

Implementación de Prototipo de Asistente Médico Robótico de Seguimiento
para Personas con Enfermedades Cardíacas

Alejandro Manuel Meza Mercado

Julián Camilo Espinosa Bonilla

Laura Valentina Sanabria Duarte

John Jairo Porras

Facultad de Ingeniería

Universidad EAN

Bogotá, DC

Índice General

RESUMEN.....	4
ABSTRAC	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
JUSTIFICACIÓN.....	11
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	12
1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.....	12
1.1. Identificación del usuario	12
1.2. Interacción con el usuario	12
1.3. Análisis de datos y predicción	12
1.4. Generación de alertas y notificaciones.....	12
1.5. Conectividad y compatibilidad	13
2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	13
2.1. Rendimiento	13
2.2. Seguridad y privacidad	13
2.3. Disponibilidad y fiabilidad	13
2.4. Usabilidad y accesibilidad.....	13
2.5. Eficiencia energética	13
2.6. Disponibilidad y Fiabilidad	14
MARCO TEÓRICO.....	14
METODOLOGÍA.....	19
Elección de Microcontrolador	19
Elección Código de programación	20
Elección Modelo de Entrenamiento	21
Análisis De Restricciones	22
ANÁLISIS DE COSTOS.....	24
Producción del Producto	24
Fabricación del Producto.....	25

Costos Directos.....	25
Materiales.....	25
Software	25
Hardware	25
Costos Indirectos	26
DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	26
DISEÑO DEL ROBOT.....	28
Medidas	29
Diseño 3D.....	29
ARQUITECTURA SOFTWARE	32
CONCLUSIONES.....	34
RECOMENDACIONES FUTURAS.....	36
REFERENCIAS.....	37

RESUMEN

Este proyecto propone la creación de Hiro, un asistente virtual diseñado para monitorear y predecir enfermedades cardiovasculares, como la hipertensión y la taquicardia, mediante la integración de dispositivos IoT y algoritmos de inteligencia artificial. Hiro recopilará datos de salud en tiempo real a través de un smartwatch, almacenándolos en la nube para su análisis continuo, y se implementará el reconocimiento facial para garantizar una interacción segura y personalizada, además contará con una función de alertas que notificará a un acudiente en caso de detectar anomalías significativas, este proyecto surge ante las limitaciones del sistema de salud en países como Colombia, donde el acceso a profesionales médicos y recursos hospitalarios es limitado, y los dispositivos inteligentes no se utilizan plenamente para el monitoreo automatizado de la salud. Al integrar tecnologías innovadoras, Hiro busca mejorar la calidad de vida de los pacientes, reducir la carga sobre el sistema de salud y fomentar decisiones médicas informadas, respondiendo a la creciente necesidad de soluciones efectivas y accesibles en la salud cardiovascular.

Palabras Clave: Asistente virtual, hipertensión, taquicardia, IoT, Inteligencia artificial, sistema de salud, Salud cardiovascular.

ABSTRAC

This project proposes the creation of Hiro, a virtual assistant designed to monitor and predict cardiovascular diseases, such as hypertension and tachycardia,

by integrating IoT devices and artificial intelligence algorithms. Hiro will collect health data in real time through a smartwatch, storing it in the cloud for continuous analysis, and facial recognition will be implemented to ensure a secure and personalized interaction, it will also have an alert function that will notify a guardian in case of detecting significant anomalies, this project arises in the face of the limitations of the health system in countries like Colombia, where access to medical professionals and hospital resources is limited, and smart devices are not fully utilized for automated health monitoring. By integrating innovative technologies, Hiro seeks to improve the quality of life of patients, reduce the burden on the healthcare system and encourage informed medical decisions, responding to the growing need for effective and accessible solutions in cardiovascular health.

Keywords: Virtual assistant, hypertension, tachycardia, IoT, Artificial intelligence, health system, Cardiovascular health.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de muerte a nivel mundial, según la Revista Colombiana de Cardiología, estas patologías son responsables de aproximadamente 17.7 millones de fallecimientos anuales (Morón-Araújo, 2021). Dentro de este grupo, la hipertensión arterial y la taquicardia destacan por su alta prevalencia y por su capacidad de evolucionar sin síntomas evidentes, lo que dificulta su detección y tratamiento oportuno.

A pesar de los avances en tecnología médica, la Organización Mundial de la Salud (OMS) advierte que aproximadamente cuatro de cada cinco personas con hipertensión no reciben un tratamiento adecuado, si los países lograran ampliar la cobertura de atención, podrían evitarse alrededor de 76 millones de muertes entre 2023 y 2050 (World Health Organization, 2023). Sin embargo, muchos sistemas de salud, especialmente en países como Colombia, enfrentan desafíos significativos en términos de cobertura y disponibilidad de recursos, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Colombia cuenta con 2.5 médicos por cada 1.000 habitantes, en comparación con el promedio de 3.7 en otros países miembros. Además, la disponibilidad de camas hospitalarias es de 1.7 por cada 1.000 habitantes, frente a un promedio de 4.3 en la OCDE (OCDE, 2023).

Dado el impacto de estas enfermedades y las limitaciones en el acceso a atención médica oportuna, resulta fundamental desarrollar sistemas innovadores que faciliten el monitoreo continuo de la salud cardiovascular, la hipertensión y la taquicardia pueden derivar en complicaciones graves como arritmias cardíacas si no se controlan a tiempo. Implementar herramientas de seguimiento permitiría detectar anomalías antes de que se conviertan en problemas mayores, reduciendo la necesidad de visitas médicas frecuentes y mejorando la calidad de vida de los pacientes.

En este sentido, la robótica y la inteligencia artificial han demostrado ser soluciones efectivas para optimizar el seguimiento de diversas condiciones de salud, un ejemplo de esto es Atent@, un robot asistente diseñado para niños con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), este sistema, basado en el Internet de las Cosas (IoT), permite monitorear y mejorar el comportamiento de los pacientes, ofreciendo terapias personalizadas dentro del hogar (Berrezueta-

Guzman et al., 2021). Inspirándonos en este tipo de innovaciones, surge la posibilidad de aplicar tecnologías similares en el ámbito de las enfermedades cardiovasculares.

El presente documento está organizado en varias secciones, en primer lugar, se presenta el marco teórico, el cual se estructura en detallar que contiene los principales temas, estableciendo su relación con el desarrollo del proyecto.

A continuación, se describe la metodología, donde se detallan los procedimientos empleados para el diseño y desarrollo del asistente médico robótico. Se explican aspectos como la selección de sensores, el procesamiento de datos, la implementación del modelo de predicción y la integración de inteligencia artificial.

Posteriormente, en la sección de resultados y análisis, se presentan la arquitectura del prototipo del de desarrollo, su funcionamiento, y la conexión del smart watch con el robot. Además, se documenta el desempeño del asistente en la recopilación y análisis de datos biométricos, evaluando su precisión y eficiencia en la detección de anomalías.

Finalmente, en la sección de conclusiones y recomendaciones, se sintetizan los principales hallazgos del estudio, destacando los beneficios del sistema desarrollado y proponiendo mejoras para su optimización y futuras aplicaciones en el ámbito de la salud.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo asistente médico robótico con capacidades de monitoreo y predicción de enfermedades cardiovasculares, como hipertensión y taquicardia, a través de la integración de dispositivos IoT y un sistema de inteligencia artificial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Implementar un modelo de redes neuronales para la predicción de enfermedades cardiovasculares, como hipertensión y taquicardia, basado en datos fisiológicos recolectados por el sistema.

2. Construir un robot asistente que permita el registro y acceso de los usuarios mediante tecnología de reconocimiento facial para garantizar una interacción segura y personalizada.

3. Desarrollar una función de alerta que notifique a un acudiente en caso de detectar cambios drásticos en los datos de salud del usuario, garantizando una intervención temprana.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según lo citado anteriormente en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) el acceso a servicios médicos en países como Colombia es limitado debido a la escasez de profesionales de la salud y recursos hospitalarios, lo cual complica el seguimiento adecuado de pacientes con estas condiciones, ante la creciente adopción de tecnologías emergentes, la robótica y los dispositivos IoT han demostrado ser herramientas eficaces para mejorar la atención en salud, permitiendo el monitoreo constante de parámetros vitales y facilitando intervenciones tempranas, la telemedicina es definida primordialmente como la forma de acceder con facilidad y prontitud a los servicios médicos y la rapidez de dar inicio a un tratamiento y seguimiento, eliminando el desplazamiento tanto del

paciente como del personal médico, en ciertas especialidades se enfatiza la rentabilidad que se obtiene con la implementación de esta práctica.

Sin embargo, el mercado aún carece de soluciones integrales y personalizadas que utilicen estas tecnologías para monitorear y predecir enfermedades cardiovasculares en tiempo real, mejorando la calidad de vida de los pacientes, teniendo en cuenta que actualmente contamos con dispositivos inteligentes que nos ayudan. Como lo menciona Emmanuel Ruiz Benavides *“Los dispositivos como los smartwatches, monitores de actividad física y sensores de salud han permitido un monitoreo continuo de parámetros vitales, actividad física y calidad del sueño, lo que ha mejorado la detección temprana de enfermedades, el seguimiento de tratamientos y la prevención de complicaciones”*, Así como lo menciona también Mariel Serrano, los datos obtenidos mediante smartwatches pueden ser clave para anticipar riesgos cardiovasculares, pero actualmente no se aprovechan de manera integral en sistemas de monitoreo automatizados y personalizados. (Serrano, 2024)

Bajo este contexto, surge la necesidad de desarrollar un asistente médico robótico que no solo permita registrar y monitorear los datos de salud del usuario, sino que también realice predicciones sobre posibles riesgos cardiovasculares, conectándose con dispositivos inteligentes como smartwatches, y notificando a un acudiente en situaciones críticas, entonces ¿Cómo podría un asistente médico robótico mejorar el monitoreo y la predicción de enfermedades cardiovasculares, garantizando una atención personalizada y oportuna mediante el uso de tecnologías IoT, robótica y algoritmos de inteligencia artificial?

JUSTIFICACIÓN

A pesar de los avances en el diagnóstico y tratamiento de estas enfermedades, muchas personas no llevan un control adecuado. Según Vaccaro Witt “las personas encuentran limitaciones a las visitas al médico y las pruebas de laboratorio se realizan con poca frecuencia, el acceso a la atención médica especializada, en especial a cardiología, es restringido para algunos pacientes, especialmente para aquellos que tienen movilidad reducida. Así mismo los profesionales de la salud no siempre tienen acceso a datos actualizados de sus pacientes, lo que dificulta la toma de decisiones informadas sobre el tratamiento” (Witt, 2023).

Ante estas dificultades, la telemedicina ha emergido como una herramienta valiosa para la atención cardiovascular, permitiendo la prestación de servicios médicos a distancia y superando barreras geográficas, según la American Heart Association, la telemedicina es efectiva para instruir, diagnosticar, monitorear y realizar un seguimiento de personas con problemas de salud, incluidas las enfermedades cardiovasculares (Takahashi, 2022).

La importancia de este proyecto radica en su capacidad para ofrecer una solución accesible a una problemática de salud pública, por ello propone la creación de un asistente médico robótico con habilidades de seguimiento y pronóstico de enfermedades cardiovasculares, a través de la incorporación de dispositivos de IoT y un sistema de IA. Su desarrollo posibilitará un monitoreo personalizado, lo que permitirá la identificación anticipada de irregularidades en la presión arterial y la frecuencia cardíaca, además de una administración de citas médicas y medicinas.

ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

1.1. Identificación del usuario

Reconocimiento facial: El robot identificará a la persona a través de TensorFlow en Visual Studio utilizando una cámara conectada a una Raspberry Pi.

1.2. Interacción con el usuario

Implementación de tecnologías de reconocimiento de voz y síntesis de habla para permitir la interacción verbal con el robot. Tras identificar al usuario mediante reconocimiento facial, el sistema realizará preguntas relacionadas con su estado de salud para recopilar información relevante.

1.3. Análisis de datos y predicción

Envío de datos a Google Colab: Las respuestas del usuario serán enviadas a un modelo de red neuronal en Google Colab, el cual tiene un recall del 95% y predice si el usuario tiene hipertensión.

Monitoreo constante: Cada 15 minutos, el sistema recibirá datos del smartwatch vía Bluetooth y evaluará signos vitales como frecuencia cardíaca y presión arterial.

Predicción de riesgos: Con los datos recibidos, el robot determinará si existe riesgo de hipertensión o infarto, usando el modelo entrenado en Google Colab.

1.4. Generación de alertas y notificaciones

Seguimiento rutinario: Cada vez que el usuario sea identificado, el robot hará preguntas para llevar un registro continuo de su estado de salud.

Detección de anomalías: Si se detectan signos de taquicardia, hipertensión o riesgo de infarto, el robot activará un sistema de alertas.

Llamada de emergencia: En caso de valores críticos, el robot realizará una llamada automática a un contacto de emergencia registrado.

1.5. Conectividad y compatibilidad

La comunicación con el smartwatch debe realizarse vía Bluetooth, garantizando una conexión estable cada 15 minutos.

El robot debe ser compatible con diferentes marcas de smartwatches y sensores biomédicos.

2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

2.1. Rendimiento

El reconocimiento facial debe ejecutarse en menos de 2 segundos.

El procesamiento de datos y predicciones debe completarse en un máximo de 5 segundos.

2.2. Seguridad y privacidad

Los datos del usuario deben ser cifrados y almacenados de manera segura en la nube de Google.

Solo el usuario y su acudiente autorizado deben poder acceder a la información de salud.

2.3. Disponibilidad y fiabilidad

El sistema debe estar operativo el 95% del tiempo sin fallas críticas.

En caso de pérdida de conexión a Google Cloud o Colab, el sistema debe seguir funcionando localmente y reintentar la conexión automáticamente.

2.4. Usabilidad y accesibilidad

La interacción por voz debe ser clara y comprensible para personas mayores.

2.5. Eficiencia energética

La Raspberry Pi debe operar de manera eficiente para maximizar la duración de la batería.

El sistema debe entrar en modo de bajo consumo cuando no detecte actividad del usuario.

2.6. Disponibilidad y Fiabilidad

Debido a limitaciones en la API de algunos fabricantes de relojes inteligentes, como Huawei, se requiere el uso de herramientas intermedias como Health Sync para la sincronización de datos con Google Fit, este proceso permite una actualización de datos fisiológicos con una frecuencia máxima de cada 15 minutos, lo que puede impactar la detección en tiempo real de eventos cardiovasculares críticos. Se recomienda el uso de dispositivos que permitan transmisión continua o de mayor frecuencia de actualización.

MARCO TEÓRICO

La hipertensión arterial es una condición médica caracterizada por un aumento sostenido de la presión sanguínea, lo que puede derivar en enfermedades cardiovasculares graves si no se controla (World Health Organization: WHO, 2023), esta patología es considerada un factor de riesgo importante para eventos como infartos de miocardio, accidentes cerebrovasculares e insuficiencia renal, su desarrollo está influenciado por diversos factores, incluyendo predisposición genética, sedentarismo, dieta rica en sodio y estrés.

Dado que la hipertensión arterial suele ser asintomática en sus primeras etapas, el monitoreo constante de la presión arterial es fundamental para prevenir complicaciones y mejorar la calidad de vida de los pacientes, en este contexto, el asistente médico robótico juega un papel clave al permitir la medición continua y la generación de alertas cuando se detectan valores anormales, facilitando una respuesta médica oportuna, además, la integración de tecnologías de análisis de datos permite evaluar tendencias en la presión arterial del paciente, contribuyendo a un diagnóstico más preciso y a la personalización de tratamientos.

Por otro lado, la taquicardia se define como una frecuencia cardíaca elevada, superior a 100 latidos por minuto en reposo, lo que puede indicar alteraciones en el sistema cardiovascular (Heart Attack and Stroke Symptoms, 2024), este incremento en la frecuencia cardíaca puede estar asociado a diversas condiciones, como el estrés, la deshidratación, enfermedades cardíacas subyacentes o el uso de ciertos medicamentos.

La detección temprana de episodios de taquicardia es crucial para prevenir eventos de riesgo, como arritmias severas o insuficiencia cardíaca, el sistema desarrollado en este proyecto incorpora sensores que permiten el monitoreo en tiempo real de la frecuencia cardíaca, brindando información detallada sobre el estado del paciente, además, mediante algoritmos de inteligencia artificial, es posible diferenciar entre variaciones normales en la frecuencia cardíaca y eventos potencialmente peligrosos, facilitando una respuesta inmediata en caso de anomalías, esto resulta especialmente útil para personas con antecedentes de enfermedades cardíacas, permitiendo una atención médica oportuna y precisa.

En este contexto, la telemedicina ha emergido como una herramienta eficaz para optimizar el manejo de enfermedades cardiovasculares, permitiendo la

monitorización remota y continua de los signos vitales del paciente. Esta tecnología facilita la identificación temprana de anomalías como episodios de taquicardia, lo que contribuye a una intervención médica oportuna y reduce la necesidad de hospitalizaciones recurrentes (Ali et al., 2024).

Al integrar la telemedicina en el asistente médico robótico permite que los datos recopilados sobre la presión arterial y la frecuencia cardíaca sean compartidos con profesionales de la salud en tiempo real, esto optimiza la atención, ya que los médicos pueden tomar decisiones informadas sin necesidad de la presencia física del paciente, además, el uso de plataformas digitales facilita la implementación de historiales clínicos electrónicos y la generación de reportes automáticos, contribuyendo a una mejor gestión del tratamiento.

Como complemento a la telemedicina, los dispositivos wearables han ganado un papel crucial en el monitoreo de la salud, estos dispositivos son tecnologías portátiles que permiten la recopilación y transmisión de datos biomédicos en tiempo real.

En el contexto del presente proyecto, los relojes inteligentes (smartwatches) desempeñan un rol fundamental al medir la presión arterial y la frecuencia cardíaca del usuario, estos datos se envían al asistente médico robótico para su análisis y posible emisión de alertas en caso de detectar valores anormales, además, la interoperabilidad entre dispositivos wearable y plataformas en la nube permite el almacenamiento seguro de datos a largo plazo, lo que facilita un seguimiento detallado del paciente.

El uso de estas tecnologías requiere un procesamiento eficiente de la información, lo que lleva a la necesidad de implementar inteligencia artificial (IA), la IA permite a los sistemas procesar información, aprender patrones y tomar

decisiones de manera autónoma (Google Cloud, 2024), su aplicación en este proyecto es fundamental para analizar datos biomédicos, detectar patrones asociados a la hipertensión y taquicardia, y predecir eventos de riesgo, gracias a algoritmos de aprendizaje automático, el asistente médico robótico es capaz de identificar tendencias en los datos fisiológicos del paciente, personalizando las alertas y recomendaciones según sus necesidades específicas, esto mejora la eficacia del monitoreo de salud y permite intervenciones tempranas para prevenir complicaciones graves.

Para que la IA pueda procesar estos datos en tiempo real, es necesaria la interconexión de dispositivos inteligentes a través del Internet de las Cosas (IoT), esta tecnología permite la recopilación, transmisión y análisis de datos mediante redes inalámbricas (Red Hat, 2023). En este proyecto, el asistente médico robótico se integra con dispositivos IoT, como smartwatches, para recibir datos fisiológicos del paciente y transmitirlos a una plataforma en la nube, esta interconexión facilita la generación de alertas y la toma de decisiones médicas basadas en datos en tiempo real.

El correcto funcionamiento del asistente médico robótico depende de la implementación de sistemas embebidos, dispositivos electrónicos diseñados para ejecutar funciones específicas mediante la integración de hardware y software (Luke, 2022), estos sistemas permiten que el robot procese las señales provenientes de sensores biomédicos y gestione la interacción con el usuario, asegurando un funcionamiento autónomo y eficiente.

El procesamiento de señales biomédicas es otro aspecto clave del proyecto, ya que implica la captura y análisis de señales fisiológicas, como la presión arterial y el

ritmo cardíaco, para extraer información relevante para el diagnóstico y la monitorización de enfermedades (Universidad Politécnica de Valencia, 2021).

En este proyecto, estas técnicas permiten identificar patrones anómalos en los datos del paciente y emitir alertas cuando se detectan valores fuera del rango normal.

Dado que la cantidad de datos generados en el monitoreo de la salud es considerable, el uso de redes neuronales artificiales resulta esencial para mejorar la precisión en el diagnóstico, estas redes, basadas en algoritmos de aprendizaje profundo, permiten analizar grandes volúmenes de datos médicos y clasificar anomalías en los datos cardíacos (Health Data Science Program, 2022), este enfoque optimiza el monitoreo de la salud del paciente, permitiendo una respuesta más precisa y rápida ante posibles riesgos.

Por ello, los servicios que encontramos en la nube podrían ser adecuados como herramienta para el robot, la computación en la nube es un modelo que permite un acceso conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden aprovisionarse y liberarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción con el proveedor de servicios. (Bello et al., 2021)

Esto permite que la información médica recopilada por sensores, dispositivos IoT y robots asistenciales sea enviada automáticamente a una base de datos centralizada, donde puede ser procesada y analizada por profesionales de la salud o sistemas de inteligencia artificial, en el ámbito de la salud, estas plataformas desempeñan un papel fundamental al facilitar la gestión y el acceso a información

médica en tiempo real, garantizando la continuidad del monitoreo de los pacientes sin necesidad de infraestructura local costosa.

En conjunto, la integración de estas tecnologías en el asistente médico robótico representa un avance significativo en la monitorización de la salud, facilitando el acceso a la atención médica, mejorando la precisión del diagnóstico y optimizando la respuesta ante eventos de riesgo.

Finalmente, el Big Data en salud juega un papel crucial en la integración de todas estas tecnologías, el análisis de grandes volúmenes de datos permite identificar patrones, predecir enfermedades y mejorar la toma de decisiones clínicas (Asociación Colombiana de Hospitales y Citas, 2022). En este proyecto, el asistente médico robótico almacena y analiza los datos históricos del paciente, lo que permite mejorar la precisión en la detección de anomalías y personalizar las recomendaciones de salud, de este modo, la combinación de Big Data, inteligencia artificial e IoT garantiza un monitoreo eficiente y proactivo de la salud del paciente.

METODOLOGÍA

Elección de Microcontrolador

La Esp32 y la Raspberry Pi son dos de las plataformas más utilizadas en el mundo de la electrónica y la computación embebida. Aunque ambas pueden ser empleadas en proyectos similares, tienen diferencias clave que determinan cuál es la mejor opción según el caso de uso. Por un lado, tenemos la Raspberry Pi que es definida como un dispositivo de creación de prototipos pequeño pero versátil que ha revolucionado la investigación y la educación científicas. Su bajo costo, tamaño pequeño y facilidad de uso lo convierten en una plataforma ideal para una amplia gama de aplicaciones científicas, incluidas la adquisición de datos, los sistemas de

control y el modelado, además de ofrecer una amplia gama de capacidades, incluida codificación, edición de fotografías y procesamiento de audio y video (Mathe et al., 2024). Por otro lado, el ESP32 es un chip combinado de Wi-Fi y Bluetooth diseñado con la tecnología de bajo consumo de 40 nm de TSMC. Está diseñado para lograr el mejor rendimiento de potencia y RF, mostrando robustez, versatilidad y fiabilidad en una amplia variedad de aplicaciones y escenarios de consumo de energía.

(Espressif, 2024)

Por lo que tomando en cuenta lo mencionado previamente si se necesita un sistema de bajo consumo, con conectividad WiFi y Bluetooth, y capaz de manejar sensores biomédicos, la ESP32 es la mejor opción. Sin embargo, debido a que la Raspberry Pi puede gestionar el procesamiento avanzado, la interfaz de usuario y las aplicaciones de IA, un procesamiento avanzado, reconocimiento facial, análisis de imágenes o inteligencia artificial más compleja, la Raspberry Pi es más adecuada, ya que puede ejecutar modelos de Machine Learning y manejar interfaces más avanzadas como cámaras.

Elección Código de programación

Python y el lenguaje de Arduino son dos lenguajes de programación ampliamente utilizados en el ámbito de la electrónica y la computación. Sin embargo, sus características y aplicaciones difieren significativamente.

Python se destaca por su sencillez en la sintaxis y su sencillez para aprender, lo que lo hace una excelente alternativa para aquellos que están comenzando en el ámbito de la programación. Su organización es bien definida y cuenta con accesibilidad a numerosas bibliotecas para labores complejas, como el estudio de datos y la inteligencia artificial. (AWS, 2024) En contraste, el lenguaje de programación de Arduino, que se fundamenta en C/C++, es más complicado y

demanda un conocimiento de programación más avanzado. No obstante, es perfecto para la programación de microcontroladores, dado que facilita un control exacto del hardware. (Velasco, 2024)

Respecto a las aplicaciones más comunes, Python se usa en áreas como inteligencia artificial, análisis de datos, desarrollo de sitios web y automatización, Cuenta con habilidad para manejar big data, el aprendizaje automático y las redes neuronales. En cambio, el lenguaje de programación de Arduino es la opción más acertada cuando se requiere codificar microcontroladores para labores de automatización, gestión de hardware y sistemas embebidos, tal como en proyectos de robótica y electrónicos. La Raspberry Pi utiliza un sistema operativo completo (como Raspberry Pi OS, Ubuntu o incluso Windows IoT), lo que permite ejecutar múltiples aplicaciones y aprovechar herramientas avanzadas utilizando el lenguaje de Python.

Elección Modelo de Entrenamiento

Los modelos de aprendizaje automático resultan fundamentales en el estudio de datos y la proyección de sucesos. Las Máquinas de Vectores de Soporte y las Redes Neuronales Artificiales son algunos de los algoritmos más empleados. A pesar de que ambos pueden usarse en situaciones parecidas, poseen diferencias fundamentales que impactan su desempeño, habilidad para generalizar y aplicación en diferentes contextos.

SVM (máquina de vectores de soporte) es una técnica de clasificación y regresión que aprovecha al máximo la precisión de las predicciones de un modelo sin ajustar excesivamente los datos de entrenamiento. SVM es ideal para analizar datos con un gran número de campos de predictores (IBM, 2021). Por otro lado, Una red neuronal es un método de la inteligencia artificial (IA) que enseña a las

computadoras a procesar datos de una manera similar a como lo hace el cerebro humano. Se trata de un tipo de proceso de machine learning (ML) llamado aprendizaje profundo, el cual utiliza los nodos o las neuronas interconectados en una estructura de capas que se parece al cerebro humano. (AWS, 2024)

Las SVM son eficientes en conjuntos de datos pequeños o medianos, ya que su entrenamiento se basa en la resolución de un problema de optimización convexa. Sin embargo, cuando el número de datos crece significativamente, el entrenamiento de SVM se vuelve más costoso en términos de memoria y tiempo de cómputo.

En contraste, las redes neuronales requieren un mayor poder de procesamiento debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y realizar cálculos intensivos en cada capa por lo que el entrenamiento de redes neuronales en grandes conjuntos de datos se ha vuelto más eficiente.

Las aplicaciones más utilizadas con SVM son clasificación de texto, reconocimiento facial, detección de anomalías, problemas con pocos datos o con estructuras bien definidas y para Redes neuronales se aplican en visión por computadora, procesamiento de lenguaje natural, reconocimiento de voz, análisis de imágenes médicas y cualquier tarea que requiera aprendizaje profundo con grandes volúmenes de datos.

Por lo que concluimos que SVM al ser un modelo interpretable, eficiente y adecuado para un conjunto de datos pequeño o mediano, tomamos las REDES NEURONALES como la mejor elección por su resolución al tratar con datos de mayor volumen y sus diferentes aplicaciones.

Análisis De Restricciones

Tabla 1 Análisis de Restricciones

Restricción	Causa	Efecto	Impacto	Solución
No tendrá conexión con todos los Smart watch	Compatibilidad limitada con modelos concretos debido a variaciones en hardware y protocolos de comunicación.	Si el smartwatch no es compatible, algunos usuarios no podrán utilizar Hiro.	Disminución del público objetivo, pero aumento en el control de la calidad de los datos obtenidos.	Publicar una lista de modelos compatibles y módulos de compatibilidad para expandir el alcance del soporte.
Sin Conexión a Internet	El sistema está diseñado para funcionar completamente en línea, por lo que depende de la nube y de servidores externos.	No podrá enviar ni recibir datos en tiempo real sin Internet.	Mayor autonomía, pero sin respaldo en la nube ni acceso remoto a los datos.	Implementar almacenamiento local en la Raspberry Pi o una tarjeta SD y optimizar el procesamiento de datos en el propio dispositivo.
Ambiente Con Mucho Ruido	Hiro depende del reconocimiento de voz, que puede ser ineficiente en entornos ruidosos.	El usuario puede tener problemas para interactuar con Hiro si hay interferencias	Reducción en la usabilidad en ciertos ambientes, como hospitales y espacios públicos.	Implementar un micrófono y permitir repeticiones de comandos.
Uso De Datos Privados	Protección de la información médica sensible del usuario	No podrá compartir datos con terceros sin autorización ni almacenarlos en la nube.	Mayor seguridad, pero menos accesibilidad a datos históricos desde otros dispositivos.	Cifrar los datos almacenados y permitir solo acceso autorizado por el acudiente.
Comando de voz Únicamente	Simplificación del sistema evitando múltiples formas de interacción.	Usuarios con discapacidad auditiva o del habla no podrán usar Hiro.	Exclusión de un grupo de usuarios que podrían beneficiarse del asistente.	Ofrecer una alternativa táctil o con botones físicos para interacciones básicas.
Falsos Positivos y Negativos	Ningún sistema es 100% preciso, y las predicciones pueden tener margen de error	Podría alertar innecesariamente o no detectar una condición real.	Desconfianza en el sistema si hay muchas alertas erróneas o falta de respuesta en casos graves.	Ajustar umbrales de alerta, mayor entrenamiento para el reconocimiento de estos datos y predicciones, permitir

				confirmaciones antes de enviar avisos críticos.
Sincronización retardada de datos del smartwatch Huawei	Huawei no ofrece una API directa para terceros. Se debe sincronizar con Google Fit a través de Health Sync, que solo actualiza cada 15 minutos.	El sistema puede no detectar eventos críticos (como taquicardias o picos de presión) en tiempo real.	Disminución en la capacidad de respuesta inmediata del asistente.	Incluir en la documentación la advertencia sobre la frecuencia de actualización. Explorar relojes alternativos con APIs abiertas para mejorar la frecuencia de datos.

ANÁLISIS DE COSTOS

Producción del Producto

Tabla 2

Componente	Detalle	Núm. horas	Costo de servicio de energía	Valor
Asesoría en Blender	Introducción en blender y practica particular	4	3.374	83.374
Prototipo en 3D	Diseño del prototipo en blender	10	8.437	588.437
Entrenamiento de redes neuronales	Modelo de entrenamiento para análisis de datos	16	13.499	6.813.499
Código de funcionamiento	Desarrollo de funcionamiento a partir del código de entrenamiento	720	607.471	4.607.471
Acceso a datos de smartwatch	Sincronización de datos con el entrenamiento	120	101.245	3.101.245
Impresión 3D	Duración de impresión 3D	48	40.498	120.498
				15.314.524

Fabricación del Producto

Costos Directos

Materiales

Tabla 3

Componente	Detalle	Costo Unitario	Cantidad	Subtotal
Raspberry pi-4	Controlador	267.373	1	267.373
Micrófono	Recolecta las respuestas	30.000	1	30.000
Altavoz	Comunicación con el usuario	30.000	1	30.000
Cámara	Identifica a los usuarios	48.000	1	48.000
Filamento	Material para imprimir en 3D	80.000	1	80.000
Micro SD	Almacenamiento	25.000	1	25.000
Smartwatch	Reloj Inteligente	500.000	1	500.000
				980.373

Software

Tabla 4

Componente	Detalle	Costo Unitario	Cantidad	Subtotal
Visual Studio	IDE Código	0	3	0
Blender	Herramienta de modelado	0	3	0
Google Cloud	Nube	0	3	0
Git-Github	Repositorio Código	0	3	0

Hardware

Tabla 5

Componente	Detalle	Costo Unitario	Cantidad	Subtotal
Laptop	Herramienta para el desarrollo del proyecto	2.500.000	3	7.500.000
Internet	Servicio de internet para el proyecto	600.000	3	1.800.000
				9.300.000

Total, Costos Directos				25.594.897
------------------------	--	--	--	------------

Los costos presentados anteriormente corresponden únicamente a el desarrollo del prototipo académico no se ven reflejados los costos adicionales de los servicios de la nube ya que, al tratarse de un proyecto con fines educativos, dichos servicios son utilizados de manera limitada o bajo licencias gratuitas.

Costos Indirectos

Tabla 6

Componente	Detalle	Costo Unitario	Cantidad	Subtotal
Servicio Cloud Speech to Text	API para lectura de voz	10.200	10	102.000
Servicio Cloud Text to Speech	API para conversión de texto a voz	17.000	10	170.000
Servicio Base de datos	Recolección de datos	7.600 por 50.000 documentos leídos	10	76.000
Servicio Fitness	API para acceso de datos del smartwatch	20.000	10	200.000
Servicio Health sync	Aplicación para sincronizar los datos	12.000	10	120.000
Google Fit	Aplicación de toma de datos	0	10	0
Total costos Indirectos				668.000

En estos costos indirectos se incluyen los servicios de la nube, ya que representan una aproximación realista de los gastos que se deben considerar al momento de implementar el robot a escala, específicamente para una producción inicial de 10 unidades.

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

Tabla 7

FUNCIONALIDAD	DESCRIPCIÓN
Identificación del Usuario	Utiliza una cámara conectada a una Raspberry Pi para capturar el rostro del usuario. El reconocimiento facial se realiza mediante un modelo de TensorFlow implementado en Visual Studio, permitiendo una identificación precisa.
Interacción por voz	Emplea tecnologías de reconocimiento de voz (speech-to-text) y síntesis de voz (text-to-speech) para permitir que el usuario interactúe verbalmente con el robot, facilitando el ingreso de datos y la retroalimentación hablada.
Recolección de datos de salud	Una vez identificado el usuario, el sistema realiza preguntas relacionadas con el estado de salud. Las respuestas se capturan mediante voz y se almacenan para su análisis posterior.
Predicción con red neuronal	Los datos recolectados son enviados a un modelo de red neuronal implementado en Google Colab, que predice con un recall del 95% si el usuario presenta hipertensión, utilizando técnicas de aprendizaje supervisado.
Monitoreo con smartwatch	Cada 5 minutos, el sistema se conecta vía Bluetooth al smartwatch para recolectar información biométrica como la frecuencia cardíaca y la presión arterial, que se utilizarán para actualizar el estado de salud del usuario.
Detección de riesgos	El robot analiza los datos recibidos y determina si existe un riesgo de hipertensión o infarto, basándose en las predicciones del modelo de Google Colab.
Seguimiento rutinario	Cada vez que el usuario es identificado, se le hacen preguntas de seguimiento para mantener un historial actualizado de su estado de salud
Activación de alertas	Si el sistema detecta signos anormales como taquicardia o presión alta, activa un sistema de alerta local y en la nube, notificando al cuidador o al usuario.
Llamada de emergencia	Ante valores críticos en los signos vitales, el robot realiza automáticamente una llamada telefónica al contacto de emergencia previamente registrado.

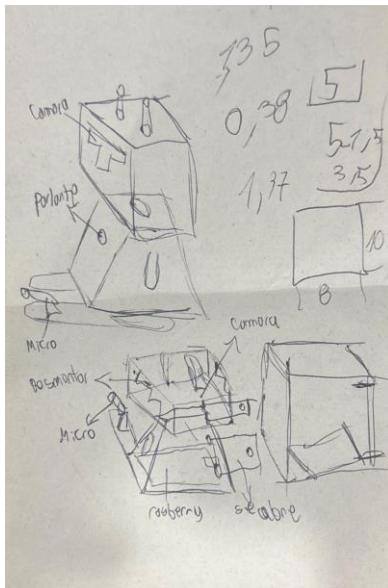
Conectividad con smartwatch	El sistema mantiene una conexión Bluetooth estable con el smartwatch, garantizando la transferencia periódica de datos biomédicos.
Compatibilidad de dispositivos	El robot está diseñado para ser compatible con múltiples marcas de smartwatches y sensores biomédicos, garantizando flexibilidad en su implementación.
Reconocimiento facial eficiente	El sistema debe ejecutar el reconocimiento facial en menos de 5 segundos, asegurando una experiencia rápida y fluida para el usuario.
Procesamiento rápido	El análisis de los datos y la predicción del modelo deben completarse en un máximo de 5 segundos, optimizando la toma de decisiones en tiempo real.
Seguridad y privacidad de datos	Todos los datos recolectados se cifran y almacenan en la nube de Google, garantizando la confidencialidad y el acceso restringido únicamente al usuario y su acudiente autorizado.
Operación offline y redundancia	En caso de pérdida de conexión con Google Cloud o Google Colab, el sistema continúa funcionando localmente y reintenta la conexión automáticamente.
Interfaz amigable para adultos mayores	La interacción por voz está optimizada para que sea clara, comprensible y adecuada para personas mayores, mejorando la accesibilidad del sistema.
Eficiencia energética	El sistema está diseñado para operar eficientemente en una Raspberry Pi, con capacidad para entrar en modo de bajo consumo cuando no detecta actividad del usuario, maximizando la duración de la batería.

DISEÑO DEL ROBOT

Para el diseño del asistente médico virtual se desarrolló considerando tres factores fundamentales: amigabilidad, tamaño adecuado y distribución óptima de componentes. Estos aspectos garantizan que el robot cumpla con su función de manera eficiente, brindando una experiencia intuitiva y accesible para los usuarios en entornos médicos.

Medidas

Figura 1 Diseño en Papel (Elaboración Propia)

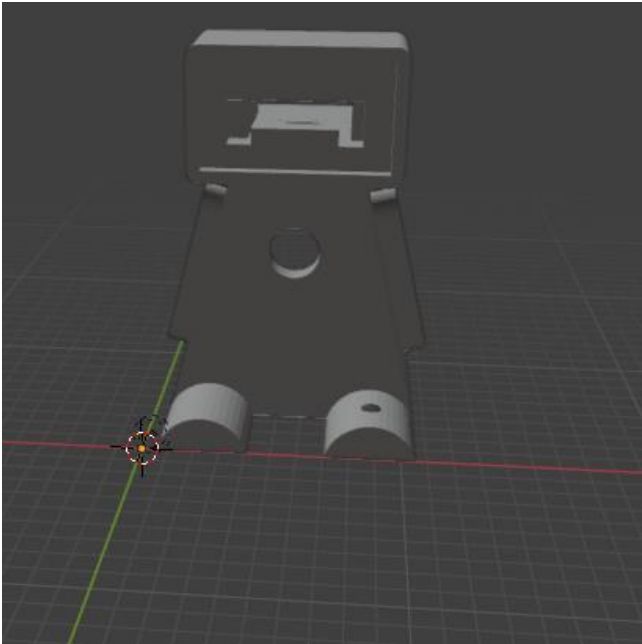


Nota: Elaboración propia

En la etapa inicial del diseño, se elaboró el primer boceto del asistente médico utilizando herramientas tradicionales como papel y lápiz. Esta fase permitió explorar libremente diversas formas y configuraciones, priorizando un diseño visual amigable y accesible para los usuarios. En este primer esquema, se definió la distribución básica de los componentes, asegurando una ubicación estratégica para cada uno: una cabeza con espacio suficiente para albergar una cámara, un pecho con un orificio circular para el altavoz y una base adaptada con un hueco adecuado para la integración del micrófono. Este boceto inicial no solo sirvió como una guía conceptual para las siguientes etapas del modelado digital, sino que también permitió establecer un equilibrio entre funcionalidad, estética y facilidad de fabricación, asegurando que el diseño evolucione de manera coherente y efectiva.

Diseño 3D

Figura 2 Diseño tridimensional en Blender (Elaboración Propia)



Nota: Elaboración propia

Para el modelado tridimensional del asistente médico virtual, se optó por Blender, un software de diseño 3D de código abierto ampliamente reconocido por su versatilidad y potencia en disciplinas como ingeniería, diseño industrial, animación y desarrollo de videojuegos. Su elección respondió tanto a su accesibilidad como a su completo conjunto de herramientas para modelado, escultura digital, renderizado y exportación de modelos. Gracias a su interfaz intuitiva y altamente personalizable, fue posible desarrollar un diseño detallado y funcional, adaptando la estructura del robot a las necesidades específicas del proyecto, como la ubicación precisa de la cámara, el altavoz, el micrófono y la Raspberry Pi 4. Además, Blender permitió visualizar en tiempo real el montaje de los componentes internos y realizar ajustes para optimizar la impresión 3D. Esta fase de diseño resultó clave para garantizar la ergonomía del dispositivo y su compatibilidad con los módulos electrónicos y sensores, asegurando que cada elemento se integrara de manera eficiente en la estructura general.

Prototipo Físico

Figura 3 Prototipo impreso en 3D

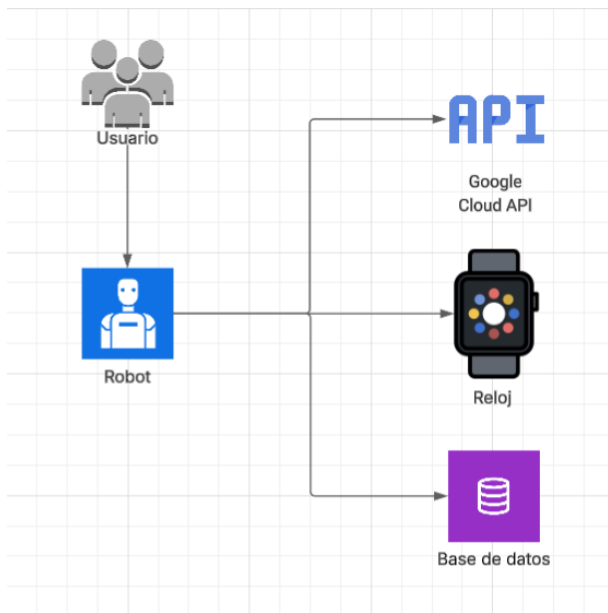


Nota: Elaboración propia

Finalmente, el prototipo ensamblado demuestra que se han cumplido los parámetros definidos en la fase de diseño, tanto en dimensiones como en la disposición de los componentes. La cámara se integró correctamente en la cavidad superior, el altavoz encajó con precisión en el área del pecho y el micrófono fue incorporado en la sección inferior, respetando las especificaciones establecidas en el boceto inicial y el modelado 3D. Este resultado confirma la viabilidad del diseño y la efectividad de la planificación, asegurando que cada elemento se integre adecuadamente en la estructura del asistente médico robot.

ARQUITECTURA SOFTWARE

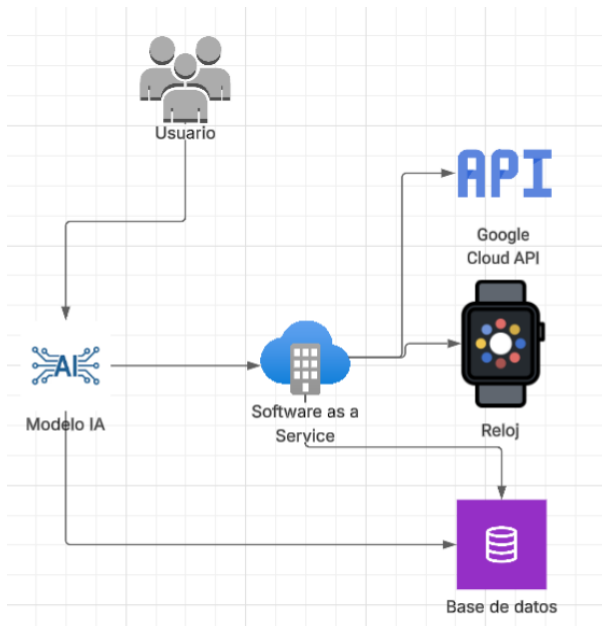
Figura 4. Arquitectura del software



Nota: Elaboración propia

Esta arquitectura ubica al robot como el eje central del sistema, responsable de relacionarse directamente con el usuario. El robot hace preguntas a través de voz, obtiene respuestas y recolecta datos del ambiente, incluyendo los datos fisiológicos suministrados por el reloj digital. Mediante la API de Google Cloud, tiene la posibilidad de transformar voz en texto, guardar datos y validar al usuario. El robot y el reloj registran todos los datos en la base de datos, lo que facilita un monitoreo médico constante, personalizado y automatizado del paciente.

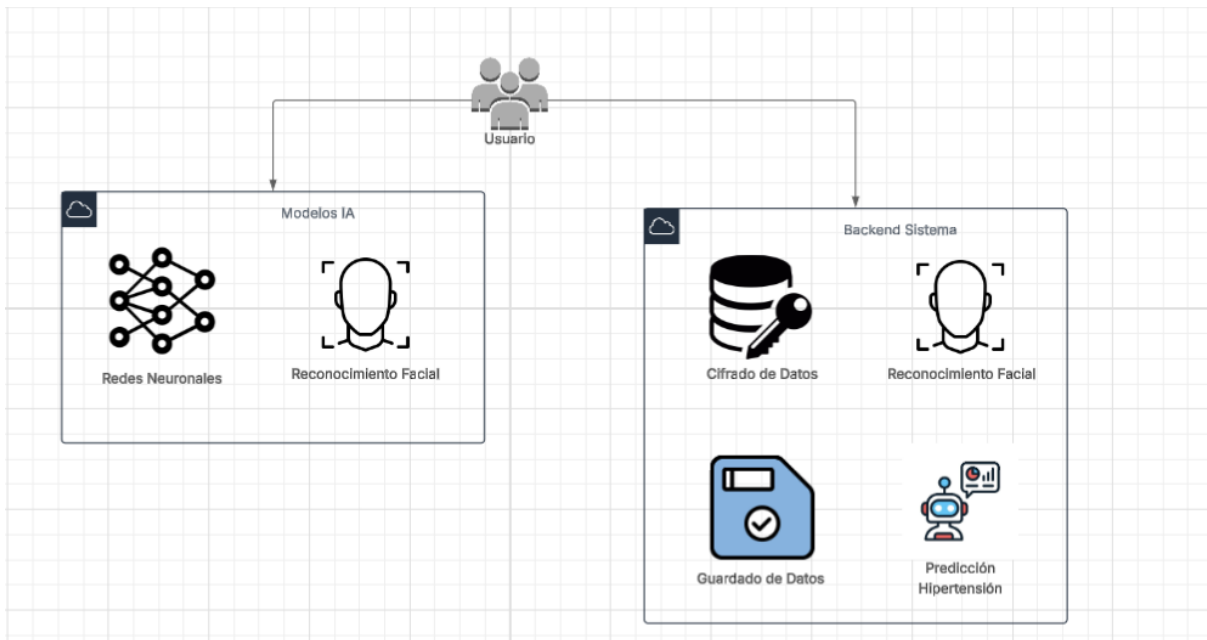
Figura 5. Arquitectura inteligencia artificial



Nota: Elaboración propia

En esta arquitectura, el sistema se enfoca en la vinculación entre el modelo de inteligencia artificial, un servicio de tipo SaaS, el reloj inteligente del usuario y los servicios de nube Google Cloud. El modelo de inteligencia artificial procesa las señales del usuario y las envía al software de servicio (SaaS), que funciona como un intermediario para administrar y procesar los datos recogidos por el reloj inteligente. La API de Google Cloud facilita la sincronización de estos datos con la base de datos del sistema, lo que posibilita el almacenamiento de signos vitales y la generación de pronósticos de salud basados en la información previa del usuario.

Figura 6. Arquitectura de componentes



Nota: Elaboración propia

Esta arquitectura ilustra la forma en que el sistema de componentes se segmenta entre los modelos de inteligencia artificial (IA) y el desarrollo posterior. El usuario se relaciona con el sistema a través del reconocimiento facial y órdenes de voz. La red neuronal maneja estos datos para reconocer al usuario y efectuar pronósticos médicos, como el diagnóstico de hipertensión. Se encripta y se guarda de manera segura la información obtenida en la nube. Desde el backend, se administran tanto la conservación de datos como su procesamiento para la toma de decisiones, garantizando la privacidad y la integridad del historial médico del usuario.

CONCLUSIONES

- La implementación del asistente médico robótico *HIRO* demuestra que es posible integrar eficazmente tecnologías como inteligencia artificial, IoT y sistemas embebidos para el monitoreo de enfermedades cardiovasculares,

aportando una solución viable ante la limitada cobertura del sistema de salud en Colombia.

- La utilización de redes neuronales permitió alcanzar una tasa de recall del 95% en la predicción de hipertensión arterial, evidenciando el potencial de los algoritmos de aprendizaje automático para la toma de decisiones médicas basadas en datos fisiológicos en tiempo real.
- A nivel de arquitectura, HIRO fue diseñado con un enfoque modular y escalable, lo que permite su compatibilidad con diferentes marcas de smartwatches y sensores biomédicos, ampliando su aplicabilidad en diversas condiciones clínicas y contextos geográficos.
- El sistema demostró ser funcional y confiable, logrando un tiempo de respuesta inferior a 5 segundos en tareas críticas como el reconocimiento facial y la predicción de riesgo, lo cual es esencial para una intervención médica oportuna.
- Se identificaron limitaciones en el hardware utilizado, particularmente en la Raspberry Pi 4, la cual presentó problemas de sobrecalentamiento y restricciones en su capacidad de procesamiento al ejecutar tareas simultáneas como visión por computadora, reconocimiento de voz y conectividad Bluetooth.
- El sistema mostró alta disponibilidad y robustez, operando de manera continua el 95% del tiempo. Sin embargo, se observó una fuerte dependencia de la conectividad a Internet para el almacenamiento y análisis de datos, lo cual podría limitar su implementación en zonas rurales o de difícil acceso.

RECOMENDACIONES FUTURAS

- Adopción de smartwatches más avanzados: Se sugiere utilizar relojes inteligentes con sensores de última generación que midan parámetros adicionales como presión arterial, saturación de oxígeno (SpO2) y electrocardiograma (ECG), con el fin de obtener datos más completos y precisos para la predicción de riesgos cardiovasculares.
- Mejorar la capacidad de procesamiento del sistema: Se recomienda actualizar la Raspberry Pi 4 a una versión con mayor capacidad de memoria RAM y procesamiento, como la Raspberry Pi 5 u otros microcontroladores con GPU integrada, para garantizar un desempeño estable al ejecutar algoritmos complejos de IA y reconocimiento facial.
- Actualizar la cámara para reconocimiento facial: Sustituir el módulo de cámara actual por una cámara de mayor resolución (Full HD o superior) para incrementar la precisión del reconocimiento facial, especialmente en entornos con iluminación variable.
- Es indispensable diseñar una carcasa para la Raspberry pi que incluya espacio de un sistema de ventilación activa o disipadores de calor, ya que durante la operación prolongada se presentan elevadas temperaturas que pueden afectar el rendimiento del sistema.

https://www.canva.com/design/DAGo34YrYFI/IUGi_dZnrTY3qLgMloFt9Q/view?utm_content=DAGo34YrYFI&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=uniqueLinks&utm_id=h5f9e088419

REFERENCIAS

Bello, S. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Bilal, M., Davila Delgado, J. M., Akanbi, L. A., Ajayi, A. O., & Owolabi, H. A. (2021). Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*, 122, 103441. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103441>

Ali, S. H. M., Osman Mohamed, A. A., Osman, H. M. M. E., Ibrahim, M. E. A., Mukhtar, M. A. H., Mohamed, F. H. A., & Alhajri, A. H. M. (2024). The role of telemedicine in improving hypertension management outcomes: A systematic review. *Cureus*, 16(11), e74090. <https://doi.org/10.7759/cureus.74090>

Berrezueta-Guzman, J., Pau, I., Martín-Ruiz, M.-L., & Máximo-Bocanegra, N. (2021). Assessment of a robotic assistant for supporting homework activities of children with ADHD. *IEEE Access*, 9, 93450-93465. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3093233>

Boehringer Ingelheim. ConexiON-Monografico-wearables. (2021). <https://www.cronicidadhoy.es/arxiu/imatgesbutlleti/ConexiON-Monografico-wearables.pdf>

Takahashi, E. A. (2022). La telemedicina es una opción valiosa para la atención cardiovascular, aunque aún quedan desafíos por superar. *American Heart Association*. https://newsroom.heart.org/news/la-telemedicina-es-una-opcion-valiosa-para-la-atencion-cardiovascular-aunque-aun-quedan-desafios-por-superar?utm_source=chatgpt.com

Espressif. (2024). *ESP32 Series Datasheet Version 4.8 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE SoC Including*. www.espressif.com

Serrano, M. (2024). Relojes inteligentes, grandes aliados de la atención médica. *Universidad Autónoma de Guadalajara*. https://www.uag.mx/es/mediahub/relojes-inteligentes-grandes-aliados-de-la-atencion-medica/2024-06?utm_source=chatgpt.com

Mathe, S. E., Kondaveeti, H. K., Vappangi, S., Vanambathina, S. D., & Kumaravelu, N. K. (2024). A comprehensive review on applications of Raspberry Pi. *Computer Science Review*, 52, 100636. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2024.100636>

Morón-Araújo, M. (2021). La periodontitis y su relación con las enfermedades cardiovasculares. Promoción de la salud cardiovascular desde el consultorio dental. *Revista Colombiana de Cardiología*, 28(5). <https://doi.org/10.24875/rccar.m21000085>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2023). OCDE revela cifras sobre el sistema salud en Colombia. *Consultor Salud*. <https://consultorsalud.com/ocde-revela-cifras-el-sistema-salud-en-colombia/>

Witt, G. F. V., Ronquillo, M. C. J., Bravo, E. M. G., & Witt Rodríguez, P. D. L. M. (2023). Desafíos y problemas de la salud pública en Ecuador. *RECIAMUC*, 7(2), 10-21. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.10-21](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.10-21)

World Health Organization. (2023). La OMS detalla, en un primer informe sobre la hipertensión arterial, los devastadores efectos de esta afección y maneras de ponerle coto. *Organización Mundial de la Salud*. https://www.who.int/es/news/item/19-09-2023-first-who-report-details-devastating-impact-of-hypertension-and-ways-to-stop-it?utm_source=chatgpt.com

American Cancer Society. (2020). *Telemedicina y telesalud*. <https://www.cancer.org/es/cancer/como-sobrellevar-el-cancer/encontrar-tratamiento/telemedicina-telesalud.html>

Google Cloud. (2024). ¿Qué es la inteligencia artificial o IA? *Google Cloud*. <https://cloud.google.com/learn/what-is-artificial-intelligence?hl=es-419>

Red Hat. (2023). ¿Qué es el Internet de las cosas - IoT y cómo funciona? *Red Hat*. <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Amazon Web Services, Inc. (2024). ¿Qué es Python? - Explicación del lenguaje Python. *Amazon Web Services (AWS)*. <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>

Velasco, R. (2024, June 7). ¿Vas a programar en Arduino? Todo lo que debes saber. *SoftZone*. <https://www.softzone.es/programas/lenguajes/programar-arduino/>

IBM. (2021, August 17). *SPSS Modeler Subscription*.

<https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=models-about-svm>

Amazon Web Services, Inc. (2024). ¿Qué es una red neuronal? - Explicación de las redes neuronales artificiales. *Amazon Web Services (AWS)*.

<https://aws.amazon.com/es/what-is/neural-network/>