

Cómo mejorar el tráfico de vehículos con dispositivos interconectados de bajo coste: una prueba de concepto

Oscar Testa
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Nacional de La Pampa
otesta@exactas.unlpam.edu.ar

Efraín R. Fonseca C.
Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
erfonseca@espe.edu.ec

Germán Montejano
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales
Universidad Nacional de San Luis
gmonte@unsl.edu.ar

Oscar Dieste
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Universidad Politécnica de Madrid
odieste@fi.upm.es

Resumen

Contexto: Las tareas cotidianas de la humanidad se han ido mejorando gracias a la tecnología. **Problema:** Existen situaciones cuya solución es compleja con las tecnologías tradicionales, siendo un caso muy preocupante los accidentes de tránsito (AT). **Objetivo:** Plantear un escenario crítico realista de problemas de tránsito y mostrar cómo un conjunto de dispositivos interconectados asequibles pueden colaborar para solucionarlo. **Metodología:** Aplicamos Design Science para construir iterativamente prototipos y su evaluación. **Resultados:** Prueba de concepto de una plataforma basada en una coreografía de servicios de dispositivos ubicuos, enfocada en brindar seguridad en la transportación en base a balizas de comunicación entre el autobús, la carretera, otros vehículos y la central de emergencias.

1. Introducción

La cotidianidad de la humanidad se ha ido mejorando gracias a la tecnología; sin embargo, existen problemas cuya solución es compleja con medios informáticos usuales. En la actualidad la aparición de la computación ubicua y su convergencia con Internet han proporcionado alternativas de solución.

Uno de los problemas que es particularmente relevante corresponde a los accidentes de tránsito (AT), debido a su

alto coste económico, en vidas humanas y en traumas permanentes de todo tipo [1]. En miras de estabilizar y reducir la tendencia mundial al aumento de las muertes por accidentes de tránsito, en marzo de 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el período 2011–2020 como el “Decenio de Acción para la Seguridad Vial” [2].

No obstante, hasta ahora el problema no ha mejorado, sino por el contrario se ha intensificado. Dentro de la clasificación de las principales causas de muerte en el mundo, los siniestros de tránsito pasaron de décimo lugar en el 2000, a octavo lugar en el 2016. Si no se toman acciones correctivas radicales, se prevé que en 2030 los traumatismos causados por los accidentes de tránsito pasarán a ocupar el quinto puesto en dicha clasificación [1].

La situación de cada país varía dependiendo de su nivel de ingresos. De hecho, un 90 % de las defunciones ocurren en los países con ingresos medios y bajos. Los países con altos niveles de ingresos han encontrado que aspectos como la seguridad del contexto (p.e., el estado de las vías), estado del vehículo, factores humanos (p.e., impericia o imprudencia, exceso de velocidad, embriaguez, no respetar las señales de tránsito, entre otras), etc. pueden ser gestionadas mediante dispositivos interconectados [3].

El escenario planteado representa una carretera inteligente, donde los vehículos que transitan por ella disponen de dispositivos que le permiten analizar y monitorear no sólo las condiciones del vehículo sino también puede permitir conectividad tanto a otros vehículos que circulan como

a balizas que se encuentran al costado de la carretera. Estas balizas no solo pueden ser receptoras de solicitudes de ayuda, información, etc., sino que además permiten informar a los vehículos de advertencias y demás inconvenientes que pueda haber en el tránsito. Para llevar adelante la simulación hemos realizado una prueba de concepto para dar solución a este problema con hardware y software asequibles.

El objetivo de este trabajo es *plantear un escenario crítico realista de problemas de tránsito y mostrar cómo un conjunto de dispositivos interconectados asequibles pueden colaborar para solucionarlo*.

La contribución de este artículo es una prueba de concepto para dar solución a este problema con hardware y software asequibles.

Lo que resta del artículo se estructura de la siguiente forma: en la sección 2 se describen los antecedentes de los sistemas implementados para disminuir los incidentes de tránsito. En la sección 3 se detalla la metodología de investigación seleccionada. En la sección 4 se describe el escenario de trabajo que aporta soluciones a los problemas de tránsito vehicular. El planteamiento de una solución a una problemática particular específica, es descrita en la sección 5. Finalmente, en la Sección 6, se discuten los hallazgos.

2. Antecedentes

De acuerdo con los datos de la OMS, los principales problemas asociados a la muerte o lesiones por accidentes de tránsito son el exceso de velocidad, conducir bajo los efectos del alcohol, no contar con elementos de seguridad certificados (p.e., cascos de las motocicletas, airbags, cinturones de seguridad, etc.), no tener acceso a una atención oportuna, vehículos que no cumplen con las normas básica de seguridad, infraestructura vial insegura y aspectos humanos [4].

En distintos países se están llevando a cabo estudios con base tecnológica enfocados en uno o varios de los problemas antes mencionados, con el propósito de minimizar la accidentabilidad vial, aunque hasta ahora no se han conseguido resultados contundentes.

Por ejemplo, en lo que respecta a los factores humanos que inciden en los accidentes de tránsito, Miranda et al. [5] proponen un dispositivo para monitorea la somnolencia en base a la frecuencia del movimiento de los párpados del conductor. El dispositivo propuesto monitorea el movimientos de los párpados del conductor hasta detectar una frecuencia inusual de parpadeo que podría corresponder a somnolencia. A paso seguido, el dispositivo alerta al conductor mediante una alarma. Un informe es enviado por cada evento desde la aplicación web asociada al dispositivo. No obstante, no hay resultados contundentes de la efectividad del dispositivo y los elementos utilizados son muy costosos.

Otro ejemplo respecto a los factores humanos es el trabajo de Khandakar et al [6], en el que los autores proponen una app para monitorear el uso del teléfono móvil mientras se conduce. De acuerdo con los autores, dicho sistema controla el teléfono móvil del conductor, en caso de ser necesario, cuando el vehículo alcanza un límite de velocidad específico. La aplicación está acompañada de un sistema portátil basado en módulos OBD-II para adquirir datos del vehículo e identificar el comportamiento de los conductores con respecto al uso del teléfono, como cambios repentinos de carril y rupturas bruscas de velocidad. No obstante, la solución no es genérica para cualquier vehículo.

En lo que respecta a la inseguridad del contexto, Lee & otros [7] proponen un sistema que informa la presencia de objetos en el ángulo muerto de los retrovisores del vehículo mediante una señal visual sobre el espejo retrovisor. El sistema emplea radares, en las esquinas del paragolpes trasero orientado hacia el área que queda oculta. Al parecer el sistema propuesto es costoso, pero podría ser práctico.

Otro problema que particularmente es complejo, especialmente en los países de bajos y medianos ingresos, es la inseguridad vial, ante lo que Kumar & otros [8] proponen un sistema para tener una visión clara y evitar colisiones con peatones o ciclistas, para lo que se incluyen dos cámaras de alta resolución colocadas en la parte alta del parabrisas. De acuerdo con los autores, el sistema es capaz de distinguir entre peatones, ciclistas, coches y otros objetos; medir la distancia hasta los objetos mencionados; predecir la trayectoria de los objetos versus la que lleva el coche; determinar si existe riesgo de colisión entre los objetos y el vehículo; tomar las medidas preventivas para evitar el accidente o aminorar las posibilidades de ocurrencia. El sistema advierte al conductor e incluso puede accionar automáticamente los frenos del vehículo. La interacción con el vehículo hace que la solución no sea genérica y por otro lado es costoso.

Existen muchas otras propuestas, pero como ya se mencionó anteriormente, hasta ahora no se han obtenido resultados concluyentes. Sobre la base del análisis realizado, estamos convencidos de que con dispositivos de bajo coste y protocolos de comunicación estándar, se podrían plantear soluciones de igual calidad o incluso mejores que los proyectos realizados hasta el momento [9].

3. Metodología

Los accidentes de tránsito vehicular son un problema importante debido a las consecuencias humanas que acarrea, siendo un problema que abarca a todos los países y los esfuerzos para mejorar esta problemática no ha dado resultados alentadores al día de hoy [1]. En miras de poder utilizar la tecnología existente aplicada a dar soluciones a esta problemática, como objetivo principal de trabajo en esta investigación nos hemos planteado *un escenario crítico realista*

de problemas de tránsito y mostrar cómo un conjunto de dispositivos asequibles pueden colaborar para solucionarlo.

Con el propósito de poder alcanzar este objetivo, nos hemos planteado las siguientes preguntas de investigación:

- **RQ1:** ¿Es posible utilizar dispositivos y hardware de bajo costo para dar solución a problemas de tránsito vehicular?
- **RQ2:** ¿Pueden estos dispositivos basar su comportamiento y coordinación bajo mecanismos estándares y de tecnología existente?

De acuerdo a la naturaleza del problema y en base al escenario de trabajo planteado, la metodología seleccionada para llevar adelante el trabajo es “Design Science”. Design Science crea y evalúa artefactos de tecnologías de la información con la intención de dar solución a problemas debidamente identificados, tal como es expresado en [10]. Los artefactos que se crean o evalúan a partir de Design Science van desde software, lógica formal y matemática rigurosa, hasta descripciones informales en lenguaje natural.

Para este proyecto se necesita comenzar con un desarrollo que nos permita ir incorporando dispositivos de manera gradual, de manera que podamos ir evaluando en cada paso cómo se ha comportado el escenario en su conjunto y a partir de allí poder implementar mejoras en el desarrollo de la próxima iteración. La metodología nos permite trabajar sobre prototipos evolutivos de manera que en cada ciclo de diseño vaya permitiendo converger en una solución al problema planteado.

En la Figura 1 podemos apreciar de manera global las fases planteadas por la metodología Design Science, donde queda evidenciado que es una metodología que permite un proceso evolutivo de creación de artefactos:

- En primer lugar se **identifica la problemática** a ser abordada y la motivación para realizar el trabajo de investigación, donde como hemos expresado existe una necesidad de poder afrontar y solucionar los problemas relacionados con los incidentes vehiculares.
- Como segunda actividad, se **definen los objetivos**. Para definir el objetivo nos basamos fundamentalmente en el estado de la cuestión.
- Una vez establecido claramente el problema a investigar, junto a los objetivos y preguntas de investigación, se procedió a trabajar sobre la actividad de **diseño y desarrollo del artefacto**, que en este caso se trató de realizar una prueba de concepto sobre carreteras inteligentes que podría replicarse en ambientes reales.
- Dentro de la actividad de **demostración**. Se han utilizado distintos dispositivos a lo largo de los ciclos de

desarrollo, lo cual ha permitido desarrollar un artefacto que se adapta y cumple con los objetivos planteados en un ambiente de prueba específico.

- Finalmente, se trabajó en distintas **evaluaciones**. Luego de cada ciclo se evaluó la forma en que se comportaban los dispositivos y el conocimiento adquirido en esta evaluación fue volcado en el desarrollo evolutivo del artefacto final.

Por último, podemos mencionar que cada ciclo termina con la implementación de los cambios que se evaluaron en el ciclo anterior y así nace un nuevo prototipo hasta alcanzar la madurez necesaria del artefacto.

4. Escenario

El escenario de trabajo se centra en aportar soluciones a los problemas de tránsito vehicular que pueden suceder en autopistas o carreteras, de forma tal que los mismos se conviertan en ambientes inteligentes. Si bien el entorno es específico, los principios subyacentes pueden ser fácilmente extrapolados a otros ambientes de trabajo, donde lo importante es la posibilidad de que los dispositivos ubicuos que forman parte del escenario puedan coordinarse entre ellos. Para llevar adelante una solución a un problema determinado.

Se plantea un ambiente que se puede observar en la Figura 2, donde los vehículos u ómnibus que transportan personas posean ciertos elementos de comunicación y sensores (los cuales podrían ser aquellos que monitorean la salud del conductor en tiempo real, las funciones de seguridad del rodado, etc) que permitan convertirlo en un vehículo con seguridad y que pueda prevenir accidentes (marcador número 1). A su vez la carretera o autopista deberá disponer de balizas de comunicación (marcador número 2) que permitan la conexión con los vehículos que transitan por ella (marcador número 3). Estas balizas además de brindar conexión a los vehículos que transitan por la carretera, tienen la posibilidad de conectarse a centros de asistencia (marcador número 4) y de ayuda (para todo tipo de eventos: accidentes, ayudas mecánicas, orientación, etc). Cada uno de estos elementos o participantes del escenario planteado representan un rol dentro del esquema, el cual luego será representado por un dispositivo determinado.

Con esta infraestructura, podemos pensar en varios usos. Imaginemos que un ómnibus con pasajeros se traslada desde una ciudad a otra a través de una carretera normal ¹. El conductor del vehículo cuenta con un sensor que detecta la posibilidad de que esté por sufrir un ataque cardíaco, o más aún, que ya lo esté sufriendo en ese momento. A partir de

¹un único carril por mano

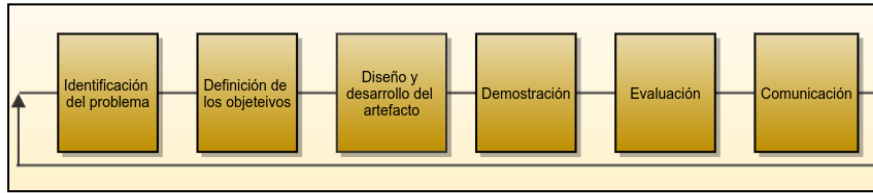


Figura 1. Metodología de investigación

ese instante, el vehículo le avisa al conductor (ya sea visualmente como auditivamente) de lo que está sucediendo, y a su vez intenta comunicarse con una baliza de la carretera para informar del evento. Una vez realizado el aviso, se dispararán distintos mecanismos de ayuda, los cuales estarán adecuados a los protocolos de la legislación vigente en cada lugar. Por ejemplo, podría disparar alertas a los vehículos cercanos, para que los mismos puedan tomar acciones preventivas, además de avisar al pasaje del ómnibus y detener la marcha en caso de ser necesario.

El escenario planteado es totalmente factible, ya que como podemos observar en distintas investigaciones [11] es común la utilización de dispositivos para la detección precoz de infartos de corazón, ya sean estos por dispositivos que se implantan en la persona, como elementos que se disponen sobre el volante del vehículo para sensorizar al conductor.

En cualquiera de los casos se trata de dispositivos que no tienen conexión o posibilidad de hacerlo con otros dispositivos para llevar adelante la detección del problema y que no sea solamente un aviso al conductor, sino que puedan dispararse mecanismos de auxilio de forma inmediata.



Figura 2. Infografía escenario planteado²

5. Solución planteada

Una vez planteado el escenario de trabajo, lo que sigue es poder llevar adelante una solución o prueba de concepto al entorno de trabajo presentado. A continuación haremos una presentación de los dispositivos que se han utilizado para representar a los distintos actores en el escenario planteado, la forma en que los mismos se distribuyen así como la manera en que se coordinan entre ellos para solucionar un problema que se presenta.

Para el caso seleccionado, se han abordado los siguientes roles:

- **VehículoTránsito:** es cualquier vehículo que se encuentra circulando por la carretera, que puede recibir o enviar mensajes y participar de la coreografía.
- **VehículoAccidentado:** es aquel vehículo que ha tenido algún tipo de incidente o accidente mientras transita a lo largo de la carretera inteligente.
- **Baliza:** son aquellos dispositivos dispuestos a lo largo de la carretera, que permitan tener comunicación hacia una central de Balizas, con capacidad de procesar peticiones de los dispositivos ubicuos dispuestos en los automóviles.
- **CentralBalizas:** equipo central, que reúne la información de todas las balizas que forman parte de la autopista, donde todas éstas se comunican para enviar sus novedades.
- **CentralEmergencias:** central donde se reúnen todas las peticiones de emergencias, las cuales deben activar el llamado a distintos entes y organismos para la solución del problema, de acuerdo a la gravedad que se informa.

La interacción entre dispositivos se plantea de la siguiente manera:

- El iniciador es el rol de **VehículoAccidentado**, el cual ante un incidente contacta a la **Baliza** más cercana, informando del problema ocurrido, donde uno de los datos principales es el número de patente del mismo.

²Designed by Freepik

- La **Baliza** se encarga de recibir el pedido de información del **Vehículo Accidentado** y contacta a la **CentralBalizas** y a los otros **VehículoTránsito** que se encuentren en la zona del incidente, informándoles lo sucedido y la ubicación del problema.
- La **CentralBalizas** se encarga de registrar el evento comunicado y de avisar a la **CentralEmergencias** para que pueda determinar las acciones y personal que debe intervenir en el incidente informado. A su vez se encarga de informar a otros elementos más alejados de la carretera así como emitir alertas a distintos equipos de trabajo para solucionar el incidente.

Para la definición de la coreografía se utilizó la especificación 1.0 de WSCDL, que es una definición estándar de cómo los dispositivos deben comunicarse entre ellos, sin la necesidad de un coordinador central, para llevar adelante una determinada tarea.

Los dispositivos utilizados para la construcción de la prueba de concepto son los siguientes:

- Equipo servidor: PC con 16GB de memoria RAM, con procesador de 4 núcleos conectado a una dirección IP de acceso público, sistema operativo Linux, Apache 2.4.18, PHP versión 7.0.15 y una base de Datos PostgreSQL 9.3.
- Equipo Laptop: notebook de escritorio con 12GB de memoria RAM, procesador de doble núcleo conectado a una VPN con el servidor principal mencionado en el punto anterior, sistema operativo Linux, Apache 2.4.18, PHP versión 7.0.15.
- Equipo RaspberryPi B+: equipo con un procesador de 32 bits, con un único núcleo, 1GB de memoria RAM, sistema operativo RaspBian, servidor web Lighttpd versión 1.4.x, PHP versión 5.5.x trabajando en modo CGI. Este equipo está conectado a la VPN que tiene como servidor al equipo servidor mencionado previamente.
- Placa de desarrollo Arduino Mega 2560, que posee 8k de memoria para datos y un procesador de 16 bits; módulo wifi (ESP8266-01).
- Placa de desarrollo Arduino Nano V3 donde la memoria disponible para datos es de apenas 2K y un procesador de 16 bits; módulo wifi (ESP8266-01).

Las limitaciones de los dispositivos se centran en la limitada capacidad de procesamiento, memoria, conectividad y batería; de hecho, las placas Arduino dependen de una batería para poder operar. Los dispositivos ubicuos utilizados y el caso de prueba son representativos tanto de los problemas reales a los que éstos dispositivos se enfrentan, donde

la ubicuidad es el común denominador, así como el tipo de problema que se esquematiza.

Algunos de los problemas que podemos evidenciar en base a los dispositivos utilizados y la naturaleza del problema planteado son los siguientes:

- Zonas con poca conectividad.
- Escaso nivel de batería de los sensores o elementos de comunicación.
- Errores o desaparición de dispositivos durante la comunicación o manejo de la transacción.

La arquitectura de ejecución se puede observar en la Figura 3, donde se aprecia cada dispositivo con el rol que cumple dentro de la coreografía. La placa Arduino representa el rol de un dispositivo Baliza; la RaspberryPi implementa a los dispositivos con los roles de Vehículo Accidentado y VehículoTránsito ya que esta mini computadora tiene la capacidad suficiente para funcionar como computadora central del vehículo; y los equipos con más capacidad de procesamiento a los roles de CentralBaliza y CentralEmergencia.

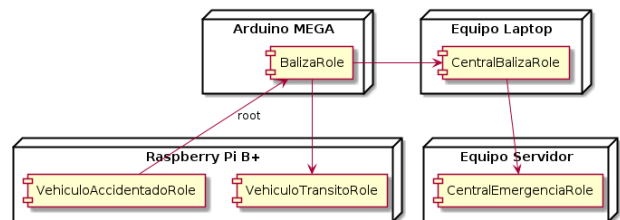


Figura 3. Diagrama de despliegue de dispositivos y roles

El diagrama de secuencia de la Fig. 4 representa la ejecución del escenario, en base a la prueba de concepto definida. En el diagrama se pueden observar, como etiquetas en la secuencia de mensajes, el formato de información que viaja desde un dispositivo hacia otro, el cual está definido dentro de la definición de la coreografía realizada en WS-CDL.

6. Discusión

Hemos planteado dos preguntas de investigación al comienzo del trabajo, las cuales analizaremos a continuación tratando de responder a cada una de ellas:

- **RQ1:** ¿Es posible utilizar dispositivos y hardware de bajo costo para dar solución a problemas de tránsito vehicular?

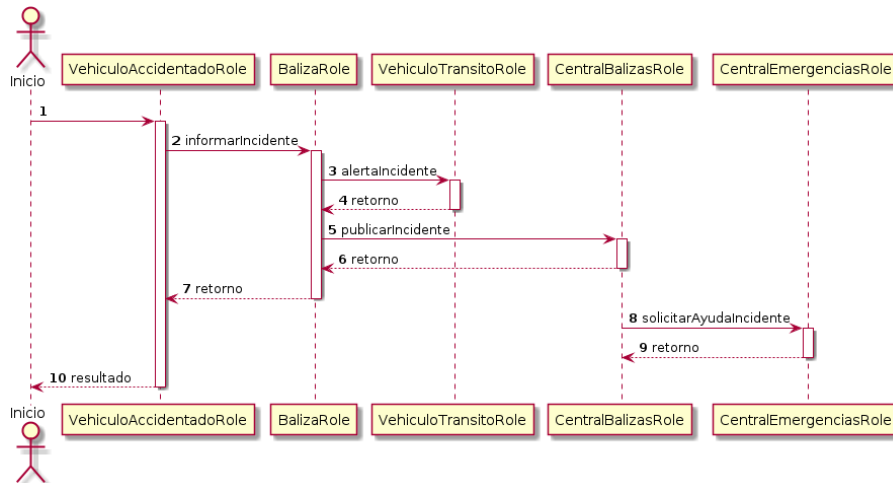


Figura 4. Diagrama de secuencia de ejecución de la coreografía

El escenario que hemos planteado es realista ya que hemos simulado distintos dispositivos y actores de una carretera donde trabajan sobre un incidente que involucra vehículos y balizas dentro de la misma. Para ello hemos definido una coreografía entre los distintos actores la cual puede ser implementada tal como la hemos establecido o bien pueden plantearse otros escenarios posibles donde el objetivo sea el de prevenir accidentes. El código fuente del escenario puede ser descargado desde la siguiente dirección https://github.com/GRISE-UPM/ml_server_rest.

Por otro lado hemos utilizado para este escenario distintos dispositivos de hardware abierto como es el caso de placas Arduino (Mega 2560 y Nano) y RaspberryPi, los cuales además de estas características son dispositivos de bajo costo desarrollando una solución económicamente viable. Podrían incluso utilizarse dispositivos de menor costo para poder realizar implementaciones a escala más grande. Debemos mencionar que estos dispositivos que hemos utilizado tienen una capacidad de procesamiento muy baja pero que dentro del desarrollo que planteamos les queda capacidad ociosa, el único limitante que disponemos hoy día es la escasísima cantidad de memoria que disponen, lo cual es un punto a tener en cuenta en su implementación.

- **RQ2:** ¿Pueden estos dispositivos basar su comportamiento y coordinación bajo mecanismos estándares y de tecnología existente?

La computación orientada a servicios, y en particular los servicios web, proporcionan mecanismos para la composición de servicios. Dentro de los mecanismos de composición existen actualmente especificaciones tanto para las orquestaciones como para las

coreografías de servicios, permitiendo de esta manera construir sistemas de negocio complejos a partir de una gran cantidad de servicios heterogéneos, simples y distribuidos.

Una analogía entre la tecnología de SOA y los dispositivos ubicuos nos permitiría pensar que si cada dispositivo en un ambiente pervasivo es proveedor, o consumidor de un servicio, la coordinación de dispositivos parece encajar perfectamente con la composición de servicios. Sin embargo, en contextos tales como el de Internet de las cosas (IoT de las siglas del inglés Internet of Things), donde los servicios son dinámicos, móviles, menos fiables y dependientes del dispositivo, los mecanismos de composición establecidos para servicios web no son directamente aplicables [12].

Si a partir de esta analogía, trasladamos esos conceptos de SOA a dispositivos ubicuos en ambientes pervasivos podemos obtener un desarrollo basado sobre estándares abiertos, permitiendo de esta manera hacer desarrollos y soluciones en estos ambientes que sean abiertos, estándares interoperables y extensibles como es el caso de estudio que hemos presentado en este trabajo.

Por lo antes expuesto podemos decir que el mecanismo de interacción entre dispositivos es estándar, basado en SOA, perfectamente compatible con la web, y a priori también con cualquier iniciativa IoT. A su vez, las posibilidades que este tipo de tecnología proporciona es diverso, especialmente a países que tienen un parque automotor antiguo. Más específicamente, los módulos construidos serán económicos, no serán nocivos para la salud, y claro está, independientes de la marca de los vehículos. Básicamente lo único que necesitarán del vehículo será la energía para

funcionar.

7. Conclusiones

Hemos implementado una solución a distintos problemas que se pueden producir en el tránsito vehicular, en particular sobre una carretera. Hemos podido utilizar dispositivos y hardware de bajo costo para dar solución a los problemas que planteamos, y a su vez esta solución está basada sobre estándares abiertos de coordinación brindando interoperabilidad y extensibilidad.

La solución planteada a través del escenario de trabajo es una solución específica, pero la misma puede ser extendida a múltiples problemas de la vida real, tales como asistencia a personas con necesidad de asistencia permanente, automatización de hogares, de industrias, etc.

Como trabajos futuros, se pretende desarrollar distintos prototipos adaptados a un contexto específico, dirigidos hacia problemas particulares. Los resultados serán presentados al gobierno local, para iniciar proyectos de innovación con financiamientos estatales.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada en parte por el rubro de la Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA) para el Grupo de Trabajo: "Internet de las Cosas y Ciudades Inteligentes" y en parte por el rubro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE del Ecuador para estancias de investigación.

Referencias

- [1] OMS, "Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial." Available at https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/es/, Last visited: Sep 1th, 2013.
- [2] U. Nations. Available at https://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/es/, , title = Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020, year = 2010.
- [3] E. R. F. C., J. W. Castro, M. C. Lopez, and F. Onofa, "Towards A proposal to decrease road accidents in ecuador: Requirements derived from A secondary study," in *Proceedings of the XXII Iberoamerican Conference on Software Engineering, CibSE 2019, La Habana, Cuba, April 22-26, 2019.*, pp. 572–585, 2019.
- [4] OMS, "10 datos sobre la seguridad vial en el mundo." Available at <https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>, Last visited: Sep 1th, 2017.
- [5] M. Miranda, A. Villanueva, M. Buo, R. Merabite, S. Perez, and J. Rodriguez, "Portable prevention and monitoring of driver's drowsiness focuses to eyelid movement using internet of things," 2019.
- [6] A. Khandakar, M. Chowdhury, R. Ahmed, A. Dhib, M. Mohammed, N. Al-Emadi, and D. Michelson, "Portable system for monitoring and controlling driver behavior and the use of a mobile phone while driving," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 7, 2019.
- [7] M. Lee, M. Sunwoo, and K. Jo, "Collision risk assessment of occluded vehicle based on the motion predictions using the precise road map," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 106, pp. 179–191, 2018.
- [8] S. Kumar and D. Toshniwal, "A data mining approach to characterize road accident locations," *Journal of Modern Transportation*, vol. 24, pp. 62–72, Mar 2016.
- [9] M. Ramzan, S. Awan, H. Aldabbas, A. Abid, M. Farhan, S. Khalid, and R. Latif, "Internet of medical things for smart d3s to enable road safety," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 15, no. 8, 2019.
- [10] S. T. March and G. F. Smith, "Design and Natural Science Research on Information Technology," *Decis. Support Syst.*, vol. 15, pp. 251–266, Dec. 1995.
- [11] Ling Yibo, Pong Terrence, Vassiliou Christophoros C, Huang Paul L, and Cima Michael J, "Implantable magnetic relaxation sensors measure cumulative exposure to cardiac biomarkers," *Nat Biotech*, vol. 29, pp. 273–277, mar 2011. 10.1038/nbt.1780.
- [12] G. Cassar, P. Barnaghi, W. Wang, S. De, and K. Moessner, "Composition of services in pervasive environments: A Divide and Conquer approach," in *Computers and Communications (ISCC), 2013 IEEE Symposium on*, pp. 000226–000232, July 2013.