Sistema IoT para prevenir situaciones de riesgo en conductores por medio del ritmo cardiaco

Leonardo Daniel Chipres Arteaga, Carlos Abraham Valencia Torres,
Pedro C. Santana-Mancilla y Juan Contreras-Castillo

Universidad de Colima, Av. Universidad 333, Col. Las Víboras,
Colima, Col. 28040. México
{lchipres, cavalencia10, psantana, juancont}@ucol.mx

Área del conocimiento. Futuro de las TIC.

Resumen. Este artículo describe una propuesta de diseño de un sistema de Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) para prevenir situaciones de riesgo en conducción vial por medio del monitoreo del ritmo cardiaco de los conductores. Se realizó una evaluación de aceptación en etapa temprana de desarrollo para conocer si la propuesta va a ser podría ser aceptada por conductores de vehículos, los resultados muestran buenas intenciones de uso por parte del 100% de los conductores. Esto genera evidencia inicial de que el sistema propuesto tiene potencial para coadyuvar en la disminución de accidentes de transito al detectar conductores con problemas en su ritmo cardiaco al ir conduciendo.

Palabras clave: Redes de sensores en vehículos, Internet de las Cosas, Vehículos inteligentes, Variables fisiológicas.

1. Introducción

Con los vehículos automotrices, no solo llegó la facilidad para trasladarse con mayor eficiencia de un lugar a otro, sino que también ha traído problemas, uno de ellos, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1] es la seguridad al volante; ya que los accidentes de tránsito son una de las principales causas de muerte en las carreteras del mundo con cerca de 1.3 millones de personas fallecidas anualmente debido a incidentes viales en todos los grupos de edades y principalmente entre los 15 y 29 años.

Debido a lo anterior, es prioritario contar con una solución para mitigar el riesgo al volante, tomando en consideración las principales causas de los accidentes, tales como [2]:

- Velocidad del vehículo.
- Conducción bajo los efectos del alcohol u otras sustancias psicoactivas.
- No utilización de cascos (en motocicletas), cinturones de seguridad por parte de los pasajeros y (falta o falla en los) sistemas de sujeción para niños.
- Distracciones al conducir.
- Infraestructura vial insegura (no cuenta con aceras, cruces, carriles para bicicletas seguros, entre otras medidas de ordenamiento vial)

El primer accidente reportado [3] ocurrió en el año 1869 cuando una persona de nombre Mary Ward viajando en un automóvil impulsado por vapor se cayó del vehículo en una curva y este le pasó por encima. Estos sucesos han continuado ocurriendo, siendo más frecuentes en la actualidad, debido entre otras cosas al aumento de población y elementos como la contaminación sonora, el aumento del tráfico vehicular, el aumento permitido de velocidad en carreteras y el crecimiento de zonas urbanas en los años recientes [3], [4].

En México, tan solo en 2018, ocurrieron 365 mil 281 accidentes automovilísticos, del total de accidentes, el 92.3% ocurrieron debido a factores asociados al conductor y el 7.3% por causas externas al conductor (peatones, pasajeros, falla del vehículo, mala condición del camino, entre otros). Estos accidentes reportaron 4 mil 227 muertes, mientras que 89 mil 220 resultaron con alguna lesión, el 89% de las muertes y el 90.9% de los heridos fueron por causas atribuibles a los conductores. [5].

México se encuentra entre los países de mayor índice de mortalidad causada por accidentes de tránsito del mundo [6]. Un ejemplo claro, si desglosamos datos por estados, es el Estado de Morelos, que tiene una tasa de mortalidad por accidente de tránsito de 12.3 por cada 100 mil habitantes, de las cuales el 93.7% ocurren en zonas urbanas y suburbanas [7].

Un factor de riesgo añadido (en las causas de accidentes) es el estrés, que en años recientes aumentado exponencialmente en la población, principalmente por factores de carga laboral [8]. Adicionalmente, el conducir genera condiciones para producir estrés en el ser humano [9] por una variada combinación de factores como las multitudes y la mala urbanización, los cuales son detonantes de percances viales, como ya se ha mencionado.

Debido a lo anterior, este artículo presenta una propuesta de diseño de un sistema IoT que analiza el ritmo cardiaco de los conductores para, por medio de alertas al conductor, minimizar el riesgo de situaciones peligrosas por alguna anomalía en sus signos vitales.

2. Estado del arte

En el ámbito de las variables fisiológicas y sus efectos en los seres humanos se han desarrollado diversas investigaciones [10]–[13], a continuación, se describen algunas relevantes al tema de este manuscrito.

En el trabajo de [10] se presenta una herramienta para reconocer el estrés en función del comportamiento registrado en la actividad del teléfono móvil, junto con métricas como las condiciones climáticas y los rasgos de personalidad de los usuarios, obteniendo un puntaje de precisión de 72.28%.

El proyecto [11] utilizó sensores fisiológicos para detectar el estrés relativo de los conductores, el estrés relativo es aquel que se produce en situaciones que no suponen riesgo de supervivencia. Los datos fisiológicos usados fueron electrocardiograma, electromiograma, conductancia de la piel y respiración; estos datos fueron registrados continuamente mientras los conductores seguían una ruta establecida a través de carreteras abiertas en el área de Boston, USA. Sus resultados muestran que las métricas en tiempo real de la conductividad de la piel y la frecuencia cardíaca se correlacionaron más estrechamente con el nivel de estrés del conductor, es decir que al combinar ambas variables se obtiene un nivel de precisión más alto que con las variables individuales.

Otro enfoque que utiliza señales fisiológicas lo presentaron en el trabajo [12] el cual propone un sistema que alerte al conductor en cuestión y a los conductores cercanos (por medio de una red vehicular ad-hoc, VANET por sus siglas en inglés) cuando se detecte una situación de riesgo por estrés detectado por la medición de ondas cerebrales.

Finalmente, la tesis [13] presenta el desarrollo de un sistema de medición de la variabilidad del ritmo cardíaco, que a través del uso de técnicas (utilización de un haz de luz para monitorear la presión sanguínea), logre monitorear el estado anímico del usuario por medio de un dispositivo en la muñeca, que a su vez genera una base de datos con los datos recopilados del registro la señal.

El alcance del presente proyecto se sitúa en el uso de la frecuencia cardiaca que han tenido éxito en otros proyectos y centrando los resultados en las alertas que se generarán hacía el conductor, en este caso se explorará el uso en vehículos de alertas olfatorias que han tenido éxito en diferentes áreas [14]–[17].

3. Metodología

Para cumplir con el objetivo propuesto, este proyecto siguió la metodología SCRUM. A continuación, se presentan las etapas de esta metodología.

- **Planificación del sprint**. Un sprint es un periodo de tiempo determinado para la realización de una o varias tareas. En las reuniones de sprint se definen aspectos como la funcionalidad, objetivos, riesgos, plazos de entrega, entre otros.
- **Etapa de desarrollo**. Durante esta etapa se desarrollan las tareas planeadas.
- **Revisión del sprint**. Reuniones de revisión con el equipo de trabajo.
- **Retroalimentación**. Información surgida de las revisiones.

4. Arquitectura propuesta

La Fig. 1 muestra la arquitectura del sistema propuesto.

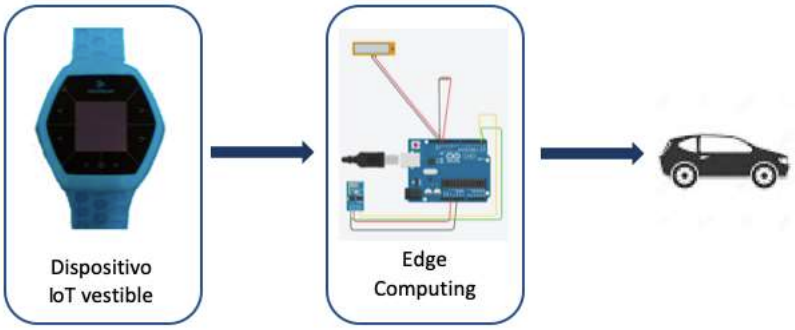

Fig. 1. Arquitectura del sistema de Internet de las Cosas en vehículos.

En esta primera etapa de desarrollo del proyecto se ha decidido medir el ritmo cardiaco para conocer si existe alguna situación de riesgo para el conductor. Las constantes que se tomaron como puntos de referencia para detonar la alerta son la taquicardia y la bradicardia, las cuales son aceleración excesiva del pulso cardiaco y pulso cardiaco excesivamente bajo, respectivamente. Por lo cual, el sistema IoT vehicular determina que una persona se encuentra en estado estable cuando su ritmo cardiaco se encuentra por debajo de 100 latidos por minuto (bpm, por sus siglas en inglés) y por encima de 60 bpm.

La primera capa de la arquitectura se compone del brazalete biométrico Hexiwear, un dispositivo vestible IoT para monitoreo remoto el cual puede medir ritmo cardiaco, temperatura y calorías gastadas por los usuarios que lo estén utilizando [18]. La selección de este dispositivo se debe a su confiabilidad y que ha sido probado anteriormente con éxito por los autores [19].

Al tratarse de un sistema que debe reaccionar en tiempo real dentro de un vehículo en movimiento, la información debe procesarse dentro del automóvil en lugar de enviarse a la nube. La capa dos de la arquitectura utiliza el paradigma conocido como *edge computing*, el cual consiste en el uso de microcontroladores como Arduino o RaspberryPi, ya que cuentan con suficiente poder computacional y memoria para realizar tareas ligeras y procesar información [20]. Se conoce como computación *edge* ya que permite analizar datos relevantes casi en tiempo real cerca de donde se generan los datos y al borde del Internet [21].

El sistema edge implementado consiste en un microprocesador Arduino, el cual recibe las lecturas de los sensores por medio de *Bluetooth Low Energy* (BLE), si las variables fisiológicas están fuera de los valores previamente definidos el sistema accionará un disparador que dispersará un aroma que el conductor reconocerá como una alerta de que algo no está bien y pueda tomar precauciones al volante para evitar riesgos tanto para él y sus acompañantes como para los conductores que manejan a su alrededor.

4.1 Requerimientos del software

Los requerimientos funcionales de un software son las condiciones que debe cumplir el sistema, obtenidos en la etapa de análisis en el desarrollo. Mientras que los requerimientos no-funcionales son aquellos que expresan las condiciones que el software debe cumplir [22].

La Tabla 1 y la Tabla 2 presentan los requerimientos funcionales y no-funcionales del sistema IoT para prevenir situaciones de riesgo en conductores.

Requerimiento funcional	Descripción
RF-01	La aplicación debe monitorear el ritmo cardíaco.
RF-02	El monitoreo del ritmo cardiaco debe ser en tiempo real, en lapsos de 5 minutos.
RF-03	El sistema debe analizar los datos de los sensores y detectar si hay alguna anomalía en el ritmo cardiaco.
RF-04	El sistema debe lanzar una alarma de olor en caso de que se detecte una anomalía en el ritmo cardiaco.

Tabla 8. Requerimientos funcionales del sistema IoT.

Requerimiento funcional	Descripción
RF-01	El dispositivo con los sensores debe contar con comunicación BLE para transmitir los datos.
RF-02	El microcontrolador edge debe poder recibir datos por BLE.
RF-03	La disponibilidad del sistema debe ser permanente mientras el usuario conduce el automóvil.
RF-04	El sistema debe realizar el análisis de la información en tiempo real.

Tabla 2. Requerimientos no-funcionales del sistema IoT.

5. Evaluación preliminar

En esta etapa del proyecto ya con el diseño del prototipo desarrollado se realizó una evaluación de aceptación, para asegurar que los requerimientos identificados y la propuesta de implementación son bien aceptadas por posibles usuarios.

5.1 Participantes

Se realizó una evaluación de aceptación de tecnología con cinco usuarios, de los cuales el 100% son conductores de vehículos.

5.2 Proceso

Primero, se explicó por medio de videoconferencia la evaluación a los usuarios. Después, se dio una explicación del funcionamiento de la aplicación. Finalmente, se les pidió a los participantes que contestaran el cuestionario TAM para medir la aceptación que tienen sobre el sistema.

6. Resultados

El cuestionario TAM fue desarrollado por [23], se trata de un modelo ampliamente probado para predecir el uso de la tecnología.

Tomando en cuenta solamente las respuestas “Totalmente de acuerdo”, el instrumento TAM generó los resultados siguientes.

En la pregunta de la percepción de facilidad de uso el 100% cree que el sistema es fácil de usar, el 80% dijo que es fácil de aprender a usar, el 80% dijo que es claro y entendible y finalmente el 20% dijo que es fácil de encontrar información, este último se puede deber a que el sistema evaluado no contiene información a buscar (Fig. 2).

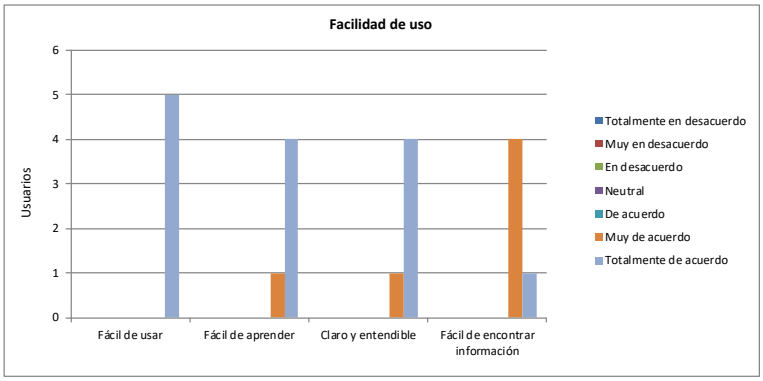

Fig. 2. TAM facilidad de uso.

En el área de la percepción de utilidad, los resultados obtenidos fueron, el 60% cree que es muy eficiente, el 60% dijo que mejoraría su desempeño, el 40% dijo que mejoraría su productividad y finalmente también el 40% creen que les sería útil este sistema (Fig. 3).

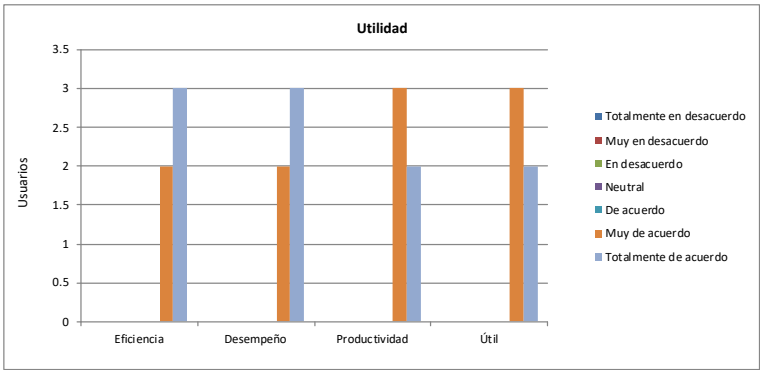

Fig. 3. TAM utilidad.

Con respecto a la actitud hacia el uso del software, se obtuvo una respuesta positiva, el 80% creen que es una buena idea el uso de este software (Fig. 4).

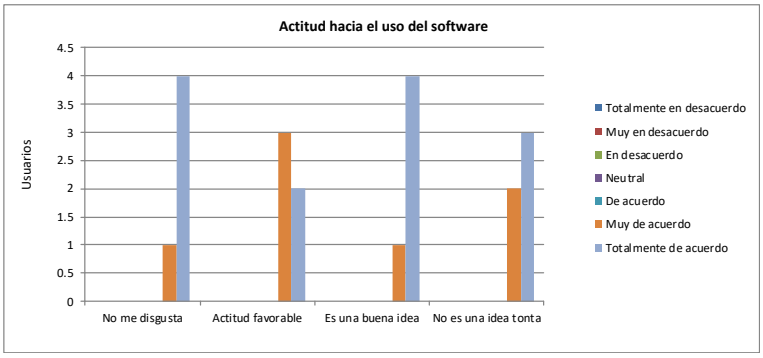

Fig. 4. TAM actitud hacia el uso del software.

Por último, las preguntas de "la intención de uso", el 60% tienen la intención de usarlo, el 100% de los usuarios dijeron que ellos lo volverían a utilizar, y el 100% tienen la intención de utilizarlo (Fig. 5).

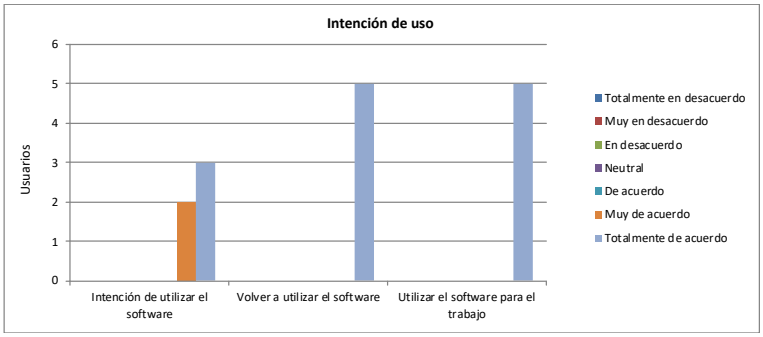

Fig. 5. TAM intención de uso.

Es importante señalar que el resto de las respuestas fueron "Muy de acuerdo", por lo que la aceptación de esta tecnología fue muy favorable e indica que puede ser bien aceptada por los usuarios.

7. Conclusiones

Este artículo presenta la propuesta de diseño de un sistema IoT vehicular para el monitoreo del ritmo cardiaco para detectar situaciones de riesgo en conducción vial.

El diseño del prototipo mostró que es posible su implementación, que es de bajo costo y hace uso extensivo de los paradigmas IoT y computación edge para monitoreo en tiempo real.

Los resultados de la evaluación de aceptación muestran que los usuarios lo consideran usable y les permitiría tener un mejor desempeño y eficiencia, además de que lo consideran una buena idea. Esto provee evidencia inicial que nuestra propuesta puede ayudar a disminuir las incidencias viales cuando los conductores tengan algún problema de salud con su ritmo cardiaco al ir conduciendo.

Como trabajo futuro, se planea concluir el desarrollo del sistema IoT y realizar una evaluación de funcionalidad en un ambiente de conducción real.

Referencias

[1] OMS, "10 datos sobre la seguridad vial en el mundo", 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/.

[2] OMS, "Accidentes de tránsito", 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries.

[3] J. Caban, R. Karpinski, y D. Barta, "Road traffic accident injuries — Causes and biomaterial related treatment", abr. 2018, pp. 1–7, doi: 10.1109/AUTOSAFE.2018.8373322.

[4] I. Ashraf, S. Hur, M. Shafiq, y Y. Park, "Catastrophic factors involved in road accidents: Underlying causes and descriptive analysis", *PLOS ONE*, vol. 14, núm. 10, p. e0223473, oct. 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0223473.

[5] INEGI, *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas. Conjunto de datos: Accidentes de tránsito terrestre*. 2018.

[6] R. Hinojosa Reyes, P. L. Jiménez Sánchez, V. Hernández Hernández, y J. Campos Alanís, "Siniestralidad por Accidente de Tránsito en México. Una aproximación desde el análisis espacial", *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, vol. 4, núm. 4, pp. 291–309, 2012.

[7] STCONAPRA, "Perfil estatal Morelos", 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.conapra.salud.gob.mx/Interior/Documentos/Observatorio/Perfiles/17_Morelos.pdf.

[8] J. E. Osorio y L. Cárdenas Niño, "Estrés laboral: estudio de revisión", *Diversitas*, vol. 13, núm. 1, p. 81, mar. 2017, doi: 10.15332/s1794-9998.2017.0001.06.

[9] H. Selye, *The stress of life*, Rev. ed. New York: McGraw-Hill, 1976.

[10] A. Bogomolov, B. Lepri, M. Ferron, F. Pianesi, y A. (Sandy) Pentland, "Daily Stress Recognition from Mobile Phone Data, Weather Conditions and Individual Traits", 2014, pp. 477–486, doi: 10.1145/2647868.2654933.

[11] J. A. Healey y R. W. Picard, "Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, núm. 2, pp. 156–166, jun. 2005, doi: 10.1109/TITS.2005.848368.

[12] M. Montiel Sandoval, P. C. Santana-Mancilla, y A. Guerrero Ibañez, "Interfaz cerebro-computadora para disminuir situaciones de riesgo en un entorno de conducción vial", *Avances en Interacción Humano-Computadora*, vol. 1, núm. 1, pp. 74–76, 2016.

[13] D. A. Saa Escobar, "Desarrollo de un sistema de medición de la variabilidad del ritmo cardíaco utilizando técnicas de fotopletismorafía para el monitoreo y control del estrés", Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador, 2018.

[14] D. Dobbelstein, S. Herrdum, y E. Rukzio, "inScent: a wearable olfactory display as an amplification for mobile notifications", 2017, pp. 130–137, doi: 10.1145/3123021.3123035.

[15] F. Nakaizumi, H. Noma, K. Hosaka, y Y. Yanagida, "SpotScents: A Novel Method of Natural Scent Delivery Using Multiple Scent Projectors", 2006, pp. 207–214, doi: 10.1109/VR.2006.122.

[16] S. Brewster, D. McGookin, y C. Miller, "Olfoto: designing a smell-based interaction", 2006, p. 653, doi: 10.1145/1124772.1124869.

[17] D. A. Washburn y L. M. Jones, "Could olfactory displays improve data visualization?", *Computing in Science and Engineering*, vol. 6, núm. 6, pp. 80–83, nov. 2004, doi: 10.1109/MCSE.2004.66.

[18] Hexiwear, "IoT and wearables development platform", 2018. http://www.hexiwear.com.

[19] L. A. Durán-Vega *et al.*, "An IoT System for Remote Health Monitoring in Elderly Adults through a Wearable Device and Mobile Application", *Geriatrics*, vol. 4, núm. 2, p. 34, may 2019, doi: 10.3390/geriatrics4020034.

[20] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, y L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, núm. 5, pp. 637–646, oct. 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2579198.

[21] D. Linthicum, "Edge computing vs. fog computing: Definitions and enterprise uses", *CISCO*, 2016. https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing.html.

[22] R. S. Pressman, V. Campos Olguín, J. Enríquez Brito, C. Villegas Quezada, y B. J. Ferro Castro, *Ingeniería del*

software: un enfoque práctico. 2010.
[23] F. D. Davis, R. P. Bagozzi, y P. R. Warshaw, "User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models", *Management Science*, vol. 35, núm. 8, pp. 982–1003, ago. 1989, doi: 10.1287/mnsc.35.8.982.