






Usability of a cardiac diagnosis and monitoring system for smartwatch based on fractal geometry.

José Alfredo Sulla Torres, Doctor¹, Roderick Cusirramos Montesinos, Ingeniero², Sandra Catalina Correa Herrera, Dra³, Jairo Javier Jattin Balcázar, Dr⁴, Agueda Muñoz del Carpio Toia, Doctora⁵
^{1,5} Universidad Católica de Santa María, Perú, jsullato@ucsm.edu.pe, amunozde@ucsm.edu.pe
²Agile Corporation, Perú, roderick@agilecorp.net.pe
^{3,4}Grupo Insight, Colombia, insight_star@yahoo.com, u0401578@unimilitar.edu.co

Abstract– Cardiac pathologies, which include rate abnormalities such as tachycardia and bradycardia, represent a prevalent health problem globally. This study proposes the development of a smartwatch application that monitors heart rate and evaluates it using principles of dynamic systems and fractal geometry. The CRISP-DM methodology is used in developing the mobile application that measures the heart rate of patients with various heart diseases and normal patients in the city of Arequipa-Peru. The software is built in the Android Studio development environment to do this. The application, installed on a smartwatch, collects heart rate data through optical sensors for at least 20 hours. Subsequently, the data are analyzed using dynamic systems techniques and fractal geometry to distinguish between normal and abnormal cardiac states. The usability of the software was evaluated using the System Usability Scale (SUS), obtaining an acceptance greater than 80.3%. The results indicate that the application can support heart rate management, offering a valuable resource for cardiology specialists. This technological advancement shows significant potential to improve the monitoring and diagnosis of heart disease.

Keywords– Diagnostic system, cardiac monitoring, fractal geometry, smartwatch, usability.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Usabilidad de un sistema de diagnóstico y seguimiento cardíaco para smartwatch basado en geometría fractal

José Alfredo Sulla Torres, Doctor¹, Roderick Cusirramos Montesinos, Ingeniero², Sandra Catalina Correa Herrera, Dra³, Jairo Javier Jattin Balcázar, Dr⁴, Agueda Muñoz del Carpio Toia, Doctora⁵
^{1,5} Universidad Católica de Santa María, Perú, jsullato@ucsm.edu.pe, amunozde@ucsm.edu.pe
²Agile Corporation, Perú, roderick@agilecorp.net.pe
^{3,4}Grupo Insight, Colombia, insight_star@yahoo.com, u0401578@unimilitar.edu.co

Resumen– Las patologías cardíacas, que incluyen anomalías en la frecuencia como la taquicardia y la bradicardia, representan un problema de salud prevalente a nivel global. Este estudio propone el desarrollo de una aplicación para smartwatch que monitorice la frecuencia cardíaca y la evalúe utilizando principios de los sistemas dinámicos y geometría fractal. Se utiliza la metodología de CRISP-DM en el desarrollo del aplicativo móvil que mida la frecuencia cardíaca de pacientes con diversas enfermedades cardíacas, así como pacientes normales de la ciudad de Arequipa-Perú. Para ello se construye un software en el entorno de desarrollo Android Studio. La aplicación, instalada en un smartwatch recolecta datos de la frecuencia cardíaca a través de sensores ópticos durante un periodo mínimo de 20 hrs. Posteriormente, los datos son analizados mediante técnicas de los sistemas dinámicos y geometría fractal para distinguir entre los estados cardíacos de normalidad y anormalidad. La usabilidad del software se evaluó utilizando la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), obteniendo una aceptación superior al 80.3%. Los resultados indican que la aplicación puede servir de apoyo para la gestión de la frecuencia cardíaca, ofreciendo un recurso valioso para los especialistas en cardiología. Este avance tecnológico muestra un potencial significativo para mejorar la supervisión y el diagnóstico de las enfermedades cardíacas.

Palabras Clave-- Sistema diagnóstico, seguimiento cardíaco, geometría fractal, smartwatch, usabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que los problemas relacionados con la frecuencia cardíaca son uno de los que más afectan a las personas en el mundo, pueden incluir tanto latidos cardíacos demasiado rápidos (taquicardia) como demasiado lentos (bradicardia)[1].

El estudio de la dinámica cardíaca se refiere a la investigación y análisis de los procesos y fenómenos relacionados con la función del corazón, así como a la interacción entre el corazón y otros sistemas del cuerpo [2]. Los aspectos clave en su estudio son la fisiología cardíaca, la electrofisiología, la cardiología clínica y la investigación cardiovascular.

La tecnología vestible para medir la frecuencia cardíaca se ha vuelto cada vez más popular y accesible en los últimos años. Estos dispositivos, como relojes inteligentes, pulseras de actividad entre otros, utilizan sensores ópticos para monitorear

la frecuencia cardíaca de manera continua o periódica, en comparación con los Holter y varios monitores de eventos implantables, que proporcionan monitorización continua, pero son invasivos, incómodos y pueden no detectar arritmias intermitentes, debido a su estrategia de monitorización exploratoria periódica.

Aunque los relojes inteligentes se pueden utilizar para la detección de problemas cardíacos como la fibrilación auricular pero se sabe poco sobre cómo en algunas personas con riesgo de cardíaco perciben su utilidad [3], estos problemas se pueden incrementar a mediada que incrementa la edad [4].

La adopción de relojes inteligentes en sistemas de monitorización de pacientes aún se encuentra en una etapa temprana, con estudios limitados que profundicen más allá de su viabilidad. El desarrollo de aplicaciones de atención médica para smartwatch enfrenta desafíos como la corta duración de la batería, la comodidad del uso, el cumplimiento del paciente, dificultades de interacción del usuario, pantallas táctiles pequeñas, configuración personalizada de sensores y conectividad con otros dispositivos [5]. Así mismo se han realizado estudios de precisión y usabilidad de algoritmos y aplicativos incorporados en smartwach que midan las irregularidades cardíacas que permitan realizar un monitoreo [6].

En ese sentido, el uso de smartwatches y otros dispositivos vestibles en la investigación del estudio de la dinámica cardíaca ha crecido significativamente. Estos dispositivos proporcionan una forma no invasiva y continua de monitorear la actividad cardíaca en tiempo real.

Un aspecto importante en el desarrollo de aplicaciones móviles para smartwatch por sus características minimalistas es su usabilidad. La usabilidad de las aplicaciones para smartwatches es un aspecto clave para la experiencia del usuario, dado el tamaño de pantalla limitado y la interfaz simplificada.

Por ese motivo el objetivo del estudio es desarrollar un aplicativo móvil, instalarlo en un smartwatch que permita capturar la frecuencia cardíaca de las personas y que obtenga el diagnóstico de la dinámica cardíaca con geometría fractal, luego evaluar sus resultados según la escala de usabilidad de sistema (SUS).

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Según Diodato et al. [7] indican que los relojes inteligentes, dispositivos de pulsera con capacidad informática capaces de conectarse con otros dispositivos a través de redes inalámbricas de corto alcance, son hoy en día utilizados habitualmente por la población general para controlar su estado de salud mediante aplicaciones específicas. Recientemente, la detección de fibrilación auricular basada en la monitorización de la frecuencia cardíaca mediante sensores ópticos resultó factible y confiable. En este informe de caso, la tecnología de reloj inteligente permitió la implementación preventiva de intervenciones contra complicaciones potencialmente mortales.

En el trabajo de Touiti et al. [8] señalan que los dispositivos portátiles brindan diferentes servicios a sus usuarios a través de diferentes aplicaciones de software instaladas. Las funcionalidades de monitorización de la salud están garantizadas por el sensor incorporado en el equipo. El software permite el registro de un solo electrocardiograma (ECG) de una sola derivación, lo que es suficiente para detectar o diagnosticar trastornos del ritmo y de la conducción, especialmente durante la aparición de síntomas cardíacos. Sus hallazgos confirman los datos existentes sobre la alta similitud entre software y el ECG estándar de 12 derivaciones. A pesar de que los softwares no tienen la precisión y utilidad de la máquina de ECG estándar, deben considerarse como una interesante herramienta de detección de trastornos del ritmo cardíaco y una solución convincente para la documentación eléctrica de los síntomas cardíacos generales.

En el trabajo de [9], hacen una revisión de investigaciones que incluyeron dos estudios que evaluaron la eficacia diagnóstica de la tecnología de relojes inteligentes, dos estudios que investigaron la usabilidad de nuevas tecnologías y un estudio que evaluó la rentabilidad. Las audiencias objetivo de la detección de fibrilación auricular incluyen una mayor proporción de adultos mayores con posible deterioro de la función tecnológica y/o cognitiva, y pueden tener dificultades para utilizar la tecnología actual de relojes inteligentes. Con una interfaz de usuario simplificada, un software novedoso como Pulsewatch promueve la accesibilidad del usuario en la tecnología de relojes inteligentes, haciendo que la detección de fibrilación auricular sea fácil de identificar, especialmente en personas mayores.

Según Martinato et al. [10] indican que la actividad física regular contribuye a la prevención primaria y secundaria de varias enfermedades crónicas y reduce el riesgo de muerte prematura. La inactividad física es un factor de riesgo modificable para enfermedades cardiovasculares y una variedad de trastornos crónicos como diabetes, obesidad, hipertensión entre otras. El objetivo del estudio fue estimar la precisión de los dispositivos portátiles para cuantificar la Actividad Física de personas mayores. Se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC) (con un intervalo de confianza del 95%) entre las mediciones de los pasos. Llegaron a la conclusión que el nivel de precisión de los

dispositivos portátiles para cuantificar la AF de personas mayores en un entorno de la vida real que se encontró en este estudio apoya la idea de considerar los dispositivos no médicos portátiles.

En el trabajo de Claes et al [11] indicaban que la precisión de los monitores de frecuencia cardíaca de muñeca basados en fotoplethismografía (PPG) no está completamente aceptada clínicamente. Por lo tanto, su objetivo fue validar las mediciones de frecuencia cardíaca de un monitor de frecuencia cardíaca PPG disponible comercialmente. Sus resultados mostraron que las frecuencias cardíacas medias, los valores r , el RMSE y el sesgo de Bland-Altman indicaron una buena concordancia general en esta muestra de adultos sanos, pero los límites de concordancia amplios dificultan la confianza en las mediciones individuales.

Rodríguez et al. [12], desarrollan una metodología diagnóstica físico-matemática que diferencie normalidad de enfermedad aguda, en registros electrocardiográficos continuos y Holter, mediante los espacios de ocupación de atractores dinámicos, tomando 40 registros Holter y/o electrocardiográficos continuos normales y con enfermedad aguda. Así mismo, establecieron una nueva metodología de evaluación del Holter basada en los sistemas dinámicos y la geometría fractal y su confirmación de su aplicabilidad a nivel clínico.

En el trabajo de Ramin et al. [5], presentan un estudio de caso sobre el diseño de una aplicación de reloj inteligente Android para el seguimiento remoto de pacientes geriátricos. Destaca los obstáculos encontrados durante el desarrollo de aplicaciones y ofrece información sobre las decisiones de diseño y los detalles de implementación. El objetivo fue de ayudar a los programadores a desarrollar aplicaciones sanitarias más eficientes para sistemas portátiles.

En el paper de [13], examinaron la usabilidad de una intervención prototípica de mHealth (denominada HerBeat) diseñada específicamente para mujeres con enfermedad coronaria. Así mismo, examinaron la influencia de HerBeat en determinadas conductas de salud. Utilizaron un smartphone y un smartwatch en el que estaba instalada la aplicación HerBeat. Utilizando el panel de un portal web, un asesor de salud monitoreó los datos de evaluación momentánea de los participantes, sus datos de comportamiento, su frecuencia cardíaca y su recuento de pasos. La usabilidad y aceptabilidad de HerBeat fueron buenas, con una puntuación media de usabilidad del sistema de 83,60.

Todos estos estudios previos han permitido formar una base a la propuesta realizada en el presente estudio.

III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se utilizó el proceso CRISP-DM (del inglés Cross Industry Standard Process for Data Mining) [14] para el desarrollo del sistema, consta de seis etapas: Entendimiento del Negocio, entendimiento de los datos, Procesamiento de los

datos, Modelado, Resultado y despliegue. A continuación, se detalla cada una de ellas.

A. Entendimiento del Negocio.

En la primera etapa se determina el problema a abarcar, en este caso es que existe una gran cantidad de personas que sufren de problemas cardiacos que pueden ser mortales, es importante el diagnóstico de la dinámica cardíaca a partir de sistemas dinámicos y geometría fractal mediante el desarrollo de software que automatice la propuesta.

Definiciones necesarias para el desarrollo de la metodología:

- Mapa de retardo: clase de atractor donde se simboliza gráficamente la dinámica de un sistema.
- Fractal: objeto irregular o irregularidad de este.
- Dimensión fractal: medida numérica que evalúa la irregularidad de un objeto. En esta investigación se utilizará la definición de dimensión fractal de Box-Counting.

B. Entendimiento de los datos

En esta etapa se establece los atributos a capturar que viene a ser la frecuencia cardíaca que se captura mediante los sensores de los smartwatches. Se utilizó el smartwatch de marca Samsung Galaxy 4, que permite medir convenientemente la composición corporal. El sensor bioactivo Samsung mide el ECG y la presión arterial en tiempo real. Después de la calibración inicial, los sensores controlan rápidamente la presión arterial. También puede controlar la frecuencia y el ritmo cardíaco anormal a través del ECG.

Los pacientes evaluados son mayores de 20 años de los cuales fueron 10 pacientes con problemas cardiacos y 10 personas sin antecedentes con estas enfermedades. Se capturó el id de cada paciente, la frecuencia cardíaca, la hora de captura, y la finalización de esta prueba. Cada uno de los pacientes fue informado del protocolo y objetivos de la investigación firmando su aceptación al estudio. Así mismo el trabajo sigue según las sugerencias descritas la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial) para los seres humanos y por el comité de ética local de la Universidad.

C. Procesamiento de los datos

Una vez capturado los datos por un lapso de 20 hrs a través del App en los smartwatches, se realizó el procesamiento siguiendo la siguiente metodología:

1) Subetapa1: Aplicación manual del método y caracterización de variables.

- Tabular los valores de frecuencia cardíaca mínima, máxima y numero de latidos por hora.
- Usando como limites los valores de frecuencia cardíaca máxima y mínima se generan secuencias.
- A partir de las secuencias generadas se formarán parejas ordenadas.
- Graficar un atractor caótico usando las parejas ordenadas.

- Sobre los atractores se pondrán dos rejillas Kp de 5 latidos/min y Kg de 10 latidos/min.
- Se aplicará el método de Box Counting y se calculará la dimensión fractal para el atractor.
- Se analizarán los atractores para identificar diferencias entre estados de normalidad y anormalidad.

2) Subetapa2: Confirmación de la capacidad diagnóstica del método aplicado.

- Análisis de los resultados obtenidos para los smartwatches, contraste del diagnóstico obtenido, según la ecuación (1):

$$K = \frac{C_o - C_a}{T_o - C_a} \quad (1)$$

Donde: C_o : concordancias observadas, T_o : Total de casos, C_a : Concordancias por azar, según la ecuación (2).

$$C_a = \left[\frac{f_1 \times c_1}{T_o} \right] + \left[\frac{f_2 \times c_2}{T_o} \right] \quad (2)$$

Donde: f_1 : casos con valores matemáticos en los límites de normalidad, c_1 : casos diagnosticados clínicamente dentro de la normalidad, f_2 : casos que, con valores matemáticos asociados a enfermedad aguda, c_2 : casos diagnosticados clínicamente con enfermedad aguda, T_o : número total de casos normales y con enfermedad aguda.

D. Modelamiento

La arquitectura utilizada en la propuesta se muestra en la Fig. 1. Primero se debe diseñar la App para smartwatch llamada "Mi Cardio" ésta fue desarrollada en el entorno Android con el lenguaje de programación Java utilizando los sensores de lectura de frecuencia cardíaca proporcionada por los smartwatches Samsung Galaxy 4. Luego de una captura de datos por 20 hrs en cada paciente con la enfermedad y sanos, se procedió a su almacenamiento en la nube para posteriormente utilizar la metodología físico matemático con geometría fractal para generar los atractores y puedan ser visualizados mediante un aplicativo web que luego pueda ser utilizados por los interesados y determinar los resultados.

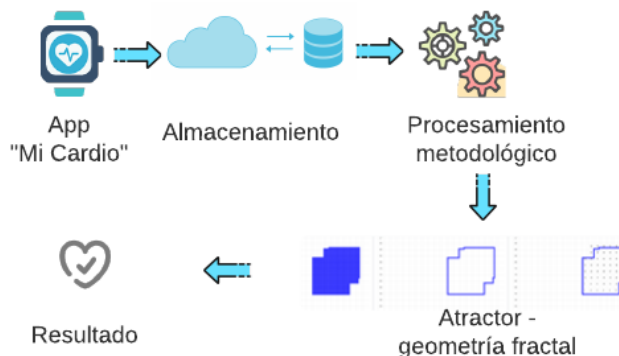


Fig. 1. Arquitectura de la propuesta del estudio

En esta etapa se procedió a desarrollar el App para el Smartwatch, se utilizó el entorno de programación para Android, con el lenguaje de programación Java. Los Requerimientos mínimos para la App son:

- La app debe permitir visualizar el ritmo cardiaco del usuario.
- La app debe permitir enviar el ritmo cardiaco por segundo a un servidor.
- La app debe permitir enviar un registro de la saturación de oxígeno en sangre.
- La app debe permitir agregar el código del usuario para el envío de datos.

Se siguió las recomendaciones de la estructura general propuesta de la aplicación de atención médica para relojes inteligentes en Wear OS de [5].

En la Figura 2 se muestra la interfaz inicial para el Smartwatch:



Fig. 2. Interfaz inicial

En cuanto a la conexión a Internet, el Samsung Galaxy Watch 4 se conecta automáticamente con el dispositivo móvil vinculado utilizando el servicio Wifi o la Red del dispositivo móvil. Para el correcto uso de la App deberá aceptar los permisos solicitados al momento de ejecutarla.

En la Figura 3 se muestra la pantalla de menú de tres opciones:

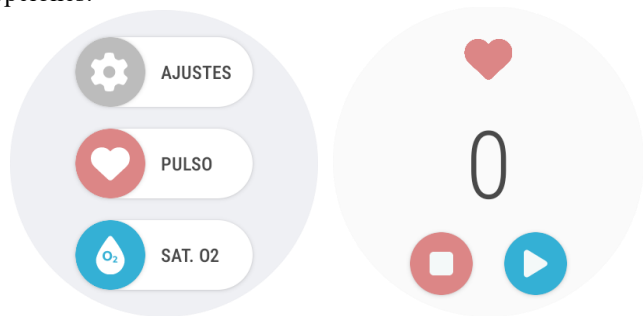


Fig. 3. Menú de Pulso cardiaco

La opción de Pulso lo llevará a la vista de la lectura del sensor cardiaco. En esta vista podrá ver su pulso cardiaco y encontrará las opciones de inicio y pausa de envío de datos. Para el envío de datos deberá haber ingresado un código de usuario previamente.

La App de la smartwatch una vez realizada la captura de datos de frecuencia cardiaca a los pacientes por 20 hrs, se envía al servidor alojado en la nube donde se gestiona mediante un aplicativo web a través de los siguientes módulos:

1) Pacientes.

La vista de pacientes permite observar los detalles de todos los pacientes en una vista. Además, permite acceder a los latidos cardiacos de paciente en caso tenga el smartwatch y la aplicación. Podemos acceder a las muestras que tiene cada paciente como se muestra en la Figura 4.



Fig. 4. Módulo de Pacientes

2) Agregar Pacientes

Para agregar pacientes, es necesario consignar sus datos personales, su email, y seleccionar las condiciones previas que ha padecido de la lista de opciones. Estas opciones se pueden gestionar desde la sección de mantenimientos como se muestra en la Figura 5.

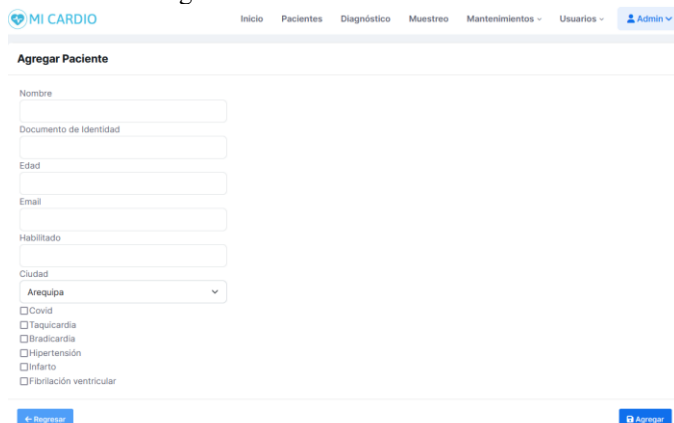


Fig. 5. Módulo de Agregar Pacientes

3) Diagnóstico

En esta vista se enlistan los diagnósticos posibles que dependen de los resultados obtenidos de los análisis obtenidos de las muestras subidas de cada paciente, como se muestra en la Figura 6.



Fig. 6. Módulo de Diagnóstico

4) Agregar Diagnóstico

Para agregar un diagnóstico, actualmente, se hace uso de la gravedad que puede tener el estudio realizado en el paciente, según se muestra la Figura 7.

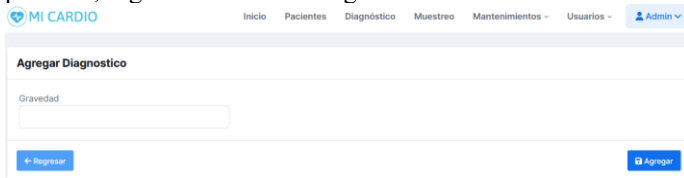


Fig. 7. Módulo de Agregar Diagnóstico

5) Muestras

En la Figura 8 está la vista de muestras se tiene acceso a todas las muestras realizadas por paciente, se muestra su diagnóstico, el dispositivo con el que se hizo el estudio, el diagnóstico obtenido por la respuesta y el detalle de la muestra.

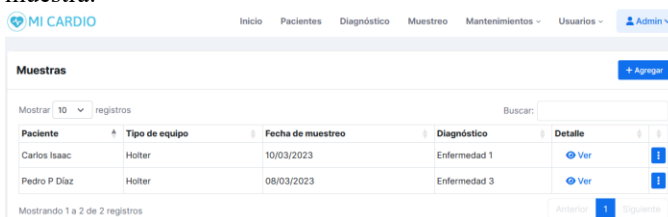


Fig. 8. Módulo de Muestras

6) Detalle de Muestras

En el detalle de muestras se tiene información del paciente y la respuesta del estudio. Para obtener la respuesta, es necesario adjuntar un archivo de Excel. Una vez adjuntado, se generarán las gráficas y se obtendrá la respuesta y el diagnóstico final, como se muestra en la Figura 9.

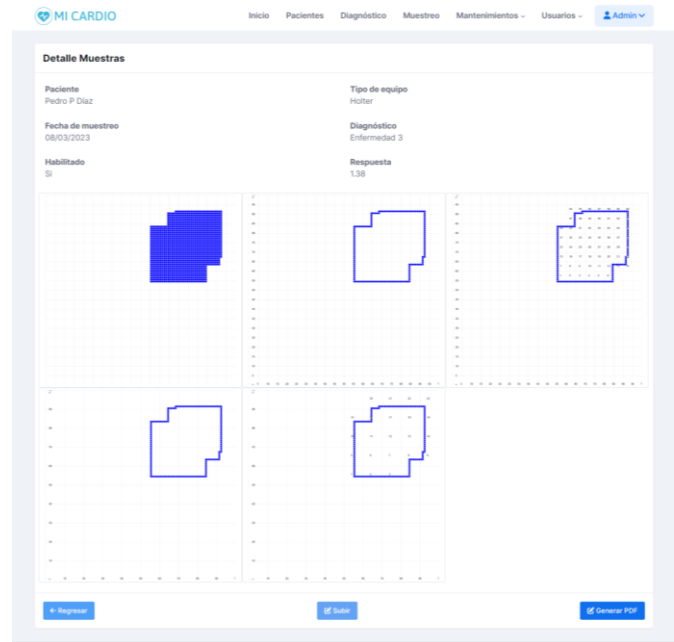


Fig. 9. Módulo de Detalles de Muestras

IV. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Para la obtención de resultados se realizó el análisis estadístico de la prueba de T-Student ya que se utiliza datos numéricos y se asume que siguen una distribución normal. El objetivo es comparar las medias de los dos grupos “Cardio” y “Sanos” para determinar si hay diferencias significativas.

En la Tabla 1 se muestra la generación de valores obtenidos luego de procesar los datos para cada uno de los grupos.

TABLA I
RESULTADOS DEL PROCESO DE FISCOMATEMÁTICO Y GEOMETRÍA FRACTAL

Condición-Grupo1	Valores	Condición-Grupo2	Valores
Cardio	1.9319	Sano	1.7544
Cardio	1.8145	Sano	1.7345
Cardio	1.852	Sano	1.696
Cardio	1.889	Sano	1.7862
Cardio	1.8074	Sano	0.8588
Cardio	1.7687	Sano	1.7442
Cardio	1.7442	Sano	1.7327
Cardio	1.4313	Sano	1.7289
Cardio	1.8018	Sano	1.7738
Cardio	1.663	Sano	1.4657

Para lo cual se establecieron las siguientes hipótesis:

H_0 = No se acepta que haya diferencias significativas entre las medias de los dos grupos.

H_1 = Se acepta que haya diferencias significativas entre las medias de los dos grupos.

Se utilizó la herramienta de Software Excel. Luego de aplicar la prueba *T-Student* en la Tabla II se muestra los resultados obtenidos.

TABLA II
RESULTADOS DE T-STUDENT

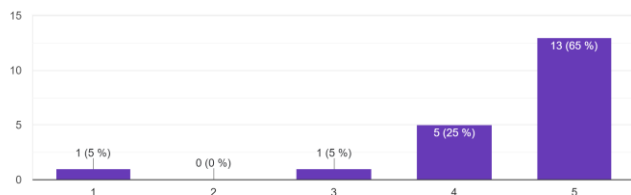
	Variable 1	Variable 2
Media	1.77038	1.62752
Varianza	0.01981327	0.08120901
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	0.05051114	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	1.42135339	
P(T<=t) una cola	0.08615423	
Valor crítico de t (una cola)	1.73406361	
P(T<=t) dos colas	0.17230846	
Valor crítico de t (dos colas)	2.10092204	

Al ser el valor de $p > 0.05$ (0.17230846) se rechaza la hipótesis alternativa por lo cual la Hipótesis nula No se acepta que haya diferencias significativas entre las medias de los dos grupos.

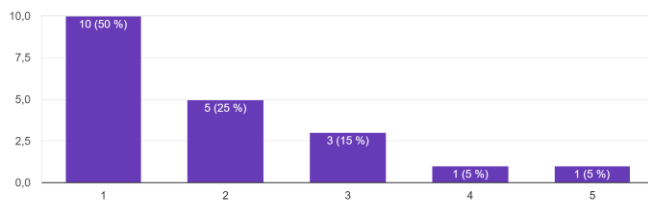
En cuanto a la Usabilidad se utilizó la Escala de Usabilidad de Sistemas (SUS) [15] con los 20 usuarios en el uso del App para smartwatch la cual consta de 10 interrogantes predefinidas y validadas.

Los resultados obtenidos siguiendo la escala de Likert: 1. Totalmente en desacuerdo hasta 5. Totalmente de acuerdo, fueron los siguientes:

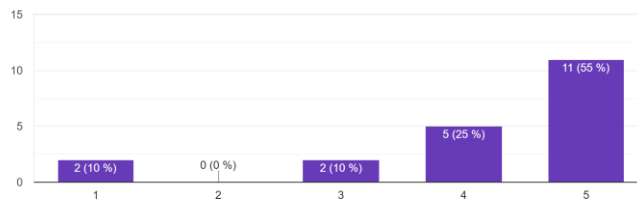
1. Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.
20 respuestas



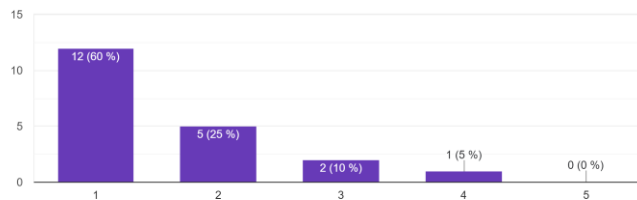
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.
20 respuestas



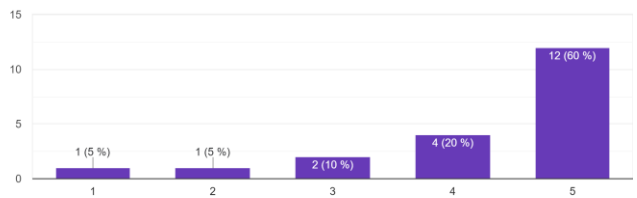
3. Pensé que el sistema era fácil de usar.
20 respuestas



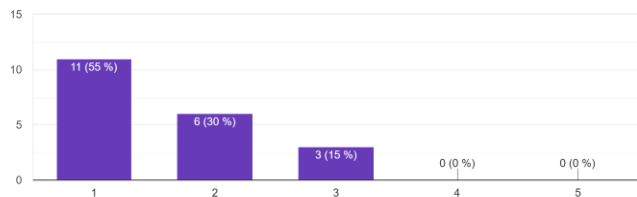
4. Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema.
20 respuestas



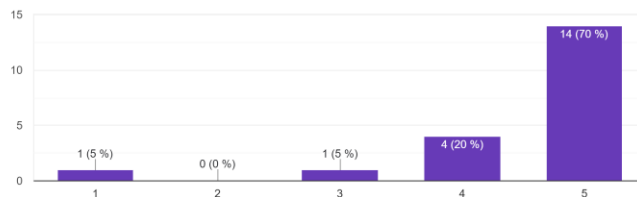
5. Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas.
20 respuestas



6. Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.
20 respuestas

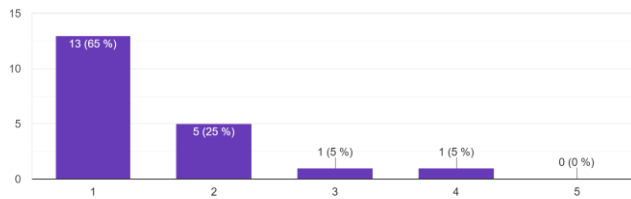


7. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente.
20 respuestas



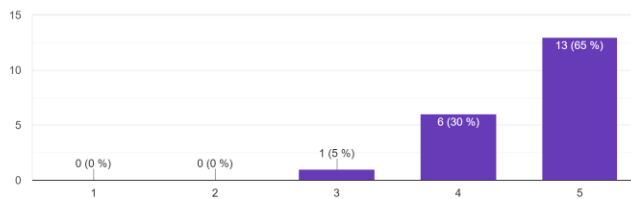
8. Encontré el sistema muy complicado de usar.

20 respuestas



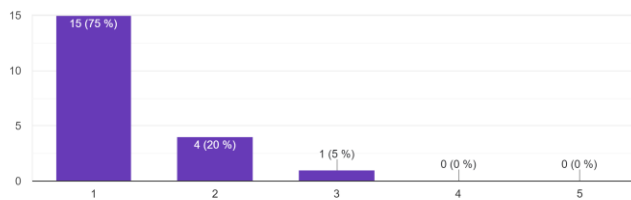
9. Me sentí muy seguro usando el sistema

20 respuestas



10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema.

20 respuestas



Según los resultados al aplicar la Escala de Usabilidad de Sistemas, se ha obtenido valores superiores a 80.3 que hace de una aceptabilidad Buena de la Usabilidad.

V. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Este trabajo viene a ser uno de los primeros que integra el desarrollo de una aplicación para smartwatch personalizada (no propietaria) para la captura de la frecuencia cardíaca utilizando la teoría de los sistemas dinámicos y la geometría fractal.

En los resultados de la investigación se pudo apreciar la usabilidad del aplicativo para smartwatch mediante la Escala de Usabilidad de sistema debido a la estructura de componentes de manera similar a como sugiere en [5].

Se presenta algunas potencialidades. Por ejemplo, se utilizó métodos y metodologías utilizadas para la evaluación de la dinámica cardíaca, con lo que se analizó la dinámica cardíaca a partir de una metodología fisicomatemática basada en los sistemas dinámicos y la geometría fractal como lo propuesto por [12], sin embargo la aplicabilidad clínica de estas metodologías aún siguen es discutida [16].

Por otro lado, se desarrolló el software para dispositivo vestible, específicamente para los smartwatches, basado en el

sistema Android e insertado en el reloj inteligente el cual permite capturar la frecuencia cardíaca de los pacientes con problemas cardíacos y pacientes sanos los cuales lo utilizaron por un laso de 20 hrs. continuas.

Los datos recolectados según la muestra de pacientes del grupo "Cardío" y pacientes del grupo "Sano" se procesaron según la metodología propuesta y se analizaron estadísticamente mediante la prueba de T-student los cuales se obtuvieron que los resultados del grupo "Cardio" son significativamente superiores al grupo "Sano".

En cuanto a la Usabilidad, al aplicar la Escala de Usabilidad de Sistemas, se ha obtenido valores superiores a 80.3 que hace de una buena aceptabilidad del aplicativo y que ésta pueda ser utilizado como alternativa por los especialistas.

AGRADECIMIENTOS

Fuentes De Financiamiento Proyecto "Diagnóstico y seguimiento cardíaco mediante una metodología fisicomatemática basada en la geometría fractal y los sistemas dinámicos incorporadas en tecnologías vestibles" Proyectos de Investigación Aplicada 2022-2, código PE501080050-2022 - PROCENCIA CONCYTEC.

REFERENCIAS

- [1] W. H. O. WHO, "WHO Director-General's opening remarks at the Second Annual Gathering for the Global NCD Compact – 21 September 2023," *WHO*, 2023. <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-for-the-second-annual-gathering-for-the-global-ncd-compact---21-september-2023> (accessed Dec. 23, 2023).
- [2] J. Rodríguez *et al.*, "Dynamic systems and probability theory applied to the diagnosis of cardiac dynamics in 16 hours," *Rev. Colomb. Cardiol.*, vol. 27, no. 1, 2020, doi: 10.1016/j.rccar.2019.04.008.
- [3] E. Y. Ding *et al.*, "Usability of a smartwatch for atrial fibrillation detection in older adults after stroke," *Cardiovasc. Digit. Heal. J.*, vol. 3, no. 3, 2022, doi: 10.1016/j.cvdhj.2022.03.003.
- [4] D. Han *et al.*, "A Smartwatch System for Continuous Monitoring of Atrial Fibrillation in Older Adults After Stroke or Transient Ischemic Attack: Application Design Study," *JMIR Cardio*, vol. 7, 2023, doi: 10.2196/41691.
- [5] R. Ramezani, M. Cao, A. Earthperson, and A. Naeim, "Developing a Smartwatch-Based Healthcare Application: Notes to Consider," *Sensors*, vol. 23, no. 15, 2023, doi: 10.3390/s23156652.
- [6] E. Y. Ding *et al.*, "Accuracy and usability of a novel algorithm for detection of irregular pulse using a smartwatch among older adults: Observational study," *JMIR Cardio*, vol. 3, no. 1, 2019, doi: 10.2196/13850.
- [7] S. Diodato, Y. Bardacci, K. El Aoufy, S. Belli, and S. Bambi, "Early myopericarditis diagnosed in a 31-year-old patient using smartwatch technology: A case report," *Int. Emerg. Nurs.*, vol. 71, 2023, doi: 10.1016/j.ienj.2023.101365.
- [8] S. Touiti, I. Medarhri, K. Marzouki, N. Ngote, and A. Tazi-Mezalek, "Feasibility and reliability of whintings scanwatch to record 4-lead Electrocardiogram: A comparative analysis with a standard ECG," *Heliyon*, vol. 9, no. 10, 2023.
- [9] J. A. Mikhail, D. Tadros, and R. Shehata, "Smartwatch Technology's Diagnostic Use in Atrial Fibrillation Detection--A Literature Review," *Undergrad. Res. Nat. Clin. Sci. Technol. J.*, vol. 7, pp. 1–9, 2023.
- [10] M. Martinato *et al.*, "Usability and accuracy of a smartwatch for the assessment of physical activity in the elderly population: Observational study," *JMIR mHealth uHealth*, vol. 9, no. 5, 2021, doi: 10.2196/20966.
- [11] J. Claes *et al.*, "Validity of heart rate measurements by the Garmin

- Forerunner 225 at different walking intensities,” *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 41, no. 6, 2017, doi: 10.1080/03091902.2017.1333166.
- [12] J. Rodríguez *et al.*, “Diagnóstico físico-matemático de la dinámica cardíaca a partir de sistemas dinámicos y geometría fractal: disminución del tiempo de evaluación de la dinámica cardíaca de 21 a 16 horas,” *Acta Colomb. Cuid. Intensivo*, vol. 16, no. 1, pp. 15–22, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.acci.2015.11.002.
- [13] A. Sengupta, T. Beckie, K. Dutta, A. Dey, and S. Chellappan, “A mobile health intervention system for women with coronary heart disease: usability study,” *JMIR Form. Res.*, vol. 4, no. 6, 2020, doi: 10.2196/16420.
- [14] R. Wirth, “CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining,” *Proc. Fourth Int. Conf. Pract. Appl. Knowl. Discov. Data Min.*, 2000, doi: 10.1.1.198.5133.
- [15] U. Ependi, T. B. Kurniawan, and F. Panjaitan, “SYSTEM USABILITY SCALE VS HEURISTIC EVALUATION: A REVIEW,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 1, 2019, doi: 10.24176/simet.v10i1.2725.
- [16] B. A. Voss, S. Schulz, R. Schroeder, M. Baumert, and P. Caminal, “Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability,” *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 367, no. 1887, 2009, doi: 10.1098/rsta.2008.0232.