

SISTEMA INTEGRAL DE SEGUIMIENTO DE PULSIOXIMETRÍA CON  
CONEXIÓN WIFI PARA MONITOREO EN URGENCIAS

HEYLER CAMILO MARTÍNEZ RAMÍREZ

CRISTINA RONDEROS CONTRERAS

DAVID FERNANDO UMBARILA FORA

UNIVERSIDAD EAN

PROYECTO DE INTEGRACIÓN

WILLIAM LOPEZ CASTRILLON

BOGOTÁ DC, 18 DE NOVIEMBRE DE 2025

### Resumen

En las salas de urgencias de Bogotá, la creciente demanda de servicios médicos y la escasez de recursos tecnológicos representan un desafío para el monitoreo de pacientes con afecciones respiratorias. La pulsioximetría se ha convertido en una herramienta esencial, pues permite la medición no invasiva de la saturación de oxígeno en la sangre (SpO<sub>2</sub>) y la frecuencia cardíaca, proporcionando datos de forma rápida y confiable y facilitando la detección temprana de complicaciones graves.

Sin embargo, los pulsioxímetros tradicionales utilizados en estos entornos están limitados por su falta de conectividad inalámbrica, volviendo inviable el monitoreo constante en tiempo real, lo que en consecuencia retrasa la respuesta clínica. A esto se suman aspectos económicos, ergonómicos y de desinfección, comprometiendo respectivamente la cantidad de dispositivos de monitoreo disponibles, la comodidad de los pacientes y aumentando el riesgo de infecciones intrahospitalarias.

Para abordar estas problemáticas, este proyecto propone un sistema integral de seguimiento basado en una manilla equipada con un pulsioxímetro y conectividad wifi, destinado a monitorear en tiempo real los signos vitales de los pacientes de las salas de urgencias. Este sistema busca ser económico, ergonómico y de fácil desinfección. Se busca crear un prototipo que supere las limitaciones actuales y que sea capaz de mejorar a futuro, la atención temprana en las salas de urgencias, reduciendo el riesgo de complicaciones y aportando una solución práctica al sistema de salud local.

*Palabras clave:* pulsioximetría, monitoreo, wifi, urgencias, Bogotá, SpO<sub>2</sub>, frecuencia cardíaca, ergonomía, internet de las cosas (IoT), tecnología médica

## **Sistema Integral de Seguimiento de Pulsioximetría con Conexión Wifi para Monitoreo en Urgencias**

Las salas de urgencias en Bogotá enfrentan una alta demanda debido al volumen de pacientes ingresados diariamente, lo que vuelve necesario el desarrollo de soluciones que permitan darle un seguimiento a cada uno de ellos. Gracias a la pulsioximetría se puede obtener de manera no invasiva la saturación de oxígeno en la sangre (SpO<sub>2</sub>) y la frecuencia cardíaca, signos vitales que ayudan a monitorear el estado de la salud de los usuarios, lo que ha convertido los pulsioxímetros en dispositivos indispensables en entornos clínicos. Además, el uso de nuevas tecnologías como la conectividad inalámbrica y la transferencia de datos a aplicaciones móviles ha mejorado significativamente el monitoreo a los pacientes y facilitado la detección temprana de enfermedades respiratorias graves (Tekin et al., 2023a).

A nivel global, los pulsioxímetros han sido una herramienta muy importante en la atención primaria, su simplicidad y precisión los vuelven esenciales en las salas de urgencias. Investigaciones recientes han destacado que la implementación de pulsioxímetros con tecnologías como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ha perfeccionado la precisión diagnóstica de estos dispositivos, incentivando el uso en diversos países (Tekin et al., 2023b). Sin embargo, persisten diversos desafíos relacionados con su costo de adquisición y la falta de avances tecnológicos en muchos modelos usados comúnmente (McHenry et al., 2019).

En Colombia, el uso de los pulsioxímetros ha aumentado, impulsado por la disponibilidad de dispositivos más avanzados y de alta calidad. No obstante, la toma de signos vitales sigue siendo llevada a cabo manualmente por el personal de la salud y la aplicación de tecnologías avanzadas de monitoreo continuo sigue siendo limitada.

En Bogotá, las salas de urgencias enfrentan un aumento en su demanda de servicios de emergencia, por lo que se necesita un constante monitoreo de los pacientes, para disminuir la probabilidad de que estos presenten complicaciones que puedan poner en riesgo su vida (Rodríguez-Páez et al., 2018). Entre estas complicaciones derivadas de deficiencias o irregularidades en el ritmo cardíaco y la oxigenación en sangre se incluyen la desorientación, el mareo, daño cerebral, deterioro del tejido cardíaco, entre otros.

En este contexto, este proyecto se enfoca en crear un sistema integral de seguimiento de pulsioximetría con conectividad wifi para monitoreo en urgencias de la oxigenación en sangre y el ritmo cardíaco de los pacientes. Basándose en información recopilada sobre los fundamentos de la pulsioximetría, la aplicación de nuevas tecnologías. El sistema aplicará diferentes tecnologías en su diseño para que tenga un funcionamiento efectivo, conectividad wifi y sea cómodo y seguro.

Este sistema busca satisfacer ciertas limitaciones actuales en el sistema de salud de Bogotá, aportar al monitoreo constante de todos los pacientes en entornos críticos y mejorar la atención temprana en las unidades de emergencia en Bogotá. Esta herramienta podría aumentar la eficiencia y reducir la carga laboral del personal de la salud, al eliminar la necesidad de tomar los signos vitales de manera manual. Esto a su vez puede reenfocar el tiempo del personal de la salud a otras funciones, como el estudio de los síntomas y el diagnóstico de los pacientes. A su vez la posibilidad de almacenar estos datos y tener un control preciso de las variaciones a lo largo de su ingreso al hospital puede ser crucial para cuidar la salud del paciente.

Este trabajo se estructura en cinco partes principales. En primer lugar, se presentan los objetivos, los cuales establecen el propósito del sistema propuesto, brindando información importante sobre el desarrollo del proyecto. Luego se presenta la definición del problema, donde

se brinda información precisa sobre las principales falencias y oportunidades de mejora que se pueden presentar en las salas de urgencias, también nos introduce la pregunta problema. En tercer lugar, se incluye la justificación donde se presenta un claro panorama de la importancia del proyecto en los procesos de toma de signos vitales en las salas de urgencias en Bogotá y como puede ayudar a tener una observación precisa de los pacientes. En cuarto lugar, se realiza el análisis de requerimientos donde se definen las principales características técnicas y funcionales que va a tener el producto para garantizar un correcto desempeño; teniendo en cuenta su funcionalidad, consumo de energía y viabilidad. Para terminar, se realiza una revisión bibliográfica de investigaciones relevantes para este proyecto, consolidándola con el marco teórico, dando a conocer así la importancia médica que ha tenido el pulsioxímetro, su normativa en Colombia y aspectos legales a tener en cuenta para su aplicación en el ámbito médico.

## **Objetivos**

Para realizar este proyecto, se establecen unos objetivos para garantizar el adecuado desarrollo del sistema propuesto.

### **Objetivo General**

Crear un sistema integral de seguimiento de pulsioximetría con conectividad wifi para monitoreo en urgencias de los signos vitales (oxigenación y pulso) de los pacientes.

### **Objetivos Específicos**

1. Identificar las necesidades clínicas y técnicas del área de urgencias en relación con el monitoreo continuo de signos vitales.
2. Construir un prototipo funcional de la manilla con pulsioxímetro y conectividad wifi.
3. Desarrollar un sistema de transmisión y visualización centralizada de los datos de pulsioximetría en tiempo real.
4. Validar la efectividad del sistema mediante pruebas experimentales en un entorno simulado, evaluando su rendimiento, facilidad de uso y aporte al monitoreo de los pacientes.

### **Definición del problema**

La vigilancia de la saturación de oxígeno en la sangre (SpO<sub>2</sub>) y de la frecuencia cardíaca ha sido de gran importancia a nivel mundial como una medida de monitoreo eficaz para prevenir complicaciones en los pacientes de las salas de urgencias, específicamente en aquellos sufriendo de afecciones respiratorias como asma, COVID-19, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), entre otros (Bandera-Barros et al., 2022).

Sin embargo, los pulsioxímetros usados con mayor frecuencia en los entornos hospitalarios de urgencias en Colombia presentan limitaciones tecnológicas. La falta de integración de tecnologías avanzadas en estos dispositivos, como por ejemplo conectividad inalámbrica, dificulta la supervisión simultánea de múltiples pacientes, lo cual reduce la eficiencia en el monitoreo y a menudo retrasa la respuesta clínica (Quaresima et al., 2024).

En contraste a esto, en la ciudad de Bogotá hay una alta demanda en el sistema de salud y de urgencias hospitalarias. Al combinar esto con la disponibilidad limitada de recursos tecnológicos nace un desafío en lo que confiere al monitoreo de los pacientes y de sus signos vitales, pues los equipos y estrategias de monitoreo actual son limitados, por lo cual no son ampliamente implementados, especialmente en categorías de *triage* 3 y 4 (Rodríguez-Páez et al., 2018).

Otro desafío presente en el sistema se relaciona con el alto costo de los dispositivos de pulsioximetría disponibles en la actualidad que presentan avances tecnológicos, pues estos en su mayoría son importados, lo cual restringe su adopción en masa y dificulta su adquisición en hospitales públicos o que tienen a su alcance un bajo presupuesto, como lo son diversos hospitales de la ciudad (McHenry et al., 2019).

Asimismo, los dispositivos comúnmente utilizados presentan una falta de diseños ergonómicos y cuyas superficies sean fáciles de desinfectar en su totalidad, lo que no cumple con las necesidades de los pacientes. La comodidad, la libertad de movimiento y la prevención de la contaminación cruzada entre los usuarios son aspectos fundamentales que los dispositivos usados actualmente no abordan adecuadamente (Amuthan, 2021a); (Us-Sabah et al., 2023).

Las diferentes limitaciones mencionadas anteriormente generan efectos considerables. En primer lugar, la inhabilidad del personal de la salud de monitorear en tiempo real a los pacientes en estos escenarios incrementa el riesgo de no detectar a tiempo los cambios repentinos causados por complicaciones respiratorias, lo que puede influir en el deterioro de la salud de los pacientes (Horakova & Roubik, 2022).

A esto se suma el factor económico; siendo la pulsioximetría tan importante y necesaria para el monitoreo adecuado de los signos vitales de los pacientes, la calidad de la atención en urgencias se ve disminuida cuando no se puede acceder a los oxímetros de pulso debido al alto costo de estos, pues no hay una buena continuidad en el seguimiento de la condición de los usuarios.

De igual manera, la ausencia de un diseño ergonómico en los dispositivos de pulsioximetría utilizados actualmente compromete la experiencia del paciente, intensificando la incomodidad de la situación. Esta falta de adaptación al cuerpo presente en dispositivos que no consideran la comodidad ni la facilidad de uso en un tiempo prolongado puede ser poco amigable con usuarios que necesitan ser monitoreados de forma continua. Esto influye a su vez en su bienestar general y dificulta la colaboración con el personal de la salud (Amuthan, 2021b).

Finalmente, la dificultad para desinfectar de manera fácil y efectiva los pulsioxímetros disponibles comúnmente en el ámbito médico es una preocupación significativa. Esta limitación,

generada por la falta de materiales y diseños que permitan una limpieza exhaustiva, contribuye a la aparición y el esparcimiento de bacterias que desafían los tratamientos convencionales. Esto compromete la salud de los pacientes, del personal de la salud y de la población en general (Us-Sabah et al., 2023).

Para abordar de manera efectiva estas problemáticas se propone, en el segundo semestre de 2025, el desarrollo de un sistema integral de seguimiento compuesto por una manilla equipada con un pulsioxímetro y conectividad wifi, diseñado específicamente para el monitoreo en tiempo real de pacientes en las salas de urgencias de la ciudad de Bogotá. Este sistema busca ser económico, ergonómico, fácil de desinfectar y ser capaz de mejorar en el futuro el monitoreo y la respuesta médica ante las complicaciones respiratorias en las salas de urgencias (Ronderos, 2025). Al incorporar un diseño portátil y accesible, se espera contribuir a una gestión más eficiente del personal de la salud.

Por lo tanto, buscando responder de forma completa a los desafíos identificados, la pregunta de investigación que guía este estudio está formulada de la siguiente manera: ¿Cómo se puede crear un sistema integral de seguimiento basado en una manilla con pulsioxímetro y conectividad wifi para el monitoreo en urgencias de los signos vitales?

### **Justificación**

El sistema de urgencias en Bogotá atraviesa recurrentemente problemas de congestión, especialmente en temporadas en las que aumentan los casos de enfermedades respiratorias. Esto afecta de forma directa a todos los pacientes, especialmente a aquellos que requieren de una vigilancia constante, pues la proporción entre la cantidad de pacientes y el personal de la salud disponible no siempre facilita el monitoreo frecuente a los usuarios.

Para hacerle seguimiento a los signos vitales de los pacientes, se ha utilizado la pulsioximetría como un procedimiento no invasivo y de gran utilidad, al ofrecer mediciones en tiempo real de la saturación de oxígeno en la sangre (SpO<sub>2</sub>) y de la frecuencia cardíaca. Sin embargo, su aplicación se limita a dispositivos de uso individual y que generalmente no poseen integración con sistemas de monitoreo centralizados. Por esto, actualmente el monitoreo de la oximetría de pulso en las salas de urgencia se realiza de manera manual por parte del personal de enfermería, esto aumenta la carga laboral y el riesgo de retrasos en la detección de complicaciones clínicas. De ahí surge la necesidad de incorporar tecnologías que garanticen un monitoreo más eficiente, continuo y confiable de los pacientes en el entorno hospitalario.

Este proyecto plantea el desarrollo de un sistema integral de seguimiento compuesto de una manilla con pulsioxímetro y conectividad wifi, lo cual permitirá la transmisión y visualización de los signos vitales de los pacientes en tiempo real en estaciones centralizadas de monitoreo. Se busca que esta herramienta proporcione información de confianza, permitiendo una supervisión constante y posibilitando la atención temprana a cualquier complicación.

La manilla se diseñará para ser compacta y liviana, capaz de adaptarse a la muñeca de cualquier paciente. Esto garantizará la comodidad del paciente en su uso prolongado,

permitiendo su implementación en las salas de urgencias, donde se requiere que los equipos no interfieran con la movilidad ni con otros procedimientos médicos.

A su vez, se procurará que el dispositivo sea de bajo costo, de manera que su implementación sea viable en hospitales con diferentes presupuestos y limitaciones. Al ser una solución accesible y escalable, podrá integrarse en diversos servicios de urgencias, contribuyendo a mejorar la equidad en el acceso a tecnologías médicas de monitoreo.

Otro factor crucial en los dispositivos médicos es la facilidad de desinfección. Por lo cual, se propone un dispositivo hecho con materiales que permitan una desinfección rápida y efectiva, con el fin de disminuir la probabilidad de contagio de virus y bacterias entre los diversos pacientes que utilicen la misma manilla a lo largo de la vida útil de la misma.

Con este proyecto se quiere reducir la carga laboral del personal de la salud en las salas de urgencias. Al realizar permanentemente la recolección de estos signos vitales, el dispositivo disminuirá la necesidad de mediciones manuales, liberando tiempo del personal para otras actividades críticas, como la administración de medicamentos y la toma de muestras.

Principalmente, sumado a lo anteriormente mencionado, el dispositivo planteado busca garantizar en un futuro, a través de la continuidad del monitoreo, la posibilidad de detectar de manera temprana declives en la saturación de oxígeno o alteraciones del ritmo cardíaco, que puedan estar asociados a complicaciones respiratorias o cardiovasculares inesperadas, evitando retrasos que podrían poner en riesgo la vida de los pacientes. Así, la capacidad de respuesta del personal médico sería más eficiente y se fortalecería la calidad de servicio en las áreas de urgencias.

Cada una de las características planteadas para este prototipo, aporta beneficios que a su vez responden directamente a las problemáticas identificadas en la definición del problema,

ofreciendo una solución integral orientada a mejorar la calidad del servicio, la comodidad y la seguridad de los pacientes.

Si bien dentro del marco de este proyecto se incluye únicamente el diseño y creación del prototipo de la manilla junto con la comunicación y el sistema de visualización de los datos; y la prueba del funcionamiento de forma experimental y simulada, por fuera de un entorno real hospitalario, se busca que a futuro sea aplicable en el servicio de urgencias de hospitales en Bogotá.

Como se evidencia en esta sección, las características del sistema propuesto lo convierten en una solución viable e innovadora para el monitoreo en tiempo real de los signos vitales de los pacientes, mejorando a largo plazo la atención médica y reduciendo la presión sobre los servicios de urgencias.

De esta manera, el proyecto no solo pretende responder a una necesidad puntual en los servicios de urgencias, sino también ayudar a la implementación de soluciones tecnológicas que fortalezcan la capacidad de respuesta en las salas de urgencias hospitalarias.

### **Análisis de Requerimientos**

Para analizar las características requeridas del sistema propuesto para satisfacer los objetivos funcionales y técnicos necesarios para su correcto funcionamiento, es necesario definir claramente la intención del producto. Así, se establecen los parámetros de diseño y se estiman las principales características esperadas del sistema, teniendo en cuenta su funcionalidad, facilidad de uso, consumo energético y viabilidad. Así, se podrán delimitar las opciones de diseño indicadas para el correcto desarrollo del producto.

#### **Intención del Producto**

El producto propuesto es un sistema integral compuesto por una manilla con pulsioxímetro y capacidad de conexión y transmisión inalámbrica de los datos recolectados. Su propósito principal es permitir el monitoreo continuo y la visualización en tiempo real de la saturación de oxígeno en sangre (SpO<sub>2</sub>) y la frecuencia cardíaca de pacientes dentro de las salas de urgencias. Esta solución busca responder a los problemas y desafíos presentes en las salas de urgencias identificados con anterioridad, facilitando el seguimiento a los usuarios en estos entornos.

Para contestar adecuadamente a los desafíos establecidos, el diseño debe evaluar aspectos como portabilidad y desinfección del dispositivo, comodidad del paciente y confiabilidad de los datos medidos y del sistema de transmisión en tiempo real.

#### **Verificación de Parámetros de Diseño**

Los parámetros de diseño se verifican contra los requisitos funcionales y técnicos establecidos, con el objetivo de garantizar que el sistema cumpla en su totalidad con las especificaciones definidas y posea la funcionalidad esperada. Esto incluye la arquitectura general del sistema y aspectos relacionados con la medición, transmisión y precisión.

Como aspecto principal, el dispositivo debe medir la oxigenación en sangre y la frecuencia cardíaca de los pacientes, esto se logra mediante un sensor óptico que emplea ondas rojas e infrarrojas para detectar variaciones en la absorción luminosa de la hemoglobina (Tekin et al., 2023a). De esta forma se obtiene una detección precisa y no invasiva, al juntar esto con estrategias de procesamiento generan datos confiables. Esto es de suma importancia, pues los dispositivos utilizados en el área de la salud deben tener la mayor confiabilidad posible.

De igual modo, el sistema debe transmitir los datos recolectados de manera rápida a una estación de monitoreo central, utilizando tecnología inalámbrica que permita conexiones estables en un espacio amplio.

A su vez, la visualización por medio de gráficas de los datos obtenidos en la estación central es parte fundamental del producto propuesto, esto integrado con el almacenamiento de datos para diversas aplicaciones, permitirá una respuesta oportuna a los cambios en los signos vitales de los pacientes y una mayor facilidad de interpretación y análisis de los datos.

Otro factor clave es la capacidad de desinfección y la durabilidad de la carcasa de la manilla, pues esta debe estar fabricada con materiales resistentes a los químicos usados comúnmente en los entornos clínicos y tener un diseño liso que la vuelva fácil y rápida de limpiar. Esto reduce el riesgo de contaminación cruzada entre los pacientes que la utilicen.

Finalmente, para garantizar la comodidad del paciente la manilla debe ser liviana, compacta y flexible, siendo capaz de adaptarse a diferentes tamaños de muñeca fácilmente. Esto se logra mediante un diseño ergonómico, una selección de componentes acertada en cuanto a peso y tamaño y la selección de un material blando y agradable al contacto con la piel.

### **Estimación de Características del Sistema**

Teniendo en cuenta los requisitos funcionales, se estiman características relacionadas a la potencia, el consumo energético y el desempeño del sistema.

#### **Potencia y Consumo Energético.**

Se espera que el dispositivo tenga un consumo energético eficiente, considerando la posibilidad de integrar funciones de alternancia entre estados de alta y baja potencia, logrando así un consumo mínimo en modo de baja actividad y aumentando el mismo durante los momentos necesarios. A su vez, componentes como el microcontrolador y el sensor óptico deben ser seleccionados considerando su nivel de consumo energético, equilibrando precisión en la medición, eficiencia en la transmisión y duración de la batería del dispositivo.

Idealmente, el consumo total de la manilla al compararse con la potencia de la batería permitiría una autonomía de entre 10 y 12 horas contando con una batería liviana y recargable. El valor máximo del rango podría alcanzarse al implementar modos de bajo consumo, minimizando así interrupciones en su uso.

#### **Desempeño.**

Orientando el sistema a alinearse con estándares de pulsioximetría aceptados en el ámbito médico, con un enfoque en la precisión y fiabilidad de los datos, se establecen las siguientes estimaciones de desempeño.

Para la saturación de oxígeno en sangre ( $SpO_2$ ), se espera que el margen de error sea inferior al 2% y que tenga un rendimiento superior cuando esta se encuentra en rangos superiores a 90%. Esto se busca alcanzar mediante un sensor óptico sensible y un procesamiento posterior que compense variaciones generadas por factores externos, como movimiento del paciente, para asegurar resultados consistentes.

Conjuntamente, se contempla que la medición de la frecuencia cardíaca posea una precisión superior al 98%, cubriendo un amplio rango de 40 a 220 latidos por minuto (BPM por sus siglas en inglés). Esto permitirá monitorear correctamente condiciones generadas por un ritmo cardíaco superior o inferior al rango normal y procesando las señales de manera tal que el ruido sea filtrado para una mejor interpretación de los datos.

Se proyecta que la transmisión de datos tenga una latencia (tiempo de transferencia de los datos) inferior a un segundo en conexiones inalámbricas estables, seleccionando un protocolo que permita la transferencia en tiempo real de las mediciones hacia una estación central. De esta forma se espera garantizar una respuesta rápida por parte del personal de la salud, contando a su vez con alertas automáticas y almacenamiento de la información para su análisis posterior.

Finalmente, se espera que el dispositivo tenga un peso inferior a 20 gramos, con un diseño compacto y resistente, utilizando materiales que promuevan durabilidad y facilidad de desinfección.

### Marco Teórico

En el contexto de esta investigación los hallazgos más relevantes sobre la pulsioximetría sirven para conocer más a profundidad sus principales ventajas y evolución en la historia (Quaresima et al., 2024), así como las desventajas más relevantes que tiene dicho dispositivo. Gracias a las diversas investigaciones se logró identificar oportunidades de mejora en la atención de pacientes en las salas de urgencia en Bogotá, priorizando a quienes padecen de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, los cuales necesitan de un monitoreo constante de sus signos vitales para evitar complicaciones en su salud.

La pulsioximetría se ha consolidado como una de las herramientas más importantes en el ámbito clínico moderno, gracias a su capacidad para medir de manera no invasiva la saturación de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca. Desde su introducción en 1974 como técnica de monitoreo, ha evolucionado de manera significativa debido a los avances en la fotopleximografía y la espectrofotometría, que permiten identificar diferencias en la absorción de luz entre la sangre oxigenada y desoxigenada (Nitzan et al., 2014).

La pulsioximetría nos permite monitorear de forma continua la saturación de oxígeno en la sangre, siendo así una herramienta esencial para la detección temprana de hipoxemia en entornos clínicos como las salas de urgencias. Su evolución, limitaciones e imprecisiones pueden ser estudiadas (Tekin et al., 2023a).

La medición de la saturación de oxígeno en la sangre ( $SpO_2$ ) se basa en principios de fotopleximografía y espectrometría, que identifican diferencias entre la absorción de luz de la sangre oxigenada y la desoxigenada. En estos dispositivos se deben tener en cuenta aspectos clave como la calibración del dispositivo y el uso de algoritmos de compensación para obtener una medición precisa de los signos vitales de los pacientes (Nitzan et al., 2014).

El monitoreo constante de pacientes en entornos clínicos ocupa una gran parte del tiempo del personal de la salud, pues se debe tomar manualmente los signos vitales del paciente (Tekin et al., 2023b). El uso de dispositivos portátiles y herramientas digitales permite un seguimiento más efectivo de estas variables, brindando información en tiempo real sobre la evolución del paciente. Esto facilita el control de cambios repentinos y agiliza la respuesta ante estos del personal médico, mejorando la atención médica (Zacharis et al., 2024).

La innovación y aplicación de nueva tecnología en diferentes entornos hospitalarios ha reducido los tiempos de atención y aumentado la eficiencia del personal de la salud (Bandera-Barros et al., 2022). A su vez la aplicación de prototipos de bajo costo y la implementación de conocimientos innovadores de ingeniería ha permitido la creación de soluciones funcionales, asequibles y fiables (Chacón Banegas, 2021; Naeem et al., 2021). Contar con un dispositivo práctico y confiable es crucial para poder monitorear a los pacientes aún durante momentos de deterioro de sus signos vitales (Horakova & Roubik, 2022). Cuando el pulsioxímetro tiene un alto nivel de confiabilidad brinda datos precisos, ayudando al seguimiento y diagnóstico del paciente (Spaccarotella et al., 2022).

La incorporación de tecnologías inalámbricas como Bluetooth, wifi o IoT ha permitido la transmisión de información en tiempo real hacia plataformas de telemedicina, favoreciendo la continuidad del cuidado tanto en hospitales como en el hogar (Cruz Malvaéz et al., 2022; García Angón, 2018; Sánchez Barajas et al., 2022; Ganesh et al., 2022). Asimismo, el desarrollo de dispositivos portátiles ayuda a personas mayores, pacientes con enfermedades contagiosas y usuarios cuyas condiciones demandan de un monitoreo constante (Amuthan, 2021).

El marco regulatorio establece lineamientos de seguridad y calidad. Normas como la ISO 80601-2-61:2019, la IEC 60601-1 y las guías del INVIMA garantizan la confiabilidad de las

mediciones y la seguridad eléctrica de los equipos (ISO, 2019; IEC, 2020; INVIMA, s. f.). En Colombia, la Resolución 3100 de 2019 del Ministerio de Salud define los requisitos para el uso y mantenimiento de estos dispositivos en función del nivel de complejidad del servicio (Ministerio de Salud y Protección Social, 2019). Asimismo, los estándares de biocompatibilidad y de interoperabilidad con otros sistemas médicos aseguran que los pulsioxímetros se integren de manera segura y efectiva en el ecosistema hospitalario (ISO, 2021; IEEE, 2021).

Pese a estos avances, persisten limitaciones. Factores como el movimiento del paciente, la baja irrigación de sangre a las extremidades o el alto volumen de usuarios en servicios de urgencias pueden afectar la precisión o disponibilidad del monitoreo. En ciudades como Bogotá, donde las salas de urgencias suelen tener una alta ocupación, se hace evidente la necesidad de herramientas que mejoren procesos como el *triage* y permitan priorizar a pacientes en estado crítico. En este sentido, se ha sugerido la implementación de pulsioxímetros con conectividad wifi que faciliten la transmisión inmediata de datos y aceleren la toma de decisiones clínicas (Rodríguez-Páez et al., 2018).

Se han desarrollado dispositivos reutilizables que, con adecuados protocolos de desinfección, reducen el impacto ambiental frente a los desechables (Duffy et al., 2023; Us-Sabah et al., 2023). No obstante, el reto actual está en diseñar soluciones que respondan específicamente a las problemáticas locales, como la congestión en las salas de urgencias en Bogotá. Aquí es donde se enmarca la propuesta de este trabajo: desarrollar un sistema de pulsioximetría conectado, práctico y confiable, que no solo supere las limitaciones de precisión de otros dispositivos, sino que también impacte positivamente en la eficiencia del servicio de urgencias, mejorando la calidad de la atención y contribuyendo al bienestar de los pacientes.

### **Análisis de Restricciones**

El desarrollo del sistema integral de seguimiento de pulsioximetría con conectividad wifi para salas de urgencias en Bogotá enfrenta diversas restricciones que condicionan su diseño, implementación y aplicación clínica. Estas limitaciones deben ser analizadas cuidadosamente, ya que representan factores determinantes para garantizar la viabilidad técnica, económica, social, ambiental y legal del proyecto.

#### **Restricciones Técnicas**

El sistema depende de conexiones wifi para transmitir datos en tiempo real desde las manillas hacia un servidor o tablero central. Se debe tener en cuenta que en entornos hospitalarios pueden existir zonas con cobertura débil, congestión de redes y políticas de seguridad que limitan el acceso a redes corporativas ocasionando pérdida de paquetes; esto puede resultar en una alta latencia en la transmisión o desconexiones intermitentes, lo que retrasar la alerta temprana y afectar la toma de decisiones clínicas.

Las manillas deben incorporar baterías con la capacidad suficiente para soportar periodos de trabajo prolongados sin interrupciones, sin sacrificar su ergonomía ni la comodidad del paciente. Si las baterías son demasiado pequeñas, la frecuencia de recarga o sustitución aumentaría la carga operativa; en cambio, si son demasiado grandes, afectarían el diseño y la portabilidad del dispositivo.

La precisión de las mediciones constituye otra limitación crítica. El pulsioxímetro debe ofrecer valores de SpO<sub>2</sub> y frecuencia cardíaca confiables incluso en condiciones adversas, como movimientos del paciente, variaciones en la pigmentación de la piel o una circulación deficiente. Errores en la lectura podrían derivar en falsas alarmas o en la ausencia de advertencias frente a situaciones críticas, reduciendo la seguridad del paciente y la confianza del personal clínico.

El dispositivo debe cumplir con requisitos de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética para evitar fallos que interfieran con otros equipos médicos, lo cual condiciona tanto el diseño como su eventual aprobación regulatoria.

### **Restricciones Económicas**

Además de los retos técnicos, la viabilidad económica del sistema también impone limitaciones. Además del gasto inicial en la solución, los gastos asociados al mantenimiento, reposición de repuestos, calibración periódica, soporte técnico y actualización de software pueden convertirse en costos recurrentes que desincentiven su adopción a gran escala. Asimismo, las demoras en la fabricación de componentes electrónicos o en la cadena de suministro pueden retrasar la producción, elevar el precio del dispositivo y comprometer los tiempos de entrega en hospitales que requieren soluciones inmediatas.

### **Restricciones Sociales y Organizacionales**

En el ámbito social y organizacional, la resistencia al cambio tecnológico representa un factor decisivo. El personal de salud puede mostrar desconfianza frente a dispositivos nuevos o considerarlos una carga laboral adicional, lo que limitaría su adopción y reduciría el impacto esperado en la atención clínica. La manilla debe diseñarse de manera ergonómica, ajustable y cómoda, evitando interferir con procedimientos médicos o con la exploración física. De lo contrario, la incomodidad podría llevar a que los pacientes retiren el dispositivo, interrumpiendo el monitoreo.

Por otra parte, la implementación del sistema requiere procesos de capacitación que no solo consumen tiempo y recursos, sino que también pueden generar errores iniciales en la interpretación de los datos. Estos ajustes en los flujos de trabajo clínicos deben planearse cuidadosamente para no afectar la continuidad de la atención en urgencias.

### **Restricciones Ambientales y Sanitarias**

En cuanto a las restricciones ambientales y sanitarias, el dispositivo deberá soportar procesos de desinfección frecuentes con soluciones hospitalarias sin que sus materiales sufran corrosión, degradación o pérdida de funcionalidad. Un diseño deficiente en este aspecto no solo acortaría la vida útil de las manillas, sino que también representaría un riesgo de contaminación cruzada. El uso continuo en turnos múltiples, con manipulación constante, caídas o golpes accidentales, incrementa igualmente la probabilidad de fallos y la necesidad de reemplazos.

### **Restricciones Legales y Normativas**

Desde la perspectiva legal, el sistema debe cumplir con los requisitos regulatorios establecidos por el INVIMA para la clasificación, registro y comercialización de dispositivos médicos, lo que implica costos y tiempos administrativos considerables (INVIMA, s. f.). De igual manera, normas internacionales añaden complejidad técnica y documental al proceso de desarrollo. (ISO 80601, 2019; ISO 10993-1, 2018; IEC 60601-1, 2020).

Un aspecto adicional es el tratamiento de datos personales y clínicos. La recopilación y transmisión de información sensible debe ajustarse a la normativa colombiana en materia de protección de datos, lo cual implica garantizar el consentimiento informado, seguridad en la transmisión y controles de acceso que refuercen la privacidad y seguridad del paciente (Congreso de la República de Colombia, 2012; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2013).

### **Restricciones de Ciberseguridad**

A lo anterior se suman riesgos de ciberseguridad. Las redes hospitalarias pueden ser vulnerables a ataques como *sniffing*, *spoofing* o “*man-in-the-middle*”, que comprometan la confidencialidad e integridad de los datos clínicos. Para mitigar estos riesgos, será necesario implementar protocolos de seguridad y asegurar actualizaciones periódicas del software sin

interrumpir la operación clínica. No obstante, estas actualizaciones también generan el desafío de coordinar mantenimientos que no afecten el servicio en situaciones críticas.

### **Restricciones de Calidad, Validación y Ensayos Clínicos**

Finalmente, el sistema deberá superar pruebas de verificación y validación clínica en entornos simulados y reales antes de su implementación. Este proceso es indispensable para garantizar la confiabilidad del dispositivo, pero también implica inversiones considerables en recursos, tiempo y posiblemente varias iteraciones del diseño. Hasta que no se cuente con resultados sólidos de ensayos clínicos, la adopción en hospitales puede verse limitada.

### **Metodología Para la Selección y Desarrollo de la Solución**

Una vez establecidos los requerimientos clave del proyecto y las restricciones por las cuales se rige, se planteó una metodología clara basada en idear distintas alternativas para la solución, compararlas de manera objetiva y descartar aquellas que no se ajustaban a los criterios establecidos.

Para esta selección se exploraron tres posibles enfoques para dar solución al proyecto, cada uno con sus beneficios, desafíos y distintos niveles de complejidad. A continuación, se expone el análisis llevado a cabo para cada alternativa y se señalan las razones detrás de la decisión tomada acerca de cada una de ellas.

#### **Solución 1: Sistema cableado con procesamiento externo.**

Esta alternativa proponía un dispositivo en el que los sensores biomédicos se conectaran por medio de cables a un equipo, como un computador o una unidad central. El propósito era simplificar el diseño interno del dispositivo, delegando todo el procesamiento de datos a una CPU (Unidad central de procesamiento) externa.

Aunque en un inicio esta solución parecía viable por la capacidad de procesamiento que ofrece un hardware externo, pronto se identificó que esta configuración limitaría por completo la portabilidad del dispositivo, obligando al usuario a estar conectado físicamente a un equipo robusto. Esto contradice una de las metas principales del diseño, permitir la movilidad del paciente y facilitar el monitoreo remoto.

Además, el riesgo de desconexiones accidentales y la incomodidad generada por los cables hacen que esta opción no se adapte a las dinámicas actuales de los entornos hospitalarios, donde se valora cada vez más la autonomía y la libertad de movimiento. (Tekin et al., 2023b)

Por último, la infraestructura requerida para mantener múltiples dispositivos conectados simultáneamente aumentaría el costo de instalación y limitaría la escalabilidad del sistema.

### **Solución 2: Sistema con conectividad celular y procesamiento en la nube.**

La segunda opción planteaba un sistema más autónomo, con sensores y procesamiento básico integrado, que se conectaría a través de redes celulares para enviar los datos a la nube. Una vez en la nube, la información se procesaría, almacenaría y visualizaría en tiempo real mediante plataformas web o móviles, lo que permitiría monitorear al paciente desde cualquier lugar con acceso a internet. Aunque esta idea resultaba atractiva por su capacidad de escalabilidad y acceso remoto, al analizarla con detenimiento se identificaron varias limitaciones prácticas.

El uso de módulos celulares aumenta el consumo de energía, afectando la duración de la batería y, por ende, la autonomía del dispositivo. Además, la transmisión de los datos dependería de planes de datos y de una infraestructura móvil que no siempre está disponible en todos los hospitales, especialmente en salas de urgencias que ubicadas en sitios que presenten mala conectividad o que posean recursos económicos limitados. (WHO, 2020).

A la vez, enviar datos médicos a servidores en la nube genera riesgos adicionales relacionados con la privacidad y el cumplimiento de normativas. Además, la complejidad del sistema en cuanto a software lo vuelve costoso y poco práctico, al depender grandemente de servicios externos. Por todas estas razones, esta opción también fue descartada.

### **Solución 3: Manilla portable con sistema integrado de bajo consumo y wifi.**

La alternativa elegida para desarrollar el dispositivo equivale a un sistema autónomo y portable, en forma de manilla, que integra el sensor biomédico con procesamiento local a través de un microcontrolador, el cual se comunica inalámbricamente a través de wifi con un servidor

local. En este servidor se almacenarán y visualizarán los datos a través de una página web con tecnologías ligeras para su mayor escalabilidad.

Desde el principio, este enfoque cumplió con los principales requisitos del proyecto tales como eficiencia energética, bajo costo, facilidad de integración y portabilidad. Esta solución ofrece total autonomía al dispositivo, a diferencia de la primera alternativa analizada; y no depende de infraestructura externa ni de servicios de telecomunicaciones, en contraste con la segunda solución considerada. Además, la configuración del dispositivo ha sido usado anteriormente en soluciones similares, como relojes que miden pulsioximetría, lo que respalda su viabilidad. (Analog Devices, 2022).

De esta manera, la metodología utilizada, llevada a cabo a partir de un análisis profundo que tomó en cuenta la experiencia previa, el contexto clínico, las limitaciones técnicas y los objetivos específicos del sistema que se quería crear, facilitó evaluar clara y prácticamente las distintas alternativas y descartar rápidamente las soluciones que no encajaban con las restricciones del proyecto. Esto permitió ahorrar tiempo y recursos, enfocando el trabajo en desarrollar una solución que realmente ayudara.

### **Análisis de costos**

Este proceso comienza con la selección y análisis de los diferentes costos asociados a la realización de este proyecto, donde existen objetivos y metas definidas para la creación de un prototipo del sistema de monitoreo en tiempo real, conformado por un pulsioxímetro inalámbrico en forma de manilla y una página web para la visualización en tiempo real en entornos de urgencias. La implementación de este sistema integral podría ayudar a aproximadamente un millón de personas que utilizan los servicios urgencias en Bogotá (Rodríguez et al., 2018) y facilitar la atención a los pacientes en los 85 hospitales de la ciudad.

#### **Costos Directos**

##### **Materias Primas.**

Entre estas se incluyen componentes electrónicos e insumos requeridos para la soldadura y la impresión 3D, sumando un costo de \$200.445 COP (envío gratis).

- El Filamento para impresión 3D en TPU tuvo un costo de \$102.000 COP.
- El sensor de pulsioximetria MAX-30102 tuvo un valor de \$11.544 COP.
- El microcontrolador ESP32-C3-Super Mini costó \$33.601 COP.
- La soldadura de estaño de 100 g tuvo un valor de \$23.900 COP.
- El flux avanzado de 10 cc tuvo un costo de \$13.900 COP.
- La botella de alcohol isopropílico por 500 ml costó \$15.500 COP.

##### **Mano de Obra.**

El costo de la mano de obra está determinado por tres secciones del proyecto: programación de los componentes, ensamblaje de la manilla y creación de la página de monitoreo. En total se invirtieron alrededor de 64 horas de trabajo en aproximadamente tres semanas. La tarifa de la hora laboral se basó en el costo de salario promedio de un ingeniero

junior (\$2.500.000 COP mensuales); con un valor hora de \$14.500 COP, con un costo y E total \$928.000 COP divididos de la siguiente manera.

### ***Programación.***

Considerando un aproximado de 14 horas dedicadas de forma segmentada a la programación de los componentes de la manilla, el costo total de la programación del dispositivo fue de \$203.000 COP.

### ***Horas de Ensamblaje Físico.***

Se dedicaron en total aproximadamente 42 horas al diseño, modelado 3D y ensamblaje de la manilla y sus componentes, lo que posiciona el costo total del diseño y ensamblaje en \$609.000 COP.

### ***Creación de la Página de Monitoreo.***

Entre el diseño de la interfaz de usuario y la programación de la comunicación entre el dispositivo y la página web, alrededor de 14 horas en total fueron utilizadas, costando alrededor de \$203.000 COP.

### ***Maquinaria y equipo.***

Se optó por utilizar los recursos gratuitos de la Universidad EAN y recursos propios para el ahorro y disminución de costos adicionales por la compra o alquiler de dichos dispositivos, logrando una reducción en los valores asociados al prototipado. Así, para materializar la carcasa se utilizó la impresora 3D de la Universidad EAN, recurso de acceso gratuito al haber llevado la materia prima (Filamento TPU). A su vez, para la programación del dispositivo y de la página web se utilizaron los computadores pertenecientes a los diferentes miembros del equipo.

### **Costos Fijos**

Adicionalmente, el desarrollo de la solución propuesta generó gastos de energía, necesaria para alimentar las baterías de los computadores y el dispositivo, estimados en \$30.000 COP.

### **Costo Total**

El costo total de prototipado fue de \$1.158.445 COP. Además, se calculó el costo comercial, el cual es más económico ya que no se debe reprogramar el dispositivo ni crear nuevamente la página web, sino aplicar el programa de monitoreo constante en los diferentes recursos de nuestros clientes, con un costo unitario de \$115.845 COP. El precio de venta al público (PVP) será de \$220.105 COP, con posibilidad de diferentes descuentos por volumen de compra. Este valor es atractivo para los inversionistas y hospitales que necesiten mejorar la atención y monitoreo en las salas de urgencias.

También se debe tener en cuenta que el proyecto necesita un capital inicial de alrededor de \$1.300.000 COP para asegurar el pago de las diferentes horas de trabajo y fabricación de la manilla según la cantidad de unidades requeridas.

### **Retorno Sobre la Inversión**

El ROI (*Return on Investment*) del proyecto, generado después de comparar los beneficios obtenidos con el costo de la inversión, fue del 90%. Esto demuestra que el proyecto cuenta con un retorno de inversión positivo, ya que es un producto novedoso que busca impactar el área de la salud con nuevas herramientas para mejorar el servicio y la atención. Además, se espera inicialmente la comercialización de 10 manillas para una implementación piloto.

### **Riesgos asociados**

#### **Fabricación e Implementación.**

La presencia de componentes defectuosos puede generar reprocesos, pérdida de tiempo y fallos en el funcionamiento del prototipo, lo cual puede afectar la confiabilidad del dispositivo.

Por otro lado, existen riesgos de mercado relacionados con el aumento en los costos de las materias primas. Esto podría afectar el precio de venta y reducir su competitividad frente a otros pulsioxímetros disponibles en el mercado, afectando así la demanda.

Para mitigar estos riesgos, es fundamental implementar controles de calidad rigurosos e inspecciones constantes de los componentes utilizados. Asimismo, es necesario realizar una proyección de costos precisa de los materiales requeridos, asegurando un suministro estable y precios controlados que permitan ofrecer un producto accesible al cliente final.

### Figura 1

*Gráfico costos asociados al proyecto.*

Proyecto: Sistema integral de seguimiento de pulsioximetria con conexión wifi para monitoreo en urgencias.					
ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (COP)	COSTO TOTAL (COP)	REFERENCIA/FUENTE	TIPO DE COSTO
<b>Materiales e insumos</b>					
Filamento para impresión 3D en TPU	1	\$ 102.000	\$ 102.000	Tienda de componentes	Materia prima
Sensor de pulsioximetria max 30102	1	\$ 11.544	\$ 11.544	Tienda de componentes	Materia prima
Microcontrolador esp32 c3 super mini	1	\$ 33.601	\$ 33.601	Distribuciones JR	Materia prima
Soldadura de estaño 100gr	1	\$ 23.900	\$ 23.900	Distribuciones JR	Insumo
Flux avanzado 10cc	1	\$ 13.900	\$ 13.900	Skulltrap Electronics	Insumo
Alcohol isopropilico 500ml	1	\$ 15.500	\$ 15.500	Skulltrap Electronics	Insumo
<b>Costos fijos</b>					
Gastos de energia	1	\$ 30.000	\$ 30.000	Kwh diario	Insumo
<b>Mano de obra (Valoracion a precio del mercado)</b>					
Horas de programacion	20	\$ 14.500	\$ 290.000	Tarifa promedio Ing. Junior	Mano de obra
Horas de diseño y ensamble fisico	30	\$ 14.500	\$ 435.000	Tarifa promedio Ing. Junior	Mano de obra
Horas de creacion de pagina de monitoreo	14	\$ 14.500	\$ 203.000	Tarifa promedio Ing. Junior	Mano de obra
<b>Maquinaria y equipo</b>					
Impresora 3D	1	\$ -	\$ -		Maquinaria
Computador	1	\$ -	\$ -		Equipo
Total costo de Prototipado			\$ 1.158.445		
Total costo comercial del prototipado	1	\$ 115.845	\$ 220.105		
Ganancia por unidades vendidas	10	\$ 115.845	\$ 2.201.046		
<b>Ganancias</b>					
ROI del proyecto			1042600,5	90%	

Nota: Elaboración propia, Umbarila D.F. 2025.

### **Plan de Implementación**

El plan de implementación para la manilla de pulsioximetría con conexión a wifi se enfoca en asegurar que el dispositivo mida los signos vitales del paciente en tiempo y transmita exitosamente los datos a la página de monitoreo.

#### **Objetivos Generales Dentro del Plan de Implementación**

- Lograr una buena detección y transmisión de los signos vitales propuestos.
- Asegurar la visualización y almacenamiento de los datos para su análisis.

#### **1. Fase de preparación, compra y diseño de los elementos del proyecto**

El objetivo de esta fase es seleccionar cuidadosamente los mejores materiales y sensores para lograr un correcto desempeño en la medición y el prototipado, se compone de las actividades mencionadas a continuación.

##### **1.1. Selección de componentes.**

##### **1.2. Compra de materia prima e insumos.**

##### **1.3. Primer borrador del proyecto.**

##### **1.4. Diseño de la manilla.**

#### **2. Fase de programación y diseño de la página de monitoreo**

En esta etapa busca asegurar la funcionalidad técnica del pulsioxímetro y la página de monitoreo.

##### **2.1. Programación del dispositivo.**

##### **2.2. Creación de la página de monitoreo.**

#### **3. Fase de comunicación entre la manilla y la página de monitoreo.**

El fin de esta fase es asegurar la comunicación y transferencia de datos entre los dispositivos.

**3.1. Comunicación entre dispositivos.**

**4. Fase de fabricación de los componentes de la carcasa de la manilla**

El objetivo de esta fase es consolidar la manilla de acuerdo con los diseños planteados.

**4.1. Impresión del modelo de manilla 3D.**

**5. Fase de ensamblaje del prototipo**

En esta etapa se realiza el montaje de los diferentes componentes de la manilla.

**5.1. Ensamble del prototipo.**

**6. Fase de pruebas de funcionamiento**

El fin de esta fase es verificar la transferencia de información y el correcto funcionamiento del dispositivo.

**6.1. Pruebas de funcionamiento.**

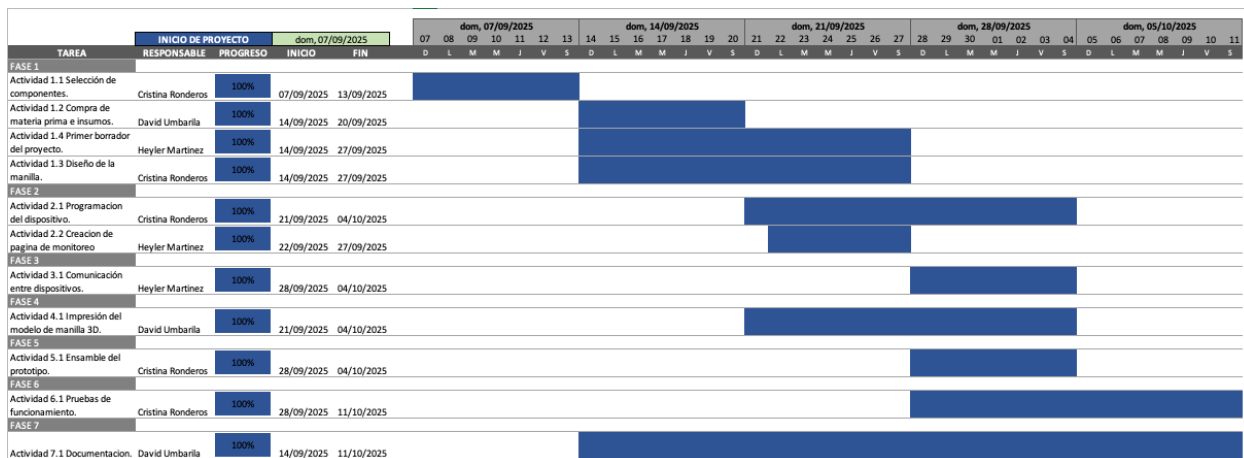
**7. Fase de organización de documentación.**

El objetivo es la revisión de los diferentes documentos utilizados a lo largo del proyecto.

**7.1. Documentación.**

**Figura 2**

*Diagrama de Gantt – Plan de implementación del proyecto.*



Nota: Elaboración propia, Umbarila D.F. 2025.

### Conclusiones

El desarrollo del sistema integral de seguimiento de pulsioximetría con conexión wifi para monitoreo en urgencias representa un aporte significativo a la transformación tecnológica del sector salud, particularmente en el ámbito de urgencias. A lo largo de este proyecto, se logró diseñar y construir un prototipo funcional que integra una manilla ergonómica (**ver Anexos B, C, D y E**), un sistema de transmisión inalámbrica y una plataforma web para el monitoreo (**ver Anexos G y H**). Sin embargo, los resultados de las pruebas experimentales en entorno simulado (**Anexo F**) revelaron que el margen de error esperado de  $<2\%$  en la medición de  $SpO_2$  y ritmo cardíaco no pudo ser alcanzado, registrándose errores promedio de 2,37% y 2,69% respectivamente, con fluctuaciones individuales que pueden llegar a ser significativas. Este aspecto es crítico, ya que la precisión es un requisito indispensable para la confiabilidad clínica del dispositivo.

A pesar de esto, el sistema demostró un desempeño aceptable en cuanto a la visualización y transmisión de los datos, presentando una latencia inferior a un segundo, cumpliendo con el objetivo de monitoreo en tiempo real. Además, el diseño ergonómico y los materiales seleccionados facilitan la portabilidad y desinfección, aspectos importantes para dispositivos usados en entornos hospitalarios. Desde una perspectiva técnica, el proyecto permitió comprobar que la selección de componentes como el microcontrolador ESP32 y el sensor MAX30102 satisface los requerimientos de consumo energético y transmisión de datos en tiempo real a la página web diseñada. Sin embargo, para futuras iteraciones se podría considerar utilizar el sensor MAX30105, el cual tiene un mayor tamaño, pero ofrece una mejor precisión al poseer un LED adicional para la medición. Se debe tener en cuenta que, para que este dispositivo pueda ser implementado en un entorno real se debe alinear con los estándares internacionales de la ISO

80601-2-61 y la IEC 60601-1, evidenciando que el diseño propuesto no solo cumpla con las exigencias de calidad y seguridad eléctrica, sino que también se ajuste a los lineamientos regulatorios del INVIMA y las normativas colombianas sobre dispositivos médicos.

En el ámbito económico, el sistema demuestra ser una alternativa competitiva al tener un costo similar al de pulsioxímetros comerciales que poseen menos funcionalidades y significativamente menor al de dispositivos clínicos similares. Esto lo convierte en una opción interesante para hospitales con presupuestos limitados, facilitando el acceso a la tecnología médica. Además, su bajo consumo energético refuerza su sostenibilidad económica y ambiental.

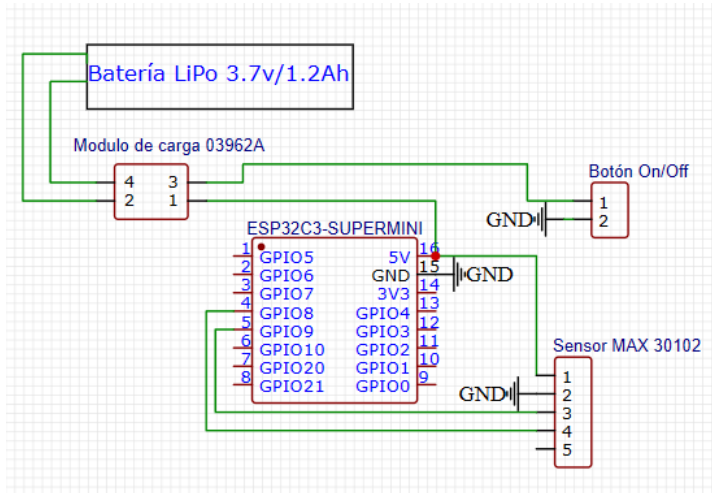
Desde el punto de vista social, el monitoreo automático de los signos vitales y la visualización de los datos en tiempo real, tienen el potencial de reducir la carga operativa del personal de enfermería y permitir una atención más oportuna y efectiva. A su vez, el diseño ergonómico de la manilla puede mejorar la experiencia y comodidad del paciente.

En síntesis, aunque el sistema no cumplió con el margen de error esperado en SpO<sub>2</sub> y ritmo cardíaco, sienta las bases para el desarrollo de una herramienta de monitoreo continuo, económica y ergonómica. Se recomienda continuar con pruebas, mejorar el algoritmo de medición e incorporar mecanismos de alerta temprana para fortalecer su aplicabilidad y confiabilidad en el futuro.

**Anexos**

**Anexo A.**

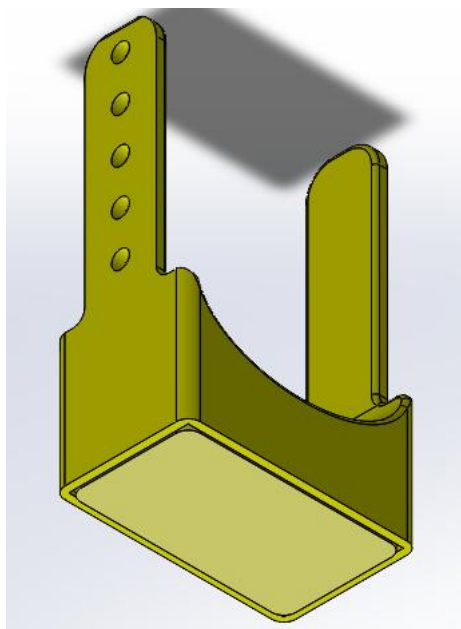
*Diagrama de conexión de componentes*



*Nota.* Elaboración propia, Ronderos C. 2025.

**Anexo B.**

*Diseño 3D - Manilla de Pulsioximetría*



*Nota.* Elaboración propia, Ronderos C. 2025.

**Anexo C.**

*Manilla de Pulsioximetría- Ensamblaje interno*



*Nota.* Elaboración propia, Ronderos C. 2025.

**Anexo D.**

*Manilla de Pulsioximetría- Ensamblaje Completo*



*Nota.* Elaboración propia, Ronderos C. 2025.

**Anexo E.**

*Manilla de pulsioximetría – demostración ajuste a la muñeca*



*Nota.* Elaboración propia, Ronderos C. 2025.

**Anexo F.**

*Resultados prueba comparativa en entorno simulado.*

Comparación muestras y cálculo del error						
#Muestra	Manilla Pulsioximetría		Pulsioxímetro de dedo comercial		Error (%)	
	SpO2(%)	Pulso (BPM)	SpO2(%)	Pulso (BPM)	SpO2	Pulso (BPM)
1	94	76	95	72	1,05263158	5,55555556
2	94	76	95	72	1,05263158	5,55555556
3	95	93	93	93	2,15053763	0
4	96	97	96	92	0	5,43478261
5	96	83	82	87	17,0731707	4,59770115
6	94	76	95	72	1,05263158	5,55555556
7	91	90	92	91	1,08695652	1,0989011
8	94	89	94	87	0	2,29885057
9	98	85	98	85	0	0
10	94	85	95	85	1,05263158	0
11	94	79	90	79	4,44444444	0
12	94	76	95	72	1,05263158	5,55555556
13	91	90	92	91	1,08695652	1,0989011
14	95	93	93	93	2,15053763	0
15	96	83	98	85	2,04081633	2,35294118
16	80	88	82	87	2,43902439	1,14942529
17	80	83	82	87	2,43902439	4,59770115
18	94	79	98	79	4,08163265	0
19	94	76	95	72	1,05263158	5,55555556
20	90	84	92	87	2,17391304	3,44827586
<b>Promedio</b>	92,7	84,05	92,6	83,4	2,37414019	2,69276289

*Nota.* Elaboración propia, Ronderos C. 2025.

**Anexo G.**

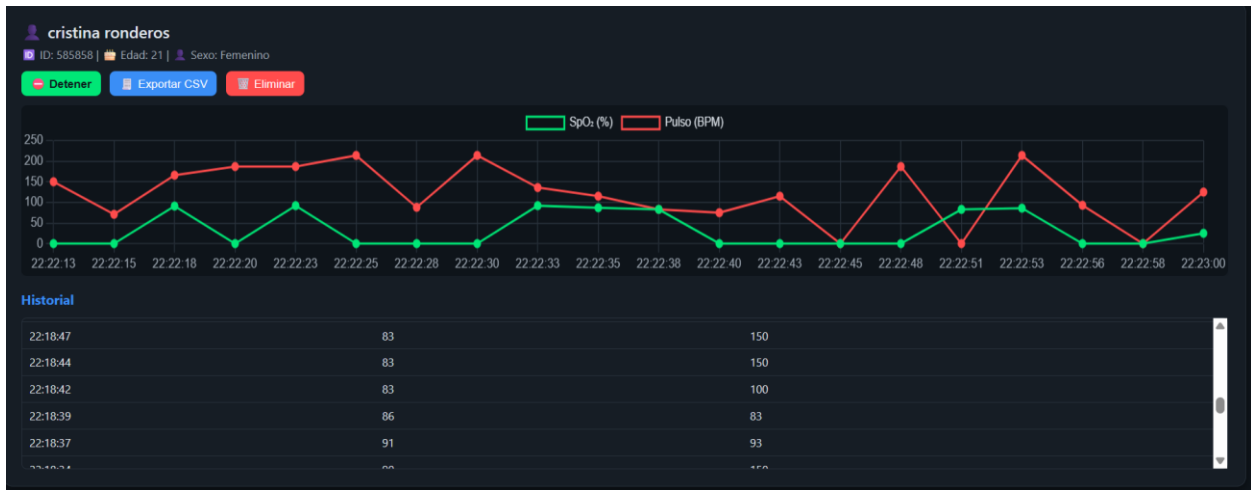
*Página web - Sección de registro de pacientes y verificación de la conexión.*



*Nota.* Elaboración propia, Martínez H. C. 2025.

**Anexo H.**

*Página web - Sección de monitoreo a pacientes*



*Nota.* Elaboración propia, Martínez H. C. 2025.

### Referencias

- Amuthan, R. (2021a). Management of Finger Pulse using Oximeter - A Case Study in Scientific and Marketing Viability. *Journal of Physics: Conference Series*, 1937(1).  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1937/1/012029>
- Analog Devices. (2022). MAX30102: High-sensitivity pulse oximeter and heart-rate sensor for wearable health. <https://www.analog.com/en/products/max30102.html>
- Bandera-Barros, J. J., Méndez-Hernández, J. C., & Wilches-Visbal, J. H. (2022). Oximetría de pulso en enfermedades respiratorias: principios y avances. *Nova: publicación científica en ciencias biomédicas*, 20(39), 95–104. <https://doi.org/10.22490/24629448.6588>
- Chacón Banegas, R. A. (2021). Diseño y Simulación de un Pulsioxímetro de Bajo Costo [Tesis de pregrado]. UNITEC.
- Cruz Malvaéz, C. A., et al. (2022). *Design of a Pulse Oximeter with Altitude Measurement Bluetooth Communication...* Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18256-3\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18256-3_51)
- Duffy, J., et al. (2023). *Sustainable Purchasing Practices: A Comparison of Single-use and Reusable Pulse Oximeters...* *Western J. of Emergency Medicine*, 24(6), 1034–1042.  
<https://doi.org/10>
- Ganesh, K. V. S. S., et al. (2022). *IoT based portable heart rate and SpO2 pulse oximeter.* *HardwareX*, 11, e00309. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00309>
- García Angón, D. (2018). *Prototipo de Pulsioxímetro con Transmisión Inalámbrica* [Tesis de pregrado]. IPN.
- Horakova, L., & Roubik, K. (2022). Pulse Oximeter Performance during Rapid Desaturation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(11), 4236. <https://doi.org/10.3390/s22114236>

IEEE. (2021). *IEEE 11073: Health informatics – Point-of-care medical device communication*.

IEEE Standards Association.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020). *IEC 60601-1: Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for basic safety and essential performance*.

ISO. (2019). *ISO 80601-2-61: Particular requirements for the basic safety and essential performance of pulse oximeter equipment*. Ginebra: International Organization for Standardization.

ISO. (2021). *ISO 10993: Biological evaluation of medical devices*. Ginebra: International Organization for Standardization.

McHenry, M. S., Fischer, L. J., Chun, Y., & Vreeman, R. C. (2019). A systematic review of portable electronic technology for health education in resource-limited settings. *Global Health Promotion*. <https://doi.org/10.1177/1757975917715035>

Ministerio de salud y protección social. (2019). Resolución 3100 de 2019: por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los prestadores de servicios de salud y se adopta el manual de inscripción de prestadores y habilitación de servicios de salud [Norma]. SUIN-Juriscal.

Naeem, Z. H., et al. (2021). Design and Development of a Low Cost Pulse Oximeter. *Journal of Physics: Conf. Series*, 1793(1), 012068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1793/1/012068>

Nitzan, M., Romem, A., & Koppel, R. (2014). Pulse oximetry: Fundamentals and technology update. *Medical Devices: Evidence and Research*, 7(1), 231–239. <https://doi.org/10.2147/MDER.S47319>

- Quaresima, V., Ferrari, M., & Scholkmann, F. (2024). Ninety years of pulse oximetry: history, current status, and outlook. *Journal of Biomedical Optics*, 29(S3).  
<https://doi.org/10.1117/1.jbo.29.s3.s33307>
- Rodríguez-Páez, F. G., Jiménez-Barbosa, W. G., & Palencia-Sánchez, F. (2018). Uso de los servicios de urgencias en Bogotá, Colombia: Un análisis desde el Triage. *Universidad y Salud*, 20(3), 215. <https://doi.org/10.22267/rus.182003.124>
- Ronderos, C. (2025). *Propuesta de diseño conceptual de un pulsioxímetro inalámbrico para monitoreo en urgencias hospitalarias en Bogotá*.
- Sánchez Barajas, M. A., et al. (2022). *Prototype of a Pulse Oximeter Based on an Open-Source Platform...* Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18256-3\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18256-3_49)
- Spaccarotella, C., et al. (2022). Assessment of Non-Invasive Measurements... *Journal of Clinical Medicine*, 11(6), 1467. <https://doi.org/10.3390/jcm11061467>
- Tekin, K., Karadogan, M., Gunaydin, S., & Kismet, K. (2023a). Everything About Pulse Oximetry—Part 1: History, Principles, Advantages, Limitations, Inaccuracies, Cost Analysis, the Level of Knowledge About Pulse Oximeter Among Clinicians, and Pulse Oximetry Versus Tissue Oximetry. *Journal of Intensive Care Medicine*, 38(9), 775–784.  
<https://doi.org/10.1177/08850666231185752>
- Tekin, K., Karadogan, M., Gunaydin, S., & Kismet, K. (2023b). Everything About Pulse Oximetry—Part 2: Clinical Applications, Portable/Wearable Pulse Oximeters, Remote Patient Monitoring, and Recent Advances. *Journal of Intensive Care Medicine*, 38(10), 887–896. <https://doi.org/10.1177/08850666231189175>
- Us-Sabah, N., Syed Muhammad, M., Jamal, M., Quddusi, M., Khan, F. I., & Rao, D. A. (2023a). Bacterial Contamination on Reusable Pulse Oximeter Sensors in Intensive Care Units and

Its Manual Disinfection by Alcohol and Sodium Hypochlorite. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 26(1). <https://doi.org/10.5812/zjrms-135443>

World Health Organization (WHO). (2020). Recommendations on digital interventions for health system strengthening. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550505>

Zacharis, D. K., Zhao, D. Z., & Ganti, L. (2024). History and Social Implications of the Pulse Oximeter. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.68250>

INVIMA. (s. f.). *Dispositivos médicos y equipos biomédicos*. Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. <https://www.invima.gov.co/productos-vigilados/dispositivos-medicos/dispositivos-medicos-y-equipos-biomedicos>

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020). *IEC 60601-1: Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for basic safety and essential performance* (Ed. 3.2). IEC.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 10993-1: Biological evaluation of medical devices – Part 1: Evaluation and testing within a risk management process* (5th ed.). ISO.

International Organization for Standardization (ISO). (2019). *ISO 80601-2-61: Medical electrical equipment – Part 2-61: Particular requirements for basic safety and essential performance of pulse oximeter equipment*. ISO.

Congreso de la República de Colombia. (2012, 17 de octubre). *Ley 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*. Diario Oficial No. 48.587.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2013, 12 de junio). *Decreto 1377 de 2013: Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012*. Diario Oficial No. 48.834.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>