

Aplicación Móvil y Web para monitorear la frecuencia cardiaca y detectar condiciones cardiovasculares mediante redes neuronales a través de la técnica de fotopletismografía en un Smartwatch.

Trabajo Terminal No. 2021 - B017

*Alumnos: Hernández López Moisés, *Pérez Mejía José Carlos, Pineda Servín Juan Sebastián.*

Directores: Rubén Peredo Valderrama

**email: carlos.perzmejia@gmail.com*

Resumen - En este trabajo terminal se desarrollará un sistema que a partir del sensor fotopletismografía (Photoplethysmogram, PPG por sus siglas en inglés) de un smartwatch, midiendo el pulso cardiaco del usuario, se analizará mediante una red neuronal y se observará dicha información procesada desde su celular o navegador web, para así: medir, detectar y prevenir distintas patologías relacionadas con el ritmo cardiaco.

Palabras clave - Aplicación Móvil, Aplicación Web, Fotopletismografía, Red Neuronal, Ritmo Cardiaco, Smartwatch.

1. Introducción

En México la principal causa de muerte es debido a enfermedades del corazón, al año mueren en promedio 150 mil personas, tan solo en 2020 la cantidad fue de 141 783 superando el número de gente que murió por COVID-19 y diabetes. Existen diferentes formas de atacar esta problemática entre las cuales se encuentran los programas de detección, prevención y tratamiento oportuno del gobierno, el uso de las tecnologías de vanguardia como los electrocardiogramas (ECG) y desfibriladores en los hospitales o los dispositivos de monitorización y tratamiento invasivos como los Holter implantables (Insertable Loop Recorder, ILR por sus siglas en inglés) y marcapasos. [1-2]

Hoy en día el uso de los dispositivos móviles es cada vez más frecuente en nuestra vida cotidiana, estos pueden tener múltiples enfoques muy útiles como por ejemplo buscar información, comunicarse, reproducir contenido multimedia, etc. La mayoría de las personas hemos adecuado todas estas aplicaciones a nuestras rutinas por lo que podemos aprovechar nuestro uso diario de los dispositivos para el cuidado, bienestar personal y salud.

La propuesta se centra en el área de la salud y se propone una aplicación que ayude a los usuarios a prevenir cierto tipo de enfermedades relacionadas con la frecuencia cardíaca, con ayuda de relojes inteligentes o smartwatch que irán monitoreando la frecuencia cardíaca del usuario a lo largo del día e informarle acerca de su estado y darle recomendaciones, en ocasiones no prestamos mucha atención a nuestra propia salud y esto puede ser muy perjudicial ya que si no se detecta alguna irregularidad o síntoma a tiempo es más difícil el tratamiento de estas enfermedades que pueden ser mortales.

Mucha gente no se da cuenta de que padece una enfermedad cardiovascular hasta que tiene dolor de pecho, un ataque de corazón o un accidente cerebro-vascular. Estos tipos de problemas a menudo exigen una atención inmediata y la persona debe dirigirse al servicio de urgencias médicas de un hospital. Si no se trata de una emergencia y el médico sospecha que un paciente suyo podría tener una enfermedad cardiovascular, puede pedir varias pruebas para saber cómo están funcionando el corazón y los vasos sanguíneos. [3]

En la fotopletismografía se aproxima el volumen de un cuerpo determinando la cantidad de luz que este refleja. Mediante una fuente de Diodo de Emisión de Luz (Light-Emitting Diode, LED por sus siglas en inglés), la cual emite un haz sobre la piel para iluminar los vasos subcutáneos, estos reflejan parte de dicho haz dependiendo la cantidad de hemáties que contienen [4]. La luz reflejada incide en un fotosensor (usualmente de cadmio-selenio) que la convierte en un voltaje equivalente. Debido a que la piel absorbe más del 90 % de la luz, el par diodo-foto sensor se acompaña de amplificadores y filtros que garantizan un voltaje adecuado [5]. Donde el ciclo cardíaco puede obtenerse midiendo el intervalo que existe entre cada pico de voltaje.

En el mercado actual existen diferentes dispositivos y aplicaciones, que se asocian al teléfono para llevar un control continuo acerca del ritmo cardíaco de las personas. Las más comerciales son mostradas en la Tabla 1:

Nombre	Descripción	Tipo
Fibricheck [6]	Funciona en el sistema operativo de Fitbit y utiliza los sensores PPG de Fitbit una tecnología basada en la luz que mide la tasa del flujo sanguíneo para capturar la medición del ritmo cardíaco en la muñeca del usuario.	Aplicación móvil
Heartline™ Study [7]	Estudio de investigación de Johnson & Johnson en colaboración con Apple. El objetivo de este estudio es analizar si un programa de participación en la salud del corazón y el dispositivo Apple Watch pueden permitir la detección temprana de ritmos cardíacos irregulares consistentes con fibrilación auricular (AFib) y potencialmente mejorar los resultados de salud cardíaca, incluida la reducción del riesgo de accidente cerebrovascular entre otras afecciones.	Aplicación móvil Aplicación de Apple Watch
Apple Watch [8]	El Apple Watch tiene un sensor óptico de frecuencia cardíaca que usa luces LED verdes con fotodiodos fotosensibles para detectar el volumen de sangre que pasa por la muñeca del usuario mediante fotoplethysmografía. Estos sensores y los algoritmos subyacentes son la base de la detección de la frecuencia cardíaca (FC) y su variabilidad (HRV) habilitada en Apple Watch Series 1 y modelos posteriores.	Aplicación móvil
TT20110030 [9]	Busca prevenir enfermedades relacionadas con el estrés y contribuir en la corrección de hábitos para mejorar la calidad de vida.	Trabajo terminal
Aplicación Móvil y Web para monitorear la frecuencia cardíaca a través de la técnica de fotoplethysmografía y redes neuronales en un Smartwatch para detectar condiciones cardiovasculares. (Nosotros)	Sistema encargado de analizar, mediante una red neuronal, el ritmo cardíaco del usuario utilizando el sensor PPG de un smartwatch, mediante la red neuronal se busca identificar las principales condiciones relacionadas con el ritmo cardíaco, además de medir niveles de estrés para así, notificar al usuario sobre su estado actual y el cómo mejorar su condición a través de una aplicación móvil y Web.	Trabajo terminal

Tabla 1. Resumen de productos similares

2. Objetivo

Desarrollar un sistema conformado por una aplicación de Smartwatch que capture y envíe el ritmo cardíaco del usuario a un servidor, el cual, mediante una red neuronal, sea capaz de recibir, analizar y procesar la información del usuario, permitiendo su visualización en una página web o aplicación móvil, para identificar una posible condición cardíaca.

2.1 Objetivos específicos

- Implementar una aplicación móvil que capture el ritmo cardíaco desde una aplicación de Smartwatch y el sensor PPG, la cual será enviada a un servidor para ser analizada mediante una red neuronal.
- Diseñar e implementar una red neuronal multicapa capaz de identificar de forma aproximada algunas de las principales enfermedades cardiovasculares mediante el ritmo cardíaco medido por el Smartwatch.
- Instalar en un servidor la red neuronal implementada del punto anterior usando como fuente de datos la información proporcionada por el cliente móvil y que sea capaz de responder con los datos de salida de la red.
- Desarrollar una aplicación web que funcione como intérprete de los datos obtenidos por el servidor para poder mostrar al usuario la información referente a su ritmo cardíaco, como la enfermedad cardiovascular detectada (en caso de existir), recomendaciones a seguir, alertas y gráficos.

3. Justificación

En los últimos años se han llevado a cabo investigaciones y estudios para comprobar si las herramientas que ofrecen los dispositivos vestibles (wearables) son útiles en la detección temprana de las enfermedades cardiovasculares más comunes aún no hay resultados concisos de estos estudios, pero la información recabada hasta ahora ha permitido desarrollar aplicaciones que buscan irregularidades en el pulso cardíaco dado por el sensor del wearable incluyendo también otras lecturas, para poder así dar aviso al usuario sobre posibles problemas, también ofrecen información sobre algunos otros índices como nivel de oxigenación en la sangre, frecuencia cardíaca y niveles de estrés. El problema es que estas aplicaciones presentan un nivel bajo de precisión que resulta insuficiente para asegurar o descartar que el usuario posea alguna enfermedad cardiovascular [10].

Algunos trabajos realizados ya han demostrado que haciendo uso de redes neuronales multicapa es posible mejorar la precisión y costo computacional al detectar y clasificar las irregularidades en el corazón [11].

Con el desarrollo de la presente propuesta se busca identificar las irregularidades del ritmo cardíaco, utilizando el sensor de fotoplethismografía de los smartwatch, las bases de datos con registros de arritmias y redes neuronales, permitiendo que los usuarios puedan prevenir y tratar a tiempo irregularidades en su corazón.

La presente propuesta desarrollará una aplicación Móvil y Web que utilice los sensores PPG que vienen integrados en los relojes inteligentes, podemos medir el ritmo cardíaco del usuario durante el transcurso del día, esta información es almacenada y posteriormente enviada al sistema en donde, en conjunto a información adicional introducida por el usuario, se analizará mediante algoritmos de estimación para calcular distintos parámetros con la finalidad de detectar irregularidades del ritmo cardíaco, todo esto con el fin de alertar de posibles condiciones como:

- Taquicardia.
- Bradicardia.
- Arritmias.
- Ataques de ansiedad.
- Deterioro del miocardio.
- Cardiopatía.

4. Productos o Resultados esperados

Al concluir el trabajo terminal, se pretende como resultado:

1. Aplicación móvil desarrollada
2. Aplicación de Smartwatch desarrollada
3. Aplicación Web
4. Documentación adecuada que describa la funcionalidad y uso del sistema.
5. Manual de usuario.

La Figura 1 muestra el diagrama a bloques del sistema.

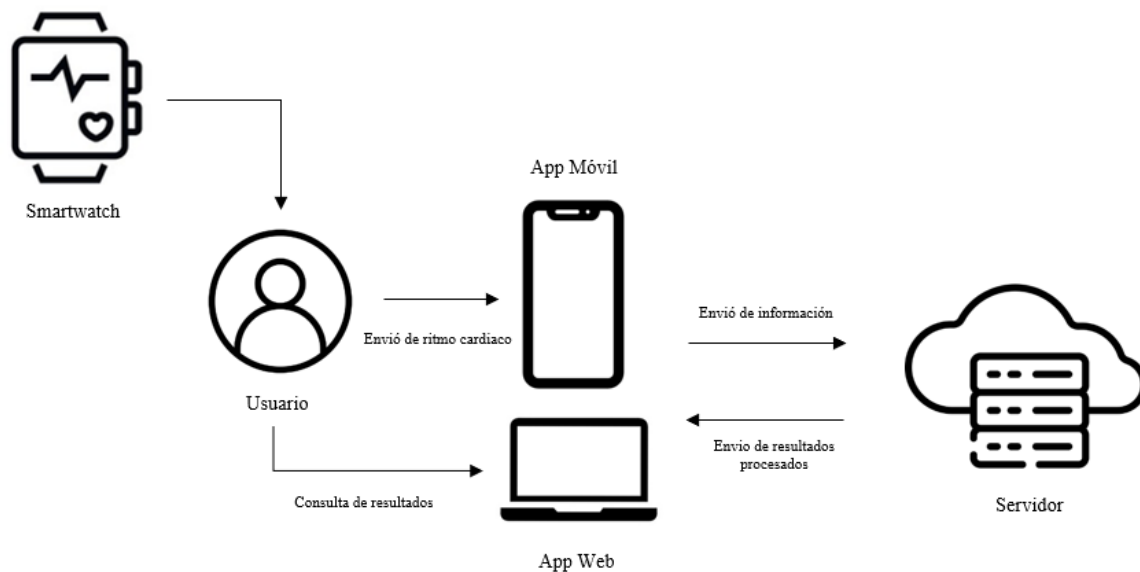


Figura 1. Diagrama general a bloques de la propuesta del sistema..

5. Metodología

Para el desarrollo de nuestro sistema, utilizaremos la metodología Espiral [12], la razón de esto es que esta metodología tradicional minimiza los riesgos durante el desarrollo de un proyecto de software, esta se caracteriza por describir el ciclo de vida del software por medio de espirales, que se repiten de manera continua hasta que se obtiene el producto final, realizando los mismos pasos en cada ciclo, puliendo el producto con cada iteración.

El modelo en espiral, propuesto por Barry W. Boehm en el ensayo “A Spiral Model of Software Development and Enhancement”, para competir con el modelo en cascada, el cual era uno de los más populares en la época.

La metodología se caracteriza por cuatro ciclos importantes:

- **Objetivo y determinación alternativa.**
Se discuten todos los objetivos con el cliente, para observar los distintos puntos de vista para el desarrollo del software.
- **Análisis y evaluación de riesgos.**
Se identifican y evalúan los posibles riesgos, a su vez se evalúan sus alternativas existentes.
- **Desarrollo de pruebas.**
Se añade funcionalidad al prototipo, se realizan numerosas pruebas en el código hasta que se concluya que puede ser implementado en un entorno de producción.

- **Planificación del siguiente ciclo.**

Se analizan los errores encontrados, se busca una solución y se implementa en el siguiente ciclo.

La Figura 2 muestra el diagrama de la metodología en espiral

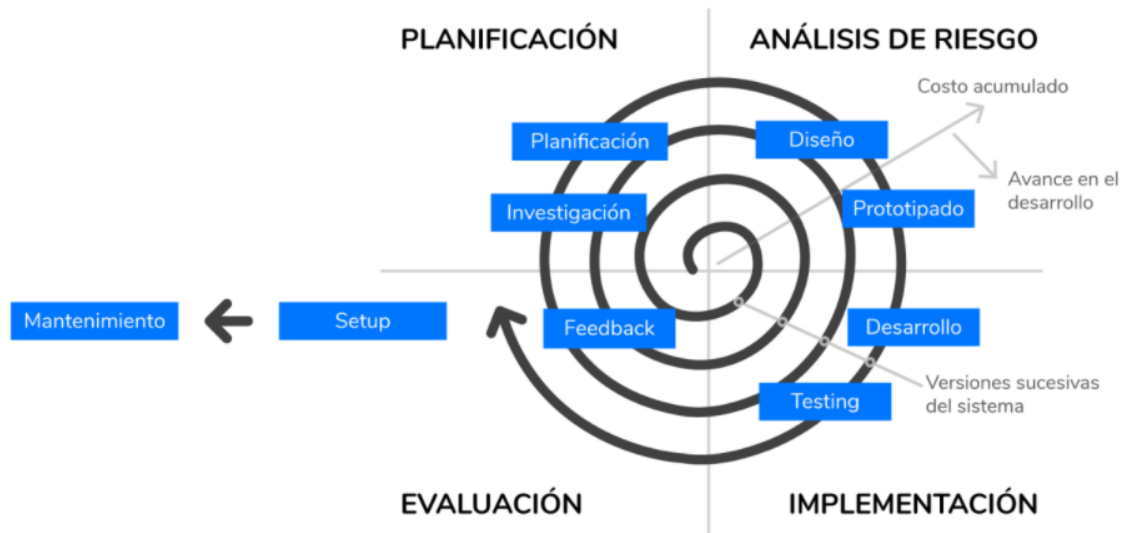


Figura 2. Diagrama del modelo Espiral [12].

Se opta por esta metodología debido a las diversas pruebas que se realizan para la conexión entre los 3 dispositivos, el análisis, tratamiento e interpretación de la información recopilada.

6. Cronograma

Nombre del alumno: Hernández López Moisés

Título del TT: Aplicación Móvil y Web para monitorear la frecuencia cardíaca a través de la técnica de fotopletismografía para detectar irregularidades del ritmo cardíaco mediante algoritmos

[illegible]

Nombre del alumno: *Pérez Mejía José Carlos*

Título del TT: Aplicación Móvil y Web para monitorear la frecuencia cardiaca a través de la técnica de fotopletismografía para detectar irregularidades del ritmo cardiaco mediante algoritmos

[illegible]

Nombre del alumno: *Pineda Servín Juan Sebastián*

Título del TT: Aplicación Móvil y Web para monitorear la frecuencia cardiaca a través de la técnica de fotopletismografía para detectar irregularidades del ritmo cardiaco mediante algoritmos

Actividad	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Investigación y análisis de enfermedades cardiovasculares											
Planificación											
Análisis de riesgos											
Diseño de Aplicación Web											
Diseño del Servidor Web											
Evaluación TT I.											
Desarrollo del Servidor Web											
Desarrollo de Aplicación Web											
Test del Servidor Web											
Test de la Aplicación Web											
Integración del servidor, la aplicación y la red neuronal.											
Evaluación con distintos usuarios.											
Generación de documentación.											
Evaluación TT II.											

7. Referencias

- [1] INEGI. 2021. Características de las defunciones registradas en México durante enero a agosto de 2020. - INEGI. [online] Available at: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodemo/DefuncionesRegistradas2020_Pnles.pdf> [Accessed 26 October 2021].
- [2] Leistner DM and Landmesser U. "Maintaining cardiovascular health in the digital era", *European Heart Journal*, Vol. 40 Issue 1, pp. 9-12, January 2019.
- [3] Organización Mundial de la Salud, Prevención de las enfermedades cardiovasculares Directrices para la evaluación y el manejo del riesgo cardiovascular, pp. 8-9, 2007
- [4] Josep Marinello Roura, Jordi Juan Samsó. Diagnóstico hemodinámico en angiología y cirugía vascular, Volumen 1. Barcelona: Editorial Glosa, S.L.; 2003. p.84
- [5] K. Shelley and S. Shelley, Pulse Oximeter Waveform: Photoelectric Plethysmography, in Clinical Monitoring, Carol Lake, R. Hines, and C. Blitt, Eds.: W.B. Saunders Company, 2001.
- [6] Fibrichck. 2020. Información sobre su salud cardiovascular en su muñeca [online] Available at: <<https://www.fibrichck.com/es/fitbit/>> [Accessed 07 November 2021].
- [7] Johnson & Johnson. 2020. Johnson & Johnson Launches Heartline™, the First-of-its-Kind, Virtual Study Designed to Explore if a New iPhone App and Apple Watch Can Help Reduce the Risk of Stroke - Johnson & Johnson. [online] Available at: <<https://www.jnj.com/johnson-johnson-launches-heartline-the-first-of-its-kind-virtual-study-designed-to-explore-if-a-new-iphone-app-and-apple-watch-can-help-reduce-the-risk-of-stroke>> [Accessed 27 October 2021].
- [8] Apple. 2020. Uso del Apple Watch para la detección de arritmias cardíacas [online] Available at: <https://www.apple.com/es/healthcare/docs/site/Apple_Watch_Arrhythmia_Detection.pdf> [Accessed 01 November 2021].
- [9] Adriana Maribel Lira González, Luis Ángel Iniestra Frías. "Prototipo híbrido biofeedback para la estimación del estrés académico por medio de la técnica de Fotopletismografía". Trabajo Terminal. ESCOM, Instituto Politécnico Nacional. 2011.
- [10] Lara N. Goldstein and Mike Wells, "Smart watch-detected tachycardia: a case of atrial flutter", *Oxford Medical Case Reports*, Vol. 2019 Issue 12, pp. 495-497, December 2019.
- [11] Akram J. K. and Samir J. M. "A Wearable Heartbeats Classification System Based on A New Method: Selective-Mask Artificial Neural Network", *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, Vol. 17 Issue 10, pp. 82-98-17, June 2021.
- [12] Es.ryte.com. 2021. Modelo en Espiral: todo lo que necesitas saber - Ryte Wiki. [online] Available at: <https://es.ryte.com/wiki/Modelo_en_Espiral> [Accessed 21 October 2021].

8. Alumnos y Directores

Hernández López Moisés.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Boleta:2019630224 , Tel. 5582010105
email: moisesae182@gmail.com

Firma: _____

Pérez Mejía José Carlos.- Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en ESCOM, Boleta:2019630252 , Tel. 5535592308
email: carlos.perzmejia@gmail.com

Firma: _____

Pineda Servín Juan Sebastian.- Alumno de la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales en ESCOM, Boleta:2014090551 , Tel. 5576658631
email: jsebapinedas@gmail.com

Firma: _____

Ruben Peredo Valderrama.- Rubén Peredo Valderrama. Maestro en Ciencias de la computación egresado del IPN, y Candidato a Doctor en Ciencias de la Computación. Sus líneas de investigación son: Educación Basada en Web, Web Semántica, Sistemas Multi-Agente, y Multimedia. Miembro del SNI en el periodo 2008-2010. Trabajo en el área de Inteligencia Artificial, Bases de Datos y Tecnología de Software. Actualmente es profesor investigador en la ESCOM. Cuenta con varias publicaciones indexadas a nivel internacional, publicaciones en revistas internacionales y nacionales, además de ser coautor de un capítulo de libro Springer, publicaciones en memorias de congreso internacionales y nacionales, además de otras publicaciones.
Teléfono: 5557296000 extensión 52039
email: rubenperedo@hotmail.com
Firma: _____

CARÁCTER: Confidencial
FUNDAMENTO LEGAL: Artículo 11 Fracc. V y Artículos 108, 113 y 117 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.
PARTES CONFIDENCIALES: Número de boleta y teléfono.

Protocolo de Trabajo Terminal ➤ Recibidos x



Carlos Pérez <carlos.perzmejia@gmail.com>
para moisesae182, jsebapinedas, ruben ▼

Buenos días.
Se adjunta el archivo final del Protocolo.

Favor de enviar acuse de recibido y visto bueno.

Saludos



Sebastian Pineda
Confirmo de recibido y estoy de acuerdo con la versión final del protocolo. Juan Sebastian Pineda Servin - 2014090551



Hernández López Moisés
Atentamente Moisés Hernández López Boleta: 2019630224



ruben peredo
SALUDOS A TODOS ACUSO DE RECIBIDO Y DOY VISTO BUENO DEL PROTOTOLO DE TT. ATENTAMENTE



Carlos Pérez
para mí ▼
Confirmo de recibido y estoy de acuerdo con la versión final del protocolo.
José Carlos Pérez Mejía - 2019630252
