

Sistema de monitoreo de ritmo cardíaco

Heart rate monitoring system

Jose Camargo Buendia¹
Martin Burgos Arteaga²
Jorge E. Gómez Gómez, Ph.D.³

Resumen

La investigación tuvo como finalidad la implementación de un sistema de monitoreo cardiaco y envío de alertas por medio de notificaciones a contactos en caso de anomalía cardiaca, a través de una aplicación móvil, redactando un algoritmo para estimar de forma precisa el ritmo cardiaco de personas en un amplio rango de edades. Permite además a personas vinculadas al área de la salud hacer uso de la aplicación para realizar seguimientos a pacientes con dificultades relacionadas con lo cardiaco. Se realizaron mediciones a través de la aplicación en personas con problemas de sobrepeso e hipertensión, así como en personas con alta actividad física y otras con tendencias al sedentarismo. Los resultados obtenidos permitieron elaborar detalladamente un algoritmo que funciona de manera óptima en la mayoría de teléfonos inteligentes presentes en el mercado, dicho algoritmo estimará la frecuencia cardiaca de una persona sin importar la edad o condición física de ésta. Permitted conocer la percepción y disposición de las personas a utilizar herramientas tecnológicas y de fácil acceso, como lo son los smartphones, para el monitoreo de signos vitales y el cuidado de la salud en general. También se logró sentar las bases para futuras investigaciones que esté orientadas al uso de los teléfonos inteligentes en el ámbito de la salud y el cuidado personal.

Palabras clave: Ritmo cardíaco, monitoreo cardíaco, aplicación móvil.

Abstract

The purpose of this investigation was the implementation of a heart monitoring system that sends messages of alert by notifications to contacts in case of a heart anomaly through a mobile app, redacting an algorithm to accurate estimate heart rate to any people of a broad average of ages. It also allows people who are part of the health system to use the app to monitor patients who have heart difficulties. There were carried out measurements to people with some diseases like obesity and high blood pressure and also physically active and sedentary people. The results make possible a detailed elaboration of an algorithm that could work properly in most smartphones, this algorithm will estimate the heart rate of a

¹ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Córdoba, Facultad de ingenierías, Montería, Colombia, jcamargobuendia63@correo.unicordoba.edu.co

² Estudiante de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Córdoba, Estudiante, Facultad de ingenierías, Montería, Colombia, mburgosarteaga@correo.unicordoba.edu.co

³ Departamento de Ingeniería de Sistemas – Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, jeliecergomez@correo.unicordoba.edu.co

person, no matter age or physical condition. It allows to know some people's perception and aptitude towards available technological tools, like smartphones, to monitor vital signs and health care. It was also possible to set the basis for future investigations focused on the use of smartphones for health and personal care.

Keywords: Heart rate, heart monitoring, mobile application.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cada día aumenta el número de personas que presentan una anomalía o enfermedad cardíaca, según datos de la Organización Panamericana de la Salud, cada año mueren más personas que padecen de enfermedades cardiovasculares, que, por cualquier otra causa, se tiene un gran riesgo de padecer una enfermedad cardiovascular, al no mantener una alimentación saludable, la cual cuenta con un bajo consumo de frutas y verduras, pero si con un elevado consumo de sal, azúcares y grasas. Esta forma de alimentarse contribuye en gran medida a la obesidad y el sobrepeso, lo cual ya se ha mencionado son factores de riesgo para las enfermedades cardiovasculares (OPS, 2020).

El auge tecnológico ha permitido grandes evoluciones, innovaciones e investigaciones, permitiendo la creación de sistemas que aportan a la salud, como parches electrónicos SSEQ colocados en el pecho (Vanegas-Cadavid et al., 2018), sistemas utilizados para evitar riesgos de paro cardíaco en un determinado evento, como el monitoreo cardíaco constante de corredores de una maratón utilizando un dispositivo de televigilancia (Ousaka et al., 2019), todos estos trabajos han permitido automatizar trabajos manuales hechos por personas y mejorando dispositivos en el día a día, en la actualidad es necesario que los dispositivos puedan conectarse entre sí, permitiendo una comunicación constante y en tiempo real, teniendo investigaciones que se enfocan en esto, como el monitoreo de la salud de pacientes que sufren de enfermedades crónicas, utilizando el internet de las cosas en sensores de monitoreo basados en una ontología (J. Gómez et al., 2016), se logran solucionar aún más las necesidades de las personas.

Actualmente hay muchas personas que no cuentan con los recursos económicos o con la facilidad de asistir a un centro médico para recibir un monitoreo constante de su corazón, algunas de estas personas necesitan de un diagnóstico rápido y preciso, pero se les presentan dificultades al tratar de asistir a las salas de urgencias, debido a que tanto para el paciente como el personal médico se ven afectados por la aglomeración y la cantidad personas que también esperan ser atendidas, el no poder controlar toda esta situación hace que los centros médicos se vuelvan ineficiente y se congestionen.

Teniendo en cuenta que existen aplicaciones móviles que permiten monitorear el ritmo cardíaco de la persona, utilizando dispositivos externos como un Arduino (Arias Contreras et al., 2018), el objetivo principal de este trabajo es investigar e Implementar un sistema de monitoreo cardíaco, que permita la realización de esta función en los dispositivos móviles, mediante una aplicación, utilizando la cámara y el flash del celular, de esa manera tener un historial de diagnósticos realizados, además de esto tenga la

opción de alertar a las personas seleccionadas en caso arritmias, y tener la posibilidad de agregar a un médico para que pueda haber una comunicación paciente-medico, y poder llevar un mejor seguimiento la paciente.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

La tecnología actualmente ha tenido grandes avances, con la incursión de nuevos avances y arquitecturas, se ha permitido la automatización y optimización de tecnologías, permitiendo que cualquier dispositivo pueda conectarse a la red y transmitir información, teniendo ejemplos como el nivel de combustible de un vehículo, el ritmo cardiaco de un paciente, la ubicación de una persona o cualquier cantidad de información que requiera ser medida (J. E. Gómez, 2017).

Teniendo como grandes ejemplos, proyectos desarrollados para la automatización de trabajos manuales, como el monitoreo de cultivos protegidos, en donde se tiene un sistema con capacidades de tomar información de parámetros relacionados con el desarrollo y crecimiento de los cultivos teniendo como finalidad enviar los datos a un servidor para para su debido procesamiento y envió al usuario a través de los protocolos y procedimientos del Internet de las cosas (J. E. Gómez et al., 2018).

En el campo de la medicina, la tecnología a permitido mejorar en grandemente la atención a los usuarios, permitiendo más eficacia al momento de diagnosticar y brindar una pronta atención, permitiendo la incursión de nuevos sistemas teniendo como base, la utilización de tecnologías vistas en el día a día de las personas, como la utilización y combinación de teléfonos celulares con hardware externo como sensores de ritmo cardiaco, para lograr monitorear el ritmo cardiaco de un paciente, de manera remota (Aveiga-Paini et al., 2018).

Sistemas como estos brindan una gran ayuda a los pacientes de pocos recursos y que viven alejados de los centros de salud, permitiendo mantener un mejor control de sus condiciones, aumentando la probabilidad de detección temprana de anomalías o problemas a ser tratados, buscando una solución temprana y eficaz dependiendo a cada problemática presentada.

3. METODOLOGÍA

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema que permita monitorear la frecuencia cardiaca (BPM) o dar un reporte del estado de ésta, dando una forma de saber en cualquier momento el estado de su salud, además ser capaz de cumplir requisitos como precisión de las muestras, envío de mediciones, tiempo prolongado de funcionamiento. La realización de este proyecto se hará en 4 etapas metodológicas enunciadas a continuación.

3.1. Tipo de investigación

Debido a que el presente documento se centra en el estudio, análisis y obtención de datos reales que lleven a la realización del proyecto, la metodología a utilizar es del tipo aplicada.

Población: General

3.2. Obtención de resultados

La forma que se utilizará para obtener resultados, es comparando los resultados arrojados por el sistema con el de los equipos creados para esta finalidad, como Smartwatch y equipos médicos profesionales, de esta manera se podrá hacer una calibración del sistema.

- **Etapa 1:** Análisis de los diferentes componentes que pueden ser utilizados en el sistema de monitoreo cardíaco, y comparar cuales son más eficientes para la utilización del desarrollo de éste.

Para el sistema se determinó que la implementación del proyecto se debe hacer en un smartphone, ya que posee componentes que es posible aprovechar para creación de este, como lo es la utilización de la cámara y el celular, para implementar el método PPG, de esta manera este sistema logra ser de fácil acceso, y es posible garantizar que puede ser utilizado por personas con menos recursos, esto debido a que es normal que la mayoría de las familias cuentan con un smartphone.

- **Etapa 2:** Gestión y desarrollo del sistema que se encargará del monitoreo cardíaco del paciente. El desarrollo tuvo como finalidad, crear una aplicación móvil que abarque todas las funcionalidades necesarias del sistema, para la creación de la aplicación móvil se utilizó el lenguaje de programación Dart combinado con el SDK de código fuente abierto Flutter, además de eso se utilizó como gestor de base de datos la plataforma de desarrollo Firebase, y se aprovechó la facilidad que tienen los smartphones para la conexión a internet para la gestión de los datos, esto se ve reflejado en la arquitectura del sistema como se presenta en la Figura 1.

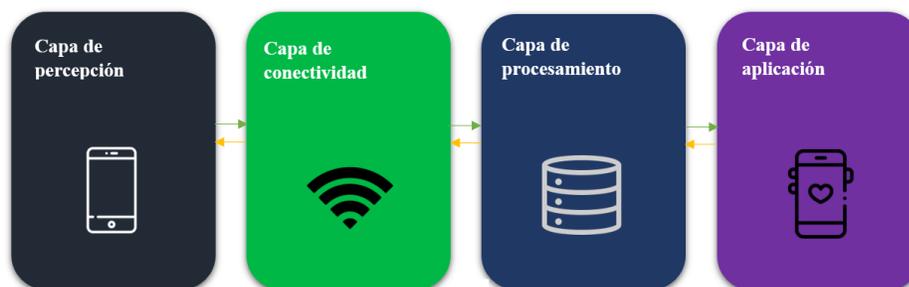


Figura 1. Arquitectura del sistema

Figure 1. System architecture

Fuente: Elaboración propia

- **Capa de percepción:** La capa de percepción es la capa que va a servir como puente entre nuestro dispositivo físico y lo digital, para nuestro sistema de monitoreo cardíaco, utilizaremos sensores, que comúnmente todo smartphone posee, los sensores son los siguientes:
 - ✓ Cámara (Móvil)
 - ✓ Flash (Móvil)
 - **Capa de conectividad:** La capa de conectividad se encarga de las comunicaciones entre nuestro dispositivo y la red, los dispositivos smartphone actuales tienen la facilidad de utilizar este tipo de comunicaciones, como pueden ser Bluetooth, WIFI, entre otros, para lograr que el dispositivo tenga una buena comunicación con el servidor, utilizaremos:
 - ✓ WIFI
 - **Capa de procesamiento:** La capa de procesamiento es la que se encarga de la gestión de los datos, donde se podrá almacenar y procesar datos obtenidos, para permitir que el dispositivo tenga esta capacidad se utilizará una herramienta de Google:
 - ✓ Firebase
 - **Capa de aplicación:** La capa de aplicación es la que va a permitir la interacción del dispositivo con el usuario, para el desarrollo de esta tesis, la capa de aplicación sería:
 - ✓ Aplicación móvil
- **Etapas:**
 - **Etapas 1 y 2:** Implementación del proyecto en la población general, instalación del sistema y capacitación a los pacientes sobre el uso de la aplicación móvil.
 - **Etapas 3:** Implementación del proyecto en la población general, instalación del sistema y capacitación a los pacientes sobre el uso de la aplicación móvil.
- Al momento de finalizar el proyecto, se probó en una población general, parte de esta no sufría de enfermedades cardiovasculares, así como la otra tenía problemas de obesidad, hipertensión o enfermedad cardiovascular, la aplicación web tiene funcionalidades como el monitoreo de la frecuencia cardíaca del usuario que podrá ser guardado en la base de datos y podrá ser consultado en un historial, permitir agregar contactos de personas que recibirán las notificaciones por medio de mensaje de texto, y un médico con el que se podrá chatear y dar acceso a su historial de diagnóstico para un mejor seguimiento.

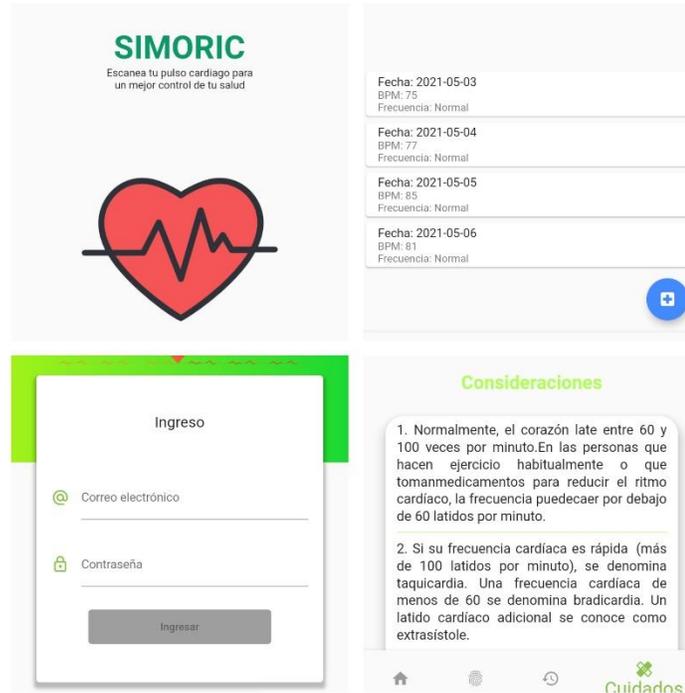


Figura 2. Vista de la aplicación

Figure 2. Application view

Fuente: Simoric

- **Etapa 4:** Recolección de resultados y conclusiones del proyecto.

4. RESULTADOS

Se hizo un estudio de datos que fueron recolectados al aplicar el sistema de monitoreo cardiaco en una población general, se tomó la opinión de un médico para tener en cuenta distintas recomendaciones al momento de escoger a las personas que van utilizar el dispositivo, como el consumo de comidas, el momento ideal en que se puede hacer un monitoreo y que hacer en caso de que se presente una leve arritmia del corazón, fue tomado 1 análisis por día para las personas que no sufren de hipertensión, obesidad o padece de alguna enfermedad cardiovascular, durante 4 días seguidos, desde el 03/05/2021 hasta el 06/05/2021, por otra parte se hizo otro estudio con personas que sufren de obesidad, hipertensión o presentan alguna enfermedad cardiaca, este análisis comenzó el día 10/05/2021 y finalizando el 13/05/2021, con la condición de que las personas estén en reposo, para la recolección de estos datos se tomaron en cuenta, el BPM por análisis, la edad de la persona, peso, altura y sexo, además de esto se realizó una pequeña encuesta en donde los participantes tenían que responder con un sí o un no:

- **Pregunta 1:** Teniendo en cuenta el avance actual de la tecnología ¿Cree usted que un dispositivo móvil, es una gran alternativa para poder conocer en cualquier momento su frecuencia cardiaca?

- Pregunta 2: ¿Le gustaría tener al alcance, un dispositivo de monitoreo cardiaco que tenga la opción de alertar a personas escogidas por el usuario, en caso de sufrir una arritmia cardiaca?

En la Tabla 10, se muestran los datos obtenidos de los primeros 9 pacientes, y las pulsaciones por minuto tomadas a diario, comenzado el 03/05/2021 y finalizando el 06/05/2021.

Luego están los pacientes del 10 al 13, que son los que sufren de sobrepeso, hipertensión o tienen algún problema cardiaco, las pulsaciones por minuto fueron tomadas a diario, comenzando el día 10/05/2021 y finalizando el 13/05/2021, todos los datos de los pacientes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Datos de los pacientes

	Edad	Peso (Kg)	Altura (metros)	Sexo	Respuesta 1	Respuesta 2	BPM
Paciente 1	19	78	1.72	F	Si	Si	89-89-84-74
Paciente 2	22	58	1.68	F	Si	Si	81-84-84-89
Paciente 3	22	53	1.56	F	Si	Si	82-86-81-88
Paciente 4	22	59	1.65	M	Si	Si	88-83-83-79
Paciente 5	23	82	1.72	M	Si	Si	95-85-77-82
Paciente 6	23	63	1.62	M	Si	Si	79-81-76-84
Paciente 7	24	89	1.68	M	Si	Si	95-91-98-91
Paciente 8	24	78	1.83	M	Si	Si	75-77-85-81
Paciente 9	25	72	1.60	M	Si	Si	87-86-83-88
Paciente 10	72	62	1.55	F	Si	Si	88-86-80-83
Paciente 11	80	44	1.50	F	Si	Si	100-105-95-92
Paciente 12	25	70	1.71	M	Si	Si	93-81-108-80
Paciente 13	24	95	1.70	M	Si	Si	101-99-81-93

Fuente: Elaboración propia

La Fotopletismografía o PPG es una variación de la pletismografía, siendo esta última un método utilizado para medir cambios en volumen de diferentes partes del cuerpo, siendo utilizado mayormente para revisar el flujo sanguíneo.

Por otra parte, el PPG, permite hacer esa medición, estableciendo la cantidad de luz que refleja el cuerpo, siendo un método utilizado mucho últimamente por especialistas, para la monitorización de la frecuencia cardíaca.

Utilizaremos el dedo índice de la mano derecha o izquierda, como el cuerpo que va a reflejar una cierta cantidad de luz, para lograr esto, el flash del celular juega un papel muy importante, ya que este se encargará de iluminar el tejido inundado de sangre, esto nos permitirá medir la variabilidad de luz

reflejada, dándonos la oportunidad de extraer la variación de flujo sanguíneo, además de esto, la cámara es la encargada de medir la intensidad reflejada, de esta manera podemos calcular la frecuencia cardíaca, midiendo el promedio de la intensidad de los píxeles captados por la cámara del celular.

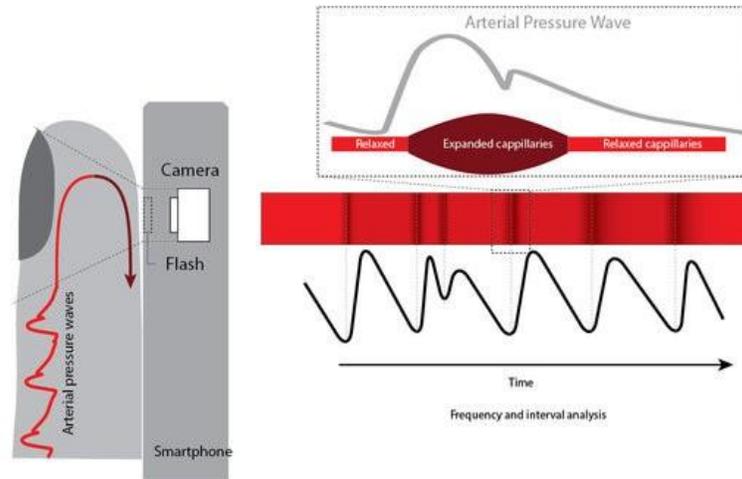


Figura 3. Fotopleletismografía

Figure 2. Photoplethysmography

Fuente: Vandenberg, et. Alabama. (2017). Validación clínica de aplicaciones de frecuencia cardíaca: estudio de evaluación de métodos mixtos. JMIR Mhealth Uhealth. 5. e129. 10.2196 / mhealth.7254.

Los datos recolectados de cada muestra son, el promedio de bytes de la imagen obtenida y el tiempo o instante en el que se obtuvo la misma, otro detalle que se tiene en cuenta es el periodo de la onda, y el promedio de datos que la componen, en este caso.

Para prevenir errores de estimación, cuando se haya una diferencia mayor a 1200Ms –lo cual equivale a 50 latidos por minuto- o menor a 300Ms o 200 latidos por minuto, se ignora el valor obtenido.

Al final de proceso tendremos una lista con las diferentes frecuencias calculadas, y se calcula un promedio de éstas, el cual es el resultado de la medición.

Ahora representaremos los datos obtenidos en el monitoreo de cada persona, estos datos se obtuvieron de la base de datos, cada persona realizó un monitoreo por día, en un periodo de 4 días, cabe resaltar que se hizo una comparación de algunos datos con un pulsómetro para determinar que tanta relación hay entre un dispositivo profesional y el sistema.

En la Grafica 1, se representan las pulsaciones por minuto de las participantes femeninas que no sufren de obesidad, hipertensión o anomalías cardíacas.

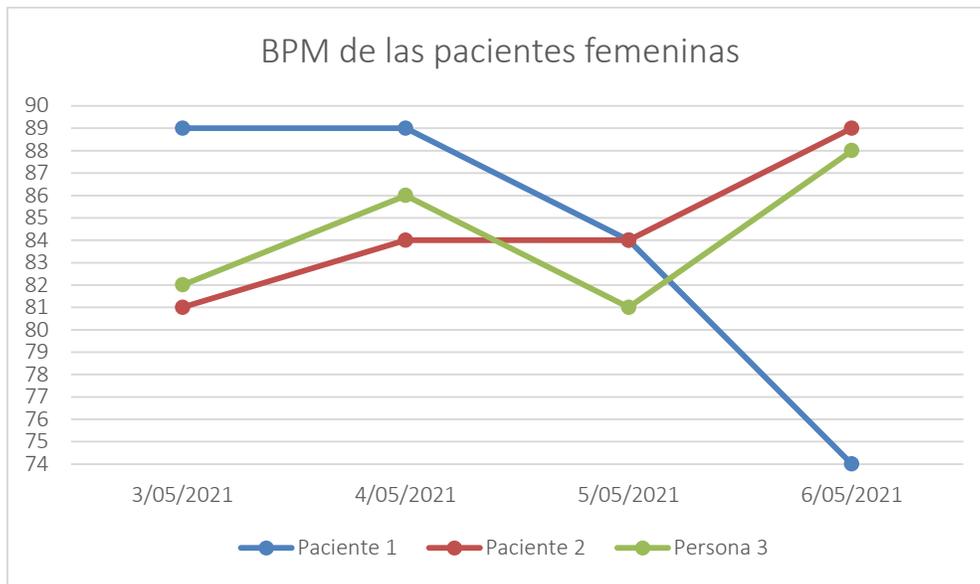


Gráfico 1. BPM de las pacientes femeninas

Graph 1. BPM of female patients

Fuente: Elaboración propia

En la Grafica 2, se representan las pulsaciones por minuto de los participantes masculinos que no sufren de obesidad, hipertensión o anomalías cardiacas.

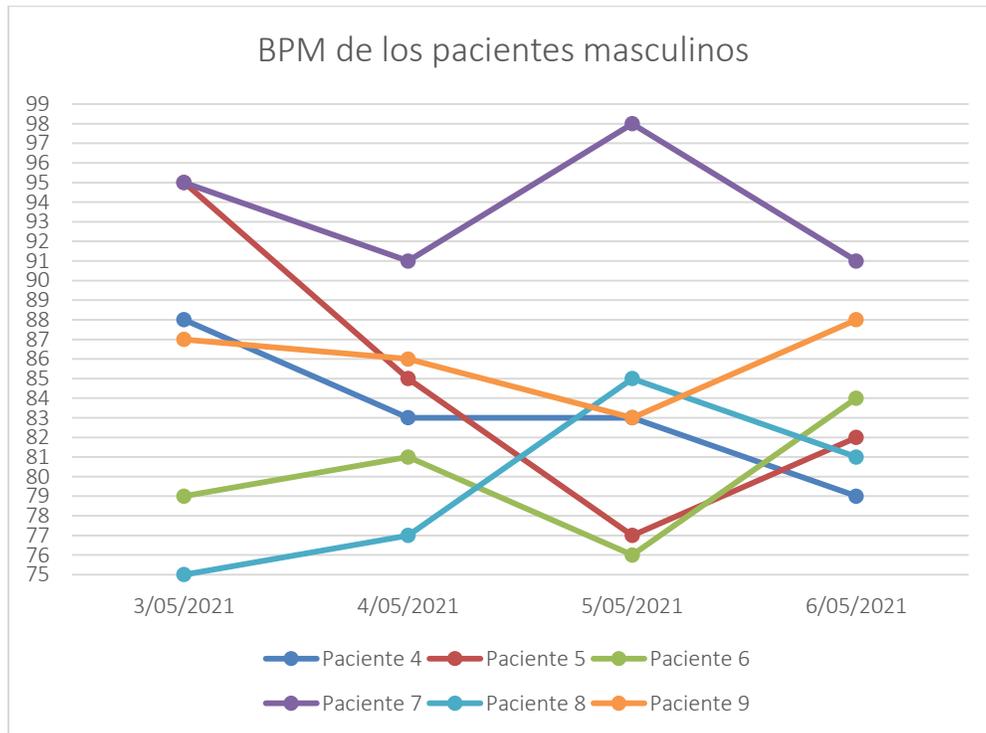


Gráfico 2. BPM pacientes masculinos

Graph 2. BPM male patients

Fuente: Elaboración propia

En el Grafico 1 y Grafico 2, algunos pacientes presentaron BPM por encima de los 90, pero ninguno alcanzó valores menores que 60 o valores mayores que 100, al finalizar el periodo las personas se mostraron conformes con el sistema, dándole un visto positivo por todas las funcionalidades que ofrece el sistema.

Ahora en el Grafico 3, representaremos las pulsaciones por minuto de los pacientes que sufren de hipertensión, obesidad o de alguna anomalía cardiaca.

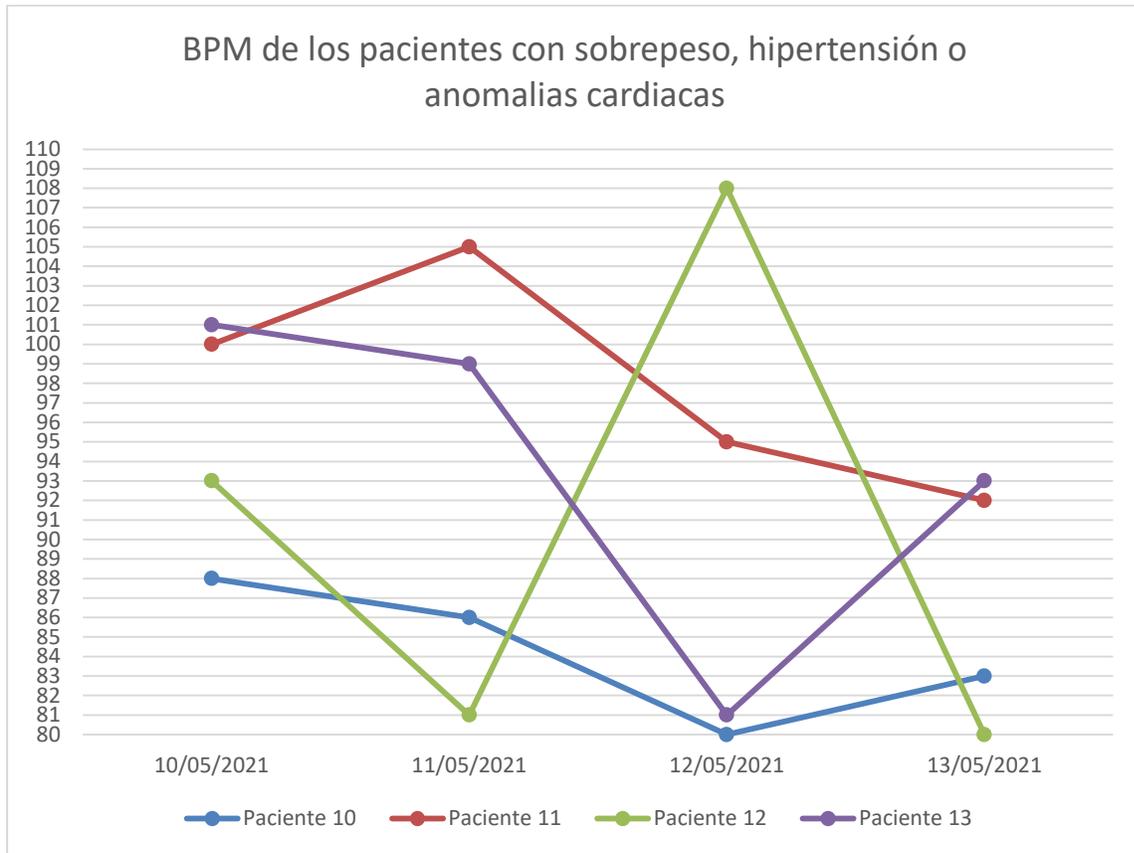


Gráfico 3. BPM pacientes con sobrepeso, hipertensión o anomalías cardíacas
Graph 3. BPM in patients with overweight, hypertension or cardiac anomalies.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede notar en el Grafico 6, la mayoría de los pacientes presentaron una frecuencia cardíaca mayor a 100 en algún monitoreo, a estos pacientes se les dio la opción de enviar un aviso por medio de un mensaje de texto a uno de sus contactos agregados con fines de probar esta funcionalidad de la aplicación, en total se emitieron 4 alertas a contactos cercanos, al final se les dio la opción de seguir utilizando el aplicativo.

5. DISCUSIÓN

Basándonos en las experiencias propias de los participantes, hay que tener mucho en cuenta el dedo que se utiliza, muchos manifestaron que hay una estabilidad mayor en las mediciones cuando se utiliza el dedo índice izquierdo, así como la posición del dedo al momento de mantener cubriendo el flash y la cámara, aparte de eso hay otro factor que puede influir y es la arquitectura del celular, ya que, si el celular cuenta con los últimos avances de la tecnología, en donde se utilizan varias cámaras para mejorar la precisión y la calidad y enfoque de la imagen, a veces puede arrojar un dato absurdo, si la persona no

espera el tiempo suficiente para que el monitoreo se estabilice, esto es debido a todas las cámaras que quedan apuntando al aire, pero en general, se obtuvieron resultados que favorecieron a este estudio, ya que se pudo estudiar el comportamiento del aplicativo en una población general que no presenta síntomas de anomalías cardíacas, así como en otro tipo de población que presenta anomalías cardíacas, sobrepeso o hipertensión, en base a todo lo desarrollado en esta sección y todo lo discutido y analizado, podemos afirmar que el proyecto tuvo un buen impacto en la población que participó en las pruebas.

6. CONCLUSIONES

Este sistema de monitoreo cardíaco tuvo un buen recibimiento por parte de las personas que tuvieron la oportunidad de utilizarla, permitiendo conocer su frecuencia cardíaca por medio de un método no invasivo, utilizando solo la cámara y flash del celular, y dando la oportunidad de interactuar con diferentes funciones, de la cual la que más resalta es el envío de alertas por medio de mensaje de texto a contactos que el usuario haya agregado y seleccionado en el momento de la alerta, en el momento de pruebas se obtuvieron datos de 4 alertas enviadas por usuarios que presentaron una frecuencia cardíaca mayor a 100, por lo general estos usuarios sufrían de alguna enfermedad crónica como hipertensión, obesidad o problemas cardiovasculares, pacientes que suelen presentar una anomalía cardíaca, por lo general aceleramiento del ritmo corazón, o llamado científicamente como arritmias, el estudio en la población general que no cuentan con enfermedades crónicas que afecten al corazón, no se presentaron frecuencias por encima de 100 BPM y tampoco se presentaron frecuencias por debajo de los 60 BPM, siendo un estudio con resultados variados en donde se puede notar que los valores del dispositivo son acordes a el estado de salud de cada paciente, además de esto agregamos que la frecuencia cardíaca depende mucho de la actividad que la persona esté realizando en el momento y la edad, en donde personas que hacen ejercicio, tienden a presentar un ritmo cardíaco elevado ya que el corazón necesita enviar oxígeno mucho más rápido a diferentes partes del cuerpo, y que personas que tienen como profesión el deporte, tienden a presentar ritmos cardíacos más bajos de lo normal, teniendo todos estos datos en cuenta, la aplicación ofrece muchas variedades positivas y algunas limitaciones, como el mantener el dedo en la misma posición mientras se cubre la cámara y el flash, pero siempre ofreciendo una experiencia positiva a los pacientes, y lo más importante, siendo una aplicación que funciona en la mayoría de smartphones, siendo muy accesible por personas de todo tipo, y demostrando que se obtiene la misma eficiencia de los dispositivos y sistemas de monitoreo cardíaco portátiles ya existentes (Sana et al., 2020).

REFERENCIAS

- ✓ Arias. C, Nope. R, y Caicedo. B. (2017). Monitoreo ambulatorio y generación de alertas tempranas ante anomalías cardíacas usando dispositivos móviles. Revista ingeniería biomédica. 1909-9762. doi.org/10.24050/19099762.n23.2018.900.
- ✓ Aveiga P, Criollo A, Cruz Q. (2018). Monitoreo del ritmo cardíaco a través de dispositivos móviles. http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.4.núm.2.abril.3-19
- ✓ Gómez, J. (2017). El internet de las cosas oportunidades y desafíos. Ingeniería E Innovación. https://doi.org/10.21897/23460466.1085.
- ✓ Gómez, J., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2018). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. Ingeniería E Innovación. https://doi.org/10.21897/23460466.1101.
- ✓ Gómez, Oviedo y Zhumab, (2016). Patient Monitoring System Based on Internet of Things Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.103.
- ✓ Sana et al. (2020). Wearable Devices for Abulatory Cardiac Monitoring. 0735-1097. doi.org/10.1016/j.jacc.2020.01.046
- ✓ Ousaka et al. (2019). A new approach to prevent critical cardiac accidents in athletes by real-time electrocardiographic tele-monitoring system: Initial trial in full marathon. 1878-5409. doi.org/10.1016/j.jccase.2019.03.008.
- ✓ Organización panamericana de la salud. (2020). Enfermedades cardiovasculares [web]. Recuperado de: https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-cardiovasculares
- ✓ Vanegas. C, Valderrama. B, y Ibatá. B, (2017). Experiencia clínica en monitorización cardíaca extendida con el sistema inalámbrico satelital tipo SEEQ. Revista Colombiana de Cardiología. doi.org/10.1016/j.rccar.2017.09.003