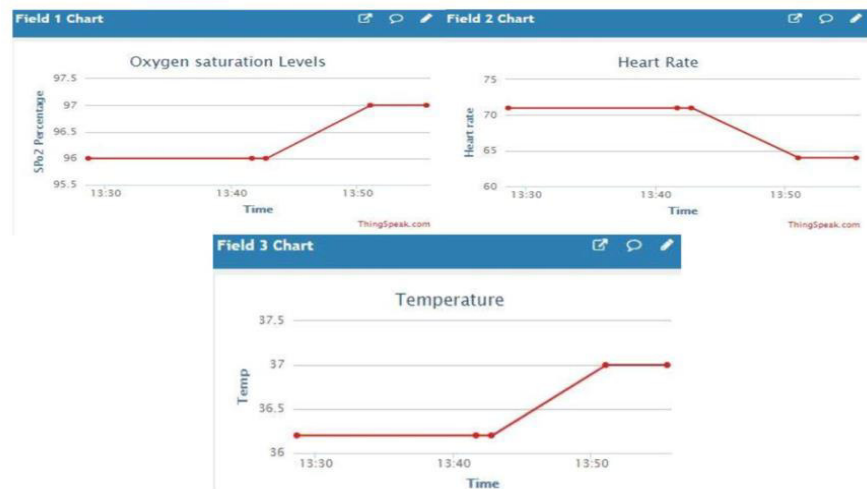


Figura 12: Lectura de la saturación de oxígeno, temperatura y ritmo cardiaco. Fuente: (Mian Mujtaba, A. y otros, 2020).

De igual forma, estos datos son enviados a la aplicación móvil mediante el módulo *bluetooth* HC-05 y también pueden ser visualizados desde una pantalla LCD del sistema embebido. Los resultados obtenidos frente al dispositivo comercial se encuentran en una variación óptima para una medición casera, rápida y de bajo costo.

Técnica planteada: Uso de *machine learning* e IohT para cuidado de salud

En esta implementación, los autores han planteado diferentes técnicas de *machine learning* y han considerado conjuntos de datos públicos de atención médica almacenados en la nube para la construcción del sistema, que permite el monitoreo remoto de los signos vitales, además estos son tomados en tiempo real. Como salida el sistema genera recomendaciones basadas en los datos históricos y empíricos que se encuentran en la nube.

Como IoT tiene muchas aplicaciones para el rubro médico, como monitoreo remoto de la salud, programas de acondicionamiento físico, medicamentos en el hogar por parte de proveedores de atención médica, etc. Se espera que los servicios de atención médica basados en el IoT reduzcan los costos de diagnóstico de salud y aumenten la calidad de la atención médica.

El sistema de monitoreo de atención médica basado en IoT utiliza diversos sensores biomédicos los cuales generan una gran cantidad de datos que son difíciles de procesar por el médico. Sin embargo, los médicos deben utilizar estos datos históricos para predecir la salud de los pacientes.

A partir de la investigación revisada, podemos concluir lo siguiente:

Ventajas:

El sistema propuesto mejora la exactitud de diagnóstico ya que con las técnicas de *machine learning* se ha logrado una precisión máxima del 97,26%, esta precisión probablemente pueda aumentar si se considera un conjunto de datos más grande.

En un futuro cercano, este trabajo puede extenderse a otras aplicaciones como pronóstico del tiempo, cultivos de vegetales, etc.

Se ha analizado que, en promedio, el bosque aleatorio proporciona una buena precisión en los resultados para cada uno de los conjuntos de datos considerados. Esta precisión probablemente se puede aumentar considerando un conjunto de datos más grande mientras se entrena el sistema propuesto con diferentes algoritmos de *machine learning*.

Desventajas:

Los datos de los pacientes son públicos, no hay un mecanismo de protección de estos, por lo cual se puede vulnerar esta información.

No hay ningún tipo de alerta que notifique al doctor responsable de la medida de los datos del paciente, en caso sea una emergencia no se podrá tener una atención inmediata.

Casos de estudio:

Resultados con los diferentes métodos de *Machine Learning* (Pavleen, Ravinder y Munish, 2019)

Para la solución se utilizó sensores biomédicos, donde se pueden medir desde sus respectivos hogares hasta los que se encuentran en ubicaciones remotas o lejos del suministro médico. Toda la información recopilada se transfiere inicialmente a los dispositivos móviles a través de una red de sensores, la red del sensor puede ser *bluetooth* o una aplicación Wi-Fi o una conexión basada en USB. Los teléfonos móviles funcionan como mediadores de IoT y se emplean para enviar la información recopilada de un paciente a la nube.

En la investigación utilizan algunas técnicas de minería de datos, como, *k-Nearest Neighbor*, *Linear-SVM*, Árbol de Decisión, *Random Forest* y MLP, también se comparan el rendimiento de estas técnicas para garantizar la calidad del servicio a los usuarios finales. La técnica *K-Nearest Neighbor* se basa en los puntos de datos del vecino más cercano, encuentra los puntos de datos no identificados y clasifica los puntos de datos de acuerdo con el sistema de votación. La técnica K-NN es fácil de implementar, pero requiere un gran espacio de almacenamiento, sensibilidad al ruido y un procedimiento de prueba lento.

La técnica *Linear Support Vector Machine* se basa en la teoría del aprendizaje estadístico, por lo que es capaz de aplicarse a problemas de clasificación binaria y multiclase. La técnica SVM crea los grandes hiperplanos en un espacio dimensional alto, lo que maximiza la separación entre los puntos de datos, y los vectores de soporte se utilizan para crear un hiperplano. El SVM proporciona una mejor precisión, pero es costoso en términos de tiempo computacional.

La técnica del árbol de decisión se basa en un gráfico similar a un árbol, en el que se utilizan 3 nodos (como nodos de hoja, de hoja y de rama) como atributos diferentes para calcular las probabilidades condicionales. El nodo en la parte superior se usa como nodo raíz, el nodo de hoja funciona como una etiqueta de clase, los nodos de rama son los resultados de la prueba y los nodos que no son de hoja se usan para indicar la prueba. La técnica del árbol de decisión no requiere conocimiento del dominio. Además, es fácil de interpretar y puede manejar datos categóricos y numéricos. Por otro lado, el rendimiento depende del conjunto de datos y está restringido a un atributo de salida.

La técnica *Random Forest* se adopta en una serie de aplicaciones tales como clasificación, predicción, estudio de variables y selección. La técnica tiene varias características, como que se puede aplicar a problemas de dos clases o multiclase, mezcla de predictores continuos y categóricos. Por otro lado, se requiere un ajuste fino de los parámetros de entrada para un mejor rendimiento.

MLP es la técnica de red neuronal artificial de avance. En esta técnica, la capa de la red neuronal intenta calcular los errores en la salida y revertir la salida a la capa oculta para actualizar el peso interno. La técnica MLP tiene una alta precisión de predicción en comparación con otras técnicas.

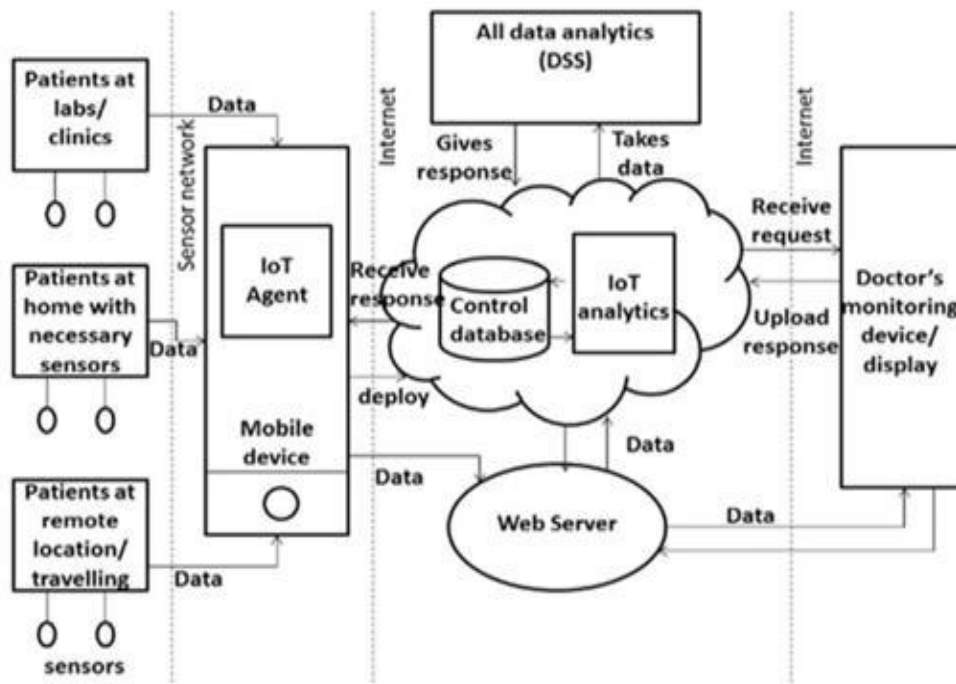


Figura 13: Diagrama del modelo de predicción para la red IoT. Fuente: (Pavleen, Ravinder y Munish, 2019)

La nube se ocupa del volumen de información de los pacientes y el procesamiento de los datos implica la aplicación de las principales técnicas de *machine learning* *K-NN*, *Linear-SVM*, *Decision Trees*, *Random Forest* y *MLP*. Las enfermedades con las que se hicieron las pruebas fueron: cáncer de mama, diabetes, enfermedades cardíacas, espectro cardíaco, tiroides, datos de cirugía, dermatología y trastornos hepáticos.

Estos conjuntos de datos se descargan de <https://archivo.ics.uci.edu/ml/datasets.html>. Para la investigación, el conjunto de datos de cada enfermedad se divide en conjunto de datos de entrenamiento y prueba, es decir, 80% de datos como conjunto de entrenamiento y 20% restante de datos como conjunto de prueba. Para evaluar el rendimiento de varios algoritmos de aprendizaje automático, los autores han utilizado la herramienta de código abierto *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA). Estos resultados también se muestran gráficamente en las figuras de la parte inferior. En el conjunto de datos relacionados con el cáncer de mama que contiene un total de 699 muestras correspondientes a 2 clases, la precisión más alta del 96,42% se ha logrado mediante dos técnicas de aprendizaje automático.

En diabetes, *Random Forest* proporciona la mayor precisión y la tasa de diagnóstico del 81,16% y el 85,2%, respectivamente. El conjunto de datos de enfermedades cardíacas comprende un total de 303 muestras correspondientes a 5 clases. Se ha logrado la mayor precisión del 57,37% en este conjunto de datos utilizando *Linear-SVM*, mientras que el *Random Forest* proporciona la tasa de diagnóstico más alta del 82,3%.

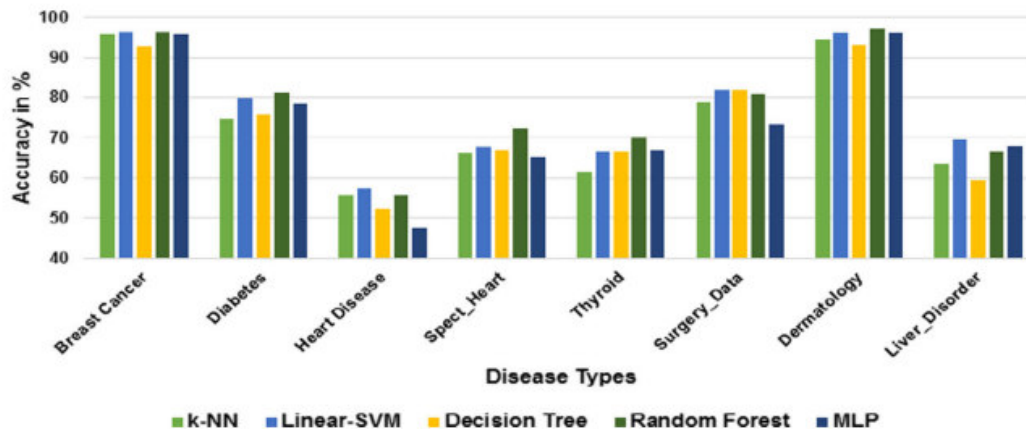


Figura 14: Precisión lograda para las diferentes enfermedades. Fuente:(Pavleen, Ravinder y Munish, 2019)

Técnica propuesta: Uso de IoHT para el cuidado de la salud en un sistema de alerta temprana

En esta investigación, como propuesta de implementación del sistema de alerta y atención temprana para personas con sintomatología COVID-19, se propone la elaboración de un módulo de bajo costo, que realice la medición del nivel de oxígeno en la sangre y ritmo cardíaco; debido a qué estas mediciones son importantes para dar soporte al diagnóstico de personas que poseen los síntomas de COVID-19.

A partir de la propuesta de implementación, podemos indicar lo siguiente:

Ventajas:

La aplicación móvil presentará los resultados obtenidos de la medición realizada por los sensores y emitirá una alerta al personal médico y a un contacto de emergencia en el caso que los valores del paciente se encuentren fuera del rango estándar.

El paciente podrá registrar de forma inicial los datos de triaje los cuales serán almacenados en su historial médico para su posterior validación por el personal médico y así brindar una atención óptima.

Se alertará de forma automática al centro médico sobre el estado del paciente, en el caso que lo requiera, para que el paciente pueda acceder a una atención rápida y eficaz por parte del personal médico.

Desventajas:

La implementación del sistema y utilización dependen de que el paciente tenga un smartphone con acceso a internet y se encuentre en una zona urbana, para que se pueda alertar al centro médico respectivo. Esto puede generar una limitación del uso del sistema a los pacientes de zonas rurales.

Para un mejor empleo de la aplicación, el centro de salud debería tener un sistema el cual pueda almacenar de una manera óptima los signos vitales del paciente de manera que forme parte de su historia clínica.

Casos de estudio:

La detección de los datos del nivel de oxígeno en la sangre y ritmo cardíaco se efectuará utilizando sensores biomédicos, que integren un pulsioxímetro, monitor de frecuencia cardíaca y sea de bajo consumo de corriente para alargar el tiempo de la batería, lo cual es ideal para aplicaciones portátiles. Este sensor o sensores se conectará con un microcontrolador, donde los datos serán calibrados y se eliminarán los datos anómalos.

Posterior a la toma de los datos del paciente, este módulo se comunicará y enviará la información de forma inalámbrica, por medio de la tecnología *Bluetooth* que se

encuentra integrada en el microcontrolador hacia el dispositivo móvil del paciente. La aplicación mostrará los datos recibidos y en el caso que los valores se encuentren fuera del rango estándar, la aplicación interactúa con el paciente para asistirlo de forma temprana, luego enviará la información recibida por el módulo hacia la nube, donde serán procesados, además la aplicación enviará una alerta/notificación al personal médico y a un contacto de emergencia correspondiente. Si el caso indica que los valores tomados por el módulo se encuentran dentro del rango estándar, la aplicación almacenará la información en la nube con fines de reportería e historial clínico.

CAPÍTULO 4: APOORTE TEÓRICO

En este capítulo se evaluarán las soluciones informáticas contempladas en el estado del arte con la finalidad de elegir la mejor solución, para la presente investigación. También se definirá las actividades que se llevaron a cabo para la implementación del sistema, como son los requerimientos del sistema, casos de uso y la arquitectura a utilizar.

Comparativa de tecnologías

Se llevó a cabo una evaluación comparativa de las tecnologías discutidas en las secciones previas con el objetivo de identificar la solución más adecuada para abordar el problema en cuestión. Con este propósito, se establecieron parámetros de análisis que permitieron evaluar el rendimiento de cada opción:

4.1.1 Definición de métricas de evaluación

Facilidad de implementación: Se refiere a la facilidad de realizar las conexiones con la placa.

Arquitectura: Evaluar si la arquitectura presentada del sistema cubre los requerimientos mínimos para dar solución al problema, de forma óptima.

Respaldo y recuperación: El sistema planteado considera estrategias de recuperación y respaldo.

Alta disponibilidad: Disponibilidad para uso del sistema y procedimientos de contingencia en caso de fallos manteniendo la estabilidad operativa del sistema.

Conectividad: El sistema en cuestión debería ser compatible con la mayoría de los dispositivos que usarán los usuarios.

Seguridad: Se refiere a que la aplicación no sea vulnerable o exponga datos sensibles.

Estos indicadores fueron asignados pesos proporcionales a su relevancia dentro del contexto del problema que se planteó. Luego de llevar a cabo la evaluación, se obtuvieron los resultados siguientes:

4.1.2 Definición de ponderados para cada factor

Los ponderados a usar para cada factor evaluado son:

Facilidad de implementación: 3

Arquitectura: 4

Respaldo y recuperación: 3

Alta disponibilidad: 5

Conectividad: 5

Seguridad: 3

4.1.3 Matriz de evaluación

Factores	Ponderado	Monitoreo de la salud mediante chip personalizado	Uso de <i>machine learning</i> e IohT para cuidado de salud	Uso de IoHT para el cuidado de la salud en un sistema de alerta temprana
Facilidad de implementación	3	1	1	2
Arquitectura	4	3	3	4
Respaldo y recuperación	3	2	1	2
Alta disponibilidad	5	4	3	4
Conectividad	5	4	3	5
Seguridad	3	2	1	3
Total	-	16	12	20

Tabla 2 : Matriz de evaluación de tecnologías. Fuente: Creación Propia

4.1.4 Conclusión de la evaluación

La evaluación realizada de las propuestas de solución por cada métrica cuantitativa, la cual se resume en la matriz de solución, nos permite concluir que la solución de implementación más idónea para la investigación es el “Sistema de alerta y atención primaria para personas con sintomatología COVID-19, basado en IOHT”.

Metodología de solución

4.2.1 Requerimientos del sistema

4.2.1.1 Aplicación móvil

Perfil de Usuarios:

- **Doctor:** Usuario que visualizará el sistema de control para realizar el monitoreo de sus pacientes en tiempo real.
- **Paciente:** Usuario regular que utilizará los sensores para el monitoreo de sus signos vitales.

Requerimientos Funcionales:

- Login de la aplicación, el sistema deberá mostrar en el primer inicio de sesión, una serie de pasos didácticos para ejemplificar el uso de la aplicación.
- Recepción de signos vitales, la aplicación deberá recepcionar los datos del circuito y enviarlos a la nube.
- Visualización de los signos vitales, el usuario podrá visualizar los valores del monitoreo de frecuencia cardíaca y el nivel de saturación de oxígeno en la sangre.
- Gestionar reportes, el sistema mostrará las opciones de reporte de acuerdo con el perfil con el que cuente el usuario, los reportes estarán segmentados bajo este criterio.

Requerimientos no funcionales:

El sistema deberá estar disponible los 365 días del año, las 24 horas del día.

El dispositivo móvil donde se instalará la aplicación deberá mantener el *Bluetooth* activado y estar conectado a una red de internet para la vinculación con el circuito.

Escalabilidad, la aplicación mantendrá su buen funcionamiento y rendimiento tras los cambios o crecimiento que pueda tener a lo largo de su ciclo de vida.

Integridad de los datos, el sistema deberá mantener la integridad de sus datos almacenados en toda la medida posible.

Seguridad de contraseña, el sistema deberá encriptar las claves en la base de datos.

El circuito integrado deberá estar conectado en todo momento a una fuente de energía.

Casos de uso del sistema

El diagrama de casos de uso detalla las funcionalidades que se encuentran a disposición en el sistema en proceso de desarrollo, delineando en esencia las acciones que el sistema deberá llevar a cabo.

Dentro de este diagrama se incorporan tanto los casos de uso concretos como los actores que desempeñan un papel en cada uno de ellos. Los actores pueden ser individuos o entidades, ya sean humanos o no, que operan fuera de los límites del sistema. En este contexto, el diagrama se abstiene de visualizar los componentes específicos del sistema, y se enfoca en vez en su comportamiento. Esta representación sirve para capturar los requerimientos funcionales del sistema, esbozando su funcionalidad de manera integral.

4.3.1 Captura de datos biomédicos del paciente.

4.3.2 Envío de los datos a nube.

4.3.3 Mostrar datos medidos del paciente.

4.3.4 Procesamiento de los datos históricos para la emisión del pronóstico.

<u>Caso de uso</u>	4.3.1 Captura de datos biomédicos del paciente
<u>Actores</u>	Paciente
<u>Precondición</u>	Encender el dispositivo de medición.
<u>Postcondición</u>	Obtener datos biomédicos del paciente.
<u>Flujo de eventos básico:</u> 1. El caso de uso comienza cuando el paciente ingresa a la aplicación móvil. 2. La aplicación móvil muestra la lista de dispositivos <i>bluetooth</i> disponibles. 3. El paciente selecciona el dispositivo de medición para vincularlo con la aplicación móvil. 4. La aplicación móvil muestra la interfaz inicial de vinculación con el dispositivo de medición. 5. El paciente coloca su dedo en el sensor del dispositivo de medición. 6. El dispositivo de medición captura los datos de nivel de oxígeno en la sangre y ritmo cardíaco del paciente. 7. El dispositivo de medición procesa la data capturada. 8. El dispositivo de medición envía los datos biomédicos a la aplicación móvil, vía <i>bluetooth</i>.	
<u>Flujo de eventos alternativos:</u> <i>Bluetooth</i> desactivado. En el paso 2, la aplicación no encuentra la lista de dispositivos disponibles, muestra un mensaje indicando que el <i>bluetooth</i> del teléfono móvil está desactivado. Datos incorrectos. En el paso 5, el usuario no coloca correctamente su dedo en el sensor del dispositivo de medición. El dispositivo de medición enciende el led intermitente para notificar al paciente.	

<u>Caso de uso</u>	4.3.2 Envío de los datos a nube
<u>Actores</u>	Paciente
<u>Precondición</u>	- Ingresar al sistema correctamente - Data capturada correctamente
<u>Postcondición</u>	Envío correcto de los datos biomédicos a la nube
<u>Flujo de eventos básico:</u> El caso de uso comienza cuando el paciente ingresa a la aplicación móvil y se ha realizado la correcta captura de sus datos biomédicos. Luego una vez que la aplicación haya recibido los datos biomédicos, tanto el nivel de oxígeno en la sangre y el ritmo cardíaco, estos serán enviados a la nube para su procesamiento. Los datos serán almacenados en la base de datos cloud y luego se enviarán a la aplicación y el caso de uso finaliza.	

Flujo de eventos alternativos:

Conexión incorrecta a internet.

En el paso 2, si el dispositivo no tiene una conexión estable a internet los datos biomédicos tomados no podrán ser enviados.

<u>Caso de uso</u>	4.3.3 Mostrar datos medidos del paciente
<u>Actores</u>	Paciente
<u>Precondición</u>	- Ingresar al sistema correctamente - Correcto envío de los datos biomédicos a la nube
<u>Postcondición</u>	Obtener los datos medidos y mostrarlos al paciente

Flujo de eventos básico:

El caso de uso comienza cuando el paciente ingresa a la aplicación móvil y se ha realizado la correcta captura de sus datos biomédicos.

Luego una vez que la nube haya procesado y almacenado los datos estos serán enviados a la aplicación.

El paciente podrá visualizar sus datos biomédicos en tiempo real y el caso de uso finaliza.

Flujo de eventos alternativos:

Valores biomédicos fuera del rango normal.

En el paso 3, la aplicación mostrará los datos biomédicos, en caso estos se encuentren fuera de los valores normales y comprometa la salud del paciente, se enviará una alerta al doctor asignado para la pronta atención del paciente.

Conexión incorrecta a internet.

En el paso 2, si el dispositivo no tiene una conexión estable a internet los datos biomédicos tomados no podrán ser recibidos.

<u>Caso de uso</u>	4.3.4 Procesamiento de los datos históricos para la emisión del pronóstico.
<u>Actores</u>	Paciente
<u>Precondición</u>	Ingresar al sistema correctamente.
<u>Postcondición</u>	Obtener pronósticos de los datos biomédicos del paciente.

Flujo de eventos básico:

El caso de uso comienza cuando el usuario selecciona la opción “Reportes”.

El sistema muestra los indicadores históricos de los datos biomédicos del paciente. El paciente selecciona la opción “Pronóstico”. El sistema muestra un formulario con los campos de búsqueda de fechas. El paciente ingresa el periodo de tiempo (fecha inicio y fecha fin) en el cual espera conocer el pronóstico de medición. El sistema procesa la información ingresada por el paciente. El sistema obtiene el pronóstico de los datos de nivel de saturación en la sangre y ritmo cardiaco en el periodo de tiempo solicitado y el caso de uso finaliza.
<u>Flujo de eventos alternativos:</u> Fecha errónea. En el paso 5, el usuario ingresa un periodo de tiempo incorrecto, el sistema muestra un mensaje indicando que se debe ingresar la fecha inicio y fecha fin nuevamente. Pronóstico no obtenido. En el paso 7, el sistema no obtiene el pronóstico de los datos biomédicos del paciente. El sistema muestra un mensaje indicando el error (Por ejemplo: Casos insuficientes para realizar un pronóstico).

Diagrama del sistema/componentes

Este diagrama muestra el flujo que sigue el paciente y el recorrido de la información en la captura los datos de saturación de oxígeno en la sangre y ritmo cardiaco, manteniendo la integridad de la información en todo momento.

El paciente interactúa con el dispositivo de medición (*wearable*), así como, con el sistema móvil, donde visualizará los datos biomédicos de su medición en tiempo real. Posteriormente, desde la aplicación móvil, la información se enviará a la base de datos alojada en la nube por frecuencia de 2 min, a fin de que se almacene y genere el historial de datos biomédicos para que la visualización posterior del paciente como del personal médico.

En el caso que, el paciente obtenga un dato fuera del rango estándar de mediciones, será reportado de manera inmediata y se notificará al médico correspondiente.

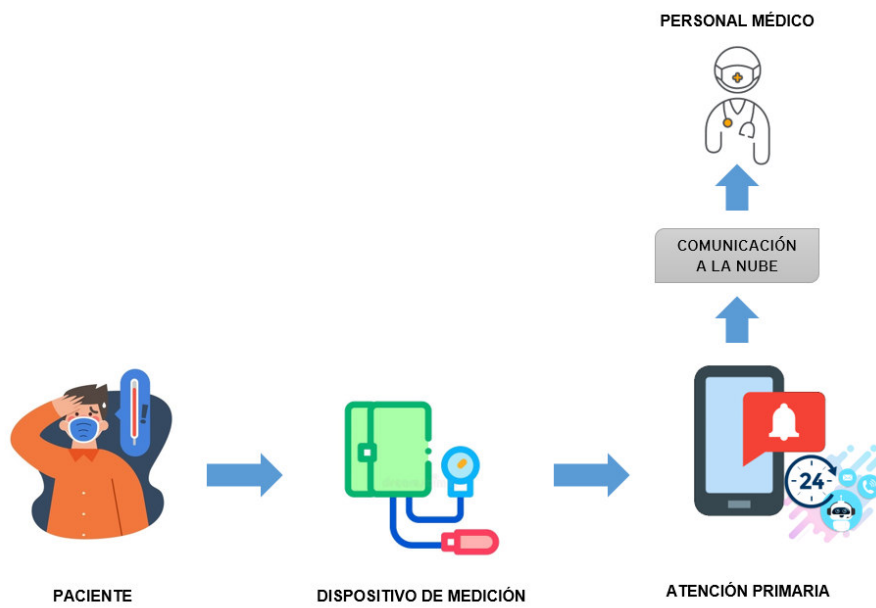


Figura 15: Arquitectura general del sistema. Fuente: Propia

CAPÍTULO 5: APOORTE PRÁCTICO

En el siguiente capítulo se presentará los pasos que se tuvieron que realizar para llegar a la solución, utilizando la metodología expuesta en el aporte teórico.

Diagrama de la solución

El diagrama que se presenta a continuación inicia con el paciente, que posee síntomas de portar el virus SARS-COV-2; para realizar la evaluación del diagnóstico del paciente se requiere conocer los datos de saturación de oxígeno en la sangre y ritmo cardiaco. La medición de estos datos biomédicos se rige bajo un margen mínimo de error, los datos del paciente recorren a través del sistema de comunicación y los dispositivos definidos en esta arquitectura, manteniendo la integridad de la información en todo el flujo del proceso.

Con el objetivo de medir los datos biomédicos del paciente, se desarrolló un dispositivo a medida “*Wearable*” que interactúa directamente con el paciente. Este dispositivo, se compone por el microcontrolador ESP32, que permite orquestar y ejecutar el programa desarrollado para realizar la medición de los datos; el sensor MAX30102 para medir la saturación de oxígeno en la sangre y el ritmo cardiaco del paciente; finalmente se colocó una batería a fin de tener un dispositivo autónomo. Debido a que el microcontrolador ESP32 es un chip que tiene *Bluetooth* incorporado, utilizamos esta comunicación inalámbrica para enviar los datos obtenidos del paciente a una aplicación móvil en tiempo real.

Se ha desarrollado una aplicación móvil para recibir los datos biomédicos del paciente con una frecuencia de 2 minutos, el envío de los datos de la aplicación móvil a la nube se realiza consumiendo un API a través de un método POST con el objetivo de almacenar los datos en el repositorio para su posterior procesamiento. Estos datos son almacenados en la nube con fines históricos, para que el médico pueda revisar esta información, así como el paciente pueda visualizar el reporte de las mediciones obtenidas en un rango de tiempo específico.

Si al realizar la medición de los datos biomédicos del paciente se obtienen valores que se encuentran por fuera del rango esperado de mediciones, se ha determinado generar una alerta para notificar al personal médico correspondiente y al contacto de emergencia

definido por el paciente. A través de un mensaje de texto, se reportará los datos biomédicos del paciente, la ubicación de este (latitud y longitud) para que se pueda gestionar la atención propicia en el menor tiempo posible.

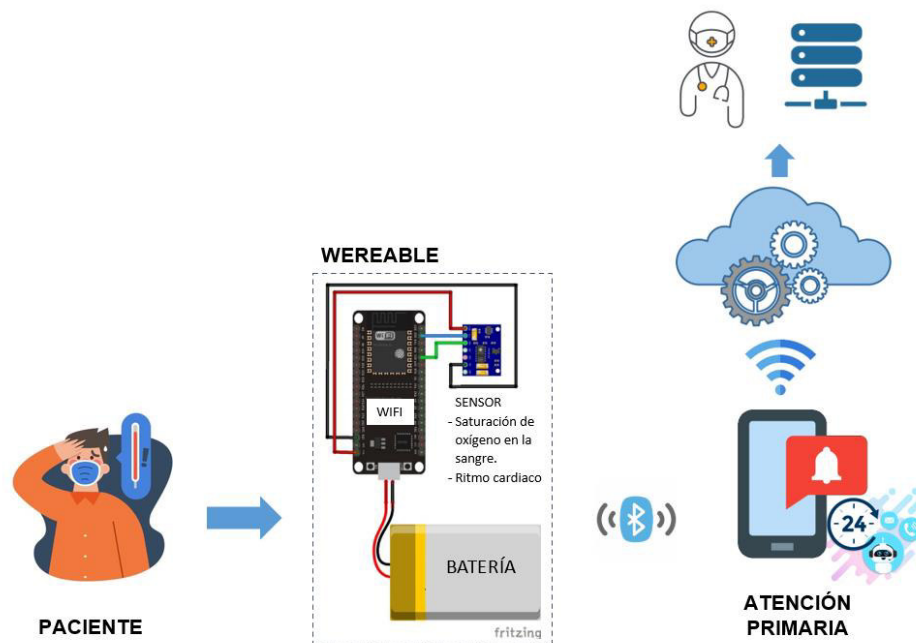


Figura 16: Arquitectura del sistema. Fuente: Propia

Arquitectura de la solución *cloud*

El presente diagrama de arquitectura cuenta con tres actores: el paciente, el médico y el contacto de emergencia. La aplicación móvil deposita los registros capturados por el *wearable* del paciente hacia un repositorio de objetos en Amazon Web Services (AWS) denominado **Amazon Simple Storage Service (S3)**. Los archivos que llegan al bucket de S3 son de extensión .json. Posteriormente, una función en AWS Lambda que opera como servicio toma los registros capturados en S3 para convertirlos en tablas que serán enviadas, acto seguido, a un clúster de objetos elásticos en *Amazon OpenSearch Service* (anteriormente llamado ElasticSearch Service). Debido a su compatibilidad con archivos .json provenientes de orígenes de objetos IoT, se escoge este servicio por sobre otros. A partir de este punto, la arquitectura presenta un doble flujo: uno para construir reportes utilizando *Amazon OpenSearch Dashboards* (anteriormente llamado Kibana) que serán finalmente embebidos en la propia aplicación para su ulterior visualización, y otro flujo de generación de alertas mediante una lógica codificada en otra función en AWS Lambda. Cuando la lógica de la función arroje un resultado positivo validado, un

servicio de emisión de notificaciones simples llamado Amazon Simple Notification Service (SNS) enviará directamente y vía mensaje de texto (SMS) una alerta hacia el médico y el contacto de emergencia para tomar acción en el momento y así prevenir accidentes relacionados con la actividad cardiovascular o la medida por los *wearables*.

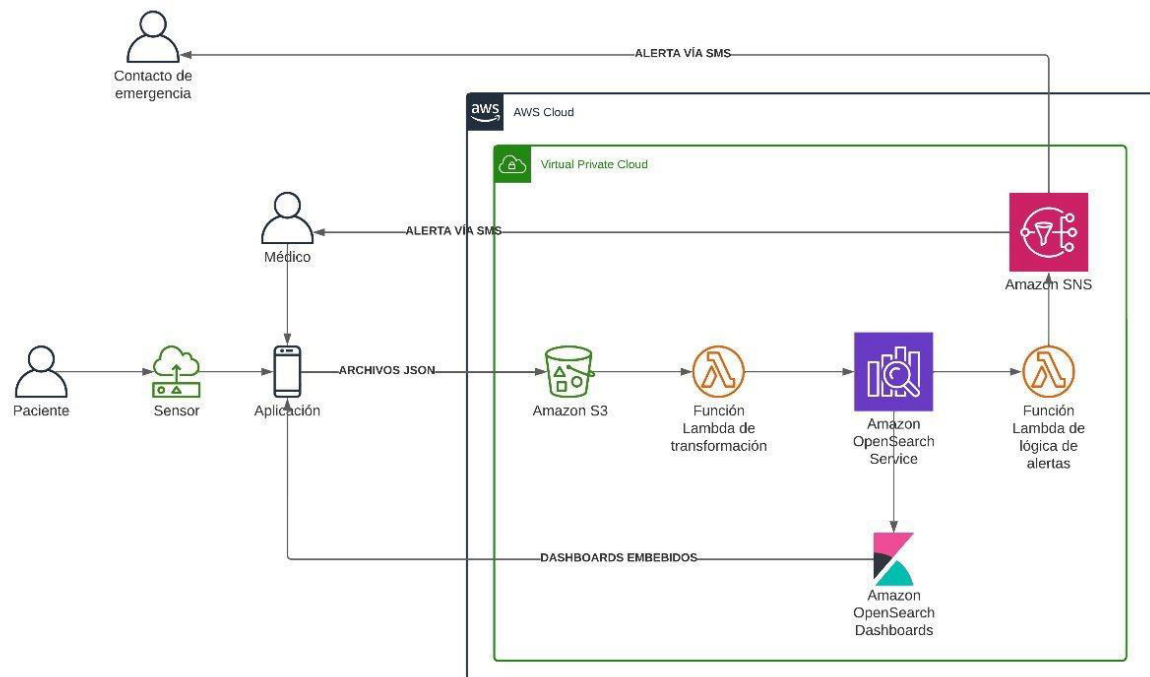


Figura 17: Arquitectura de la solución *cloud*. Fuente: Propia

Conexión del circuito

A continuación, se presenta la conexión del circuito del dispositivo desarrollado a medida, en la presente investigación se eligió un chip WiFi ESP32 para realizar el procesamiento inicial de los datos capturados y el envío de estos a la aplicación móvil. Este chip se conecta con el sensor MAX 30102, que mide el nivel de saturación de oxígeno en la sangre y el ritmo cardíaco del paciente. Cuatro de los pines de este sensor deben conectarse al chip ESP32; el pin GND se conecta a su contraparte en el ESP32, el pin VIN del sensor se conecta al pin 3v del ESP32, el pin SCL del sensor se conecta al pin digital 22 y el pin SDA del sensor se conecta al pin digital D21 del chip ESP32 para su correcto funcionamiento.

Adicionalmente se consideró una batería para mantener la autonomía del dispositivo, esta batería es de litio de 10,000 mAh de 3.7 voltios.

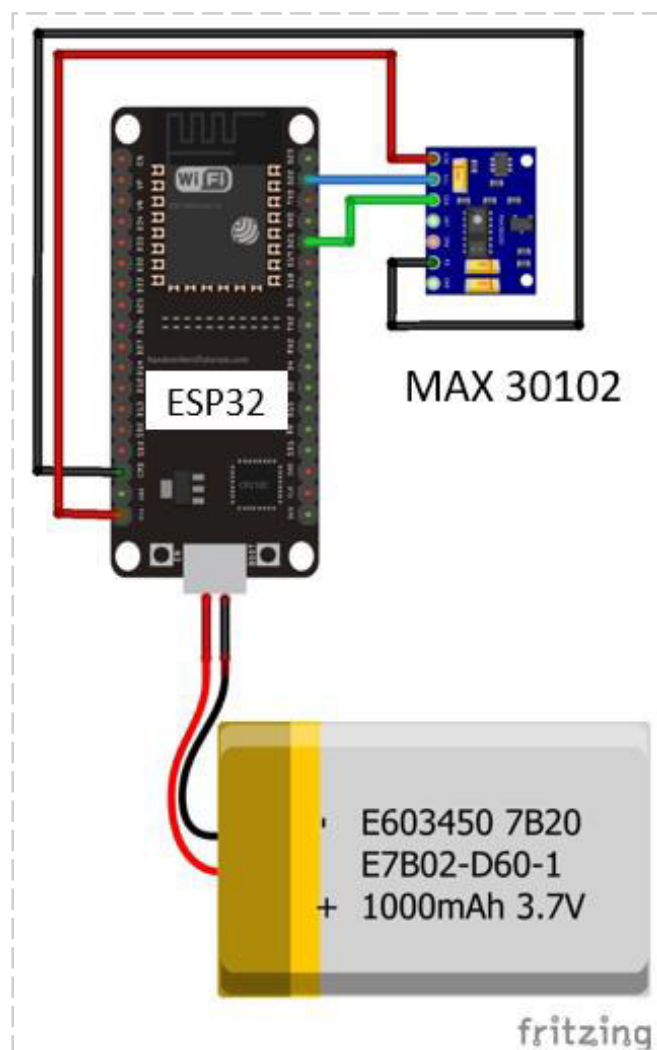


Figura 18: Conexión del circuito de medición. Fuente: Propia

A continuación, se muestran las imágenes del circuito implementado.

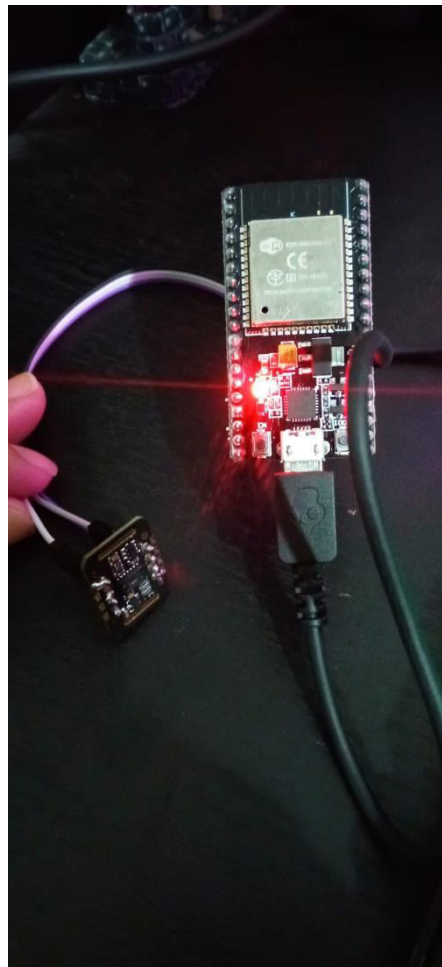


Figura 19: Circuito de medición implementado. Fuente: Propia

Implementación del sistema

5.4.1 Codificación en Arduino

Para la implementación se realizó la codificación del sensor en Arduino, en la cual leemos los valores que nos brinda el sensor y se realiza la calibración de los datos para eliminar los valores atípicos que generar ruido en la medición de los datos.

```
//calculate heart rate and SpO2 after first 100 samples (first 4 seconds of samples)
maxim_heart_rate_and_oxygen_saturation(irBuffer, bufferLength, redBuffer, &spo2, &validSPO2, &heartRate, &validHeartRate);

//Continuously taking samples from MAX30102. Heart rate and SpO2 are calculated every 1 second
while (1)
{
    //dumping the first 25 sets of samples in the memory and shift the last 75 sets of samples to the top
    for (byte i = 25; i < 100; i++)
    {
        redBuffer[i - 25] = redBuffer[i];
        irBuffer[i - 25] = irBuffer[i];
    }

    //take 25 sets of samples before calculating the heart rate.
    for (byte i = 75; i < 100; i++)
    {
        while (particleSensor.available() == false) //do we have new data?
            particleSensor.check(); //Check the sensor for new data

        digitalWrite(readLED, !digitalRead(readLED)); //Blink onboard LED with every data read

        redBuffer[i] = particleSensor.getRed();
        irBuffer[i] = particleSensor.getIR();
        particleSensor.nextSample(); //We're finished with this sample so move to next sample
    }
    if (validSPO2 == 1 || heartRate == 1) {
        //send samples and calculation result to terminal program through UART
        Serial.print(F("red="));
        Serial.print(redBuffer[i], DEC);
        Serial.print(F(", ir="));
        Serial.print(irBuffer[i], DEC);

        Serial.print(F(", HR="));
        Serial.print(heartRate, DEC);

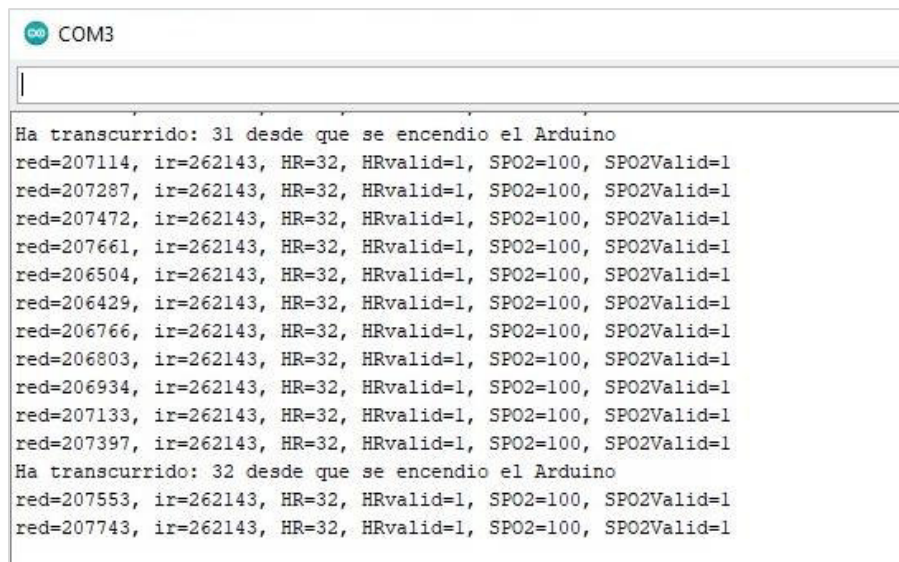
        Serial.print(F(", HRvalid="));
        Serial.print(validHeartRate, DEC);

        Serial.print(F(", SPO2="));
        Serial.print(spo2, DEC);

        Serial.print(F(", SPO2Valid="));
        Serial.println(validSPO2);
    }
}
```

Figura 20: Programa en el IDE Arduino. Fuente: Propia

A continuación, se presenta un ejemplo de la ejecución del código líneas arriba, aquí se muestran los datos identificados como válidos para los valores de ritmo cardíaco y nivel de oxígeno en la sangre utilizando las variables HR y SPO2 respectivamente.



```
COM3

Ha transcurrido: 31 desde que se encendio el Arduino
red=207114, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=207287, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=207472, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=207661, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=206504, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=206429, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=206766, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=206803, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=206934, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=207133, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=207397, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
Ha transcurrido: 32 desde que se encendio el Arduino
red=207553, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
red=207743, ir=262143, HR=32, HRvalid=1, SPO2=100, SPO2Valid=1
```

Figura 21: Consola del IDE Arduino. Fuente: Propia

En el programa desarrollado para el circuito se consideró un primer nivel de validación para identificar si el sensor se encuentra operativo, en el caso que no se reconozca el sensor de medición, se presentará un mensaje para que se revisen las conexiones del circuito de ser necesario.



```
COM3

load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1216
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40078000,len:10944
load:0x40080400,len:6388
entry 0x400806b4
Hola
MAX30105 was not found. Please check wiring/power.

Brownout detector was triggered

ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0xc (SW_CPU_RESET),boot:0x13 (
Autoscroll  Mostrar marca temporal  Nueva línea  115200 baudio  Limpiar salida
```

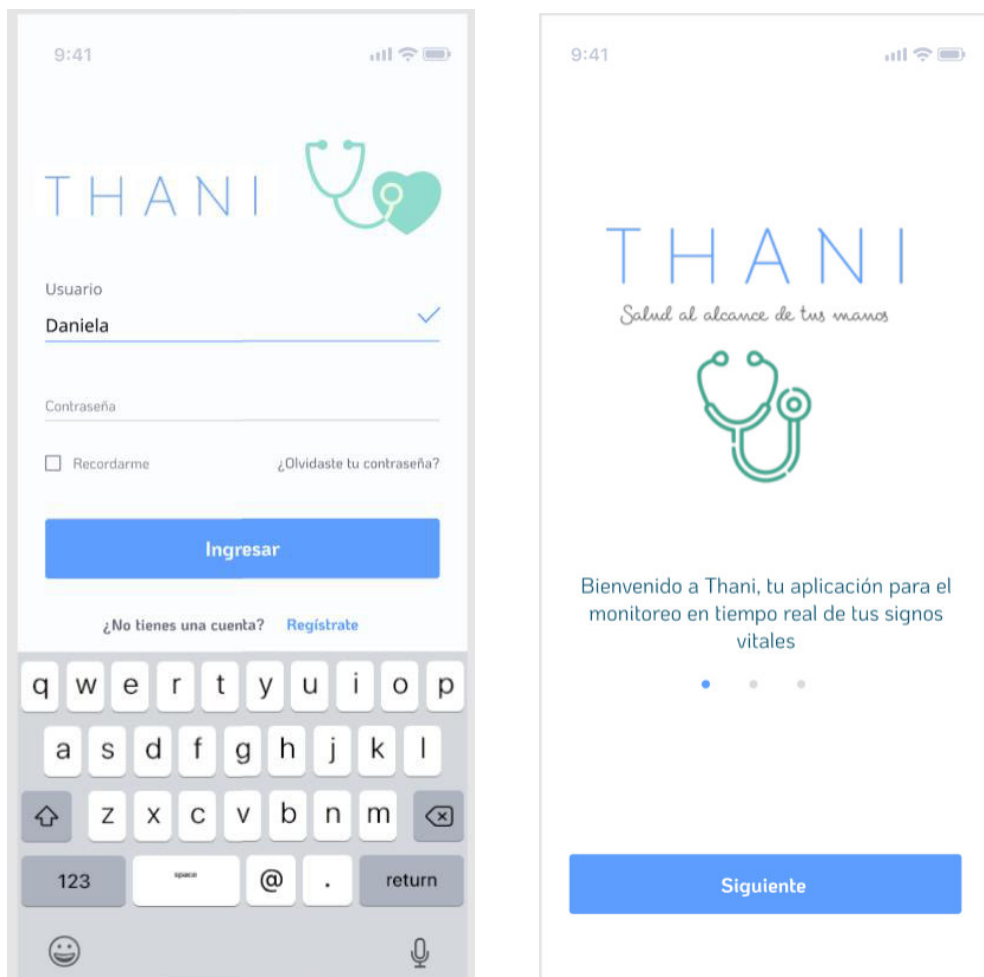
Figura 22: Mensaje de validación del sensor en la consola del IDE Arduino. Fuente: Propia

5.4.2 Aplicación Móvil

La aplicación móvil se desarrolló bajo el marco de React Native a fin de que esta aplicación pueda ejecutarse desde las plataformas de Android e IOs. Se utilizó una interfaz gráfica propia en base a nuestra experiencia como desarrolladoras.

El nombre *Thani* hace referencia a la transliteración del vocablo quechua usado para “saludable”. Se decidió establecer dicha denominación para hacer alusión al propósito de la aplicación y a consolidar una familiaridad con el usuario final.

Se optó el uso de una paleta de colores en tonos pasteles con el objetivo de expresar al usuario sensación de calma, paz y satisfacción.



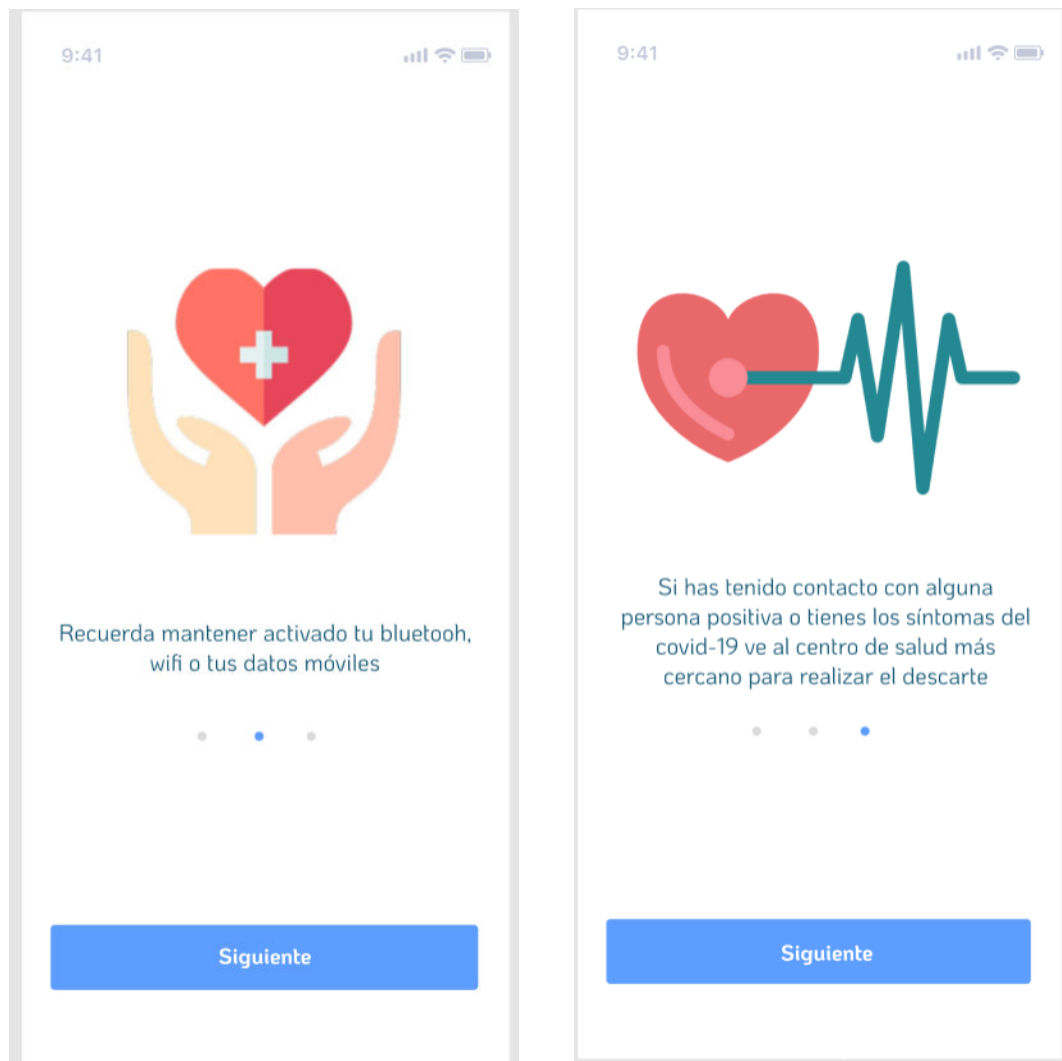


Figura 23: Imágenes de la aplicación móvil – Inicio de la aplicación. Fuente: Propia

9:41

TRIAJE

SI

NO

Durante las últimas 48 horas, ¿Alguna persona con quién vives, ha sido confirmada con COVID-19?

☐ SI
☒ NO

¿Cómo te sentiste en los últimos 14 días calendario?
Marca SI o NO en cada uno de los siguientes síntomas, en caso los hayas experimentado:

¿Presentas fiebre, escalofríos o sensación de alza térmica?

☐ SI
☐ NO

¿Tos y/o dolor de garganta? (no alérgica)

☐ SI
☐ NO

¿Secreción o congestión nasal?

☐ SI
☐ NO

¿Presentas dificultad para respirar?
(Necesidad de respirar por la boca y estando sentado, no es por congestión nasal)

☐ SI
☐ NO

¿Pérdida del olfato o del gusto?

☐ SI
☐ NO

¿Tienes algún(os) otro(s) diagnóstico(s) (no COVID-19) que explican todos tus síntomas anteriores? (asma, rinitis alérgica, bronquitis, faringitis, etc.)

☐ SI
☐ NO

¿Cuentas con el alta de COVID en los últimos 30 días? (Si la respuesta es sí, recuerda mantener seguimiento médico)

☐ SI
☐ NO

Enviar

9:41

TRIAJE

SI

NO

Durante las últimas 48 horas, ¿Alguna persona con quién vives, ha sido confirmada con COVID-19?

☐ SI
☒ NO

¿Cómo te sentiste en los últimos 14 días calendario?
Marca SI o NO en cada uno de los siguientes síntomas, en caso los hayas experimentado:

¿Presentas fiebre, escalofríos o sensación de alza térmica?

☐ SI
☒ NO

¿Tos y/o dolor de garganta? (no alérgica)

☐ SI
☒ NO

¿Secreción o congestión nasal?

☐ SI
☒ NO

¿Presentas dificultad para respirar?
(Necesidad de respirar por la boca y estando sentado, no es por congestión nasal)

☐ SI
☒ NO

¿Pérdida del olfato o del gusto?

☐ SI
☒ NO

¿Tienes algún(os) otro(s) diagnóstico(s) (no COVID-19) que explican todos tus síntomas anteriores? (asma, rinitis alérgica, bronquitis, faringitis, etc.)

☐ SI
☒ NO

¿Cuentas con el alta de COVID en los últimos 30 días? (Si la respuesta es sí, recuerda mantener seguimiento médico)

☐ SI
☒ NO

Enviar

Figura 24: Imágenes de la aplicación móvil – Módulo de Triage. Fuente: Propia

En el proceso de envío de los datos desde el circuito integrado hacía el aplicativo móvil se realiza a través de la comunicación *bluetooth*, a continuación, se presenta las líneas de código donde se recibe la información desde el ESP32, en este caso se recibe concatenada por guion y el primer componente de la cadena representa el valor del ritmo cardiaco, seguido del nivel de oxígeno en la sangre.

```

case MESSAGE_READ:
    String arduinoMsg = msg.obj.toString(); // Read message from Arduino
    switch (arduinoMsg.toLowerCase()){
        case "led is turned on":
            imageView.setBackgroundColor(getResources().getColor(R.color.white));
            textViewInfo.setText("Arduino Message : " + arduinoMsg);
            break;
        case "led is turned off":
            imageView.setBackgroundColor(getResources().getColor(R.color.black));
            textViewInfo.setText("Arduino Message : " + arduinoMsg);
            break;
        default:
            String[] parts = arduinoMsg.split(regex: "=");
            heartRate = parts[0];
            SP02 = parts[1];
            textViewInfo.setText("Heart Rate : " + heartRate);
            textViewInfoSP02.setText("SP02 : " + SP02);
            break;
    }
    break;

```

Figura 25: Código fuente para recibir datos vía bluetooth. Fuente: Propia

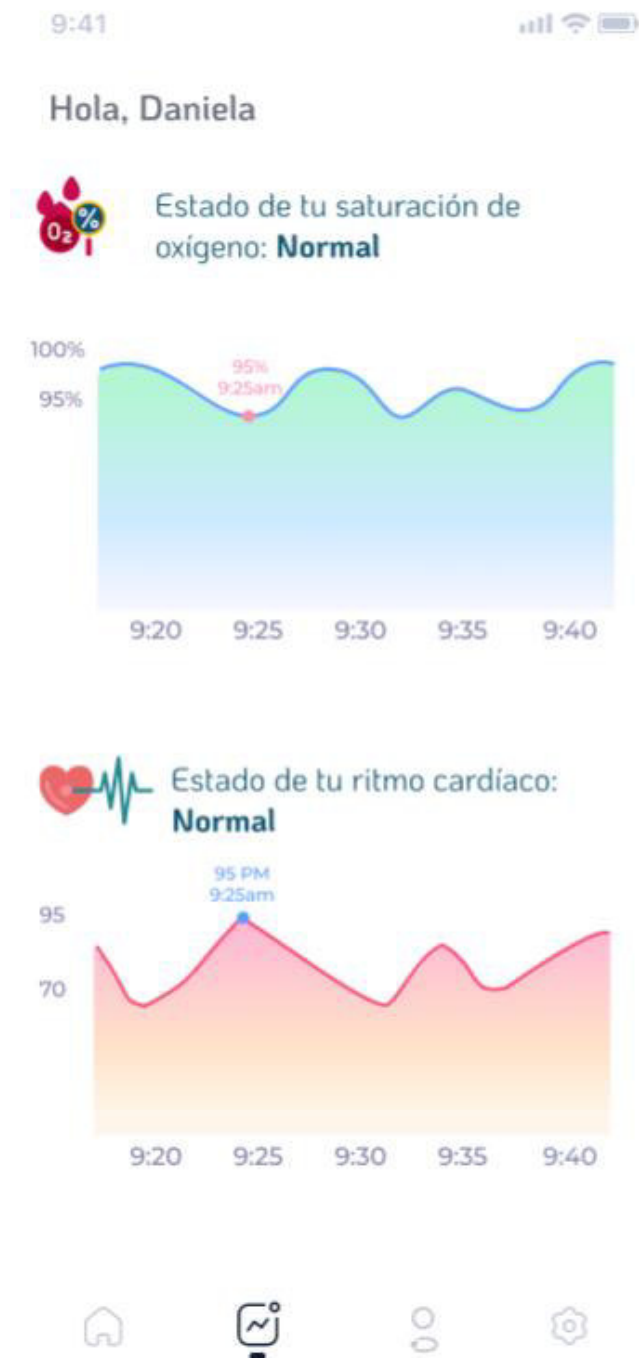


Figura 26: Imágenes de la aplicación móvil – Pantalla de monitoreo de signos vitales.
Fuente: Propia

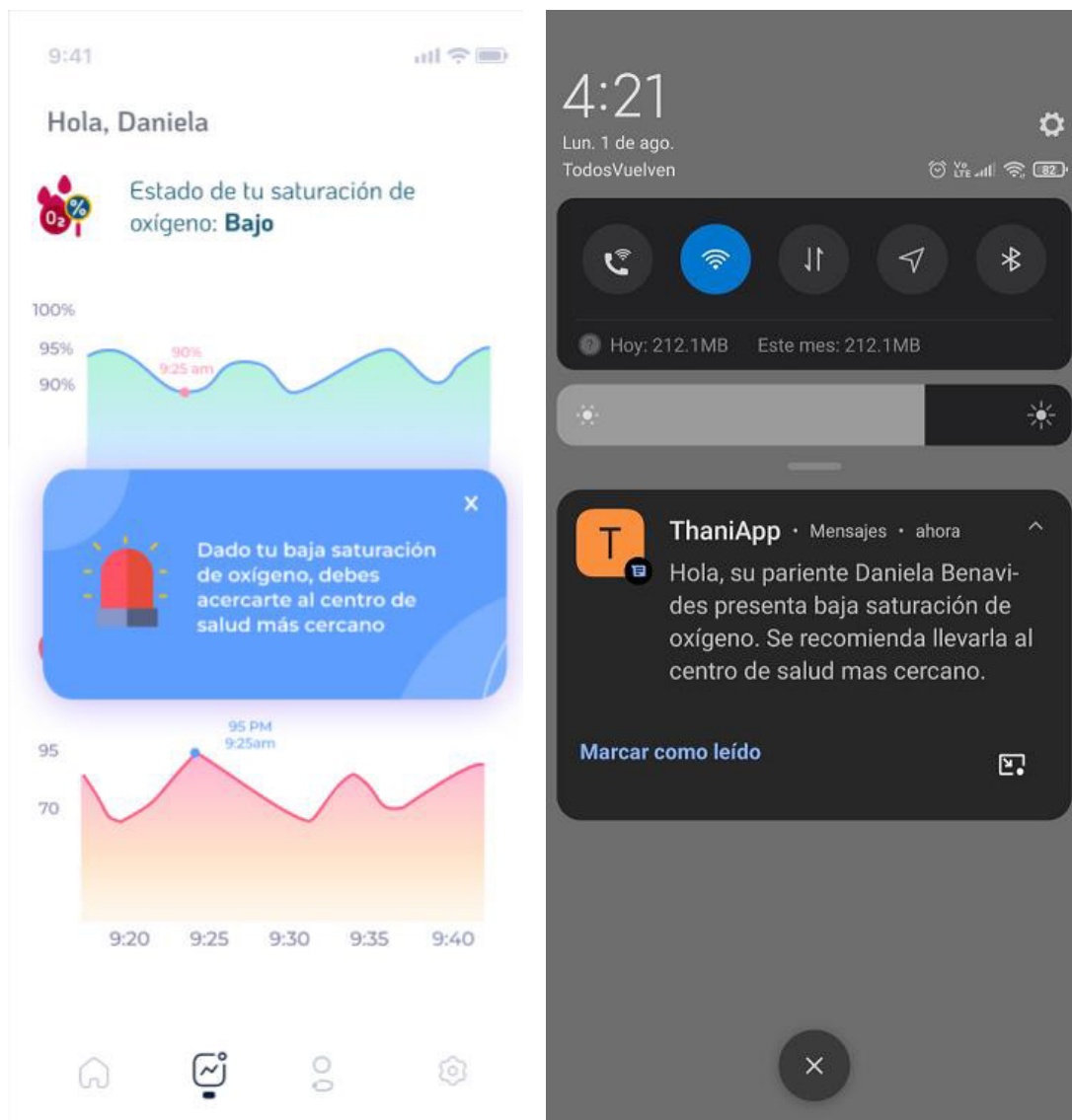


Figura 27: Imágenes de la aplicación móvil – Pantalla de notificación. Fuente: Propia

5.4.3 Modelo de datos

Para el almacenamiento de datos se utilizó el servicio de clústers de objetos elásticos llamado Amazon OpenSearch Service, el cual tiene compatibilidad con orígenes provenientes de archivos planos. Al tratarse de fuentes de datos en formato .JSON y como la integración de esta data se realizó mediante funciones como servicio (AWS Lambda) que permitían convertir los registros en modalidad clave-valor del archivo original en una estructura de datos capaz de ser ingresada al clúster. Esto, además, se ve complementado por un diseño de un modelo de datos dimensional en estrella para tres dimensiones y una tabla de hechos, convirtiendo al clúster de OpenSearch Service en un *data warehouse* que puede manejar los registros del historial médico utilizando toda la información disponible insertada. En la siguiente imagen se puede observar dicho modelo.

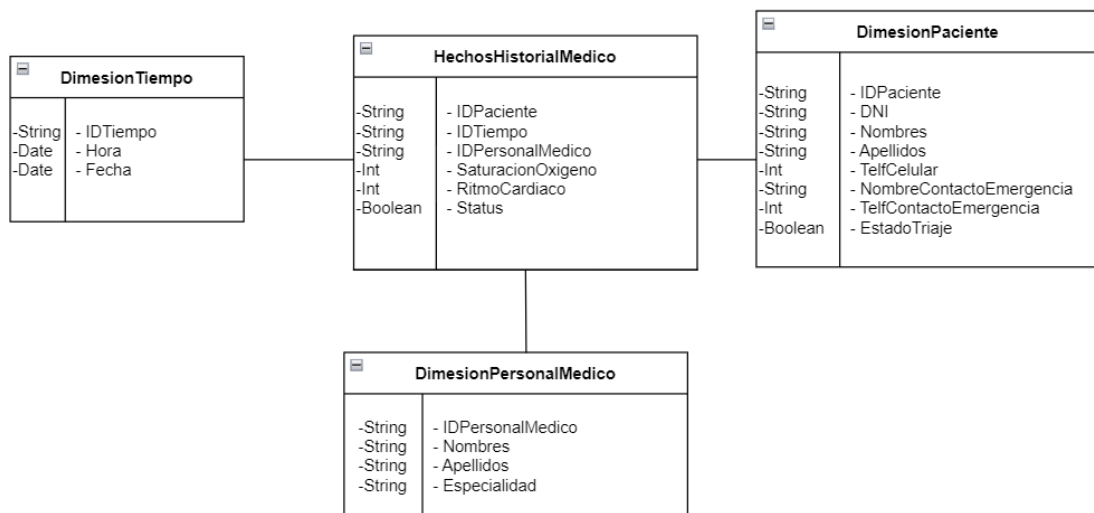


Figura 28: Modelo de datos. Fuente: Propia

5.4.4 Implementación *Cloud*

Para establecer una infraestructura *cloud* acorde a los requisitos de procesamiento del sistema, se partió por el desarrollo a modo de prueba de concepto de un flujo entre el sistema *Thani* y un clúster de Amazon OpenSearch Service, un servicio de bases de datos compatible con búsquedas elásticas, lo cual permite un mejor tratamiento de ciertos tipos de orígenes de datos, como son en este caso los sensores de IoT. Los archivos llegan en formato .JSON a un clúster dimensionado en 2vCPU y 2GB de memoria RAM (instancia t3.small.search) en un ambiente de desarrollo.

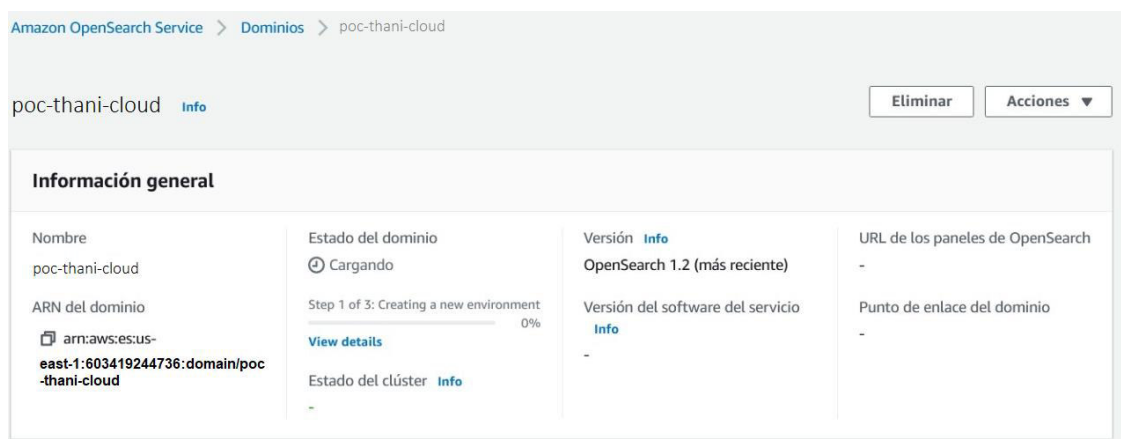


Figura 29: Vista de consola de información general de instancia OpenSearch Service.
Fuente: Propia

El clúster tarda un aproximado de 10 minutos en crearse, ya que se aprovisiona un recurso de AWS en una zona de disponibilidad en Virginia del Norte, Estados Unidos. Cabe destacar que este proceso de aprovisionamiento se realiza solamente una vez, luego de la cual el clúster cuenta con una disponibilidad, de acuerdo con los SLA's del servicio, del 98%. Una vez el clúster se inicializa, se procede a generar la instancia para los *dashboards*.

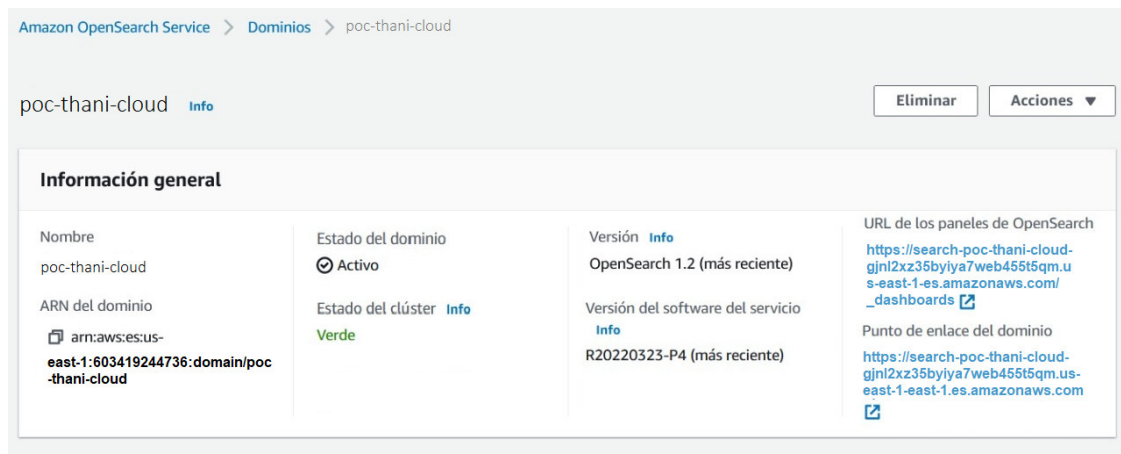


Figura 30: Instancia OpenSearch Service activa. Fuente: Propia

Amazon OpenSearch Service cuenta con un servicio nativo de dashboards, antes conocido como Kibana. OpenSearch Dashboards permite trabajar los datos dentro del clúster de OpenSearch Service interactuando mediante API's o, en su defecto, embebiendo los mismos mediante URL en la página web o recurso indicado por el usuario. Cabe destacar que la interacción mediante API's trabaja directamente sobre métodos de petición PUT, POST, GET y otros.

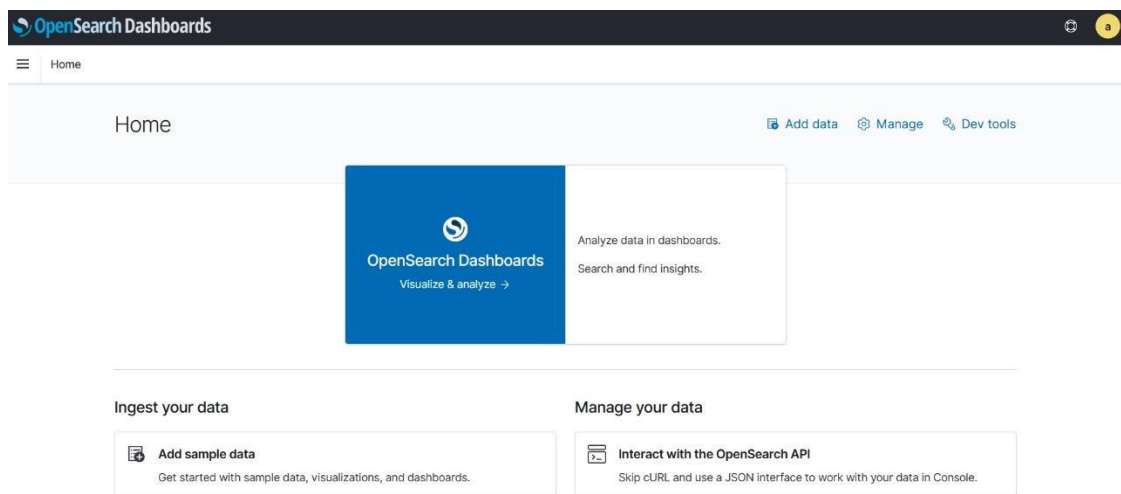


Figura 31: Vista principal de consola OpenSearch Dashboards. Fuente: Propia

Es necesario acotar, adicionalmente, que el funcionamiento e integración de los diversos servicios AWS desplegados implica la formulación de ciertas reglas de accesos mediante políticas codificadas en archivos .JSON o directamente desde la consola de AWS mediante roles de usuario que pueden asignarse mediante el uso del servicio AWS

Identity and Access Management (IAM). Esto, a su vez, se asocia a una ARN (identificador único) para cada instancia levantada.

Política de acceso

Las políticas de acceso controlan si una solicitud se acepta o se rechaza cuando llega al dominio de Amazon OpenSearch Service. Si especifica una cuenta, un usuario o un rol en esta política, debe firmar las solicitudes. [Más información](#)

Política de acceso al dominio

☐ Usar solo el control de acceso detallado
Permita el acceso libre al dominio.

☐ No establecer ninguna política de acceso de nivel de dominio
Se denegarán todas las solicitudes al dominio.

☒ Configurar la política de acceso de nivel de dominio

Editor visual

JSON

Importar política

Elementos

Permita o deniegue el acceso al especificar un ID de cuenta de AWS principal, un ARN de cuenta, un ARN de usuario de IAM, un ARN de rol de IAM, una dirección IPv4 o un bloque de CIDR. El generador de políticas personalizadas permite como máximo 10 elementos. Utilice una política de acceso definida por JSON para definir una política con más de 10 elementos. [Más información](#)

Tipo	Principal	Acción	
ARN de IAM	*	Permitir	Eliminar
ARN de IAM	arn:aws:iam::603419244736:user/dbenavides	Permitir	Eliminar

Añadir un elemento nuevo

Puede añadir 8 elementos más.

Figura 32: Asignación de políticas en servicio *Identity & Access Management*.
Fuente: Propia

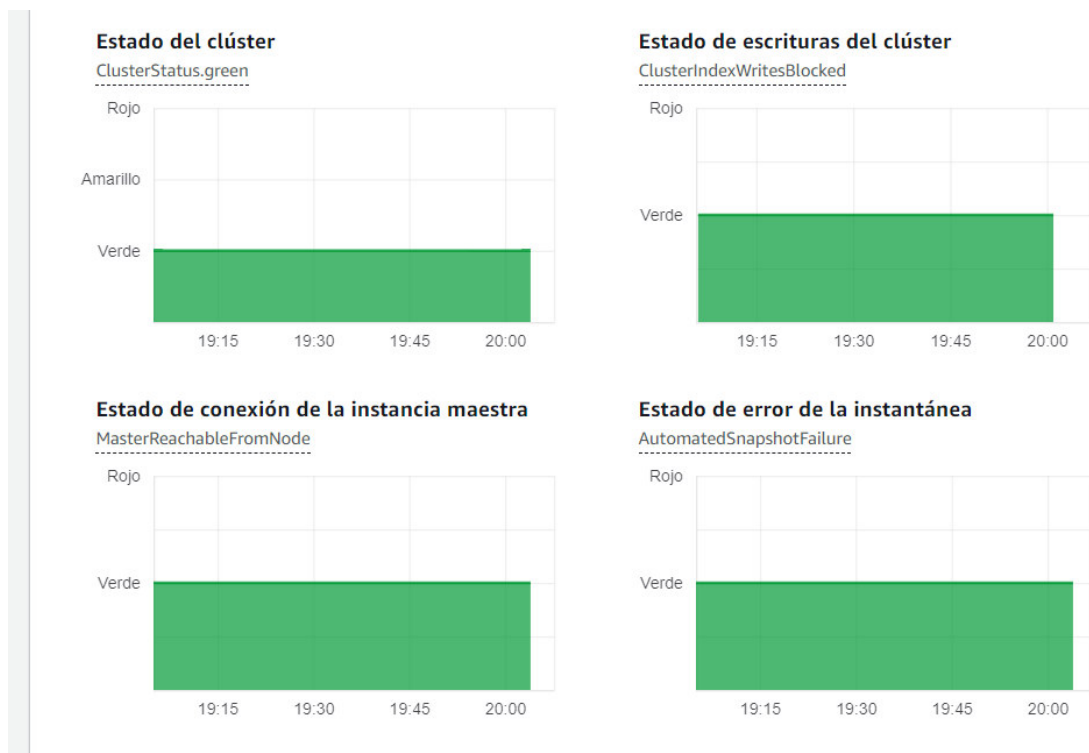


Figura 33: Vista principal de consola OpenSearch Dashboards. Fuente: Propia

En la Figura 33 se pueden apreciar los distintos *health checks* para el clúster levantado. Aunque de momento el análisis de los datos se realiza de forma manual y consultando el apartado de *health* estatus para el clúster, también es posible ligar las alertas en rojo o amarillo directamente hacia un tópico de notificaciones simples utilizando Amazon CloudWatch Logs o la revisión de los *logs* de auditoría con otro servicio denominado Amazon CloudTrail. Otros parámetros de los nodos pueden revisarse en la consola, en particular los de los nodos de datos (ver Figura 34).

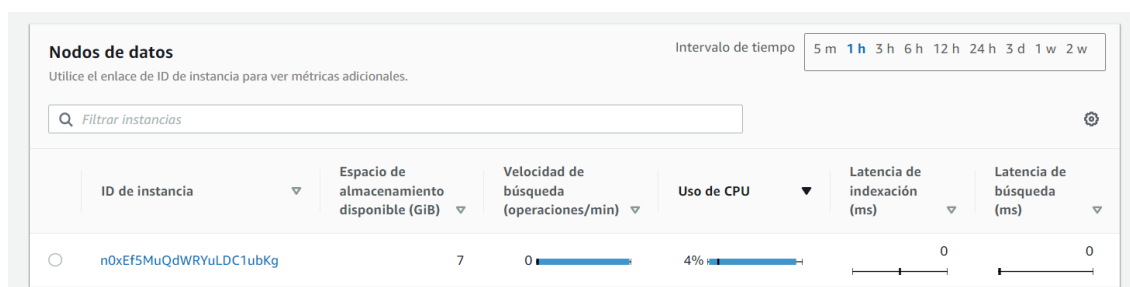


Figura 34: Revisión de estatus para nodos de datos, de acuerdo con parámetros operativos diversos. Fuente: Propia

Configuración de seguridad			Editar
Control de acceso detallado Habilitado Sí Tipo de usuario maestro Base de datos de usuarios interna	Autenticación para paneles de OpenSearch/Kibana SAML habilitado No Cognito habilitado No Región EE. UU. Este (Norte de Virginia)	Cifrado HTTPS obligatorio Sí Cifrado de nodo a nodo Sí Cifrado en reposo Sí Clave de AWS KMS	

Figura 35: Security checks para cluster de OpenSearch Service. Fuente: Propia

En cuanto a la configuración de seguridad, AWS asegura el cifrado de los datos en reposo, así como la encriptación de los flujos de datos entre nodos y protocolos de transferencia de hipertexto asegurados cuando se consulta al nodo maestro. Mediante el servicio AWS Key Management Service, se puede asegurar la encriptación de datos en vuelo, mediante las *pairing keys* generadas a partir del ARN del clúster levantado. Por motivos de seguridad, dicha clave ARN no puede compartirse en el presente documento.

```

{
  "name" : "fb48b98d16a318fc35510cf6b2bc1bd8",
  "cluster_name" : "296370780037:thanitesis",
  "cluster_uuid" : "dkIsX7wyS4qUCIuX9tFSCw",
  "version" : {
    "distribution" : "opensearch",
    "number" : "1.3.2",
    "build_type" : "tar",
    "build_hash" : "unknown",
    "build_date" : "2022-09-01T14:21:57.461917Z",
    "build_snapshot" : false,
    "lucene_version" : "8.10.1",
    "minimum_wire_compatibility_version" : "6.8.0",
    "minimum_index_compatibility_version" : "6.0.0-beta1"
  },
  "tagline" : "The OpenSearch Project: https://opensearch.org/"
}

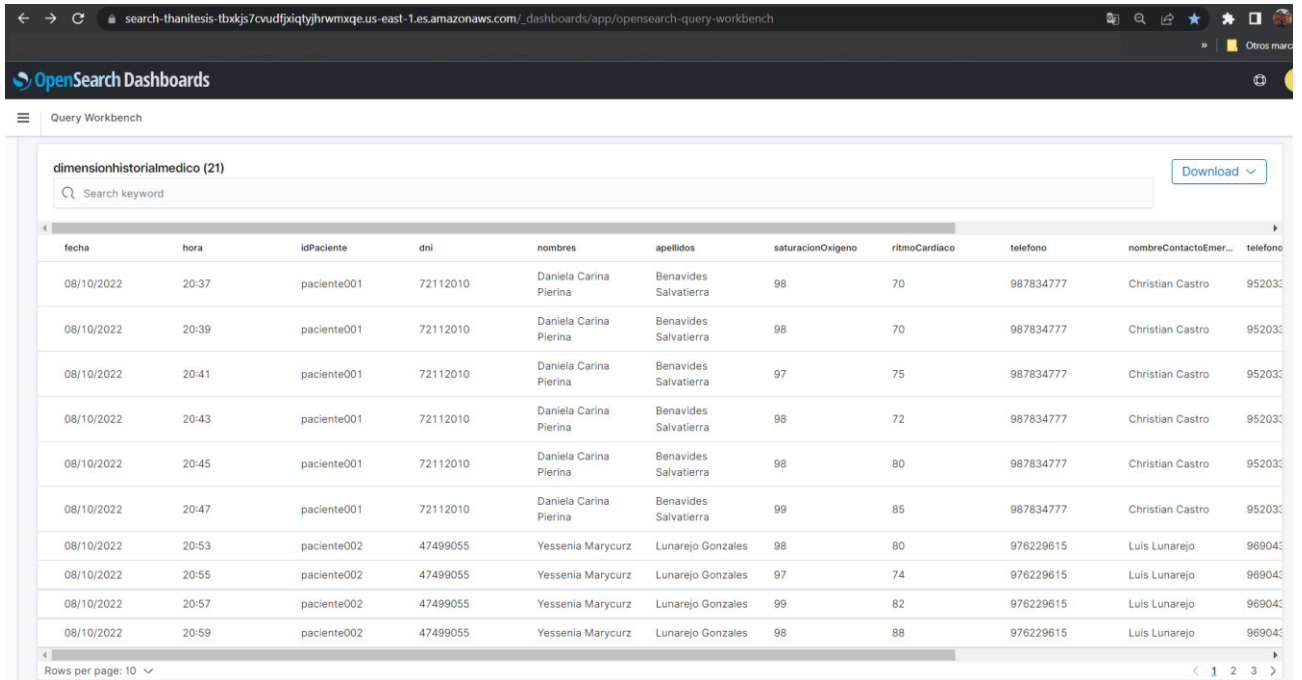
```

Figura 36: Descripción de *stack* tecnológico para clúster de OpenSearch Service.

Fuente: Propia

En la Figura 36 puede observarse la información a nivel de metadatos del clúster de OpenSearch Service creado para el sistema. Dicha información podría utilizarse para

desplegar de forma automatizada un *stack* tecnológico a modo de infraestructura como código (IaaS) mediante el uso del servicio AWS CloudFormation.



The screenshot shows the OpenSearch Dashboards Query Workbench interface. At the top, there's a search bar with the text "dimensionhistorialmedico (21)". Below the search bar is a table with 11 columns: fecha, hora, idPaciente, dni, nombres, apellidos, saturacionOxigeno, ritmoCardiaco, telefono, nombreContactoEmer..., and telefono. The table contains 11 rows of data. The first 5 rows are for patient "paciente001" (Daniela Carina Pierina) with various timestamps and vital signs. The next 6 rows are for patient "paciente002" (Yessenia Marycurz) with various timestamps and vital signs. At the bottom, there's a "Rows per page: 10" dropdown and a pagination bar showing "1 2 3".

fecha	hora	idPaciente	dni	nombres	apellidos	saturacionOxigeno	ritmoCardiaco	telefono	nombreContactoEmer...	telefono
08/10/2022	20:37	paciente001	72112010	Daniela Carina Pierina	Benavides Salvatierra	98	70	987834777	Christian Castro	952035
08/10/2022	20:39	paciente001	72112010	Daniela Carina Pierina	Benavides Salvatierra	98	70	987834777	Christian Castro	952035
08/10/2022	20:41	paciente001	72112010	Daniela Carina Pierina	Benavides Salvatierra	97	75	987834777	Christian Castro	952035
08/10/2022	20:43	paciente001	72112010	Daniela Carina Pierina	Benavides Salvatierra	98	72	987834777	Christian Castro	952035
08/10/2022	20:45	paciente001	72112010	Daniela Carina Pierina	Benavides Salvatierra	98	80	987834777	Christian Castro	952035
08/10/2022	20:47	paciente001	72112010	Daniela Carina Pierina	Benavides Salvatierra	99	85	987834777	Christian Castro	952035
08/10/2022	20:53	paciente002	47499055	Yessenia Marycurz	Lunarejo Gonzales	98	80	976229615	Luis Lunarejo	969045
08/10/2022	20:55	paciente002	47499055	Yessenia Marycurz	Lunarejo Gonzales	97	74	976229615	Luis Lunarejo	969045
08/10/2022	20:57	paciente002	47499055	Yessenia Marycurz	Lunarejo Gonzales	99	82	976229615	Luis Lunarejo	969045
08/10/2022	20:59	paciente002	47499055	Yessenia Marycurz	Lunarejo Gonzales	98	88	976229615	Luis Lunarejo	969045

Figura 37: Revisión de tabla indexada mediante *query* SQL por API Call en OpenSearch Service. Fuente: Propia

En la Figura 37 se puede observar de forma consolidada la totalidad de la información registrada por el aplicativo.

Trabajos Futuros

Como se ha planteado en la investigación para la generación de la alerta es un modelo determinista, lo ideal es que mediante un modelo de *machine learning* se llegue a realizar la predicción de alerta a los pacientes.

Validación

Las pruebas se realizaron con la participación de 10 voluntarios, a los cuales se les realizaron sesiones medición de ritmo cardiaco y saturación de oxígeno con el circuito desarrollado en la investigación estas mediciones fueron contrastadas con un oxímetro comercial, vale indicar que estas mediciones se realizaron al mismo tiempo donde se obtuvo los siguientes datos, los cuales se pueden observar en las siguientes tablas:

Voluntario 1				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	97	78	98	76
2	98	78	98	77
3	98	76	98	76
4	97	78	97	77
5	96	75	97	76
6	96	78	96	78
7	97	73	96	74
8	98	73	97	74
9	97	73	97	73
10	97	71	97	72

Tabla 3: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 1. Fuente: Propia

Voluntario 2				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	98	79	98	79
2	97	70	98	72
3	99	80	99	80
4	97	79	98	78
5	99	77	98	77

6	97	77	97	77
7	99	70	99	71
8	99	80	99	79
9	98	77	99	76
10	97	77	97	77

Tabla 4: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 2. Fuente: Propia

Voluntario 3				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	98	73	98	74
2	98	73	98	73
3	99	68	99	70
4	99	74	98	72
5	98	72	98	72
6	97	74	98	76
7	97	69	97	70
8	99	70	98	70
9	96	69	97	70
10	98	72	98	73

Tabla 5: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 3. Fuente: Propia

Voluntario 4				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	98	68	99	73
2	99	68	97	74
3	99	72	99	72
4	98	72	99	77
5	97	75	98	77
6	98	73	97	78
7	98	73	98	73
8	97	68	97	68
9	97	68	98	71
10	98	68	98	77

Tabla 6: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 4. Fuente: Propia

Voluntario 5				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	99	79	98	75
2	97	77	96	78
3	98	77	97	79
4	98	70	99	76
5	97	70	98	76
6	97	74	98	79
7	99	80	98	70
8	97	79	98	69
9	99	79	96	76
10	99	74	98	69

Tabla 7: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 5. Fuente: Propia

Voluntario 6				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	98	73	98	72
2	98	68	98	70
3	97	76	98	72
4	97	77	99	74
5	97	73	97	74
6	97	70	98	72
7	99	78	98	76
8	98	73	98	76
9	99	69	97	70
10	98	77	97	74

Tabla 8: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 6. Fuente: Propia

Voluntario 7				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	98	77	99	74
2	99	77	99	76
3	97	72	98	74
4	97	70	98	72
5	98	69	97	70
6	97	74	97	72
7	97	79	97	76
8	98	78	98	78
9	98	67	98	77
10	99	77	98	77

Tabla 9: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 7. Fuente: Propia

Voluntario 8				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	98	75	97	76
2	98	76	98	76
3	97	80	98	78
4	97	77	97	76
5	97	73	97	75
6	97	68	98	70
7	99	72	98	71
8	98	70	98	70
9	98	77	99	76
10	98	75	97	76

Tabla 10: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 8. Fuente: Propia

Voluntario 9				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	99	69	97	68
2	97	76	97	74
3	99	75	98	74
4	99	72	99	73
5	97	75	99	75
6	97	69	98	70
7	98	74	98	71
8	97	69	97	72
9	97	71	97	70
10	99	74	97	73

Tabla 11: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 9. Fuente: Propia

Voluntario 10				
	Circuito Desarrollado		Oxímetro comercial	
	Oxímetro	Ritmo cardiaco	Oxímetro	Ritmo cardiaco
1	97	75	99	73
2	99	72	99	74
3	99	76	98	73
4	99	69	99	71
5	97	71	98	71
6	99	72	97	72
7	97	76	97	75
8	98	77	98	75
9	97	71	98	72
10	97	70	97	70

Tabla 12: Comparación de medición entre el circuito desarrollado y el oxímetro comercial del Voluntario 10. Fuente: Propia.

Resultados de las muestras (*t-student*)

Este análisis se realizó en 10 voluntarios a los cuales se les realizó la medición del nivel de oxígeno en la sangre y del ritmo cardiaco utilizando el circuito implementado y un dispositivo comercial. A continuación, se realizó una prueba *t-student* para comparar los dos grupos de datos que tenemos (datos tomados con el circuito desarrollado y el dispositivo comercial), esto con el fin de determinar si son significativamente diferentes entre sí.

En el caso de las muestras del oxímetro consideramos como hipótesis inicial que ambos dispositivos presentan mediciones fiables del paciente al que cual se le realiza la medición. Mediante este análisis se identificó el valor estadístico $t = 0.0858$ se encuentra dentro del rango establecido por los límites del valor crítico de $t = 1.9720$ lo cual indica que corresponde a la hipótesis otorgando la veracidad de esta.

	<i>Oxímetro Circuito</i>	<i>Oxímetro Comercial</i>
Media	97.8	97.79
Varianza	0.7475	0.6120
Número de muestras	100	100
Varianza agrupada	0.6797	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	198	
Estadístico t	0.0858	
P(T<=t) una cola	0.4659	
Valor crítico de t (una cola)	1.6526	
P(T<=t) dos colas	0.9317	
Valor crítico de t (dos colas)	1.9720	

Tabla 13: Resultados del análisis comparativo del Oxímetro del Circuito desarrollado Vs El oxímetro Comercial. Fuente: Propia.

En el caso de las muestras del ritmo cardiaco consideramos como hipótesis inicial que ambos dispositivos presentan mediciones fiables del paciente al que cual se le realiza la medición. Mediante este análisis se identificó el valor estadístico $t = -0.05377$ se

encuentra dentro del rango establecido por los límites del valor crítico de $t = 1.9720$ lo cual indica que corresponde a la hipótesis otorgando la veracidad de esta.

	<i>Ritmo cardíaco Circuito</i>	<i>Ritmo cardíaco Comercial</i>
Media	73.67	73.92
Varianza	13.13242424	8.478383838
Número de muestras	100	100
Varianza agrupada	10.80540404	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	198	
Estadístico t	-0.537779825	
P(T<=t) una cola	0.295666497	
Valor crítico de t (una cola)	1.652585784	
P(T<=t) dos colas	0.591332995	
Valor crítico de t (dos colas)	1.972017478	

Tabla 14: Resultados del análisis comparativo del Ritmo cardíaco del Circuito desarrollado Vs el Ritmo cardíaco con el sensor Comercial. Fuente: Propia.

Factibilidad Económica

- Cotización de los recursos:

Detalle	Monto (S/.)
Laptop	4,000.00
Batería de litio 3.7v (10 unidades)	80.00
ESP32 (10 unidades)	500.00
MAX30102 (10 unidades)	100.00
Servicio de programación Arduino	2,000.00
Servicio de programación Android	3,000.00
Servicio de Arquitecto Cloud AWS	3,000.00
Costo Servicio nube	500.00
Costo Total	13,180.00

Tabla 15: Cotización de los recursos de la solución propuesta. Fuente: Propia.

Año	Flujo de Beneficios	Flujo de Costos	Flujo Neto
1	S/. 54,360.00	S/. 27,180.00	S/. 27,180.00
2	S/. 54,360.00	S/. 27,180.00	S/. 27,180.00
3	S/. 54,360.00	S/. 27,180.00	S/. 27,180.00
4	S/. 54,360.00	S/. 27,180.00	S/. 27,180.00
5	S/. 54,360.00	S/. 27,180.00	S/. 27,180.00

Tabla 16: Flujo de caja del proyecto de implementación de la solución propuesta.
Fuente: Propia.

Cálculo de VAN (Valor Actual Neto)

Para validar que la investigación sea realmente rentable, el valor del VAN debe ser siempre mayor que cero. Esto indicará que en el plazo estimado se podrá recuperar la inversión. Para realizar el cálculo del VAN necesitamos aplicar la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + k)^t} - I_0$$

Donde:

F_t : Flujo neto en cada período t

I_0 : Inversión inicial = s/.13,180

n : Número de períodos considerados = 5

k : Tasa de descuento (20%) = 0.2

$$VAN = \frac{27180}{(1+0.2)^1} + \frac{27180}{(1+0.2)^2} + \frac{27180}{(1+0.2)^3} + \frac{27180}{(1+0.2)^4} + \frac{27180}{(1+0.2)^5} - 13180$$

$$VAN = 57,181.81$$

El Valor Actual Neto es positivo ($VAN > 0$), es decir, que la inversión producirá ganancias superiores a la rentabilidad exigida, con lo cual se concluye que el proyecto es económicamente viable.

Cálculo de TIR (Tasa Interna de Retorno)

El TIR es otro indicador de rentabilidad de proyectos o inversiones, de manera que cuanto mayor sea la TIR mayor será la rentabilidad, este indicador mediría el porcentaje de ingreso o pérdidas que se obtiene como consecuencia de una inversión. Para realizar el cálculo del TIR necesitamos aplicar la siguiente fórmula, donde la TIR es la tasa de descuento con la que el valor del VAN se iguala a cero, o dicho de otra manera la tasa que iguala la suma del valor actual de los gastos con la suma del valor actual de los ingresos previstos.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

Donde:

C_n : Flujo de caja generados por la inversión en cada período

I_0 : Inversión inicial = s/.13,180

N: Número total de períodos = 5

n: Número de períodos considerados

r: TIR

$$0 = \frac{27180}{(1+TIR)^1} + \frac{27180}{(1+TIR)^2} + \frac{27180}{(1+TIR)^3} + \frac{27180}{(1+0.2)^4} + \frac{27180}{(1+TIR)^5} - 13180$$

$$13180 = \frac{27180}{(1+TIR)^1} + \frac{27180}{(1+TIR)^2} + \frac{27180}{(1+TIR)^3} + \frac{27180}{(1+0.2)^4} + \frac{27180}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = 2.04$$

La Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento ($TIR > 20\%$), es decir, que el proyecto generará una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida, con lo cual se concluye que el proyecto es aceptable

Lecciones aprendidas

Durante las pruebas del circuito integrado se identificaron algunas interrupciones en la captura de datos del sensor MAX30102, esto debido a la posición en la que se coloca el dedo del usuario al cual se realiza la medición. Después de varias series de pruebas, la posición del dedo se debe mantener firme en el sensor e idealmente no debe tocar ninguna parte metálica del sensor para evitar ruidos en la captura de datos.

En la evaluación de las distintas tecnologías de computación en nube, se eligió la plataforma AWS, siendo esta la más adecuada tanto en costo como en implementación para la solución propuesta.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describirán los resultados y lecciones aprendidas obtenidos tras la implementación de la solución,

Conclusiones

La implementación de un sistema de alerta temprana y atención primaria ayuda al personal médico a conocer el estado del paciente más rápido debido a que existe un monitoreo previo a la llegada del paciente al centro de salud, por tal motivo el paciente recibe una atención personalizada basándose en el historial médico correspondiente que almacena los datos del monitoreo que se le ha realizado.

Se determinó que el ESP32 es el microcontrolador que debido a sus características de compactibilidad y suministrar comunicaciones inalámbricas incorporadas se adaptó mejor a la solución integrada y facilita la movilidad del circuito. Asimismo, con el sensor MAX 30102, al integrar un pulsioxímetro y un monitor de frecuencia cardiaca, se llegó a optimizar el uso de varios sensores solo en uno.

La construcción del módulo integrado se realizó basado en una plataforma de fácil acceso que agilizó la construcción de este módulo, dado que existe amplia información compartida en los foros y comunidad de la plataforma empleada.

En el desarrollo de la investigación se implementó la aplicación móvil ‘*Thani*’ en la cual se visualiza los datos biomédicos del paciente asimismo se realiza un control de triaje para tener un control más detallado de los posibles síntomas que llegase a tener.

La implementación de la solución *cloud* nos permitió almacenar y gestionar los datos biomédicos y personales de los pacientes. De igual manera se implementó la alerta vía SMS al médico y al familiar designado. Asimismo mediante el uso de los módulos de encriptación en AWS, se permitió mantener la data segura y sobre todo mantener la disponibilidad de los datos y de la solución en un 99.8%.

Recomendaciones

Dado que este proyecto está orientado principalmente a sectores de todas las edades, el tema de la experiencia e interfaz de usuario es muy importante por lo cual se recomienda realizar test de usabilidad a los usuarios finales. Esto con el fin de realizar la aplicación lo más amigable y entendible posible.

El aplicativo debe ser compatible con la mayoría de las versiones de Android posibles y optimizar los recursos que pueda a llegar a consumir del equipo móvil como son la RAM, espacio en memoria, uso de la batería, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulrazaq, M., Istiqomah, N., Al-Zubaidi, S., Karim, S., Mustapha, S., & Yusuf, E. (2020). TOWARD A NOVEL DESIGN FOR CORONAVIRUS DETECTION AND DIAGNOSIS SYSTEM USING IOT BASED DRONE TECHNOLOGY. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 24. doi:10.37200/IJPR/V24I7/PR270220
- Amazon Web Services, Inc. (2022). *Informática en la nube con AWS*. Retrieved junio 2022, from <https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/>
- Ban, M., Hmeidi, I., Al-Harbi, M., Mrayan, L., Mardini, W., & Khamayseh, Y. (2019). IoT-based healthcare systems: a survey. *DATA '19: Proceedings of the Second International Conference on Data Science, E-Learning, and Information Systems*, 30, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1145/3368691.3368721>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Respuestas al COVID-19 desde la ciencia, la innovación y el desarrollo productivo* (1° edición ed.). Recuperado el 26 de abril de 2021, de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Respuestas-al-COVID-19-desde-la-ciencia-la-innovacion-y-el-desarrollo-productivo.pdf>
- Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y control de enfermedades - MINSA. (2021). En *Situación Actual COVID19 Perú 2020-2021* (págs. 14-16). Perú. Recuperado el 07 de marzo de 2021, de <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/tools/coronavirus/coronavirus240221.pdf>
- Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades. (2020). *Boletín Epidemiológico del Perú 2020*. Lima. Recuperado el 08 de febrero de 2022, de https://actbistas.org/wp-content/uploads/2020/09/boletin_202034.pdf
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2020). *Análisis espacial de la situación e impactos en los servicios de salud y educación*. Lima. Recuperado el 08 de

febrero de 2022, de https://www.ceplan.gob.pe/wp-content/uploads/2020/12/CEPLAN-Analisis_espacial_de_la_situacion_e_impactos_en_los_servicios_de_salud_y_educacion_en_el_contexto_de_la_pandemia_por_la_COVID-19.pdf

CEPLAN. (2020). *Análisis espacial de la situación e impactos en los servicios de salud y educación*. Recuperado el 26 de junio de 2021, de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1504160/An%C3%A1lisis%20espacial%20de%20la%20situaci%C3%B3n%20e%20impactos%20en%20los%20servicios%20de%20salud%20y%20educaci%C3%B3n%20en%20el%20contexto%20de%20la%20pandemia%20por%20la%20COVID%20%E2%80%93%2019>.

Chen, M., Gonzalez, S., Vasilakos, A., Cao, H., & Leung, V. (2011). Body Area Networks: A Survey. *16*, 171–193. doi:<https://doi.org/10.1007/s11036-010-0260-8>

Essalud. (2020). Pulsioxímetro para uso domiciliario en pacientes con Covid-19 catalogados inicialmente como casos leves y con factores de riesgo. Recuperado el 26 de junio de 2021, de http://www.essalud.gob.pe/ietsi/pdfs/covid_19/RB33_PULSEOXIMETER_14jul2020.pdf

Guowei, D., Xiaoying, T., & Weifeng, L. (2007). A Reflectance Pulse Oximeter Design Using the MSP430F149. *IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering, Beijing*, 1081-1084. doi:10.1109/ICCME.2007.4381907

Honeine, P., Mourad, F., Kallas, M., Snoussi, H., Amoud, H., & Francis, C. (2011). Wireless sensor networks in biomedical: Body area networks. *International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications, WOSSPA*. doi:10.1109/WOSSPA.2011.5931518

Hugo Brito, A. G. (2018). JavaScript in mobile applications: React Native vs Ionic vs NativeScript vs native development. *IEEE*, 1 - 6. doi:10.23919/CISTI.2018.8399283

- Khan, K. and Donthula, S. 2019. Investigating Motivational and Usability Issues of mHealth Wellness Apps for Improved User Experience. Third International Congress on Information and Communication Technology (2019), 573– 587.
- [13] Koole, M.A
- Mardini, M.T., Iraqi, Y. and Agoulmine, N. 2019. A Survey of Healthcare Monitoring Systems for Chronically Ill Patients and Elderly. Journal of Medical Systems. 43, 3 (Jan. 2019), 50. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10916-019-1165-0>.
- Maxim Integrated Products Inc. (2018). *Maxim Integrated*. Recuperado el 29 de junio de 2021, de Maxim Integrated: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>
- Mendelson, Y. (2012). Chapter 10 - Biomedical Sensors. En Y. Mendelson, *Introduction to Biomedical Engineering* (3° ed., págs. 609-666). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374979-6.00010-1>
- Meta Platforms, Inc. (2022). React Native. Retrieved from <https://reactnative.dev/docs/getting-started>
- Mian Mujtaba, A., Shyqyri, H., Munna M., A., Chike, N., & Mohamed, S. (2020). Design of Internet of Things (IoT) and Android Based Low Cost Health Monitoring Embedded System Wearable Sensor for Measuring SpO2, Heart Rate and Body Temperature Simultaneously. *Springer, 111*, 2449–2463. doi:10.1007/s11277-019-06995-7
- Ministerio de Salud del Perú. (09 de noviembre de 2019). *Resolución Ministerial N° 1041-2019 / MINSA*. Recuperado el 07 de marzo de 2021, de <https://imtavh.cayetano.edu.pe/images/resolucion-ministerial-n-1041-2019-minsa.pdf>
- MINSA. (9 de enero de 2021). *Plataforma digital única del Estado Peruano*. Recuperado el 07 de marzo de 2021, de Minsa distribuyó más de 80 000 pulsioxímetros a nivel nacional para control temprano de la COVID-19: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/324119-minsa-distribuyo-mas-de-80-000-pulsioximetros-a-nivel-nacional-para-control-temprano-de-la-covid-19>

- MINSA. (2020). Resolución Ministerial 972-2020. *El Peruano*. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1467798/RM%20972-2020-MINSA.PDF>
- Nasajpour, M., Pouriyeh, S., Arabnia, H., Parizi, R., Valero, M., & Dorodchi, M. (2020). Internet of Things for Current COVID-19 and Future Pandemics: an Exploratory Study. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 4, 325–364. doi:<https://doi.org/10.1007/s41666-020-00080-6>
- OMS. (2020). Manejo clínico de la COVID-19. 11. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332638/WHO-2019-nCoV-clinical-2020.5-spa.pdf>
- OMS. (2020). *Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. Recuperado el 07 de marzo de 2021, de <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- OMS. (2020). Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones. *Vías de transmisión del virus de la COVID-19: repercusiones para las recomendaciones relativas a las precauciones en materia de prevención y control de las infecciones*, 1. Obtenido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333390/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pavleen, K., Ravinder, K., & Munish, K. (2019). *A healthcare monitoring system using random forest and internet of things (IoT)* (Vol. 78). Multimedia Tools and Applications. doi:<https://doi.org/10.1007/s11042-019-7327-8>
- Phelan, A., Katz, R., & Gostin, L. (2020). The Novel Coronavirus Originating in Wuhan, China Challenges for Global Health Governance. *American Medical Association*, 1-2. doi:[doi:10.1001/jama.2020.1097](https://doi.org/10.1001/jama.2020.1097)
- Revelivan, C., Wiratama, H., Hanafiah, N., Surjarwo, S., & Wibisurya, A. (2019). Door Security System for Home Monitoring Based on ESP32. *Procedia Computer Science*, 157, 673-682. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.218>

- Uddin, Z. (2019). A wearable sensor-based activity prediction system to facilitate edge computing in smart healthcare system. (Elsevier, Ed.) *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 123, 46-53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.08.010>
- Umar-Amin, S., Shamim-Hossain, M., Muhammad, G., Musaed, A., & Rahman, A. (2019). Cognitive Smart Healthcare for Pathology Detection and Monitoring. *IEEE Access*, 7, 10745 - 10753. doi:10.1109/ACCESS.2019.2891390
- Vilaseca, J. M., & Howe, A. (2022). La atención primaria del futuro: ¿qué puede aprender la atención primaria europea de las innovaciones y retos de la pandemia de COVID-19? Elsevier, 2. doi:<https://doi.org/10.1016/j.appr.2022.100163>
- Zhang, L., Hu, X., & Chao, L. (2017). The IoT-based heart disease monitoring system for pervasive healthcare service. *Procedia Computer Science*, 112, 2328-2334. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.265>
- Zhang, S., Wang, Y., Rauch, A., & Wei, F. (2020). Unprecedented disruption of lives and work: Health, distress and life satisfaction of working adults in China one month into the COVID-19 outbreak. *Elsevier*, 288. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112958>