

Sistema IoT para la monitorización de la variabilidad del ritmo cardiaco en pruebas de usabilidad

IoT system to monitoring heart rate variability in usability tests

CHANCHI, Gabriel E. ¹

OSPINA, Manuel A. ²

PÉREZ, Jorge L. ³

Resumen

El presente artículo propone un sistema IoT para la monitorización de la variabilidad del ritmo cardíaco en pruebas de usabilidad mediante experiencias de usuarios. El sistema IoT obtiene la variabilidad del ritmo cardíaco de manera periódica, así como el índice de estrés mental a lo largo de la experiencia del usuario. Mediante este sistema se identificaron, a través de un caso de estudio, las tareas que pudieron generar estrés mental en un usuario, para de esta manera estimar el nivel de aceptación de un producto software.

Palabras clave: estrés mental, sistema IoT, variabilidad del ritmo cardíaco, usabilidad.

Abstract

This article proposes an IoT system for monitoring heart rate variability in usability tests through user experiences. The IoT system obtains heart rate variability periodically, as well as the mental stress index throughout the user experience. Through this system, the tasks that could generate mental stress in a user were identified through a case study and in this way be able to estimate the level of acceptance of a software product.

key words: heart rate variability, IoT system, mental stress, usability.

1. Introducción

En la actualidad gracias a la gran cantidad de herramientas de software que se están generando para diversos contextos de aplicación, aspectos como la usabilidad y la experiencia de usuario han cobrado gran importancia en el proceso de desarrollo de software, de cara a garantizar el diseño centrado en el usuario (Pérez-Medina,

¹ Profesor de la Universidad de Cartagena. Programa Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, MSc. en Ingeniería Telemática, PhD. en Ingeniería Telemática. gchanchig@unicartagena.edu.co

² Profesor de la Universidad de Cartagena. Programa Ingeniería de Sistemas. Facultad de Ingeniería. Ingeniero de Control, Magister en Ingeniería Materiales y Procesos, Doctor en Ingeniería Ciencia y Tecnología de Materiales. mospinaa@unicartagena.edu.co

³ Profesor-Investigador de la Universidad de Las Américas (UDLA) – Quito, Ecuador. Director del equipo Intelligent and Interactive Systems (SI2-Lab). Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (FICA). Ingeniero en Informática. MSc. en Ciencias de la Computación. Master en Sistemas de Información. PhD. en Informática. jorge.perez.medina@udla.edu.ec

Vanderdonckt, & Villareal-Narvaez, 2019). De este modo, la usabilidad hace más competitivas a las empresas y a los usuarios finales al considerar a las personas como parte esencial del proceso de desarrollo de software. La vinculación de la usabilidad en el proceso de desarrollo de software permite la disminución de los costos de desarrollo y mantenimiento del producto.

De acuerdo a la ISO 9241-11, la usabilidad es definida como el grado en el que un producto software puede ser usado por usuarios específicos para alcanzar objetivos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico (Delgado, Girón, Chanchí, y Márceles, 2018; González-Sánchez, Montero-Simarro, y Gutierrez-Vela, 2012). De los tres atributos que definen la usabilidad, la eficiencia y la eficacia son los atributos asociados al cumplimiento de los objetivos de un usuario dentro de un software específico en un tiempo adecuado, mientras que la satisfacción es un atributo subjetivo que está relacionado con la existencia de actitudes positivas durante la interacción entre el usuario y el software (Enriquez y Casas, 2013). Así, la emocionalidad de un usuario durante un proceso de interacción con el sistema evaluado determina la usabilidad del software y la experiencia de usuario (Garrett, 2010).

En una prueba de usabilidad convencional, la satisfacción se determina mediante la aplicación de encuestas de usuario al finalizar la interacción con el software evaluado, por lo que la confiabilidad de los resultados depende de la veracidad del usuario y/o su nivel de apreciación subjetiva con relación a cada ítem del instrumento aplicado. En ese orden de ideas, una de las alternativas más adecuadas de estudiar la usabilidad del usuario es mediante la emocionalidad. La emocionalidad se mide a través de la monitorización de sus variables fisiológicas (ritmo cardiaco, conductividad de la piel, variabilidad del ritmo cardiaco, expresión facial, etc.). Con el gran auge de internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) han surgido una gran cantidad de dispositivos que haciendo uso de protocolos de comunicación de bajo consumo de energía, tales como bluetooth, pueden enviar los datos capturados a partir de sensores incorporados al espacio corporal del usuario y que pueden ser usados en diferentes contextos de aplicación (Por ejemplo: Sanmartín, Ávila, Vilora, y Jabba, 2016). A pesar de contar con estos dispositivos y sus estrategias de comunicación a bajo coste, la mayoría de estos dispositivos son de acceso cerrados, por lo que se requiere el diseño de sistemas abiertos que permitan personalizar el análisis de los datos y obtener información relevante de cara a obtener indicadores cuantitativos de la satisfacción en una prueba de usabilidad.

Dada tales deficiencias, en este artículo se presentan detalles de la construcción de un sistema IoT para la monitorización de la variabilidad del ritmo cardiaco en pruebas de usabilidad mediante experiencias de usuario. El sistema IoT permite la obtención de manera periódica de la variabilidad del ritmo cardíaco, así como del índice de estrés mental de un usuario en diferentes momentos de una experiencia de usuario. Una vez culminada la captura de los datos el sistema IoT facilita el análisis de los datos mediante el uso de algoritmos de árboles de decisión (J48) y clustering (K-Means). La obtención de los datos de la variabilidad del ritmo cardíaco es realizada vía bluetooth a partir de un cinturón Zephyr articulado en el pecho del usuario durante la prueba. Se escogió la variabilidad del ritmo cardiaco como variable a monitorizar, teniendo en cuenta su relación con el estrés mental, el cual puede ser relacionado con la emocionalidad de un usuario durante la interacción con un determinado software. De este modo, el sistema IoT propuesto pretende ser de ayuda en cuanto a la determinación de la satisfacción y por ende del nivel de aceptación de un usuario con respecto a un producto software determinado.

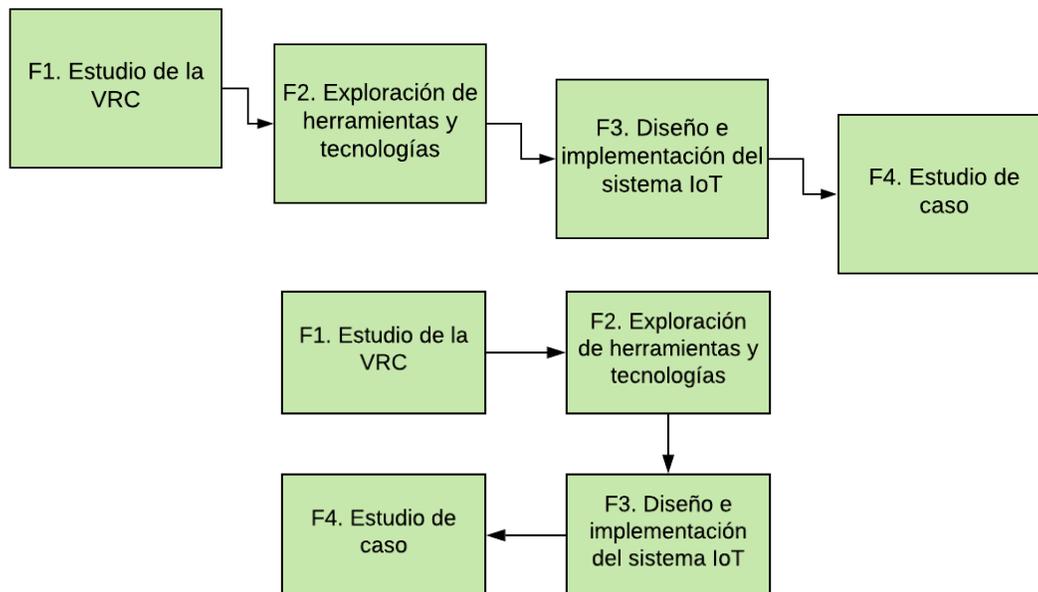
El resto artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta la metodología empleada para el desarrollo de la presente investigación; en la sección 3 se presentan un conjunto de conceptos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del presente trabajo; en la sección 4 se describe la arquitectura del sistema IoT propuesto; en la sección 5 se presenta un caso de estudio que se desarrolló haciendo uso del sistema IoT propuesto; finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones y los trabajos futuros derivados de la presente investigación.

2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se consideraron 4 fases como se muestra en la Figura 1. La fase 1 consiste en el estudio de la variabilidad del ritmo cardíaco (VRC). En esta fase se identificaron los principales conceptos asociados a la variabilidad del ritmo cardíaco y su relación con el estrés mental, de tal modo que se determinaron las diferentes variables matemáticas involucradas en el cálculo del índice de estrés mental.

La fase 2 permite explorar las diferentes herramientas y tecnologías del campo de la IoT que posibilitan la obtención del ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco (VRC). Los resultados de la fase de exploración permitirán escoger las tecnologías más adecuadas en cuanto a los datos que obtiene y su facilidad para procesarlos.

Figura 1. Metodología considerada



Fuente: Elaboración propia

La fase 3 consiste en el diseño e implementación del sistema IoT. Esta fase permite recuperar las tecnologías IoT escogidas en la fase anterior y proceder con el diseño y construcción del sistema IoT para el seguimiento y análisis del ritmo cardíaco. Finalmente, la fase 4 consiste en la experimentación mediante un caso de estudio. En esta fase se hizo uso del sistema IoT diseñado para la conducción de un estudio de caso relacionado con la evaluación de usabilidad del videojuego Wolfenstein 3D.

3. Marco conceptual

En esta sección se presentan los conceptos relevantes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la presente investigación. Dentro de estos se encuentran: variabilidad del ritmo cardíaco e índice de estrés mental.

3.1. Variabilidad del Ritmo Cardíaco

La variabilidad del ritmo cardíaco (VRC) se conoce como la variación en el tiempo que transcurre en milésimas de segundos entre los intervalos RR medidos en el electrocardiograma, y representa la interacción entre el sistema nervioso autónomo y la frecuencia cardíaca. Un intervalo RR es la distancia entre dos ondas sucesivas. Su duración depende de la frecuencia cardíaca (Velosa, *et al.*, 2019).

El incremento o disminución de la VRC está relacionado con la respuesta del sistema simpático y parasimpático; es decir, la variación de tiempo en milisegundos entre latido y latido se genera por la interacción del sistema nervioso autónomo con el sistema cardiovascular (Velosa, *et al.*, 2019). Asimismo, la VRC puede definirse en términos de la variación de la frecuencia cardíaca durante un intervalo de tiempo, previamente definido (no superior a 24 horas) (Rodas y Ramos, 2008).

3.2. Índice de Estrés Mental

Partiendo del concepto de variabilidad del ritmo cardíaco, en (Bayevsky, Ivanov, y Chireykin, 2002) se presenta una ecuación para determinar el estrés mental de una persona. La Ecuación 1 se utiliza para obtener el índice de estrés (I.S) e involucra en el cálculo, valores estadísticos derivados del análisis temporal de la variabilidad del ritmo cardíaco en un conjunto de intervalos RR. En la Ecuación 1, $\%M_o$ corresponde al porcentaje de la moda, es decir el porcentaje que representa la moda dentro de los intervalos RR capturados. M_o corresponde al valor que más se repite dentro del conjunto de intervalos RR estudiados y es expresado en segundos. Finalmente, $(RR_{max} - RR_{min})$ es la diferencia entre el intervalo máximo y mínimo del conjunto de intervalos RR analizados y se expresa en segundos.

$$I.S. = \frac{\%M_o}{2M_o(RR_{max} - RR_{min})} \quad (1)$$

La Ecuación 1 permite clasificar el estrés mental de una persona en tres categorías a saber: Normal, Estresado, Relajado (Chanchí, Sánchez, y Campo, 2018). En la Tabla 1 se muestran los intervalos de clasificación de acuerdo con el valor del I.S.

Tabla 1
Clasificación del índice de estrés mental

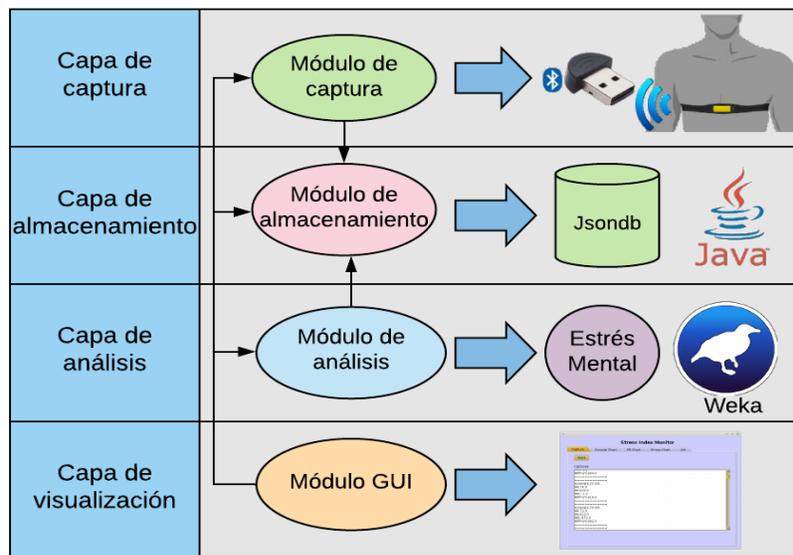
Índice de Estrés	Clasificación
I.S. < 40	Relajado
40 ≤ I.S. < 150	Normal
I.S. ≥ 150	Estresado

Fuente: Elaboración propia

4. Sistema IoT para la Monitorización de la VRC

El sistema IoT propuesto está enmarcado en la arquitectura convencional de IoT a cuatro capas, la cual está formada por la capa de captura, la capa de almacenamiento, la capa de análisis y la capa de visualización (Quiroga, Jaramillo, Campo y Chanchí, 2017; Delgado, Girón, Chanchí y Márceles, 2019). Lo anterior puede evidenciarse de manera más clara en la Figura 2.

Figura 2
Arquitectura del Sistema IoT

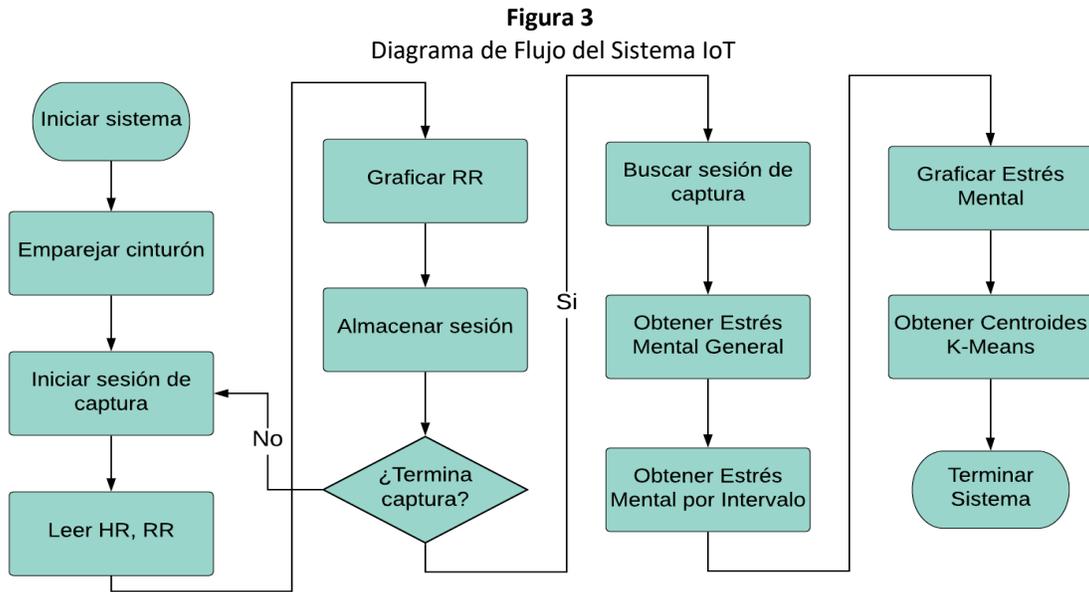


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Figura 2 el sistema IoT está conformado por cuatro módulos funcionales: módulo de captura, módulo de almacenamiento, módulo de análisis y módulo de visualización, cada uno de los cuales están asociados a las capas IoT con el mismo nombre. El sistema IoT y sus diferentes módulos operan en Linux, dadas las facilidades para acceder a los datos transmitidos vía bluetooth en este sistema operativo. En el módulo de captura el sistema IoT se encarga de obtener de manera periódica el ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco desde un cinturón bluetooth haciendo uso para ello de la herramienta Gatttool de linux, la cual permite establecer la comunicación bluetooth y la obtención de la trama de datos en formato hexadecimal. En el módulo de almacenamiento los datos de las variables fisiológicas obtenidos mediante el cinturón bluetooth son almacenados en la base de datos No-SQL basada en Java Jsondb, la cual almacena los datos capturados en formato JSON. Cada grupo de datos capturados a los diferentes usuarios son guardados con un "id" que permite diferenciar cada sesión de captura dentro de la base de datos. En el módulo de análisis, el sistema IoT permite filtrar y cargar los datos de cada sesión de captura para realizar el cálculo del índice de estrés mental a lo largo de toda la sesión o de manera parcial cada 10 intervalos RR (permitiendo visualizar los posibles cambios en el nivel de estrés cada 10 intervalos RR). Del mismo modo en este módulo es posible generar un árbol de decisión (J48) con los datos del estrés mental a lo largo de la prueba e identificar los centroides (K-Means) asociados al ritmo cardíaco a lo largo de la prueba, para lo cual se hace uso de la librería de minería y análisis de datos "Weka". Finalmente, en el módulo de visualización el sistema IoT puede mostrar la variación de la variabilidad del ritmo cardíaco en tiempo real o la gráfica del comportamiento del estrés mental a lo largo de una sesión.

En la Figura 3 se presenta un diagrama de flujo que muestra el proceso seguido por el sistema IoT para la monitorización de la variabilidad del ritmo cardíaco en pruebas de usabilidad. En primera instancia se procede con el emparejamiento del cinturón con el sistema operativo linux donde corre el sistema IoT, posteriormente el sistema IoT comienza a obtener los datos de la variabilidad del ritmo cardíaco y del ritmo cardíaco haciendo uso en segundo plano de la herramienta "Gatttool", la cual permite la comunicación con dispositivos bluetooth LE y la obtención de los datos en formato hexadecimal. A medida que los datos son obtenidos y convertidos al formato decimal, se va generando la gráfica en tiempo real de los valores de variabilidad de ritmo cardíaco que el cinturón entrega asincrónicamente. Una vez los datos son graficados, el sistema IoT los va almacenando en la base de datos "No-SQL Jsondb", haciendo uso de un ID que permite diferenciar cada una de las sesiones de captura realizadas. De este modo una sesión de captura está formada por varios intervalos RR. Cuando el

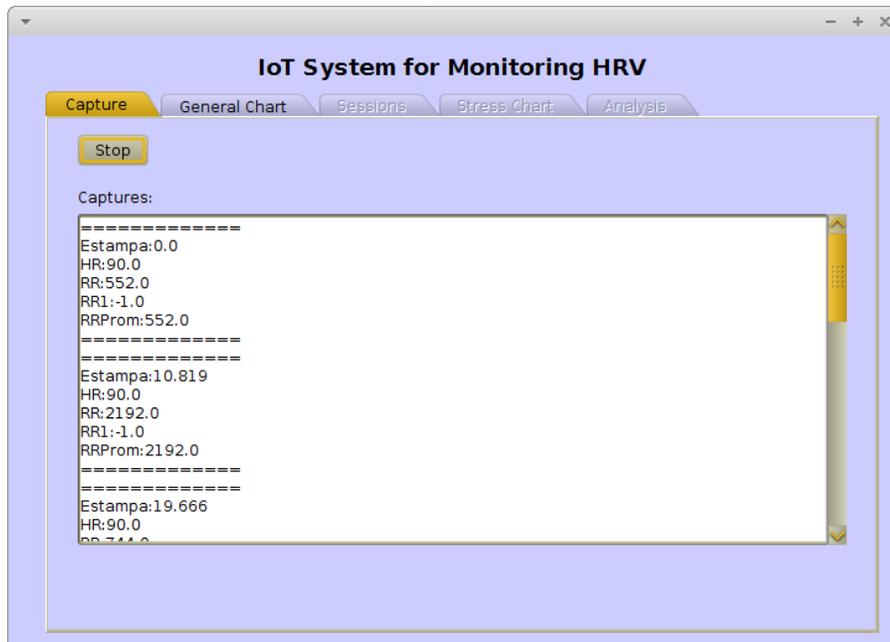
coordinador de la prueba decide terminar la captura, es posible escoger alguna de las sesiones de captura almacenadas para obtener el índice de estrés mental durante toda la sección de captura o de manera segmentada (cada 10 intervalos RR). A partir de los segmentos anteriores, el sistema IoT grafica la variación del índice de estrés mental a lo largo de toda la prueba. Finalmente, el sistema IoT obtiene los centroides de los datos del estrés mental a lo largo de la prueba y por cada uno de los segmentos de 10 intervalos RR, haciendo uso del algoritmo Simple K-Means.



Fuente: Elaboración propia

A partir del diagrama de flujo en la Figura 3, en la Figura 4 se presenta la interfaz principal del Sistema IoT para el monitoreo de la variabilidad del ritmo cardiaco en pruebas de usabilidad, el cual fue desarrollado en el lenguaje de programación Java.

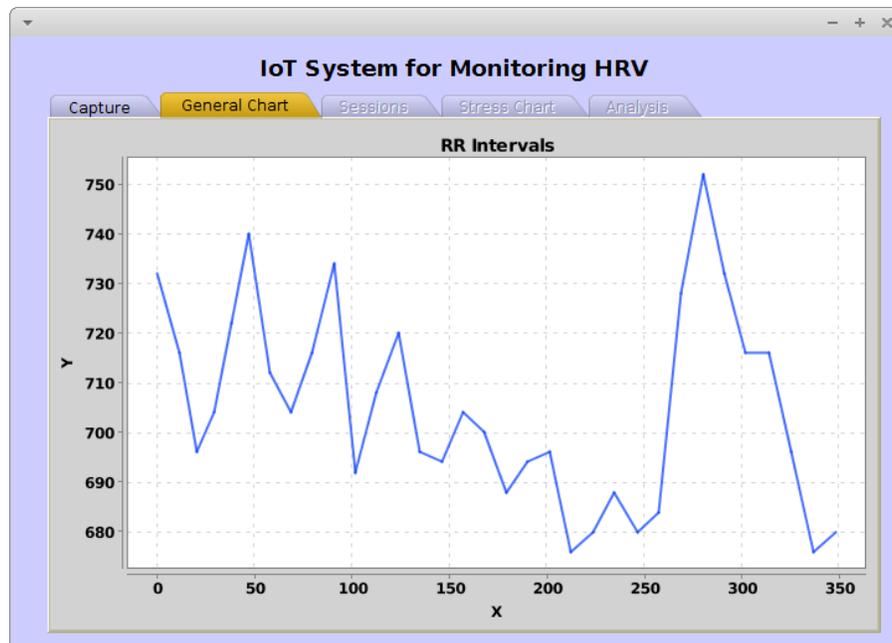
Figura 4
Interfaz Principal del Sistema IoT.



Fuente: Elaboración propia

La interfaz del sistema IoT presentada en la Figura 4, está formada por 5 pestañas a saber: “Capture”, “General Chart”, “Sessions”, “Stress Chart” y “Analysis”. La interfaz gráfica y el sistema de pestañas fueron implementadas mediante el uso del lenguaje de programación Java. En la pestaña de “Capture” una vez presionado el botón “Start” el sistema empieza a obtener en tiempo real los datos de la variabilidad del ritmo cardiaco y el ritmo cardiaco, para lo cual se hace uso en segundo plano de la herramienta “Gatttool” de linux. Una vez capturados los datos desde el cinturón, el sistema IoT va graficando en el tiempo la variabilidad del ritmo cardiaco dentro de la pestaña “General Chart” (ver Figura 5). La gráfica de la Figura. 5 fue generada haciendo uso de la librería “XChart” del lenguaje Java.

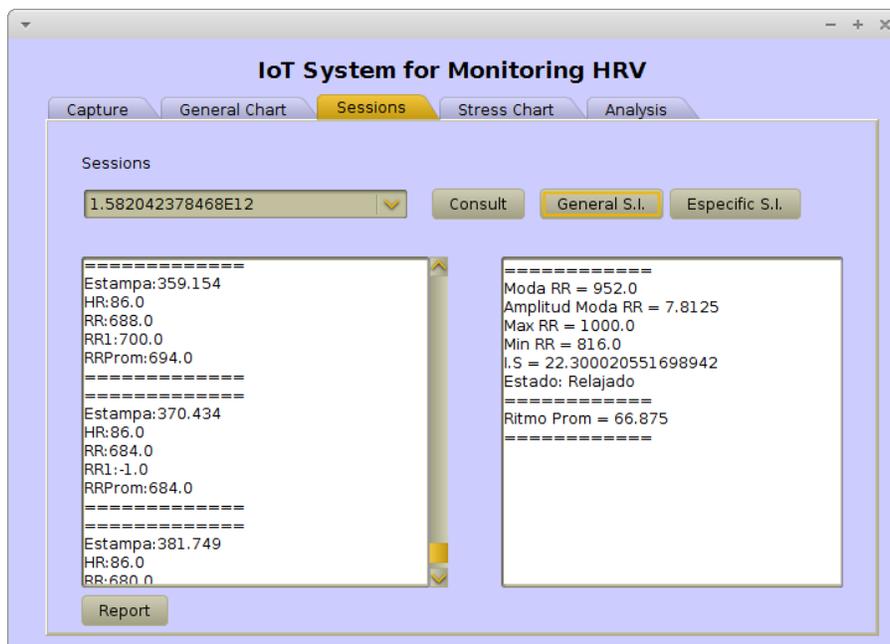
Figura 5
Pestaña de Gráfica General del Sistema IoT



Fuente: Elaboración propia

Una vez el coordinador de la prueba presiona el botón “Stop” en la pestaña “Capture”, se detiene la captura de las variables fisiológicas desde el cinturón y se habilitan las pestañas “Sessions”, “Stress Chart” y “Analysis”. En la pestaña “Sessions” es posible cargar los conjuntos de datos de las sesiones de captura pasadas, con el fin de obtener el índice de estrés mental general de la prueba y por segmentos de 10 intervalos RR (ver Figura 6). Para la obtención del índice de estrés mental se hace uso de la Ecuación 1 presentada en la sección 3.2. A modo de ejemplo, En la Figura 6 se presenta el análisis general de una sesión determinada en la cual el índice de estrés mental es de $I.S=22.3$, lo que corresponde a un nivel Relajado (ver Tabla 1).

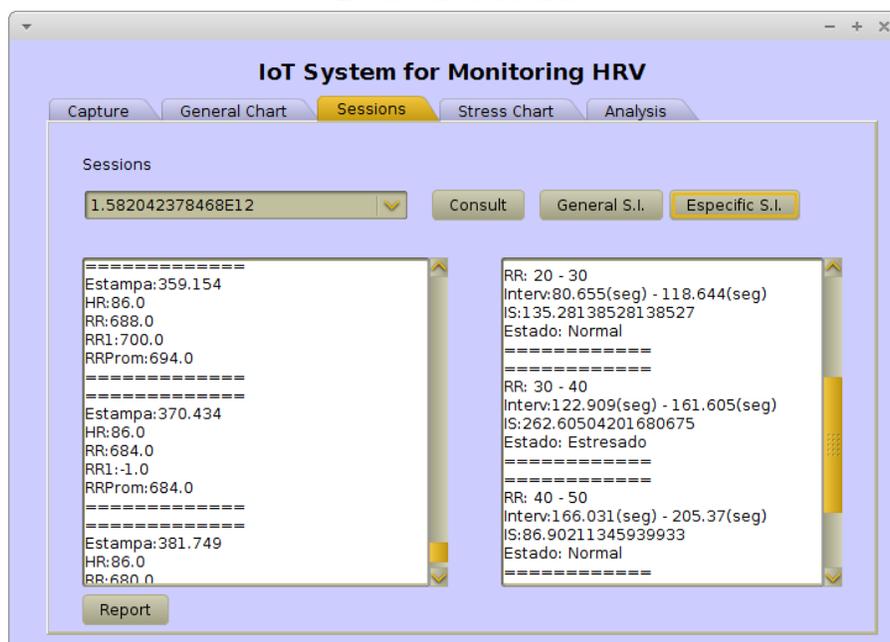
Figura 6
Estrés Mental General



Fuente: Elaboración propia

La Figura. 7 muestra el análisis del estrés mental específico sobre la sesión considerada en la Figura 6, el cual fue obtenido al presionar el botón “Especif S.I.”. El análisis específico del estrés mental se realiza agrupando las sesiones de captura en segmentos de 10 intervalos RR, a cada uno de los cuales el sistema IoT calcula el estrés mental. De este modo, en la Figura 7 se observa como entre los 20 y los 30 intervalos RR el nivel de estrés mental es Normal, entre los 30 y los 40 intervalos RR el nivel de estrés mental es Estresado y finalmente entre los 40 y 50 intervalos RR el nivel de estrés mental es Normal. Lo anterior permite al coordinador de la prueba identificar los posibles cambios en el nivel de estrés a lo largo de la experiencia de usuario.

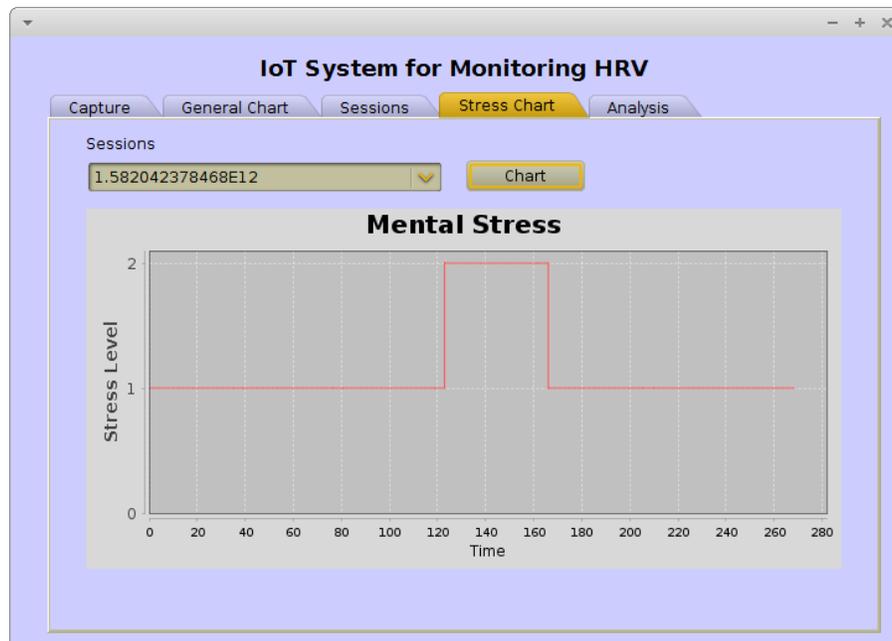
Figura 7
Estrés Mental General



Fuente: Elaboración propia

El análisis específico realizado en la pestaña “Sessions” de la Figura 7, puede apreciarse de manera más clara en la pestaña “Stress Chart”, en la cual se muestra el comportamiento específico del estrés mental a lo largo de la prueba (ver Fig. 8). La Figura 8 presenta la gráfica del estrés mental que representa el comportamiento del índice de estrés mental en la sesión de captura considerada en las Figuras 6 y 7. En la Figura 8 el valor 0 del eje vertical (“Stress Level”) representa el estado “Relajado”, el valor 1 está asociado al estado “Normal” y el valor 3 corresponde al nivel “Estresado”. De este modo, en la Figura 8 el nivel de estrés de la sesión analizada mediante las Figuras 6 y 7 se mantiene en el nivel “Normal”, salvo en el intervalo de tiempo comprendido entre 120 y 160 segundos donde el nivel de estrés es “Estresado”.

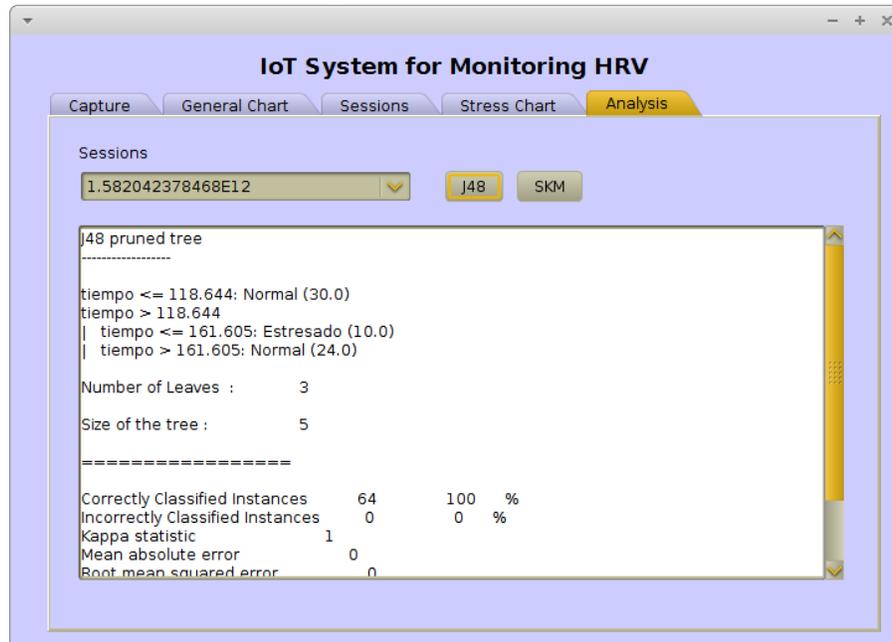
Figura 8
Gráfica de Estrés Mental



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la pestaña “Analysis” es posible hacer uso de los algoritmos de árboles de decisión (J48) y Simple K-Means para el análisis de los datos capturados en las sesiones. El modelo asociado al algoritmo J48 tiene como atributos el tiempo en el que se realiza la captura y el nivel de estrés asociado a dicha captura. Por su parte, el modelo correspondiente al algoritmo Simple K-Means tiene como atributos el tiempo en el que se realiza la captura y el ritmo cardiaco asociado a dicha captura. Así, en la Figura 9 se presenta el resultado de aplicar el algoritmo de árboles de decisión a la sesión presentada en las Figuras 6 y 7. En la Figura 9 se aprecia (acorde a los atributos definidos para el modelo de árboles de decisión) que es posible establecer una relación entre el tiempo de cada captura y el nivel de estrés. De este modo, el árbol de decisión permite detectar el intervalo en el que el nivel de estrés es “Estresado” (tiempo >118.644 segundos y tiempo <= 161.605 segundos), permitiendo al evaluador de la prueba en este y otros casos establecer relaciones entre las diferentes acciones del usuario y su nivel de estrés.

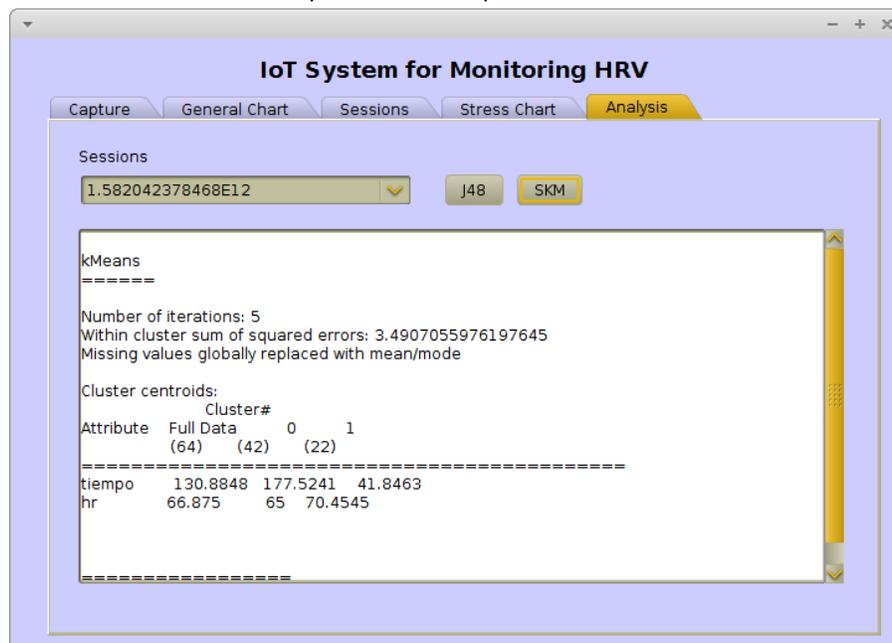
Figura 9
Aplicación del Modelo J48



Fuente: Elaboración propia

De la misma manera en la Figura 10 se ilustra la aplicación del algoritmo Simple K-Means a la sesión de captura considerada en las Figuras 6 y 7. El modelo basado en “clustering” permite obtener dos centroides asociados al ritmo cardiaco durante la prueba, es decir dos puntos alrededor de los cuales se centran los valores del ritmo cardiaco.

Figura 10
Aplicación de Simple K-Means



Fuente: Elaboración propia

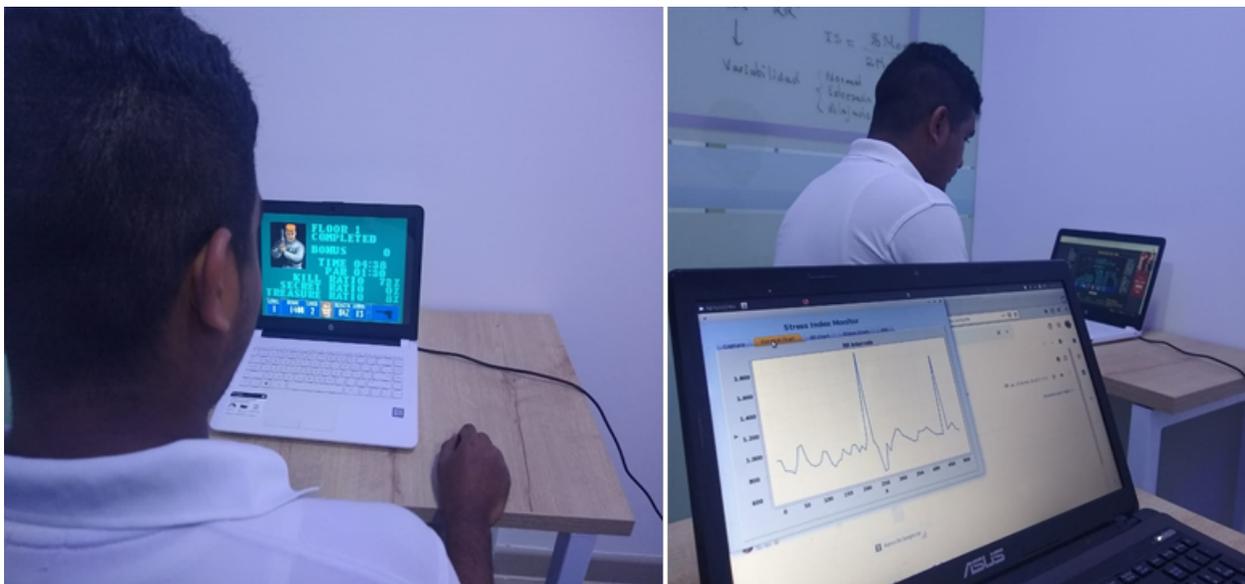
Así, en la Figura 10 se presentan como centroides: (41.84, 70.45) y (177.52, 65), siendo el primer valor el tiempo de la captura y el segundo el ritmo cardiaco. Estos valores corresponden a los puntos alrededor de los cuales se centra el ritmo cardiaco en toda la prueba.

5. Estudio de Caso

Con el fin de evaluar la pertinencia del sistema IoT desarrollado, se realizó una prueba de usabilidad en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena, la cual contó con la participación de 6 estudiantes de Ingeniería de Sistemas. Los participantes fueron seleccionados por conveniencia y no se les exigió ninguna experiencia previa. La tarea solicitada a los participantes fue de evaluar el videojuego clásico Wolfenstein 3D disponible en el portal de juegos clásicos <https://classicreload.com> (ver Figura 11). El juego Wolfenstein 3D tiene como objetivo buscar que el jugador atraviese varias edificaciones pertenecientes a los nazis con un sin número) de pasillos, logrando eliminar a los soldados de dichas bases y encontrando la salida en cada edificación. De este modo, a cada uno de los usuarios se les solicitó como requisito que pasaran el primer nivel del juego, de tal modo que si perdían en su intento volvieran a comenzar hasta completar el nivel.

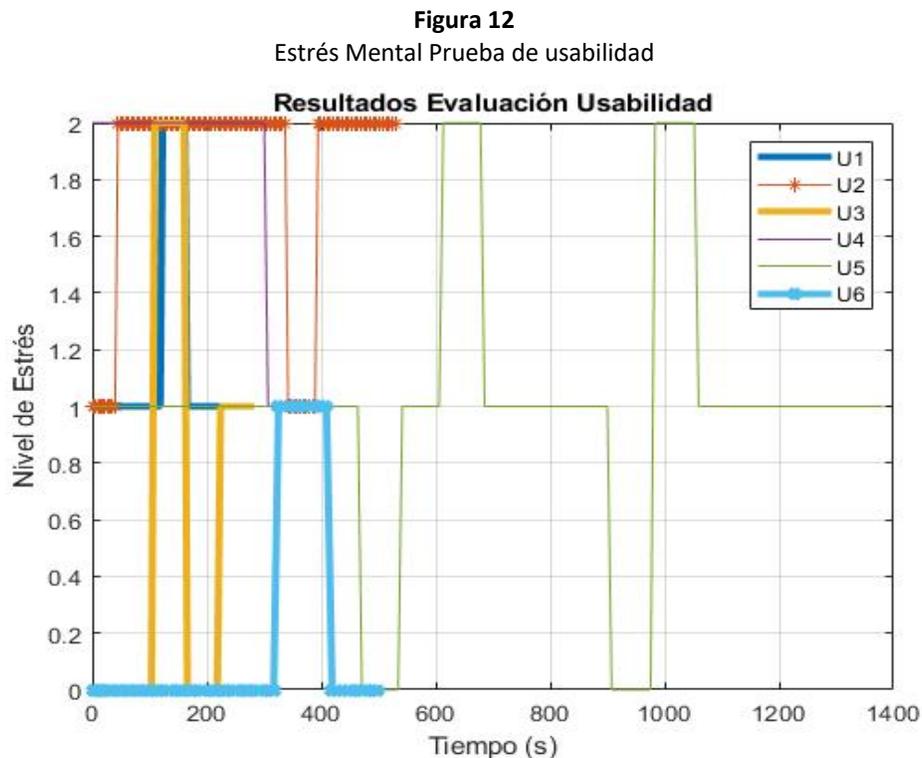
La Figura. 12 representa la variación del estrés mental (Los valores considerados en el eje vertical (Nivel de Estrés) son: 1=Relajado, 2=Normal y 3=Estresado) contra el tiempo que se demoró cada uno de los usuarios evaluados en hacer la prueba.

Figura 11
Prueba de usabilidad



Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 se obtuvo a partir de la integración de los reportes generados por el sistema para cada usuario. De la Figura 12 se aprecia que cada uno de los jugadores empleó un tiempo diferente en la interacción, siendo el tiempo menor igual a 268,402 segundos (usuario 1 - U1) y el tiempo mayor igual a 1.381,312 segundos (usuario 5 - U5).



Fuente: Elaboración propia

Así mismo, es posible apreciar que 5 de los 6 usuarios evaluados presentaron estrés durante una parte de su prueba, mientras que uno de los usuarios evaluados (U6) no presentó estrés durante el reto, lo cual encuentra la explicación en que el usuario (U6) ya conocía previamente el juego. Los usuarios U2 y U4 presentaron estrés al inicio de la prueba, lo cual de acuerdo con los videos capturados de dichos usuarios se debió a que no lograban ubicar las teclas para disparar a los enemigos que aparecían en el laberinto. Los usuarios U2, U4 y U5 presentaron estrés al final de la prueba, lo cual encuentra su explicación en el hecho que no encontraban la salida entre la cantidad de pasillos que posee el nivel 1 del juego.

Finalmente, el estudio de caso permitió apreciar la pertinencia del sistema IoT en cuanto a la obtención del nivel de estrés de un usuario a lo largo de una prueba de usabilidad, sin embargo, el tipo de dispositivo utilizado debe ser ubicado de manera precisa en el pecho del usuario y puede resultar intrusivo de cara a la comodidad necesaria para una prueba de usabilidad.

6. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se propuso como aporte un sistema software que aprovecha las ventajas de los dispositivos IoT de cara a la obtención y monitorización de variables fisiológicas tales como el ritmo cardíaco y la variabilidad del ritmo cardíaco en pruebas de usabilidad. Este sistema busca servir de apoyo al coordinador de la prueba de cara a la estimación del nivel de percepción de un usuario en una prueba de usabilidad.

Aunque este trabajo aprovecha los datos obtenidos mediante un cinturón bluetooth comercial, el proceso de comunicación y procesamiento de los datos no es simple, por lo que se requirió capturar los datos mediante la herramienta "Gattool" operando en segundo plano y analizar la trama de los datos recibidos para obtener los datos de las variables fisiológicas. De este modo, se hace necesario el desarrollo de sistemas y dispositivos abiertos que permitan entre las muchas opciones de uso, estudiar de manera más sencilla la interacción entre el usuario y un sistema software.

Uno de los principales aportes del sistema propuesto es la generación de gráficas con la traza del nivel de estrés de un usuario a lo largo de una prueba de usabilidad, así como el uso de algoritmos de minería de datos tales como J48 y K-Means, los cuales permiten obtener una visión más clara del comportamiento del estrés mental en función del tiempo. En este sentido, el sistema IoT aprovechó las ventajas provistas por la librería perteneciente a la herramienta de analítica de datos "Weka".

El estudio realizado permitió concluir que los usuarios tuvieron dificultades para identificar los comandos para manejar las acciones del personaje en el juego. Del mismo modo, los usuarios mostraron dificultad para ubicarse en los diferentes pasillos de la edificación, por lo cual era necesario contar con un mapa del escenario, como en varios de los juegos de la misma categoría. Estas falencias permiten evidenciar la pertinencia del sistema IoT de cara a la identificación del nivel de aceptación de un usuario con respecto a un software determinado.

Finalmente, como trabajo futuro se pretende dotar al sistema software de la posibilidad de que el evaluador realice anotaciones o comentarios en tiempo real sobre las diferentes acciones que va haciendo el usuario, de tal modo que se pueda obtener una gráfica enriquecida acerca de la interacción entre el usuario y el software evaluado.

Referencias bibliográficas

- Bayevsky, R., Ivanov, G., & Chireykin, L. (2002). *HRV Analysis under the usage of different electrocardiography systems*. Ministerio de Salud de Rusia.
- Chanchí, G., Sánchez, M., & Campo, W. (2018). Sistema software para el análisis del estrés mental en test de usuarios. *Campus Virtuales*, 105-114.
- Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., & Márceles, K. (2018). Propuesta de una herramienta para la estimación de la satisfacción en pruebas de usuario, a partir del análisis de expresión facial. *Revista Colombiana de Computación*, 19(2), 6-15.
- Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., & Márceles, K. (2019). Arquitectura IoT para la identificación de personas en entornos educativos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*(E17), 841-853.
- Enriquez, J., & Casas, S. (2013). Usabilidad en Aplicaciones Móviles. *Informe Técnico UNPA*, 5(2), 25-47.
- Garrett, J. (2010). *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*. Berkeley: New Riders Press.
- González-Sánchez, J., Montero-Simarro, F., & Gutierrez-Vela, F. (2012). Evolución del concepto de usabilidad como indicador de la calidad del software. *El Profesional de la Información*, 529-536.
- Pérez-Medina, J., Vanderdonckt, J., & Villareal-Narvaez, S. (2019). CROSSIDE: A Design Space for Characterizing Cross-Surface Collaboration by Sketching. *Journal of Visual Language and Computing*, 1(1), 29-41.
- Quiroga, E., Jaramillo, S., Campo, W., & Chanchí, G. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*(24), 39-56.
- Rodas, G. C., & Ramos-Castro, J. C. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: conceptos, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II). *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*(124), 119-127.
- Sanmartín, P., Ávila, K., Vilora, C., & Jabba, D. (2016). Internet de las Cosas y la Salud Centrada en el Hogar. *Revista Salud Uninorte*, 32(2), 337-351.

Velosa, L., Jiménez, C., Quiñonez, D., Polanía, F., Pachón-Valero, L., & Rodríguez-Triviño, C. (2019). Variabilidad de la frecuencia cardiaca como factor predictor de las enfermedades cardiovasculares. *Revista Colombiana de Cardiología*, 26, 205-210.