

System for the Realization of Advanced Mobility Studies Based on Driver, Cabin and Vehicle Monitoring

Santiago Garcia, Alejandro G. Pañeda, Alejandro Casanova, Victor Corcoba, Xabiel G. Pañeda, Roberto Garcia and David Melendi

Abstract—Our roads the preparation of mobility studies has become an essential element when planning and regulating traffic. These studies have been carried out with all kinds of systems, such as cameras, on-track counting systems and, lately, with embedded devices. However, until now there have been no studies able to take into account how traffic situations affect drivers and vice versa. Nor has it been analysed if what happens inside the vehicles affects the circulation and in what way. For this, it's necessary to have a low-cost system, installable in a significant number of vehicles that can not only detect the position of the vehicle and how is its displacement, but to control what happens in the set composed of the driver, the cabin and the vehicle. This article presents a system capable of collection biometric information of the driver, from sensors installed in the cabin and from the vehicle itself, pre-processing the information on the device itself, following an *edge-computing* philosophy, and sending it to a *datalake* in the cloud to be processed in the studies that you wish to perform. The system has been successfully tested in different types of routes and situations. Its main advantage over previous systems is the ability to make an exhaustive analysis of risk situations and its dependence on the driver's status with a low economic cost of production.

Index Terms— Biometry, cabin, driver, intelligent transportation, monitoring vehicle, smart city

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos más importantes en el futuro de la humanidad será la gestión de la movilidad de la población. Tanto a nivel de núcleo urbano, dentro del concepto de Smart City, como en movimientos interurbanos, organizar el desplazamiento de vehículos es una máxima para los organismos gubernamentales. Para realizar la organización del transporte por carretera las instituciones necesitarán sistemas capaces de proporcionar la máxima información en tiempo real.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado a través del proyecto TIN2017-82928-R del Programa Estatal de I+D+i del Gobierno de España y la Cátedra Telecable de la Universidad de Oviedo (CAT-010-17).

S. Garcia pertenece a Arcelor Mittal (e-mail: santiagof2a@gmail.com).

A.Casanova (e-mail: UO236943@uniovi.es), V. Corcoba (e-mail: corcobavictor@uniovi.es), X. G. Pañeda (e-mail: xabiel@uniovi.es), Roberto Garcia (e-mail: garciaroberto@uniovi.es) y D. Melendi (e-mail: melendi@uniovi.es) están en el Departamento de Informática de la Universidad de Oviedo.

A.G. Pañeda está en el departamento de Inovgrid de la empresa EDP (e-mail: alexgp2002@gmail.com)

Hasta ahora la mayoría de sistemas estaban basados en cámaras o en dispositivos de conteo de vehículos instalados en las vías. Sin embargo, el futuro del control del tránsito de vehículos apunta a que serán los propios vehículos, dentro del concepto de vehículo conectado, los que se utilicen como la fuente principal de información. Esto permite disponer de información global y no solo en localizaciones puntuales. Esta visión conjunta hace entrever la necesidad de creación de sistemas que sean capaces de interpretar los comportamientos del conductor para estudiar no solamente lo que está alrededor del vehículo sino lo que también está dentro de él.

Este camino hacia el control preciso de la movilidad debe ir recorriéndose mediante la utilización de dispositivos que puedan embarcarse en un número importante de coches y proporcionen información que pueda ser extrapolada y generalizada. Para ello será importante que el coste del dispositivo sea reducido, pero al mismo tiempo tendrá que proporcionar una mejora importante sobre los sistemas que ya actualmente se utilizan en los estudios de movilidad. Una de las mejoras puede ser la globalidad ya antes comentada, pero el resto podrían venir de recoger una mayor cantidad de información, lo que permitiría hacer estudios más completos.

En este artículo se presenta un sistema para la monitorización de vehículos (OBDII, GPS, acelerómetro), que estudia también lo que ocurre en su interior (luminosidad, ruido, calidad del aire) y la biometría de conductores con el objetivo de realizar estudios de movilidad avanzados. Dicho sistema permitirá entender las causas que provocan situaciones de riesgo o cómo los conductores reaccionan ante ellas, a diferencia de los métodos actuales, como son *IntelliSafe* de *Volvo*, *Distronic Plus* de *Mercedes* o *ProPilotAssist* de *Nissan*, entre otros, que se centran más en el propio vehículo. El sistema podría también ser utilizado para estudiar la actividad cognitiva que exigen las señalizaciones o qué pasa cuando se producen eventos climatológicos adversos de forma repentina.

Puesto que uno de los elementos fundamentales para poder utilizar este sistema en estudios reales es que su coste sea reducido, ésta ha sido una de las premisas con las que se ha construido, además de ser compacto y fácil de utilizar.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma. En la sección 2 se comentarán otros trabajos centrados en el desarrollo de sistemas de monitorización de vehículos y estudios de movilidad. En la sección 3 se realizará una descripción funcional del sistema de monitorización. En las secciones 4, 5 y 6 se describirán los tres subsistemas que componen el sistema. La sección 7 valorará las pruebas

realizadas con el mismo, y por último la sección 8 incluirá las conclusiones y los trabajos futuros.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Los estudios de movilidad se han realizado tradicionalmente utilizando como fuentes de información medidores instalados en las vías, cámaras y encuestas a los conductores [1], [2]. Con el tiempo, estos sistemas han ido mejorando para ser más precisos en la monitorización o el estudio de las situaciones. Por ejemplo, el diseño de nuevos sensores que se instalan en la vía para el conteo. En [3] se presentan sensores piezoeléctricos capaces de detectar por la presión sobre el asfalto el paso de vehículos.

Los sistemas basados en cámaras también se han evolucionado ampliamente. Actualmente son capaces de estudiar movimientos de los vehículos, velocidades de paso, e incluso a través de la lectura de la matrícula, reconocer las rutas, como es el caso de [4]. Estos sistemas también son capaces de realizar análisis de localizaciones con mucha precisión. Por ejemplo, en [5] se utiliza un sistema basado en una única cámara para estudiar la movilidad en un cruce.

Igualmente encontramos soluciones que combinan el uso de sensores y cámaras para analizar la movilidad. En [6] los autores realizaron una comparación entre diferentes sistemas para monitorizar el tráfico basados en el uso de cámaras, radares, láseres y sensores de ultrasonido. La prueba se llevó a cabo en una carretera de Roma durante un año y bajo diferentes condiciones meteorológicas y lumínicas. Los investigadores constataron que las soluciones que combinaban varios dispositivos obtenían mejores resultados que los sistemas basados en sólo un elemento

En paralelo al desarrollo de los métodos más tradicionales, ha surgido una nueva forma de hacer estudios de movilidad.

Fundamentalmente aprovechando la circunstancia de que prácticamente todos los conductores llevan encima su teléfono móvil cuando conducen, es posible estudiar sus desplazamientos [7], [8]. A través de la triangulación de las antenas los sistemas de telefonía pueden detectar el movimiento de un teléfono con una precisión razonable. Si bien ésta no es tan alta como la que se puede alcanzar con una cámara monitorizando una intersección, sí es posible estudiar cuestiones como congestión, velocidades medias o destinos y horarios de los vehículos, incluso detectar las señales de la vía [9].

Otros sistemas se han centrado en la utilización de un dispositivo dedicado instalado a bordo del vehículo. Por lo general estos disponen de un localizador GPS, acelerómetro, al igual que los sistemas basados en el móvil, pero incorporan la lectura del bus CAN del vehículo a través de un conector OBDII [10]. Es el caso, por ejemplo, de la tecnología CATEDBox de la empresa ADN Mobile Solutions, en la que este equipo de investigación ha colaborado a desarrollar [11].

Un problema común tanto en las soluciones tradicionales como en los métodos modernos es que no tienen en cuenta la calidad del aire en el interior del vehículo. Normalmente cuando se habla de calidad del aire, los trabajos se centran en los efectos de las emisiones de los vehículos en el exterior. Sin embargo, una concentración alta de CO₂ reduce la concentración del conductor y aumenta el tiempo de reacción

haciendo que la conducción sea más insegura tanto para él como para el resto de los usuarios de la carretera [12]. Además, es posible inferir si alguno de los pasajeros está fumando en el vehículo [13].

Por ejemplo, en [14] los investigadores monitorizaron la cabina de 50 vehículos durante 5 meses. Dichos vehículos eran utilizados por sus propietarios para desplazarse a sus lugares de trabajo. El tiempo medio en completar la ruta fue de 30 minutos. Los autores mostraron que el 96% de los vehículos presentaban unos niveles de concentración de CO₂ superior al recomendado (1000 ppmv). Ellos también observaron que los compuestos orgánicos volátiles eran más elevados cuando el motor estaba en ralentí que cuando el vehículo estaba en movimiento.

Otros de los factores que suelen obviar los estudios de movilidad es el nivel de ruido dentro de la cabina [15]. Los vehículos actuales han reducido el ruido del motor aumentando el confort dentro del habitáculo [16]. No obstante, es muy habitual que los conductores escuchen música o radio durante la conducción. Según numerosos estudios, el volumen y tipo de música puede influir en la conducción. Cuando el volumen de la música es elevado, el conductor tiende a conducir más rápido y a no respetar las normas de seguridad [17]. Sin embargo, la música también puede tener un efecto beneficioso influyendo en el estado de ánimo y haciendo que la conducción sea una tarea menos monótona [18], [19].

Otra aproximación de este tipo de estudios [20], [21] se centra en la evaluación de los cambios cardiacos y cambios psicológicos del conductor del vehículo a través de sensorización específica en la cabina, tanto en el asiento del vehículo sin contacto directo como se plantea en [21], o en el volante [20]. También existe otro estudio, que evalúa los cambios psicológicos y físicos del conductor a través de cámaras [22] grabando al conductor. Estas tres metodologías presentan métodos muy válidos de medición de ritmo cardíaco, y evaluación de los cambios físicos, pero ninguna tiene en cuenta la evaluación de contextos ampliados a los que se ve expuesto el conductor en cada situación.

Como conclusión, en la literatura no encontramos ningún sistema que sea capaz de reunir información tan variada como el sistema que se propone en este artículo. Aunque en el estado del arte actual existen sistemas para monitorizar al conductor, esta información no se fusiona con otras fuentes para crear estudios de movilidad [23]. Los datos sobre el funcionamiento del vehículo y su posición, de la cabina y del propio conductor pueden combinarse para dar una nueva dimensión a los estudios de movilidad, que determinen consecuencias, principios de acción y reacción, incluso que puedan utilizarse para definir mapas mentales del conductor.

III. FUNCIONALIDAD Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema de monitorización que se presenta en este artículo tiene como objetivo ser capaz no solo de entender cómo se están desplazando los vehículos en una vía, sino entender las causas que lo producen y ver las repercusiones sobre los conductores.

A través del análisis de la información procedente de sensores y dispositivos de recogida de información del vehículo, la cabina y el propio conductor, unidos a otros datos procedentes de servicios de Internet buscará detectar

potenciales situaciones peligrosas, reacciones a situaciones del tráfico, implicaciones de la señalización de la vía, etc.

El sistema recibe información de las siguientes fuentes de datos:

- Sensor de luminosidad [Lux]
- Sensor de ruido [dB]
- Sensor de calidad del aire [AQI, °C, Humedad]
- Acelerómetro [x m/s², y m/s², z m/s²]
- Localizador GPS [coordenadas lat, long, alt]
- Monitor ECU (vía OBDII) [múltiples parámetros]
- Monitor de frecuencia cardiaca [HR bpm]

El sistema está constituido por tres subsistemas, uno encargado de la recogida de datos, otro encargado del procesamiento inicial siguiendo una filosofía edge-computing y otro de la recepción y almacenamiento en la nube. Estos tres subsistemas están repartidos en dos arquitecturas distintas, la central y la embarcada. Mientras que la primera soporta el subsistema de recepción y almacenamiento, la segunda estará al cargo de acoplar los subsistemas de recogida de datos y procesamiento inicial, tal y como se ve en la Fig. 1.

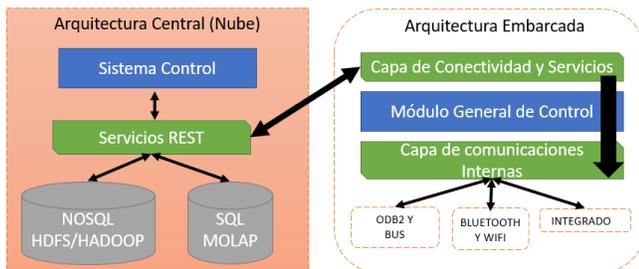


Fig. 1. Arquitectura Global.

Como elemento central para la arquitectura embarcada se utilizará un computador SBC (Single Board Computing) de tipo Raspberry Pi. Para minimizar tanto en capacidad de cómputo como en tamaño se utilizará una base de datos SQLITE para almacenar la información recogida por los tres subsistemas. En la Fig. 2 puede verse el sistema construido y listo para su utilización. Los componentes utilizados serían los siguientes: SBC (1), acelerómetro MMA7455 (2), sensor de temperatura y humedad DHT11 (3), detector de sonido (4), sensor de gas MQ2 (5), fotorresistencia LDR (6).



Fig. 2. Dispositivo embarcado.

IV. SUBSISTEMA DE RECOGIDA DE DATOS

El subsistema encargado de la recogida será un dispositivo embarcado en cada uno de los vehículos a monitorizar. Está compuesto por 3 módulos con funciones claramente diferenciadas. Por un lado, estará el módulo encargado de

adquirir la información de la cabina, por otro el de recogida de datos biométricos y por último el de recuperación de la información procedente de la ECU (Electronic Control Unit) del vehículo. En el caso del primer módulo será necesario desarrollar un dispositivo hardware que se encargue del conexionado y captura de las señales procedentes de los sensores que recogen la temperatura, humedad, nivel de luminosidad, nivel de calidad del aire, nivel de ruido, aceleraciones y posición GPS.

A. Módulo de Recogida de Información de Cabina

Uno de los procesos de recogida de este módulo es el encargado de obtener la posición GPS. La primera tarea dentro del bucle principal consiste en establecer la conexión con el dispositivo a través de puerto serie "serial0" de la Raspberry Pi, concretamente a una velocidad de 19200 baudios, la cual resultó ser la que mejores resultados conseguía.

Una vez se establece la conexión se procede a enviar órdenes. La primera de ellas sería un "AT+CGPSPWR=1\r" que es para encender el módulo GPS por si no lo estuviera.

En la segunda orden ya se procede a la solicitud de la información con la orden "AT+CGNSINF\r". La respuesta a esta orden sigue una estructura acorde al estándar de [24].

El paso siguiente por tanto será el de analizar esta respuesta y extraer los datos de interés que serían principalmente la latitud (<Latitude>), la longitud (<Longitude>), la fecha y hora (<UTC date & Time>), la altitud (<MSL Altitude>), el número de satélites con visión directa (<GNSS Satellites in View>) y el número de satélites usados actualmente (<GNSS Satellites Used>).

Uno de los puntos importantes para el sistema es la marca de tiempo que se registra y asigna a todos los datos cuando se almacenan en la base de datos. Esta marca de tiempo ha de provenir de una única fuente y a ser posible ha de ser una marca de tiempo sincronizada.

Teniendo todo lo anterior en cuenta se ha decidido emplear la hora obtenida mediante las señales de los satélites GPS para establecer la hora de la SBC. Una vez definida la hora se asigna dicha hora a la de la Raspberry Pi con el comando "date" y a partir de ahí todos los programas podrán estar referenciados a la hora del GPS.

Para poder llevar a cabo todo este proceso de recogida de datos de la cabina y tal y como se había citado en la introducción de este subsistema, se ha diseñado una PCB (Printed Circuit Board) con el objeto de incorporar múltiples sensores: humedad, temperatura, intensidad de sonido, luz en el interior del vehículo, acelerómetro y el propio GPS. Toda la información de la que nos proveen estos sensores periféricos se recogerá a través de las entradas GPIO (General Purpose Input Output) de la SBC, pasando por un procesado para su almacenamiento posterior.

En el caso de los sensores de intensidad lumínica, calidad del aire e intensidad de ruido, se trata de módulos con respuesta analógica, una entrada no admitida por la SBC utilizada. Para paliar esto, se ha incluido un convertor analógico-digital del que se obtendrán los valores de tensión digital asociados a la salida de los sensores.

Por último, el acelerómetro comunica con el ordenador principal haciendo uso del protocolo I2C [25] soportado de

forma nativa por la SBC. Esto permite liberar entradas para dispositivos que no puedan comunicarse mediante este protocolo.

En cuanto a las frecuencias de recogida de datos de todos estos parámetros, la intensidad del ruido, acelerómetro y el GPS tienen una frecuencia inferior a 1 segundo, mientras que el sensor de calidad de aire, temperatura y humedad muestrean cada 3 segundos.

B. Módulo de Adquisición de Información Biométrica

La recogida de información biométrica se ha realizado mediante la utilización de la banda pectoral Polar H10 que es capaz de monitorizar ritmo cardiaco e intervalos entre pulsos RR. Para su selección se realizó un estudio con varias alternativas actuales del mercado, entre las que se encuentran *Empática Embrace* [26], *Polar H10* [27] y *Huawei Watch 2* [28]. De todos los candidatos se realizó una valoración entre la calidad de los datos biométricos medidos, su API de integración con el sistema embarcado, su estabilidad de señal y su duración de batería decidiendo que *Polar H10* era la selección óptima. Para recoger los datos monitorizados por la banda, se ha desarrollado un módulo de captura que realiza la conexión con la banda vía Bluetooth. Esta información se solicita a través de peticiones periódicas directas a la banda a través de gatttool y la pila bluetooth de Linux BlueZ. El ritmo cardiaco se obtiene con una frecuencia de 1 segundo de muestreo.

C. Módulo de Recuperación de Información Procedente del Vehículo

Para la captura de los datos procedentes del vehículo se ha utilizado un módulo de adquisición que se conecta a su puerto OBDII. Este dispositivo será el interfaz entre el ordenador central y el bus CAN. Tendrá las funciones de por un lado realizar las peticiones correspondientes cuando así se le solicite desde la SBC y también enviar de vuelta los resultados de estas peticiones obtenidos del bus CAN. La transmisión de la información se realizará utilizando el protocolo Bluetooth. Para establecer la conexión Bluetooth desde la Raspberry Pi se empleará el puerto "rfcomm0". Por lo tanto, el primer paso de este código será el poner a dicho puerto a la espera de una conexión por parte del adaptador OBDII del cual se ha de indicar su dirección MAC. El siguiente paso es el establecimiento de la conexión con el adaptador. A partir de este momento es posible comenzar a recoger variables procedentes de la ECU del vehículo. Sin embargo, uno de los principales problemas de funcionamiento de este tipo de dispositivos en las diferentes clases de vehículos es que no todos proporcionan los mismos datos. Para crear un módulo válido para cualquier fabricante y al mismo tiempo optimizar el proceso de recogida se realiza un proceso de selección de parámetros de forma periódica. En él se solicitan a la ECU todos los parámetros y se comprueba que sus valores sean distintos de cero. Teniendo en cuenta dicha condición se crea un vector de parámetros activos que será utilizado para las sucesivas peticiones a la ECU, las cuales se realizan con una frecuencia de 3 segundos.

V. SUBSISTEMA DE PRETRATAMIENTO EN EL DISPOSITIVO EMBARCADO

Toda la información que provee el subsistema de recogida de datos posteriormente entra en un proceso de control al que denominamos subsistema de pretratamiento embarcado. Este bloque funcional se centra en el cómputo y el envío de los datos, tanto no procesados como procesados a distintos bloques funcionales.

Para llevar a cabo este objetivo, la funcionalidad se divide principalmente en tres capas mostradas en la Fig. 3: conectividad de servicios, el módulo general de control y la capa de comunicaciones internas. La capa de conectividad es la encargada de recoger la información obtenida del subsistema de adquisición y enviarla al destino correspondiente. También es la encargada de gestionar el envío de toda la telemetría a los servicios centrales, así como la autenticación del dispositivo embarcado, donde se realiza un *handshake* con el servidor central para el funcionamiento del sistema y los posteriores envíos de datos. Este proceso, se ha construido a través de una capa de servicios web REST que se comunican con el servidor central de almacenamiento y procesamiento.

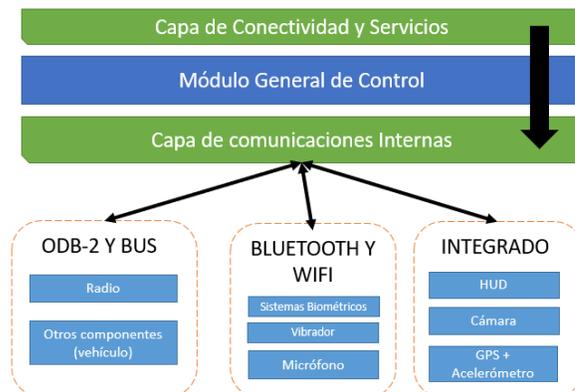


Fig. 3. Arquitectura de Sistema Embarcado.

La segunda capa, o módulo general de control, será la encargada de coordinar que la información que llega de los distintos destinos es correcta, y procesará distintas métricas en el dispositivo embarcado que se utilizarán para el envío de datos a los distintos periféricos conectados tal y como se muestra en la Fig. 4.



Fig. 4. Módulo general de control.

También será la encargada de hacer la gestión del arranque inicial, que se realiza a través del *handshake* con el servidor, definiendo todos los parámetros del dispositivo: conductor, periféricos conectados, datos a enviar, datos a procesar, etc. En base a esto se autoconfigurará la lógica del embarcado, permitiendo embarcados con distintos escenarios.

Todas las órdenes emitidas por el módulo de control serán coordinadas a través un sistema de gestión de comunicaciones internas que, a través de un cálculo de métricas de estado, decidirá en función de los resultados a qué periférico envía mensajes, siguiendo el paradigma del *edge-computing*.

Para garantizar la dualidad de las comunicaciones tanto en envío como recepción con los distintos periféricos y el servidor de almacenamiento, la capa de comunicaciones está basada en un patrón reactor, el cual permite gestionar eventos de manera asíncrona a puertos de comunicaciones definidos dinámicamente. El patrón reactor sería un proceso multihilo con contextos separados de ejecución, capaz de tratar simultáneamente distintos flujos de ejecución. El gestor de eventos es el encargado de despachar cada uno de los eventos que recibe a través de nuevos hilos a través del manejador de eventos, desencadenando acciones en otras capas del software. Este sistema es ideal para la comunicación interna entre sistemas, como podría ser la comunicación entre periféricos y el sistema embarcado, o comandos de ejecución de lectura del sistema de recuperación de información del vehículo.

Todo esto está combinado con la gestión multihilo del patrón, controlando a través de secciones críticas la integridad de la información enviada. Asimismo, se almacena una copia de los datos de manera local y se dispone de un sistema de colas de reenvío de la información en caso de que fuera necesario.

VI. SUBSISTEMA DE RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO EN LA NUBE

Dados los numerosos datos adquiridos y para mantener la seguridad de los dispositivos desplegados, se ha diseñado un sistema de gestión central en la nube, el cual tiene el objetivo de gestionar la seguridad y almacenar todos los datos generados.

Para llevar a cabo ese proceso se construyó un sistema en base a una arquitectura híbrida escalable, que fuera capaz de garantizar el funcionamiento bajo grandes volúmenes de datos, asimismo se definió una capa de servicios web REST, que garantizase el envío y recepción de toda la información.

Todos los dispositivos embarcados están conectados con esta capa REST, a la cual deben enviar un método de *login* en el primer arranque. Una vez realizado el *handshake*, podrán realizar cualquier tipo de petición con el *token* de autenticación recibido. En el caso de no realizar un *login* válido, no podrían ni consultar ni enviar información al servidor. En caso contrario, se enviará toda la información necesaria para que el embarcado realice el primer arranque y se autoconfigure. En la Fig. 5, se define esta capa, la cual está conectada con dos bloques funcionales que se encargan del correcto almacenamiento de la información recibida.

En primer lugar, existe un módulo de procesamiento de datos, en el que se procesa la información y se extrae conocimiento de esta. Para aplicar este conocimiento se utiliza el segundo bloque, la lógica de negocio, aquel que define automáticamente patrones y usos claves de estos indicadores obtenidos. Toda esta información, se persiste a través de un modelo de arquitectura híbrido SQL-NoSQL,

conectado con dos capas de uso distintas. Ambas capas tienen la labor de enviar información a los dos sistemas de bases de datos, pero cada una tiene una funcionalidad y objetivo diferente. En primer lugar, está la capa de acceso a datos en *streaming*, encargada de insertar aquellos datos que se reciben de manera instantánea de los sistemas embarcados y se persistirá sobre un clúster *HDFS/Hadoop*. Tiene el objetivo de insertar a la mayor velocidad posible la información recibida, redundarla, distribuirla para garantizar su persistencia y disponer de una arquitectura para procesar modelos analíticos de inteligencia artificial.

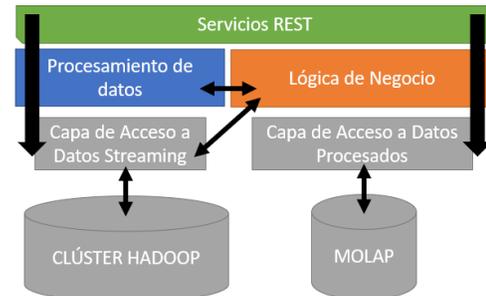


Fig. 5. Arquitectura de sistema de Recepción y Almacenamiento.

En segundo lugar, existirá un modelo más tradicional, conectando la lógica de negocio con los datos ya procesados a través de una capa intermedia, y almacenados en un *datawarehouse* con *SQL Server/Molap*. Este contendrá informes, usuarios, dispositivos, control de periféricos y toda la información necesaria para que los dispositivos embarcados se autoconfiguren automáticamente al arranque.

La lógica de negocio reflejará por su parte aquellos métodos y funciones necesarias que estudian y definen los estudios de movilidad.

Esta arquitectura, permite tener capacidades para procesar los datos con inmediatez y en lotes, garantizando una escalabilidad del sistema a largo plazo.

VII. CASO DE ESTUDIO

En este caso de estudio se emplearon los datos obtenidos por un conductor que utilizó de forma regular el sistema descrito durante los meses de Febrero y Mayo del 2019 en Asturias (España). La temperatura máxima en la cabina del vehículo fue 22.8 °C y la temperatura mínima 18.6 °C.

El conductor es un hombre de 45 años con una amplia experiencia conduciendo turismo (26 años conduciendo).

Además, emplea el vehículo diariamente para desplazarse al lugar de trabajo y durante las vacaciones. El participante rellenó una encuesta de tipo Likert con un rango del 1 (Nada) al 5 (Mucho). La Tabla I muestra el resultado de dicha encuesta.

TABLA I
ENCUESTA RELLENADA POR EL PARTICIPANTE EN EL EXPERIMENTO

Pregunta: Escala 1 (Nada) al 5 (Mucho)	Respuesta
Le gusta conducir:	3
Nivel de stress cuando conduce en un trayecto habitual:	3
Nivel de stress cuando conduce en un trayecto desconocido:	4
Le gusta conducir:	3

El uso de encuestas para conocer el tipo de conductor es un buen complemento para ayudar a analizar los datos recogidos por el sistema de monitorización. Si dos conductores hacen el mismo trayecto bajo condiciones similares y los resultados son muy diferentes es posible que dicha diferencia se deba a su perfil psicológico [29].

En este apartado queremos emplear el sistema presentado en este artículo para analizar el comportamiento del conductor y el nivel de estrés en una rotonda situada en la entrada de una ciudad asturiana. Dicha rotonda exige al conductor una gran capacidad cognitiva ya que consta de dos carriles y tres salidas. Cada salida tiene a su vez dos carriles.

Además, se encuentra situada en la entrada de la ciudad. En dicho lugar se producen muchos accidentes siendo un punto conflictivo por lo que es importante analizarla. La dirección general de tráfico de España tiene instaladas cámaras para monitorizar el comportamiento de los conductores. El sistema embarcado presentado en este trabajo permite complementar los resultados obtenidos por las cámaras ya que permite obtener el estado de la cabina (temperatura, humedad, calidad del aire y nivel de ruido) y la telemetría del vehículo.

La Tabla II contiene la media de todos los valores de aceleración y desaceleración cuando el conductor se acerca a la rotonda, circula dentro de la rotonda y sale de ella. En dicha tabla también se recogen los valores máximos y mínimos de todas las aceleraciones y desaceleraciones instantáneas obtenidas por el sistema de adquisición de datos. Las muestras han sido agrupadas en: datos obtenidos cuando no había tráfico y datos capturados cuando el tráfico era denso.

Medida	Lugar	Aceleración (m/s ²)		Deceleración (m/s ²)	
		Sin Tráfico	Con Tráfico	Sin Tráfico	Con Tráfico
Media	Entrada rotonda (ER)	0,65	0,4	-0,71	-0,47
	Dentro de la rotonda (DR)	0,46	0,38	-0,18	0,38
	Salida rotonda (SR)	0,22	0,36	0	-3,05
Máximo	ER	1,66	2,01	-1,52	-2,47
	DR	0,65	0,74	-0,18	-0,91
	SR	0,42	0,37	0	-3,05
Mínimo	ER	0,09	0,07	-0,04	-0,06
	DR	0,33	0,09	-0,19	-0,09
	SR	0,07	0,35	0	-3,05
Desviación estándar	ER	0,4	0,39	0,5	0,54
	DR	0,14	0,26	0	0,29
	SR	0,18	0,02	0	0

Respecto a las desaceleraciones, el valor medio es superior (un 51%) en la entrada de la rotonda cuando no hay tráfico en comparación con el resultado obtenido con tráfico. Dentro de la rotonda, el conductor tiene que frenar más intensamente cuando el tráfico es elevado. La desaceleración media con tráfico es un 11% mayor que cuando no hay tráfico. Por último, sólo cuando hay tráfico, el conductor se ve obligado a corregir la velocidad para salir de la rotonda.

La aceleración media en la entrada de la rotonda cuando no había tráfico fue un 62.5 % superior al valor obtenido con tráfico. Dentro de la rotonda vuelve a ocurrir lo mismo,

aunque en menor grado. En este caso la aceleración media sin tráfico fue solamente un 21% superior en comparación con el resultado obtenido cuando había tráfico. Por el contrario, en la salida de la rotonda, el valor medio de aceleración es más alto cuando hay tráfico. Esto podría ser debido a la capacidad de las rotondas para ralentizar el tráfico [30]. La rotonda aumenta de forma artificial el tráfico. Los vehículos que se encuentran dentro de la rotonda hacen que los vehículos que están en la entrada tengan que frenar y esperar para incorporarse a la rotonda. Si el número de vehículos es elevado, la circulación dentro de la rotonda será lenta. Sin embargo, una vez que se sale de ella el conductor puede aumentar la velocidad porque el nivel del tráfico no se ve afectada por ella.

La Tabla III muestra información acerca de las aceleraciones intensas (> 1.5 m/s²) que tienen lugar en la región de la rotonda. La mayor parte de estas ocurren cuando el conductor tiene que entrar en la rotonda y no hay tráfico.

Las aceleraciones causan un aumento en el ritmo cardíaco que se manifiesta justo después de realizar la aceleración. Un ritmo cardíaco alto está asociado con situaciones de estrés [31].

TABLA III
ACELERACIONES INTENSAS EN LA ROTONDA

Intensidad de la aceleración (m/s ²)	Ritmo cardíaco medio 5 segundos antes de la aceleración intensa (b.p.m)	Ritmo cardíaco medio 5 segundos después de la aceleración intensa (b.p.m)	Lugar del evento y estado del tráfico
2,01	80	86	ER Con tráfico
1,66	79,2	83	ER Sin tráfico
1,57	81,6	85,4	ER Sin tráfico
1,52	116,8	117,8	ER Sin tráfico
1,38	88,88	94	ER Sin tráfico

Además, cuanto mayor es la intensidad de la aceleración más se incrementa el ritmo cardíaco respecto al mostrado en los últimos 5 segundos antes de esta como puede observarse en la Fig. 6.

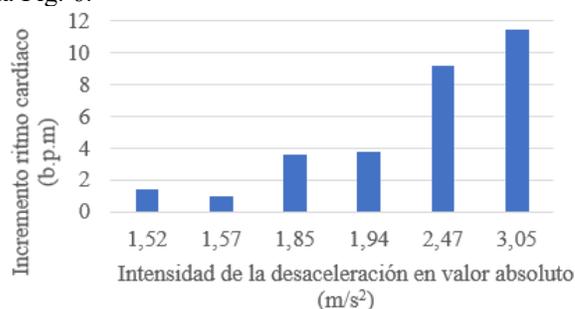


Fig. 6. Intensidad de las desaceleraciones (m/s²) vs incremento del ritmo cardíaco (b.p.m).

La Tabla IV expone las desaceleraciones intensas (< -1.5 m/s²) detectadas por el sistema en la región analizada. En este estudio se ha observado que la mayoría de estas desaceleraciones tienen lugar en la entrada a la rotonda cuando el tráfico es elevado. Esto ocurre en 5 de las 6 desaceleraciones intensas detectadas. También se puede ver

que el ritmo cardíaco se acelera antes que tenga lugar la desaceleración. Esto se debe a un evento que previamente el conductor ha detectado y que hace que se incremente su nivel de estrés. En la salida de la rotonda sólo hubo una desaceleración intensa (-3.05 m/s^2) y en este caso también había tráfico denso.

TABLA IV
DESACELERACIONES INTENSAS EN LA ROTONDA

Intensidad de la desaceleración (m/s^2)	Ritmo cardíaco medio 5 segundos antes de la desaceleración intensa (b.p.m)	Ritmo cardíaco medio 5 segundos después de la desaceleración intensa (b.p.m)	Lugar del evento y estado del tráfico
-3,05	90,6	79,2	SR Con tráfico
-2,47	91,8	82,6	ER Con tráfico
-1,94	87,4	83,6	ER Con tráfico
-1,85	94,8	91,2	ER Con tráfico
-1,57	86,6	85,6	ER Con tráfico
-1,52	87,8	86,4	ER Sin tráfico

La tabla V compara el ritmo cardíaco del conductor cuando está en la región de estrés con el ritmo cardíaco obtenido considerando todos los trayectos incluyendo el caso de estudio. Se ha podido observar que en la zona de la rotonda el pulso se incrementa un 4% comparándolo con el valor medio obtenido por el conductor durante todos los trayectos que completó. Además, la diferencia es significativa ya que el valor del test U de Mann-Whitney fue 0.000.

TABLA V
COMPARATIVA DEL RITMO CARDÍACO EN LA ROTONDA Y DURANTE EL RESTO DE LA CONDUCCIÓN

Medida	Ritmo cardíaco en rotonda (b.p.m)	Ritmo cardíaco conduciendo (b.p.m)
Media	88,63	85,52
Mediana	88	86
Máximo	110	116
Mínimo	75	67
Desviación típica	7,44	6,89

Uno de los días analizados el conductor experimentó un ritmo cardíaco inusual. La Fig. 7 captura el perfil de velocidad y el ritmo cardíaco en la rotonda dicho día. El valor medio obtenido en la rotonda fue 113.84 b.p.m., que es un 28% superior al obtenido en la rotonda considerando todas las muestras. Ese día también observamos que pasó por la rotonda 15 minutos antes de lo habitual. Esto podría indicar que el conductor tendría una cita o bien no había dormido bien por lo que sentía estrés. La telemetría no indica aceleraciones y desaceleraciones inusuales. El estado del tráfico era bueno por lo que el estado mental del conductor no se vio reflejado en su estilo de conducción. Sin embargo, hemos observado que cuando el vehículo se encontraba detenido, el ritmo cardíaco del conductor aumentaba muy significativamente. Entre las 8:06:41 a.m. y las 8:07:09 a.m. el pulso estuvo por encima de las 120 pulsaciones por minuto.

Este valor fue superior al obtenido cuando el conductor estaba acelerando o desacelerando.

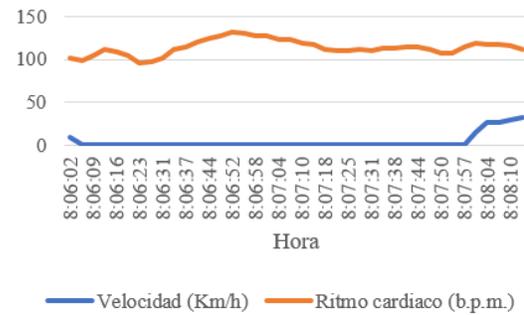


Fig. 7. Velocidad (Km/h) y ritmo cardíaco (b.p.m.) del conductor en la rotonda en un día en el que el pulso era inusualmente alto.

Como conclusión, el sistema de adquisición de datos presentado nos ha permitido ver que en la entrada y salida de la rotonda es donde se producen las aceleraciones y desaceleraciones más intensas. También hemos observado que la rotonda provoca un aumento en la demanda de capacidad cognitiva lo que se traduce en un ritmo cardíaco más elevado. Esta información se ha obtenido gracias a que la solución recoge datos empleando múltiples sensores que nos permiten monitorizar el estado de la cabina, al conductor y su comportamiento conduciendo. La mayor parte de los sistemas existentes carecen de esta característica lo que limita su uso en estudios de movilidad [32].

VIII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este artículo hemos presentado un sistema orientado a hacer estudios de movilidad de bajo coste y con capacidades para estudiar las consecuencias del tráfico sobre los conductores y viceversa. A pesar de que en el caso de estudio hemos limitado en análisis a las situaciones producidas en una glorieta y la relación con el estrés del conductor, las posibilidades analíticas son amplísimas. La incorporación de este tipo de dispositivos puede ser un elemento disruptivo en la realización de estudios de movilidad. Su implantación requiere una inversión muy baja y con un número no demasiado grande de conductores es posible complementar a los sistemas actuales aportando información relevante. Para el conductor la única molestia es el uso de la banda de monitorización cardíaca, ya que el resto del sistema funciona de forma automática y transparente. Sin embargo, en el futuro la banda podría ser sustituida por un elemento menos intrusivo a medida que se vaya avanzando en el desarrollo de este tipo de dispositivos.

Como trabajos futuros, se ha valorado la opción de convertir al sistema en un asistente a la conducción avanzado (ADAS). A través de toda la información que se recoge en tiempo real y la capacidad de procesamiento en la nube es posible aportar información al conductor para aumentar la seguridad, la eficiencia y el confort. Estudiando patrones de comportamiento sería posible anticiparse a situaciones de riesgo y evitarlas. Todo esto haría posible el estudio de recomendaciones en caso de cansancio, superar la velocidad de la vía, comportamientos erráticos o agresivos sobre el manejo del vehículo, incluso realizar actuaciones sobre el

vehículo a través del cambio de emisora de radio de este o una parada segura en un caso extremo.

REFERENCIAS

- [1] G. S. Thakurzx, P. Huiz and A. Helmyx, "Modeling and characterization of urban vehicular mobility using web cameras," 2012 Proceedings IEEE INFOCOM Workshops, Orlando, FL, 2012, pp. 262-267
- [2] Archetti, F., Messina, E., Toscani, D., Vanneschi, L. (2006). "Classifying and Counting Vehicles Traffic Control Applications". EvoWorkshops 2006, LNCS 3907, pp. 495-499.
- [3] Jinrui Zhang, Youyuan Lu, Zeyu Lu, Chao Liu, Guoxing Sun and Zongjin Li. "A new smart traffic monitoring method using embedded cement-based piezoelectric sensors". Smart Materials and Structures. IOPscience. 2015.
- [4] BhushanNemade. "Automatic Traffic Surveillance Using Video Tracking". Procedia Computer Science. Elsevier. 2016.
- [5] Mohammad Shokrolah Shirazi, Brendan Tran Morris. "Vision-Based Turning Movement Monitoring: Count, Speed & Waiting Time Estimation". IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. IEEE. 2016.
- [6] P. Bellucci, E. Cipriani, "Data accuracy on automatic traffic counting: the SMART project results," European transport research review, vol. 2(4), pp. 175-187, 2010.
- [7] A.Fernández-Ares, A.M.Mora, M.G.Arenas, P.García-Sanchez, G.Romero, V.Rivas, P.A.Castillo, J.J.Merelo. "Studying real traffic and mobility scenarios for a Smart City using a new monitoring and tracking system". Future Generation Computer Systems. Elsevier. 2017.
- [8] Andreas Janecek, Danilo Valerio, Karin Anna Hummel, Fabio Ricciato, Helmut Hlavacs. "The Cellular Network as a Sensor: From Mobile Phone Data to Real-Time Road Traffic Monitoring". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. IEEE. 2015.
- [9] D. C. Santos et al., "Real-Time Traffic Sign Detection and Recognition using CNN," in IEEE Latin America Transactions, vol. 18, no. 03, pp. 522-529, March 2020.
- [10] German Castignani, Thierry Derrmann, Raphaël Frank, Thomas Engel. "Driver Behavior Profiling Using Smartphones: A Low-Cost Platform for Driver Monitoring". IEEE Intelligent transportation systems magazine. IEEE. 2015.
- [11] Abel Rionda, David Martínez, Xabiel G. Pañeda, David Arbesú, J. Emilio Jimenez, F. F. Linera. "Cated Box, una tecnología para hacer estudios de movilidad 2.0". Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información. 2012.
- [12] D. Constantin, C.-A. Mazilescu, M. Nagi, A. Draghici, and A.-A. Mihartescu, "Perception of cabin air quality among drivers and passengers," Sustainability, vol. 8, no. 9, pp. 852-866, Aug. 2016.
- [13] Edwards, Richard & Wilson, Nick & Piers, Nevil. (2006). Highly Hazardous Air Quality Associated With Smoking in Cars: New Zealand Pilot Study. The New Zealand medical journal. 119. U2294.
- [14] Barnes, Natasha, et al. "In-cabin air quality during driving and engine idling in air-conditioned private vehicles in Hong Kong." International journal of environmental research and public health, 2018, vol. 15, no 4, pp. 611.
- [15] Gang Sheng, "Vehicle Noise, Vibration, and Sound Quality," in Vehicle Noise, Vibration, and Sound Quality, SAE, 2012, pp.i-xi.
- [16] X. Wang, Vehicle Noise and Vibration Refinement, Cambridge, U.K.:Woodhead Publishing, 2010.
- [17] B. H. Dalton, D. G. Behm, A. Kibele. "Effects of sound types and volumes on simulated driving, vigilance tasks and heart rate". Occupational Ergonomics, 7(3), 153-168, 2007.
- [18] Najafi Ghezjeljeh, Tahereh, Frogh Raffi, and Hosein Salehzadeh. "Comparing the effects of back massage and music on fatigue in patients with chronic heart failure." The J Urmia Nurs Midwifery Fac 14.6: 516-525, 2016.
- [19] Wang, D. Y. D., Jimison, Z., Richard, D., & Chuan, C. H. "Effect of listening to music as a function of driving complexity: A simulator study on the differing effects of music on different driving tasks", PloS one, 2015, vol. 10, no 8, 2015.
- [20] H. Shin, S. Jung, J. Kim, y W. Chung, "Real time car driver's condition monitoring system", en 2010 IEEE SENSORS, 2010, pp. 951-954.
- [21] M. Walter, B. Eilebrecht, T. Wartzek, y S. Leonhardt, "The smart car seat: of vital signs in automotive applications", Personal and Ubiquitous Computing, vol. 15, pp. 707-715, oct. 2011.
- [22] G. Soares, D. de Lima and A. Miranda Neto, "A Mobile Application for Driver's Drowsiness Monitoring based on PERCLOS Estimation," in IEEE Latin America Transactions, vol. 17, no. 02, pp. 193-202, February 2019.
- [23] Javier Izquierdo-Reyes, Ricardo A. Ramirez-Mendoza, Martin R. Bustamante-Bello, Sergio Navarro-Tuch, Roberto Avila-Vazquez. "Advanced driver monitoring for assistance system (ADMAS). International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)". Springer. 2018.
- [24] GPS Reference Manual. Leadtek. Revision 1.30. 2020
- [25] I2C Protocol Reference Manual UM10204". NXP Standard. 2014
- [26] C. McCarthy, N. Pradhan, C. Redpath and A. Adler, "Validation of the Empatica E4 wristband," 2016 IEEE EMBS International Student Conference (ISC), Ottawa, ON, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/EMBSISC.2016.7508621.
- [27] Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T. & Wyss, T. RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. Eur J Appl Physiol 119, 1525-1532 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04142-5>
- [28] Smartwatch, by Huawei Technologies CO. (2018, April 10). Patent US D815,090S. [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/af/d6/df/90e29075ca7ae6/USD815090.pdf>
- [29] Luca Mallia, Lambros Lazaras, Cristiano Violani, Fabio Lucidi, "Crash risk and aberrant driving behaviors among bus drivers: The role of personality and attitudes towards traffic safety, Accident Analysis & Prevention", vol. 79, 2015, pp. 145-151, ISSN 0001-4575,
- [30] Flannery, Aimee, and Tapan K. Datta. "Modern roundabouts and traffic crash experience in United States." Transportation Research Record 1553.1 (1996): 103-109.
- [31] Goessl, V., Curtiss, J., & Hofmann, S. (2017). "The effect of heart rate variability biofeedback training on stress and anxiety: A meta-analysis". <Psychological Medicine, doi:10.1017/S0033291717001003
- [32] V. Corcobá Magaña and M. Muñoz-Organero, "Discovering Regions Where Users Drive Inefficiently on Regular Journeys," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 1, pp. 221-234, Feb. 2015.
- [33] J. D. Hill y L. N. Boyle, "Driver stress as influenced by driving maneuvers and roadway conditions", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 10, n.o 3, pp. 177-186, may 2007.Data Mining. vol 1(3), pp. 111-127. 2008.



Santiago García is a Telecommunications Engineer from the University of Oviedo and MS. He is currently working at the ArcelorMittal IoT R&D Department.



Alejandro G. Pañeda is a Computer Science Engineer from the University of Oviedo, with an interest in the area of datamining, datawarehousing and big data systems. He is currently PhD in the University of Oviedo and Data Engineer in EDP.



Alejandro Casanova is a Telecommunications Engineer from the University of Oviedo and MS student, with an interest in the area of IoT and intelligent transportations systems. He is an Assistant Professor at the University of Oviedo.



Victor Corcoba is a Computer Science Engineer from the University of Granada and PhD from Universidad Carlos III, with an interest in the area of IoT and intelligent transportations systems.



Xabiel G. Pañeda is a Computer Science Engineer with a PhD from the University of Oviedo, with an interest in intelligent mobility, IoT, and mobile ad-hoc networks. He is an Associate Professor at the University of Oviedo.



Roberto García is a Telecommunications Engineer from The Technical University of Madrid with a PhD from the University of Oviedo, with an interest in telecommunication networks and services, data analytics and IoT. He is an Associate Professor at the University of Oviedo.



David Melendi is a Computer Science Engineer with a PhD from the University of Oviedo, with an interest in content distribution networks and big data. He is an Associate Professor at the University of Oviedo.