



Universidad Nacional
de Educación a Distancia

TESIS DOCTORAL

METODOLOGÍA Y SISTEMA DE APOYO PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO DE LA CONDUCCIÓN EFICIENTE EN VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN

ABEL RIONDA RODRÍGUEZ

Ingeniero en Informática por la Universidad de Oviedo

Tesis presentada en el

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control

Escuela Superior de Ingenieros Industriales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Como parte de los requerimientos para la obtención del

Grado de Doctor

2015

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE CONTROL
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Título de la Tesis Doctoral:

**METODOLOGÍA Y SISTEMA DE APOYO PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO DE
LA CONDUCCIÓN EFICIENTE EN VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN**

**METHODOLOGY AND SUPPORT SYSTEM FOR ACTIVE LEARNING OF
EFFICIENT DRIVING IN COMBUSTION VEHICLES**

Autor: Abel Rionda Rodríguez

Director: Gabriel Díaz Orueta

Co-director: Xabiel García Pañeda

Agradecimientos

Esta tesis ha sido también mi proyecto empresarial y por tanto una actividad a la que me he dedicado en cuerpo y alma durante los últimos 5 años.

No habría sido posible sin los "cimientos" que me han proporcionado mis padres desde la niñez. En especial quiero dedicarla a mi madre, excepcional persona atípica en su época, quien siempre me ha dado el optimismo y la fortaleza necesaria para esta carrera, gratificante y dura al mismo tiempo, que es la vida.

Por supuesto a mi hermano Ismael, una persona brillante, un padre para mí, generoso y paciente con su hermano pequeño desde siempre.

También a mi novia Adriana, una de las mejores personas que he conocido y con quien me encanta compartir momentos y experiencias.

Por supuesto a mis socios y amigos David y Fernando, este último del que he aprendido muchas cosas, una excelente persona sin duda.

Por último aunque no menos importante, a mis tutores Gabriel y Xabiel por su apoyo y paciencia. En especial agradecerle la confianza que tuviste en mí y en el proyecto Xabiel desde el principio, fuiste de los pocos.

“The best revenge is massive success”

Frank Sinatra

Resumen

En los últimos años los gobiernos y la sociedad en general han adoptado una postura más respetuosa y de concienciación hacia el medio ambiente. Los gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica han sido especialmente protagonistas, identificándolos como los causantes del llamado “cambio climático” y de múltiples enfermedades respiratorias que afectan a la población, especialmente en las grandes ciudades.

El transporte por carretera es uno de los principales generadores de estos gases nocivos a nivel mundial, siendo el mayor consumidor de energía final. Un aspecto clave a tener en cuenta es que este sector se apoya fundamentalmente en combustibles derivados del petróleo para poder operar, lo que ha tenido una consecuencia directa: el precio del petróleo, al ser este un recurso limitado, no ha dejado de subir en las últimas décadas. Este escalón de precios ha afectado a las compañías de este sector de forma determinante, dado que el combustible es su principal coste operativo.

Las administraciones han impulsado varias medidas para reducir este tipo de emisiones y la dependencia en los combustibles fósiles: desde el apoyo para la sustitución de los vehículos de combustión por otros basados en “tecnologías verdes”, pasando por el fomento del transporte público hasta el apoyo a la formación en conducción eficiente o la realización de auditorías energéticas. Algunas de ellas, como el cambio hacia el vehículo eléctrico no se producirá en el corto plazo de forma generalizada, por lo que se han que tomar otras medidas con buena relación de coste, beneficio y tiempo de aplicación. Una de estas medidas es un estilo de conducción más eficiente, que ha demostrado ahorros de combustible y reducción de emisiones en torno a un 10-15%, con otras ventajas añadidas como un mayor confort y seguridad, todo ello sin incrementar los tiempos de los desplazamientos.

El principal problema de la formación en conducción eficiente es que esta ha sido tradicionalmente puntual, sin un seguimiento continuado, lo que ha ocasionado que los beneficios de esta desaparecieran con el tiempo. Por un lado, el estado de la técnica en este campo, hasta donde nuestro conocimiento ha alcanzado, se ha centrado en demostrar los beneficios de la conducción eficiente en experimentos puntuales, sin un seguimiento continuo, sistematizado y a largo plazo. Los sistemas comerciales denominados comúnmente “sistemas de gestión de flota” que han aparecido en el mercado son herramientas muy centradas en el control y no en el aprendizaje para la mejora en la conducción.

El objetivo principal de esta tesis ha sido el diseño y la validación de una metodología y un sistema tecnológico de apoyo para el aprendizaje en conducción eficiente, que supusiera un avance frente al estado de la técnica en los siguientes aspectos. En primer lugar, la metodología debía de estar alineada con los nuevos paradigmas de formación *e-learning* que tan buenos resultados han dado en otros campos. En segundo lugar, esta debía estar diseñada para ser aplicada principalmente en empresas de transporte por carretera, por lo que tendría que tener beneficios adicionales para la propia empresa que impulsaran su aplicación, como ha sido la alineación de la metodología con normas de gestión energética. En tercer lugar, el sistema tecnológico construido para permitir la implementación de dicha

metodología, debía apoyarse en estándares y tecnologías *open source* para conseguir una mayor interoperabilidad y reducción de costes, además de disponer de un control total de la cadena de valor de extremo a extremo para la explotación comercial futura de los resultados de investigación.

Los casos de estudio desarrollados en empresas de transporte por carretera han permitido la validación satisfactoria de la metodología y del sistema tecnológico construido, así como la identificación de nuevas áreas de investigación para los próximos años. Un buen indicador de que esta tesis ha conseguido los objetivos inicialmente planteados es que los resultados están siendo explotados a nivel comercial en empresas de referencia del sector transporte por carretera a nivel nacional e internacional.

Abstract

In recent years, governments and the society as a whole, have adopted a more respectful and conscientious approach towards the environment. Greenhouse gases and air pollution have taken to the centre stage, being identified as the main contributors to what is known as “climate change”, as well as causing respiratory diseases affecting the population - especially in big cities.

Road transport being the largest final energy consumer, it has become one of the main generators of these poisonous gases worldwide. A key fact to consider is that this sector relies fundamentally on petrol derivatives as their operating fuel; something which bears a direct consequence: the prices of petrol - this being a limited resource - have continuously increased over the past decades. These escalating prices have had a significant impact on road transport companies, since fuel is their main operating cost.

Local administrations have fostered different measures to try and reduce this type of emissions, and the overall dependency on fossil fuel. Those range from incentives to replace combustion-type vehicles with ‘greener’ ones and boosting the use of public transport, to supporting efficient-driving learning and energy audits. Some initiatives, like the introduction of electric vehicles, will not become a widespread reality anytime soon – so it becomes necessary to embrace other measures which may offer optimal cost/benefit ratios and implementation times. One of those is the adoption of more efficient driving habits, which have been proven to save fuel and reduce emissions in a range of 10-15%, as well as deliver other benefits like increased safety and comfort – all done without augmenting travel times.

The main problem with efficient-driving training is that it has traditionally been applied in isolation, without an ongoing and consistent follow-up method, its benefits therefore vanishing over time. In a way, and as far as our knowledge has reached, research in this field has centred around demonstrating the benefits of efficient driving in isolated experiments lacking a continuous, systematic and long-term follow up. Commercial systems found in the current market, normally known as “fleet management systems”, are tools that merely focus on the control of driving, and not on learning towards improving the driving experience.

The principal aim of this thesis has been the design and validation of both a methodology and a technological support system for the learning of efficient driving that go beyond the current state of art, especially in the areas that follow. Firstly, the methodology had to be well aligned with the new e-learning paradigms which have proved to be so successful in other fields. Secondly, this methodology had to be designed to be applied mainly to road transport companies, and it would have to deliver additional benefits to such companies so that it could be quickly adopted. One of these benefits has been the alignment of the methodology with energy management standards Thirdly, the technological system developed to support the implementation of such methodology had to rely on open-source standards and technologies in order to achieve greater interoperability and cost reductions, as well as to be able to hold an end-to-end control of the value chain towards the future commercial exploitation of the research outcomes.

The case studies carried out on road transport companies have allowed for the successful validation of the methodology and developed technological system, as well as helped in identifying new areas of research for the upcoming years. One good indicator of this thesis having met the objectives initially set out is the fact that the data output of the research is being exploited commercially by reputed transport companies, both nationally and internationally.

Contenido

1	CAPÍTULO I: Introducción y Objetivos de la tesis	24
1.1	Introducción	24
1.2	Motivaciones	27
1.3	Objetivos	27
1.4	Estructura de la memoria	28
2	CAPÍTULO II: Estado del arte	30
2.1	Trabajos en el campo de la conducción eficiente.....	30
2.1.1	En el ámbito investigador y académico	30
2.1.2	En el ámbito industrial.....	43
2.2	Esfuerzos de estandarización y regulatorios	49
2.2.1	Interfaz FMS para vehículos industriales – <i>Fleet Management System</i>	50
2.2.2	Interfaz OBD-II – <i>On Board Diagnostics</i> –II- para vehículos tipo turismo.....	52
2.3	Trabajos en el campo de los tutores y los sistemas de aprendizaje	53
2.3.1	Sistemas de aprendizaje	53
2.3.2	Tutores.....	55
2.4	Conclusiones.....	58
3	CAPÍTULO III: Aportaciones	62
3.1	Introducción	62
3.2	Metodología de aprendizaje de conducción eficiente BLED (<i>Blended learning for efficient driving</i>).....	62
3.2.1	Fundamentos	63
3.2.2	Descripción general	63
3.2.3	Aprendizaje presencial	66
3.2.4	Tutorización durante la conducción: tutor embarcado/asistente en tiempo real.....	72
3.2.5	Sistema de <i>e-learning</i> y análisis <i>offline</i>	74
3.2.6	Sistema de evaluación del aprendizaje	76
3.2.7	Alineación con ISO 50001	84
3.3	Sistema de apoyo a la conducción eficiente CatedBox.....	86
3.3.1	Descripción general	86
3.3.2	Sistema embarcado.....	87

3.3.3	Sistema central.....	93
4	CAPÍTULO IV: Casos de estudio	102
4.1	Caso de estudio 1: Empresa Municipal de Transportes de Gijón (EMTUSA).....	102
4.1.1	Caracterización del estudio.....	102
4.1.2	Desarrollo del estudio	103
4.1.3	Resultados.....	104
4.1.4	Conclusiones	119
4.2	Caso de estudio 2: Compañía del Tranvía Eléctrico de Avilés (CTEA)	120
4.2.1	Caracterización del estudio.....	120
4.2.2	Desarrollo del estudio	121
4.2.3	Resultados.....	122
4.2.4	Conclusiones	136
4.3	Caso de estudio 3: Empresa Municipal de Limpieza de Gijón (EMULSA).....	137
4.3.1	Caracterización del estudio.....	137
4.3.2	Desarrollo del estudio	138
4.3.3	Resultados.....	139
4.3.4	Conclusiones	153
5	CAPÍTULO V: Resumen aportaciones, conclusiones y trabajos futuros.....	156
5.1	Resumen aportaciones. Conclusiones.....	156
5.2	Trabajos futuros.....	157
5.2.1	Nuevos paradigmas de cómo informar al conductor	157
5.2.2	Evaluación del conductor mediante técnicas analíticas avanzadas	157
5.2.3	Conducción segura además de eficiente	158
6	Referencias.....	162
7	ANEXO I: Publicaciones y otros resultados derivados de la Tesis	170
7.1	Artículos en revista	170
7.2	Ponencias en congresos	170
7.3	Patentes.....	171
7.4	Otras publicaciones.....	171
8	ANEXO II: Curriculum Vitae	172
8.1	Resumen.....	172
8.2	Artículos en revista	172

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

8.3	Ponencias en congresos	173
8.4	Patentes.....	174
8.5	Otras publicaciones.....	175
8.6	Participación en proyectos de convocatorias públicas de I+D+i.....	175
8.7	Participación en comités de estandarización	176
8.7.1	World Wide Web Consortium (W3C) 2006-2009.....	176
8.7.2	Comité técnico de normalización AENOR AEN/CTN 216"Eficiencia energética, cambio climático y energías renovables" 2014-2015	177
9	ANEXO III: Categorías de vehículos industriales a nivel europeo.....	178
10	ANEXO IV: Descripción de los <i>samples</i> JSON de la base de datos NoSQL CouchDB.....	179
11	ANEXO V: Esquema de diseño hardware del sistema embarcado	184
12	ANEXO VI: Esquema de diseño de base de datos SQL PosgreSQL.....	185

Índice de figuras

Figura 1: Evolución del consumo de carburantes en España.....	24
Figura 2: Nube producida por los gases generados a partir de los motores de los vehículos en Pekín.....	25
Figura 3: Estructura de costes de una compañía de autobuses urbanos (Fuente: [EMTUSA])	26
Figura 4: Ejemplo de reportes de un conductor y un vehículo de Volvo donde se ven datos relacionados con el estilo de conducción.....	45
Figura 5: Módulo asistente embarcado de Volvo para proporcionar información al conductor	45
Figura 6: Informe del estilo de conducción obtenido para un conductor basado en la herramienta FleetBoard.....	47
Figura 7: Informe de estilo de conducción generado por la herramienta de <i>Scania Fleet Management</i> ..	48
Figura 8: Aplicación de recomendación en tiempo real Fiat Ecodrive	49
Figura 9: Mensajes del interfaz FMS (Fuente [FMS2010]).....	51
Figura 10: Carta de los fabricantes recomendando el uso del estándar FMS (Fuente: [FMS2010]).....	52
Figura 11 : Localización del interfaz OBD-II en un turismo y sensor CatedBox conectado al mismo (Fuente [Rionda2012])	53
Figura 12: Mensajes proporcionados por el OBD-II [OBD1998] –denominados PIDs (Parameter ID) en relación a la conducción y utilizados por el sistema CatedBox [Rionda2012].....	53
Figura 13: Interfaz Ecodisplay propuesto por Wilfinger2009	56
Figura 14: Interfaz del tutor embarcado de Corcoba2014	57
Figura 15: Interfaz del tutor embarcado de Araujo2012.....	57
Figura 16: Proceso de aplicación de la metodología BLED	65
Figura 17: Imagen de un sesión teórica del curso inicial de la metodología	67
Figura 18: Imagen de un sesión práctica del curso inicial de la metodología.....	67
Figura 19: Transparencia utilizada para explicar los conceptos de Par motor y Potencia	68
Figura 20: Transparencia utilizada en el curso inicial en el caso de empresas de transporte de pasajeros urbanas	70
Figura 21: Ejemplo de informe de resultados de la formación inicial práctica.....	71
Figura 22: Alarmas de aceleración concentradas en una zona determinada, en una línea de autobús urbana.....	72
Figura 23: Aplicación de tutorización funcionando en un autobús urbano	73
Figura 24: Mapas con alarmas para el análisis detallado de las rutas	75
Figura 25: Portal del experto en conducción eficiente con la posibilidad de introducir comentarios para la evaluación del progreso de aprendizaje.....	75
Figura 26: Portal de seguimiento a nivel de responsable de la flota donde pueden consultarse datos por vehículo y conductor, así como efectuar la descarga de informes y de la información presentada en tablas	76
Figura 27: Alarma roja de revoluciones de motor (RPM) en el asistente embarcado	77
Figura 28: Informe mensual de conductor	79
Figura 29: Informe conductor (cabecera, posición ranking, tabla resumen).....	80
Figura 30: Hoja de interpretación del informe que se entrega al conductor	81

Figura 31: Informe conductor (detalle evolución consumo)	82
Figura 32: Informe conductor: Evolución de los indicadores conducción y comentarios personalizados del experto en conducción eficiente.....	82
Figura 33: Informe mensual para el responsable de la flota	83
Figura 34: Arquitectura del sistema CatedBox.....	87
Figura 35: Arquitectura y módulos del sistema embarcado.....	89
Figura 36: Componentes del sistema hardware embarcado.....	90
Figura 37: Señales del conector general propietario del sistema embarcado.....	91
Figura 38: Aspecto del interfaz Tech4AllFleet del sistema embarcado.....	92
Figura 39: Algunas conexiones analógicas al cuadro de instrumentos en vehículo Scania EURO II. Ejemplo de Tech4allfleet.....	92
Figura 40: Aspecto de la pantalla del asistente embarcado	93
Figura 41: Subsistemas <i>front-end</i> y <i>back-end</i> del sistema central y relación con otros subsistemas.....	94
Figura 42: <i>Sample</i> en formato JSON que conforma la unidad de envío al sistema central –base de datos noSQL- por parte del sistema embarcado	95
Figura 43: Campos y descripción de un mensaje fin de ruta que se almacena en el repositorio central, base de datos SQL, tabla <i>route</i>	96
Figura 44: Formato y ejemplo del contenido de un fichero de información de turnos	97
Figura 45: Funcionamiento del directorio central de servicios.....	98
Figura 46: Subsistema de gestión TI e interacción con el subsistema <i>front-end/back-end</i> y directorio de servicios	99
Figura 47: Portal web privado para investigación de incidencias de sistemas embarcados CatedBox	99
Figura 48: Instalación en un autobús de EMTUSA. Año 2013.....	102
Figura 49: EMTUSA-Evolución interanual del consumo	104
Figura 50: Comprobación de la normalidad general y por año	105
Figura 51: <i>Boxplot</i> del contraste de medias	106
Figura 52: Desempeño Línea 15 (Consumo y Aceleración)	107
Figura 53: Desempeño Línea 12 (Consumo y Aceleración)	108
Figura 54: Desempeño Vehículo 350.....	109
Figura 55: Evolución de Consumo Conductor 37	110
Figura 56: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 37.....	111
Figura 57: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 37.....	112
Figura 58: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 37	112
Figura 59: Evolución de Consumo Conductor 38	113
Figura 60: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 38.....	114
Figura 61: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 38.....	115
Figura 62: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 38.....	115
Figura 63: Evolución de Consumo Conductor 20	116
Figura 64: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 20.....	117
Figura 65: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 20.....	118
Figura 66: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 20	118
Figura 67: Instalación en un autobús de CTEA. Año 2014	120

Figura 68. CTEA-Evolución interanual del Consumo	122
Figura 69: Comprobación de la normalidad general y por año	123
Figura 70: <i>Boxplot</i> del contraste de medias	124
Figura 71: Desempeño Línea 1 (Consumo y Aceleración)	125
Figura 72: Desempeño Línea 5 (Consumo y Aceleración)	126
Figura 73: Desempeño Línea 6 (Consumo y Aceleración)	127
Figura 74: Evolución de Consumo Conductor 30	128
Figura 75: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 30.....	129
Figura 76: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 30.....	129
Figura 77: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 30.....	130
Figura 78: Evolución de Consumo Conductor 16	131
Figura 79: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 16.....	132
Figura 80: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 16.....	132
Figura 81: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 16.....	133
Figura 82: Evolución de Consumo Conductor 7	134
Figura 83: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 7.....	135
Figura 84: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 7.....	135
Figura 85. Segundos de Alarmas de Ralentí Conductor 7.....	136
Figura 86: Instalación del sistema embarcado en EMULSA.....	138
Figura 87: Jornada de formación inicial con vehículos de EMULSA.....	138
Figura 88: Comprobación de la normalidad general y por año	140
Figura 89: <i>Boxplot</i> del contraste de medias	141
Figura 90: Evolución temporal de Consumo y Alarmas de Aceleración	142
Figura 91: Polibrazo – Evolución temporal de Consumo y Alarmas de Aceleración.....	143
Figura 92: Barredora – Evolución temporal de Consumo y Alarmas de Aceleración.....	143
Figura 93: Conductor 6A84 –Evolución temporal de Consumo.....	144
Figura 94: Conductor 6A84 – Evolución temporal de Alarmas de Aceleración	145
Figura 95: Conductor 6A84 –Evolución temporal de Alarmas de Deceleración	146
Figura 96: Conductor 6A84 – Evolución temporal de Alarmas de Ralentí.....	146
Figura 97: Conductor AC1 –Evolución temporal de Consumo.....	147
Figura 98: Conductor AC1 Evolución temporal de Alarmas de Aceleración.....	148
Figura 99: Conductor AC1-Evolución temporal de Alarmas de Deceleración.....	149
Figura 100: Conductor AC1 Evolución temporal de Alarmas de Ralentí	149
Figura 101: Conductor 91 – Evolución temporal de Consumo	150
Figura 102: Conductor 91 - Evolución temporal de Alarmas de Aceleración	151
Figura 103: Conductor 91 – Evolución temporal de Alarmas de Deceleración	152
Figura 104: Conductor 91 – Evolución temporal de Alarmas de Ralentí.....	152
Figura 105: Ejemplo de interfaz HUD [Fuente: Navdy www.navdy.com]	157
Figura 106: Esquema de diseño hardware del sistema embarcado.....	184
Figura 107: Esquema de diseño de base datos SQL PostgreSQL (I de III)	185
Figura 108: Esquema de diseño de base datos SQL PostgreSQL (II de III)	186
Figura 109: Esquema de diseño de base datos SQL PostgreSQL (III de III)	187

Índice de tablas

Tabla 1: Datos del experimento formativo de Wahlberg2002	31
Tabla 2: Datos del experimento formativo de Wahlberg2007	32
Tabla 3: Datos del experimento formativo de Zarkadoula2007	33
Tabla 4: Datos del experimento formativo de Strömberg2013	34
Tabla 5: Datos del experimento formativo de Symmons2009	36
Tabla 6: Datos del experimento formativo de Beusen2009	37
Tabla 7: Datos del experimento formativo de Andrieu2012	38
Tabla 8: Datos del experimento formativo de Liimatainen2011	40
Tabla 9: Umbrales por tipo de vehículo a partir de los cuales se genera una alarma. (Fuente [Rionda2015b])	78
Tabla 10: Correspondencia entre apartados de la ISO 50001 y características de la metodología BLED y sistema de soporte CatedBox	85
Tabla 11: Características del sistema embarcado, componentes hardware	90
Tabla 12: Características del sistema embarcado, interfaz Tech4AllFleet	91
Tabla 13: Características técnicas de la pantalla de asistente embarcado	93
Tabla 14: Características de las Rutas 12 y 15	103
Tabla 15: Característica de las Rutas 1, 5 y 6	121
Tabla 16: Característica de los vehículos gestionados en el caso de estudio de EMULSA	137
Tabla 17: Categorías de vehículos según la Directiva 2007/46/CE	178
Tabla 18: Descripción de los <i>samples</i> JSON de la base de datos NoSQL CouchDB	179

Glosario de Términos

- **APK** (*Application Package File*): es una extensión de archivo que contiene a una aplicación ejecutable en el sistema operativo Android.
- **B-learning** (*Blended learning*): es un modelo de educación en el cual se mezclan actividades de educación a distancia por medios electrónicos (*e-learning*) con formación tradicional de tipo presencial.
- **Conducción eficiente** (*CE*): la conducción eficiente consiste en una serie de técnicas de manejo de los vehículos que, unidas a un cambio en la actitud del conductor, dan lugar a un nuevo estilo de conducción acorde a las nuevas tecnologías y sistemas que incorporan los vehículos modernos. La conducción eficiente implica una mejora del confort, un aumento de la seguridad vial y una disminución del tiempo de viaje. Consigue además una disminución del consumo de carburante y de emisiones al medio ambiente asociadas, así como una reducción del coste de mantenimiento [IDAE2011]
- **Contexto de la conducción**: el contexto son todas aquellas variables que afectan a la eficiencia de la conducción: Ejemplos de estas variables son el estado de mantenimiento del vehículo, el estado de ánimo del conductor, el estado del tráfico, el tipo de ruta o la meteorología.
- **CMDB** (*Configuration Management Data Base*): identifica a la base de datos de gestión de la configuración, elemento necesario para llevar a cabo una gestión de un servicio de tecnologías de la información basado en estándares como la ISO 20000 [ISO20000]. Ej. gestión de incidencias, problemas o registro de los elementos hardware y software.
- **Cursos y seminarios presenciales de formación**: son eventos planificados en los que un experto en conducción eficiente instruye, asesora y evalúa de forma presencial a conductores de vehículos industriales o turismos.
- **Económetro**: es un sistema que informa del consumo de combustible de un vehículo, normalmente en función de la distancia o del tiempo transcurrido.
- **ECU** (*Electronic Control Unit*) o **centralita**: unidad de control electrónico responsable de la gestión y administración centralizada de los diferentes sistemas que constituyen el vehículo, fundamentalmente los mapas de combustión del motor en base a la información recibida de los sensores relevantes.
- **Experto en conducción eficiente**: persona que dispondrá de experiencia y acreditación probada como formador en cursos prácticos de conducción eficiente. Se encarga de asesorar a los conductores sobre cómo ser más eficientes a la hora de manejar un vehículo. Asimismo será el responsable de llevar a cabo las evaluaciones de los mismos y proporcionarles recomendaciones personalizadas.
- **Gamification**: se refiere al proceso de introducir conceptos del diseño de juegos en contextos diferentes – como por ejemplo en el puesto de trabajo-, para aumentar la motivación, participación y productividad de los usuarios.

- **Geovallado:** es una técnica por la cual se definen áreas geográficas a partir de las cuales pueden activarse determinados eventos y alarmas, por ejemplo cuando son atravesadas por un vehículo.
- **Grupo de vehículos:** se refiere a un conjunto de vehículos de características similares (ejemplo: misma marca y modelo) y/o que realizan servicios similares (ejemplo: tipo de ruta).
- **Interfaz FMS (*Fleet Management System*):** es una interfaz estándar para los datos del vehículo de los vehículos industriales. Es obligatorio para todos los vehículos industriales a partir de la normativa EURO VI. La disponibilidad de este interfaz unifica el conjunto de información de entrada para el sistema de seguimiento del vehículo. [FMS2010]
- **Interfaz OBD-II (*On board diagnostics - II*):** es una interfaz estándar para el diagnóstico y mantenimiento de los vehículos. Es obligatorio para los vehículos turismo a nivel europeo desde los años 2001 y 2003 (gasolina y diésel, respectivamente). Este interfaz también proporciona un conjunto de información relativa a la conducción que posibilita el diseño de un sistema de seguimiento del vehículo para el caso de vehículos tipo turismo. [OBD1998]
- **Documento JSON (*JavaScript Object Notation*):** es un formato de intercambio de información en modo texto utilizado por los servicios web tipo REST.
- **Learning-by-doing:** es un concepto proveniente de la teoría económica. Se refiere a la capacidad de mejorar en un ámbito del conocimiento a través de la repetición regular de algún tipo de actividad. La mejora en la realización de la tarea llegará a través de la práctica y pequeñas innovaciones en el proceso.
- **Línea base:** en un contexto de un sistema de gestión de la conducción eficiente, referencia cuantitativa que proporciona la base para poder comparar con la información recogida en el futuro. La línea base será calculada a partir de los indicadores y métricas de conducción eficiente sobre los que se soporta el sistema de gestión.
- **Long term learning o life-long learning (o aprendizaje permanente):** se refiere a la búsqueda progresiva, voluntaria y automotivada de algún tipo de conocimiento pensando tanto el desarrollo personal como profesional. Se incluyen todas las actividades de educación general, educación y formación profesional, educación no formal y aprendizaje informal emprendidas a lo largo de la vida, que permitan mejorar los conocimientos, las aptitudes y las competencias con una perspectiva personal, cívica, social y/o laboral.
- **Mapmatching:** constituye una técnica por la cual se corrigen coordenadas GPS para asociarlas a vías de comunicación. El *mapmatching* es necesario cuando el GPS es impreciso habilitando el análisis geográfico sensible a la vía. Ej. en entornos urbanos la posición GPS de un vehículo que circula por una calle puede corresponder erróneamente a un edificio adyacente a dicha calle.
- **M-learning (*Mobile learning*):** es una variante del aprendizaje a través de medios electrónicos en la que se utilizan dispositivos móviles como tabletas, teléfonos o reproductores MP3/MP4.
- **Normativa de emisiones:** conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos, depende del año de fabricación del vehículo: puede ser EURO3, EURO4, La normativa EURO es un indicativo de la información disponible de entrada para el sistema de seguimiento del vehículo.

- **Plataforma de análisis y aprendizaje fuera del vehículo:** sistema capaz de permitir al conductor, el responsable de una flota y al experto en conducción eficiente el análisis de trayectos realizados con un vehículo, el estudio de los indicadores de conducción eficiente y la elaboración y recepción de consejos de mejora.
- **Programación OTA (*Over The Air*):** se refiere a la forma de distribuir aplicaciones a dispositivos móviles como sistemas embarcados o teléfonos móviles.
- **Reverse geocoding:** constituye una técnica por la cual se obtiene información de calles y vías a partir de coordenadas de localización GPS.
- **Sistema embarcado:** sistema capaz de extraer información del funcionamiento del vehículo, generalmente mediante la recepción de información de la centralita para ser procesada. El sistema debe ser capaz de proporcionar al conductor información durante su conducción. La conexión a la centralita de los sistemas embarcados se realiza normalmente por medio del Interfaz FMS u OBD-II.
- **Servicio Web REST (*Representational State Transfer*):** son un tipo de servicios web diseñados sobre el protocolo HTTP, que intercambian información textual basada en notación tipo JSON, aunque permiten otro tipo de notaciones.
- **Tacógrafo:** dispositivo que registra ciertos eventos en la conducción de un vehículo industrial, como velocidades máximas o tiempos de paradas. Su utilización es obligatoria en aquellos vehículos industriales que realizan ciertos servicios, principalmente extraurbanos.
- **Vehículo industrial:** se refiere con carácter general a aquellos vehículos de tipo no turismo, es decir que prestan servicios logísticos de transporte de mercancías o transporte de viajeros, o servicios de medioambiente. Al respecto de las categorías comprendidas para dichos vehículos industriales, los servicios mencionados son prestados normalmente con vehículos de categoría: M2 y M3 en transporte de viajeros; N2 y N3 en transporte de mercancías o servicios de medio ambiente (véase ANEXO III: CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS INDUSTRIALES A NIVEL EUROPEO).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS

1.1 Introducción

El transporte por carretera es uno de los sectores que más energía demanda a nivel mundial. Para su abastecimiento depende además de los combustibles fósiles, como el petróleo, lo que implica dos problemas fundamentales:

Recursos limitados: Los combustibles fósiles son fuentes agotables de energía, y esta escasez ocasiona escaladas de precios, que perjudican al sector y en general a la economía de un país. En este sentido el incremento del consumo a nivel mundial convierte a los combustibles fósiles en un bien escaso que eleva sus precios de forma continuada. Por ejemplo en España el consumo de carburantes no ha dejado de crecer desde que se tienen registros, únicamente esta tendencia se ha atenuado en los últimos años debido a la crisis. En la [figura 1](#) se muestra el consumo de gasolinas y gasóleos en España entre el año 1996 y 2012 [CNE2013].

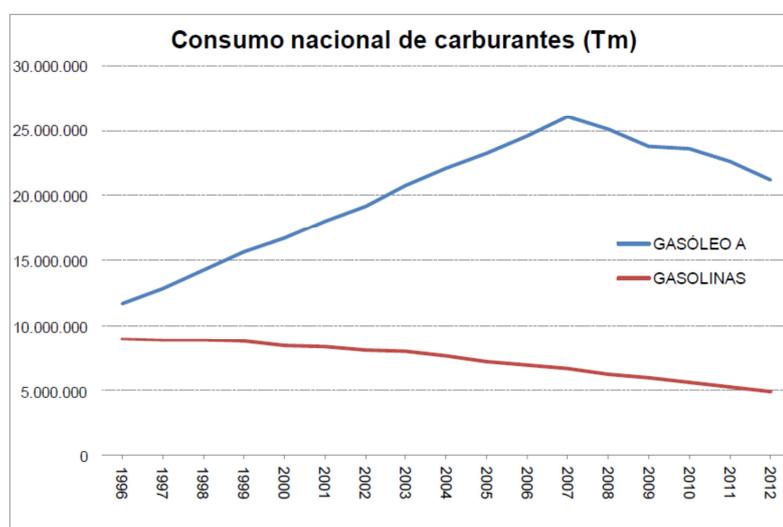


Figura 1: Evolución del consumo de carburantes en España

Impacto medioambiental: La combustión de los combustibles fósiles provoca emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y de diversos tipos de contaminantes. La acumulación en la atmósfera de CO₂ es el principal causante del llamado “efecto invernadero” y por tanto generador del “cambio climático” [Ramanathan2009]. Los contaminantes (Monóxido de carbono - CO, Óxidos de Nitrógeno -NOx, partículas-PM10, PM2.5, etc.) afectan a la calidad del aire, y esto es especialmente peligroso en las

ciudades, donde la concentración de vehículos es elevada, ya que generan nubes que hacen el aire irrespirable. En algunas grandes ciudades como Londres o Pekín (figura 2) ha provocado que la circulación de vehículos haya tenido que ser restringida. En este sentido, diversos estudios han relacionado el aumento de estos contaminantes con diferentes problemas de salud como las enfermedades cardiovasculares y respiratorias [Kinney2000, Loh2002].



Figura 2: Nube producida por los gases generados a partir de los motores de los vehículos en Pekín

Para paliar ambos problemas, varios países se han propuesto poner en marcha medidas que permitan primeramente medir el impacto generado por la contaminación generada y seguidamente intentar reducir sus efectos. En el caso de la Unión Europea, esta ha promovido la directiva [2009/30/EC] encaminada a controlar las especificaciones de los carburantes en su ciclo de vida para reducir sus emisiones. También las normativas de emisiones Euro (las últimas EURO V y EURO VI [715/2007/EC]) han contribuido de manera directa a la disminución de estas emisiones al ir imponiendo limitaciones y restricciones a los fabricantes de vehículos en materia de emisiones de gases contaminantes. Otra de las medidas promovidas desde la Unión Europea ha sido la directiva de eficiencia energética [2012/27/EC]. Esta directiva impone que todas las grandes empresas (según definición de la UE) deben realizar una auditoría energética cada 4 años (la primera antes del 5 de diciembre de 2015) o tener implantado un sistema de gestión energética o ambiental, como es la ISO 50001. [ISO50001]. Este es el principal motivo por el que la implantación de sistemas de calidad de este tipo se ha popularizado recientemente entre las compañías de transporte por carretera.

Dentro de la lista de acciones para reducir el impacto varios países han emprendido planes de renovación de vehículos, como por ejemplo en España los planes RENOVE o PIVE. La sustitución de vehículos antiguos mucho más contaminantes por nuevos que incorporan nuevos elementos técnicos como sistemas *Start&Stop*, catalizadores y filtros, sistemas electrónicos para el control de la inyección o utilizan medios de alimentación alternativa como los coches híbridos contribuye de forma directa a la reducción de las emisiones.

Otra de las acciones impulsadas por los gobiernos es buscar la mejora de la eficiencia en la conducción. En este sentido diversos países han desarrollado planes y subvenciones para cursos de formación que introduzcan técnicas de conducción eficiente a los profesionales del sector. Así por ejemplo, podemos destacar el proyecto europeo [TREATISE2005] (2005-2007) en el que participaron siete países europeos a través de sus respectivas agencias de energía (IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía- en el caso de España) y en el que se impulsaron acciones de formación y material específico para el impulso de la conducción eficiente. Desde entonces y hasta la actualidad se han seguido impulsando acciones desde las administraciones de distintos países europeos, en el caso de España a través del IDAE con el último programa de ayudas para actuaciones de cambio modal y uso más eficiente de los modos de transporte en 2015 [BOE 2015-4990]

En lo que se refiere a las empresas del sector el continuo incremento de precios del combustible ha convertido a este gasto en uno de los más importantes, solamente superado por los costes de personal. En la figura 3 se puede observar la partida de aprovisionamientos, donde el elemento principal es el combustible, representan un 17% de los costes de una empresa de transporte público tipo urbano. Este creciente impacto de los costes operativos hace que las propias compañías hayan tenido que tomar medidas a través de renovación de flotas, mantenimiento predictivo o programas de conducción eficiente.

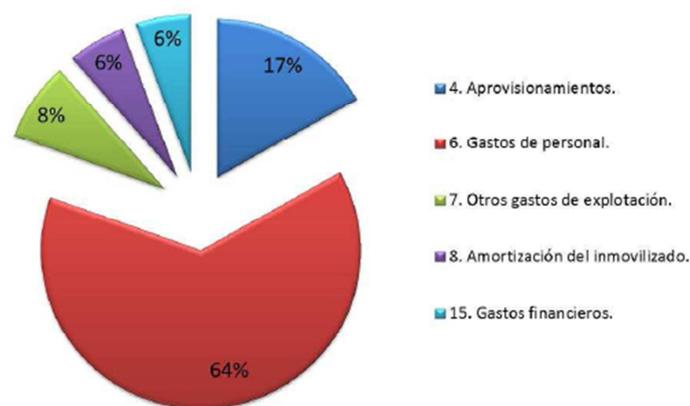


Figura 3: Estructura de costes de una compañía de autobuses urbanos (Fuente: [EMTUSA])

Dentro del abanico de medidas que pueden hacer reducir el consumo de combustible por parte de los vehículos y por tanto sus efectos contaminantes es importante destacar los programas de conducción eficiente. Estos tienen dos elementos muy ventajosos sobre el resto de acciones: En primer lugar, tienen un coste reducido, ya que no implican grandes adquisiciones, y en segundo lugar, pueden aplicarse tanto a vehículos nuevos como antiguos. De esta forma se pueden aplicar de forma generalizada, siempre y cuando, se tengan en cuenta el funcionamiento particular de la mecánica y electrónica de cada vehículo y las características específicas de cada servicio.

En la actualidad los programas de conducción eficiente que impulsan tanto administraciones como compañías están fundamentalmente basados en cursos de formación o sistemas de monitorización

relativamente básicos, sin incidir en aspectos como la adaptación al contexto del conductor o la determinación de las causas para la mejora o el empeoramiento de la eficiencia. Además tampoco se realiza un seguimiento continuo de cómo son los resultados obtenidos tras la formación y su durabilidad a lo largo del tiempo. Actualmente todos estos elementos relacionados con la consolidación práctica del conocimiento a lo largo del tiempo son un campo abierto de investigación que necesita de nuevos diseños y análisis.

1.2 Motivaciones

El impacto producido por el transporte por carretera a nivel global hace que se tengan que desarrollar sistemas, técnicas y procesos orientados a reducirlo. Una de estas medidas es la conducción eficiente que destaca entre las otras por poder aplicarse a todos los vehículos y no tener un alto coste, ya que no es necesario realizar costosas renovaciones de flotas. La motivación de esta tesis doctoral es la de desarrollar el proceso de conducción eficiente para que sus resultados sean persistentes en el tiempo. La puesta en práctica de técnicas de conducción eficiente es un proceso de aprendizaje que debe de ser tratado como tal. Cómo se debe realizar la formación, cómo se evalúa, cómo se hace un seguimiento de su puesta en práctica y cómo se detecta si los resultados se hacen perdurables en el tiempo, son temas que los estudios en el tema todavía no han abordado con profundidad. Todos ellos son fundamentales si se quiere que los programas tenga éxito y la inversión realizada, menor que en otro tipo de acciones, sea fructífera.

Esta tesis doctoral tendrá como principal motivación el realizar las aportaciones necesarias para que los programas de conducción eficiente puedan ser una alternativa real en la reducción del consumo de combustible por parte del transporte por carretera. Para ello deberán diseñarse métodos y tecnologías capaces de hacer que las habilidades conseguidas se pongan en práctica y sean perdurables en el tiempo.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis doctoral es la creación de todos los elementos necesarios para el desarrollo de un proceso de aprendizaje para la mejora de la conducción eficiente. Dicho proceso deberá realizarse en el contexto del puesto de trabajo, es decir en el vehículo, donde el conductor desarrolla su actividad laboral. Este objetivo principal se desglosará en los siguientes objetivos parciales:

1. Diseño de un método de *e-learning* para conducción eficiente basada en los paradigmas de *blended-learning*, *long-term learning* y *learning by doing*.
2. Diseño de un sistema tecnológico capaz de recoger información sobre el comportamiento del vehículo que permita evaluar la actividad del conductor al volante y darle recomendaciones y/o alarmas sobre las acciones realizadas.

3. Estudiar la alineación del método de aprendizaje diseñado para su utilización en procesos de certificación ISO 50001 de Eficiencia Energética, por la importancia de este tipo de certificaciones entre las empresas con flotas de vehículos.
4. Evaluación del método y del sistema en casos de estudio con características diversas para determinar la calidad y la viabilidad de la propuesta.

1.4 Estructura de la memoria

La memoria de esta tesis doctoral se ha estructurado de la siguiente forma. Después del capítulo de introducción, el **Capítulo II** hace un recorrido por todos los trabajos relacionados con la tesis tanto en el ámbito más académico como industrial.

En el **Capítulo III** se desarrollan las contribuciones de la tesis doctoral. Por un lado se presenta el método de aprendizaje diseñado, y por otro, la tecnología diseñada para soportar el mismo.

En el **Capítulo IV** se presentan dos casos de estudio en los que se ha puesto en marcha el método de aprendizaje e implantado la tecnología que lo soporta.

En el **Capítulo V** se presenta un resumen de las aportaciones realizadas en la tesis, las conclusiones obtenidas y una breve descripción de las líneas de investigación futuras.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2 CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 Trabajos en el campo de la conducción eficiente

2.1.1 En el ámbito investigador y académico

En los últimos años han aparecido numerosos trabajos en el campo de la conducción eficiente. Este aumento de interés por parte de la comunidad científica puede ser explicado por varios factores. Los vehículos modernos provistos de centralitas electrónicas han permitido realizar experimentos de análisis y observación de la conducción de forma más sencilla y menos intrusiva que mediante la utilización de otros sistemas para vehículos más antiguos (ej. sensorizaciones analógicas). También ha contribuido a este aumento de publicaciones la aparición del ecosistema tecnológico que hace más sencillos estos experimentos (redes móviles, sistemas embarcados electrónicos, etc.) y también el interés desde los gobiernos de popularizar este estilo de conducción mediante guías, recursos económicos de apoyo y proyectos de evangelización. Claros ejemplos de este esfuerzo son los proyectos europeos TREATISE o *Ecodrive* [Ecodrive2007], que dieron lugar a publicaciones y guías de conducción eficiente en las agencias de energía de los países miembro, como es el caso del IDAE en España [IDAE 2011].

En este apartado se presentan los distintos trabajos estudiados. Se hará un foco especial a los trabajos con aplicación en colectivos de conductores profesionales de vehículos industriales, pues es el interés y aportación principal de la presente tesis. Se han identificado varias áreas de trabajo, según el campo específico que estudian dentro de la conducción eficiente:

- Métodos y eficacia para llevar a cabo formación en conducción eficiente.
- Indicadores y modelos para realizar seguimiento de la conducción eficiente.
- Otros aspectos publicados en torno a la conducción eficiente.

2.1.1.1 Métodos y eficacia para llevar a cabo formación en conducción eficiente

Existe bastante literatura en la evaluación de métodos formativos. Normalmente estos experimentos no son de larga duración y no realizan una validación en profundidad de los indicadores de conducción eficiente, teniendo el consumo un peso importante en muchos de ellos. [Wahlberg2002] es uno de los primeros trabajos encontrados en los que se evalúa los efectos de la conducción eficiente a través de soporte tecnológico para la medición.

El experimento se realizó sobre conductores profesionales en tramos de una ruta urbana sobre un vehículo de servicio equipado con un sistema de medición propiedad de Siemens. Las características del experimento se resumen en la [tabla 1](#):

Tabla 1: Datos del experimento formativo de Wahlberg2002

Tipo de flota y tamaño	1 Línea bus urbano (cambio automático), 35 conductores
Duración del experimento	Días (solo durante formación presencial teórico/práctica)
Aproximación formativa	Registro de información conducción durante dos sesiones formativas: Sesión libre vs sesión guiada. Recomendaciones solo por parte del formador
Indicadores utilizados	Aceleración/Deceleración media (m/s ²) por km, consumo (l/100km)
Resultados/conclusiones	5,7 % reducción de consumo entre sesiones.

Se trató de un experimento puntual de días, sin un seguimiento de la evolución de los resultados en las siguientes semanas. Este se basó en que cada conductor realizara una ruta libre y otra guiada, esta última con recomendaciones por parte de un formador.

Los indicadores monitorizados fueron basados en aceleraciones y deceleraciones obtenidos a partir de la velocidad instantánea (derivada de la velocidad), además del consumo. Uno de los problemas apuntados por el autor con respecto a los indicadores de aceleración es la falta de consenso en cómo informarlos. En este caso optó por la aceleración/deceleración media por kilómetro en cada ruta. Los resultados mostraron que la aceleración media aumentaba en la ruta guiada, mientras que la deceleración media disminuía (Correspondiente con menores eventos de actuaciones sobre el freno).

El autor apuntó en su momento la necesidad futura de investigar en métricas complejas que correlen con el consumo, además de en métodos de informar al conductor.

En [Wahlberg2007] el autor profundiza en su trabajo anterior de 2002 en el que evaluaba la reducción de consumo entre sesión libre y guiada en una formación teórico-práctica. Mantiene las principales métricas (acel/dece media por km), pero realiza un estudio a largo plazo (aprox. 2 años) con las características que se muestran a continuación en la [tabla 2](#).

Tabla 2: Datos del experimento formativo de Wahlberg2007

Tipo de flota y tamaño	28 autobuses
Duración del experimento	24 meses
Aproximación formativa	<ul style="list-style-type: none">• 12 meses monitorización de aceleraciones/deceleraciones y consumo de surtidor• Curso de conducción eficiente (teórico /práctica)• 6 meses de monitorización de las variables anteriores (sin ningún refuerzo formativo)• 6 meses con dispositivo económetro (informando solamente del consumo de combustible) Durante todo el experimento se registró el historial de accidentes de la compañía para buscar algún tipo de correlación entre conducción eficiente y reducción de accidentes.
Indicadores utilizados	Aceleración/Deceleración media (m/s ²) por km, consumo (l/100km)
Resultados/conclusiones	2% de reducción mantenida por la formación durante los 12 meses posteriores. 2% de reducción por la utilización de económetro. No se pudieron concluir reducción de siniestralidad por conducción eficiente

Una de las conclusiones de autor es la baja correlación entre los indicadores (acel/decel) y la reducción de consumo: mientras que es alta en las sesiones formativas, esta no se mantiene con el tiempo. Todo ello hace apuntar a que se necesita un modelo de métricas más complejas y que tengan en mayor consideración el contexto de la conducción. El trabajo destaca que se tuvieron en cuenta el peso de los vehículos (a partir de los tickets) y las condiciones meteorológicas para realizar las comparativas, pero se echa en falta la exploración de otras métricas más complejas de conducción eficiente (ej. patrones de aceleración-frenada por ejemplo o la inercia).

Los bajos resultados de ahorro conseguidos ponen en cuestión el método formativo que se ha llevado a cabo: salvo por la aparición en el mes seis del económetro, los conductores no recibieron ninguna información ni recomendación para la mejora. El propio autor apunta como el gran desafío de la conducción eficiente hacer el aprendizaje permanente.

En [Wahlberg2006] se realiza una implementación formativa similar a otros trabajos de este autor, pero en este caso se busca una correlación entre la conducción eficiente y el confort de los pasajeros. Para ello se centra en una medición objetiva de las aceleraciones fuertes y otra subjetiva entre los viajeros basada en encuestas, antes y después de una formación en conducción eficiente. El autor no consigue demostrar una correlación significativa entre ambos, buscando la explicación, por un lado, en haber utilizado solamente aceleraciones fuertes y, por otro, en el proceso de la toma de las encuestas (los conductores eran conscientes en muchos casos y por tanto estaban influenciados).

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

Existen varios trabajos adicionales en el campo de la formación, en los cuales se va viendo la evolución de la tecnología de soporte, desde simples mediciones en los primeros hasta la utilización de asistentes embarcados en los más recientes.

[Zarkadoula2007] presenta los resultados de una formación en dos autobuses y correspondientes conductores del transporte urbano de Atenas. Constituye un trabajo que evalúa los efectos a medio plazo (pocos meses), teniendo una duración intermedia entre los dos trabajos de Walhberg 2002 y 2007. En este caso no hay ningún tutor a bordo más allá de la formación inicial.

En la [tabla 3](#) se muestra los datos relevantes del experimento:

Tabla 3: Datos del experimento formativo de Zarkadoula2007

Tipo de flota y tamaño	2 autobuses urbanos (Atenas). Sin especificar número conductores
Duración del experimento	3,5 meses (1,5 mes línea base + 2 monitorización sin asistencia)
Aproximación formativa	Formación teórica práctica presencial Sin sistema de asistencia posterior
Indicadores utilizados	Consumo (l/100km) Tiempo de desplazamiento (min)
Resultados/conclusiones	4,35% reducción de consumo

El enfoque formativo se basa en tener un sistema de monitorización (empresa VDO [VDO2015]) disponiendo de las siguientes fases:

- 1,5 mes midiendo antes de la formación (línea base)
- Formación teórica práctica con la siguiente estructura:
 - Ruta libre de 15km.
 - Sesión teórica
 - Ruta guiada de 15 km.
- 2 meses de monitorización sin ningún sistema de recomendación posterior.

En la formación teórica práctica se consiguieron resultados medios del 10,2% de reducción de consumo manteniendo o incluso reduciendo los tiempos de desplazamientos. Lo más destacable es que una vez concluida la formación, no hay sistema de asistencia posterior al conductor (ni informes ni asistente embarcado) por lo que este trabajo es un buen indicador del efecto de ahorro transcurridos dos meses desde una formación puntual tradicional en conducción eficiente. El ahorro medio fue de 4,35%, lo cual puede ser considerada como una cota inferior de los efectos que puede ser elevada si se incorporan otros elementos a la metodología formativa (específicamente a la parte de seguimiento tras la formación).

[Strömberg2013] presenta una comparativa de la eficacia de dos aproximaciones para implementar la conducción eficiente aplicada a los autobuses de una línea de bus urbano en Suecia: una basada solamente en un asistente a bordo y otra basada en formación y en el asistente a bordo. Constituye uno

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

de los primeros trabajos donde se evalúa un asistente a bordo (más allá del económetro utilizado por Wahlberg2007 en el que solo se informa del consumo de combustible).

A continuación se muestra en la tabla 4 resumen con las características del mismo.

Tabla 4: Datos del experimento formativo de Strömberg2013

Tipo de flota y tamaño	1 Línea bus urbano, 54 conductores
Duración del experimento	6 semanas (3 línea base + 3 asistencia) Noviembre-Diciembre
Aproximación formativa	3 grupos (1 control, 1 asistente a bordo, 1 formación + asistente a bordo) Encuestas de conclusiones
Indicadores utilizados	Tiempo ralentí (%), Exceso velocidad (%), Deceleraciones/100km, Inercia (%), consumo (l/100km)
Resultados/conclusiones	6,8% reducción de consumo, poca variación entre aproximaciones

Este trabajo se desarrolló con conductores profesionales de una línea urbana, cuya velocidad media de servicio es de unos 22km/h, lo cual revela que se trata de una línea fluida y sin mucha congestión, a pesar de ser urbana. En este tipo de líneas rápidas la aplicación de las técnicas de conducción eficiente es más sencilla y también son más contenidos los ahorros posibles.

El asistente a bordo utilizado en uno de los grupos proporcionaba recomendaciones al final de ruta. Estas recomendaciones se transmiten en forma de diagrama de barras donde se muestran cómo está el conductor con respecto a los objetivos de la compañía en cada uno de los indicadores utilizados, valiéndose de colores a modo de semáforo para facilitar la comprensión. Uno de los problemas del sistema a bordo es que necesitaba de identificación del conductor, por lo que la implicación del mismo fue disminuyendo con el tiempo por diversos motivos (oposición al proyecto u olvido fueron los motivos identificados en las encuestas de conclusiones).

La formación se basó en dos sesiones presenciales con parte práctica. Ésta consistió en dos rutas de servicio, en primer lugar observando al conductor y en segundo recibiendo recomendaciones por parte de un formador).

El sistema embarcado (de la compañía Fleetech [Fleetech2015]) registraba información en el vehículo (proporcionando recomendaciones fin de ruta en el grupo mencionado) y enviaba esta información a un sistema central. A partir de los datos del sistema central, no se generaron informes con recomendaciones para cada conductor si no que se realizaron solamente análisis globales del experimento.

Los resultados en términos de ahorro, muestran reducciones similares (6,8%), por lo que a priori parece que el enfoque del sistema a bordo combinado con la formación no consigue mayor eficacia que el basado solo en el sistema a bordo. Una impresión general es que la duración del experimento puede decirse que fue muy corta, por lo que la conclusión que se obtuvo de que ambos enfoques formativos

tuvieron parecida eficacia hubiera sido muy interesante comprobar si sería válida durante un período más largo.

Una conclusión digna de mención es que los conductores en las encuestas finales comentaron que estaban de acuerdo con el sistema y con la importancia de la conducción eficiente. Sin embargo los conductores también señalaron que la implicación de la compañía en el proyecto fue baja, como demuestra que varios gestores no conocían el proyecto o no lo comunicaron de forma eficaz a los conductores. Otro hecho importante es que los conductores se sentían presionados por la compañía a completar la línea en un tiempo reducido, por lo que esto contribuía a que tuvieran más reticencia a ejecutar una conducción eficiente.

[Symmons2009] presenta la evaluación de dos aproximaciones formativas sobre conductores de camiones de gran tonelaje y totalmente cargados (25 metros y 70 toneladas). El trabajo demuestra la eficacia de la combinación de una formación teórica -práctica sobre una solamente teórica. Este trabajo es similar a Wahlberg2002, aportando como novedad que se realiza sobre camiones y se utiliza un grupo de control en el análisis.

El experimento se basa en realizar una ruta puntual de formación tras una formación teórica y repetir el experimento a las 6 y 12 semanas. Se utilizaron dos aproximaciones formativas como figuran en la [tabla 5](#), además de un grupo de control. Es interesante destacar que el grupo que recibió una formación solo teórica no consiguió ahorros significativos (resultados similares a los del grupo de control).

Por la naturaleza del experimento puede decirse que los resultados pueden estar influenciados y ser algo artificiales, echándose en falta una prueba de más de duración y que hubiera tenido en cuenta el día a día de los conductores. Los autores resaltan la necesidad de una evaluación de la eficacia de los sistemas de asistencia abordó, que no fueron usados en dicho trabajo. En la [tabla 5](#) se presenta los datos más relevantes del mismo.

Tabla 5: Datos del experimento formativo de Symmons2009

Tipo de flota y tamaño	12 camiones doble eje y 12 conductores
Duración del experimento	12 semanas (3 meses), solo con monitorizaciones y pruebas en 3 sesiones
Aproximación formativa	Dos grupos con diferente aproximación formativa y un grupo de control <ul style="list-style-type: none">• Grupo 1: Grupo con clase teórica solo• Grupo 2: Parte práctica libre + clase teórica + Parte práctica guiada. La parte práctica consiste en 1 ruta de aprox. 30 km en condiciones de tráfico normales.• Grupo control: No recibió ninguna formación.
Indicadores utilizados	Consumo (l/100km), actuaciones sobre freno (%), cambios de marcha y tiempo para completar la ruta de formación
Resultados/conclusiones	Un 27% de media en el grupo 2 entre las rutas libre y guiada. Entre el grupo 1 y el grupo de control no hubo diferencias significativas

[Beusen2009] es uno de los pocos trabajos con el objetivo de estudiar los efectos a largo plazo que tiene un curso de conducción eficiente en términos de reducción de consumo y cambio de hábitos de conducción (es diferente de Wahlberg2007 pues evalúa solamente la eficacia de una formación presencial puntual). Puede decirse que la muestra es bastante pequeña y realizada sobre conductores no profesionales (y vehículos tipo turismo) pero es interesante desde el punto de vista de análisis de la evolución de los hábitos de conducción.

En la tabla 6 se muestra un resumen del experimento:

Tabla 6: Datos del experimento formativo de Beusen2009

Tipo de flota y tamaño	10 vehículos tipo turismo/10 conductores habituales.
Duración del experimento	10 meses : 5 meses monitorización “antes de la formación” /5 meses “después de la formación”
Aproximación formativa	4 horas de curso: sesión práctica libre, clase teórica y sesión práctica guiada por formador. Sin formación posterior al curso. Se incidió en reglas de CE que afectan directamente a los indicadores utilizados.
Indicadores utilizados	Consumo (l/100km), %tiempo aceleraciones/deceleraciones fuertes (1,5/2,5 ms ²) cambios de marcha, % tiempo inercia, % tiempo ralentí, %tiempo velocidad > 120km/h tiempo, distancia y velocidad media.
Resultados/conclusiones	5,8 % de reducción después del curso. El incremento de consumo fue generalizado semanas después de curso

El equipo utilizado se conectaba directamente a la electrónica del vehículo, disponía de conectividad GPRS y estaba oculto al conductor. Es importante destacar que tras el curso el conductor no recibió ningún tipo de recomendación de mejora (ni *online* ni *offline*). Es importante mencionar que la inercia fue uno de los indicadores con el que los conductores mantuvieron la mejoría con el tiempo, a diferencia de las aceleraciones/deceleraciones fuertes, lo que demuestra que existen algunas recomendaciones de conducción eficiente más fáciles de interiorizar y mantener por los conductores.

El artículo concluye destacando la necesidad de refuerzos formativos (o algún tipo de seguimiento) tras la formación presencial inicial para mantener mejoras en el tiempo.

Se han estudiado otros trabajos en los que los conductores no eran profesionales y se actuaba sobre vehículos de tipo turismo. Así en [Andrieu2012] se realiza un experimento con 20 conductores no profesionales y en vehículos tipo turismo. A pesar de no ser conductores profesionales, se considera un trabajo interesante pues evalúa los efectos de dos estrategias formativas presenciales (curso completo frente a recomendaciones básicas) y sobre todo proporciona una ponderación de qué indicadores son los más afectados por los conductores tras la formación.

A continuación se incluye la [tabla 7](#) con un resumen del trabajo:

Tabla 7: Datos del experimento formativo de Andrieu2012

Tipo de flota y tamaño	20 conductores para cada método Coche tipo turismo cambio manual
Duración del experimento	Puntual durante junio/julio 2009
Aproximación formativa	Análisis de la eficacia de dos métodos de aprendizaje presencial tradicional: Simples consejos /curso completo de conducción eficiente Sin seguimiento posterior, solo en las rutas formativas
Indicadores utilizados	Marcha engranada recomendada, RPM, Energía cinética, freno motor, consumo (l/100km)
Resultados/conclusiones	Mejores resultados de indicadores en curso completo, pero no significativamente en consumo Se aplican métodos estadísticos para comprobar qué indicadores tienen más efecto en los conductores.

Cabe destacar que el vehículo usado en el experimento fue un vehículo tipo turismo (Renault Clio/Megane) instrumentalizado con un dispositivo para monitorizar variables del CAN bus y también con un caudalímetro colocado en el depósito de combustible.

Las dos estrategias formativas son las siguientes, considerando buen clima durante la ejecución de ambas:

- Simples consejos: Ruta interurbana 14 km. Se repite la ruta dos veces, una vez libre y otra después de leer los consejos básicos de conducción eficiente, obtenidos del proyecto *Ecodrive* (Cambia entre 2000-2500 rpm, circula en la marcha más alta posible, anticipa el tráfico, desacelera suavemente, aprovechando inercias y el freno motor del vehículo).
- Curso completo: Ruta de 70km con trazado urbano, interurbano y mixto. Se repite el trazado dos veces, una vez libre y otra vez acompañado por un formador profesional que le va dando indicaciones de conducción eficiente toda la ruta.

Se utilizaron análisis estadísticos para demostrar qué indicadores fueron los que más se siguieron por los conductores en ambas estrategias, siendo estos la marcha recomendada, revoluciones adecuadas, y la energía cinética. Sin embargo el aprovechamiento del freno motor (como parte de detenciones aprovechando la inercia del vehículo) no fue asimilado por los conductores de forma significativa en ninguna de las dos estrategias formativas. Además, el aprovechamiento de la energía cinética se vio que tenía baja influencia en vías con límite de 90km/h, lo que indica tramos donde es más fácil mantener el vehículo a velocidad constante.

Otros trabajos centrados en los turismos son [Araujo2012] y [Corcoba2012]. Estos investigadores presentan arquitecturas para llevar a cabo conducción eficiente en turismos usando *smartphones* y un sensor OBD-II. [Corcoba2012] plantea un sistema de recomendación teniendo en cuenta información de la vía (localización de señales de tráfico mediante cámara y análisis en una base de datos de localización

de señales), sin embargo los casos de estudio presentados son limitados así como las evidencias de la implementación real del sistema.

2.1.1.2 Indicadores y modelos para realizar seguimiento de la conducción eficiente

La mayor parte de los trabajos encontrados en este ámbito no ahondan en el problema de qué variables asociadas al desempeño en conducción eficiente influyen en el consumo, especialmente en el entorno del aprendizaje y la mejora de la eficiencia en los colectivos de conductores profesionales.

[Ericsson2001] realiza un trabajo de análisis de qué patrones son los que más influyen en el consumo. Para ello monitoriza vehículos de tipo turismo en sus desplazamientos por un entorno urbano (aproximadamente 20.000km monitorizados en 5 turismos). Partiendo de un conjunto predefinido de 62 patrones, obtiene un subconjunto de 16 como los más representativos de los que cabe destacar: aceleraciones con gran demanda de carga de motor, variaciones continuas de velocidad o reducciones de velocidades medias (por debajo de 15km/h) –estos dos últimos denominados como *stop factor*. [Birrell2014] parte del trabajo de Ericsson y con un objetivo similar, pero introduciendo una muestra heterogénea de vehículos, rutas y participantes. También aplica varias técnicas de análisis estadísticas y otras basadas en redes neuronales. Obtiene la desviación típica de la velocidad como el factor que más influye en el consumo. Otro trabajo [MacGordon2014] también ratifica esta línea de Birrell, demostrando que rutas con idénticas velocidades medias pueden tener variaciones importantes en el consumo y presentando la desviación típica de la velocidad como un mejor predictor de los modelos de emisiones de tráfico (basados hasta ahora en velocidades medias).

En [Liimatainen2011] se presenta un interesante enfoque para realizar comparativas justas basadas en consumo. Como es comúnmente referenciado en la literatura científica, el consumo está afectado en gran medida por factores externos al propio estilo de conducción: meteorología, clase de vehículo, tipo de ruta, congestión,...

El objetivo del trabajo es poder realizar comparativas justas para informar al conductor y crear un sistema de incentivos sobre él. De hecho, un sistema de incentivos debe ser percibido por los conductores como justo para que sea efectivo y tenga aceptación.

A continuación en la [tabla 8](#) se resume las características del experimento:

Tabla 8: Datos del experimento formativo de Liimatainen2011

Tipo de flota y tamaño	12 autobuses urbanos, 2 líneas
Duración del experimento	8 meses (mayo-diciembre 2006)
Aproximación formativa	Basado en crear grupos de comparación por consumo en que se categorizan tramos, horarios y modelo de bus. Sin formación inicial ni recomendaciones en tiempo real, solo informes mensuales 4920 grupos para informar Encuestas de conclusiones
Indicadores utilizados	Consumo (l/100km), actuaciones sobre freno (%), histograma de rpm (%), velocidad media (km/h), distancia y tiempo de desplazamiento.
Resultados/conclusiones	1,4-4,6% ahorro

Cada autobús tenía un sistema conectado al bus CAN del vehículo además de disponer de sensor de localización GPS. Los turnos de cada conductor se obtuvieron del planificador (SAE) de la compañía

Para los 12 autobuses y 2 líneas se crearon un total de 4920 grupos de comparación basados en:

- Tramos con geometría similar (velocidad y consumo similar)
- Franjas horarias (hasta 10)
- Marca y modelo de autobús

Mensualmente, cada conductor, tenía información de su consumo para los distintos grupos en los que había acumulado kilómetros. Este consumo se comparaba con la media de dicho grupo y en función de esta se establecía el ranking del conductor en el grupo. Como cada conductor podría desempeñar numerosos grupos, se ponderaba su desempeño global en función de la distancia recorrida en cada grupo particular.

La aproximación formativa se basó en la entrega de informes de desempeño mensuales a los conductores, sin formación presencial, y durante un período de 8 meses.

Puede resultar un sistema interesante donde la rotación de conductores en líneas y autobuses es muy alta. En otros casos, parece un sistema muy complejo de llevar a la práctica en casos reales, pues exige un gran trabajo para definir y mantener los grupos de comparación. Por supuesto, se trataría de un sistema que solo sería válido para EMTs. Es importante destacar la poca importancia que da el trabajo a los indicadores de la conducción, siendo el consumo el único indicador relevante: esto podría limitar el

recorrido en la implantación y la mejora en hábitos de conducción, ya que al conductor no se le informa cómo debe mejorar su consumo.

[Villetea2012] presenta un modelo para determinar la eficiencia en la conducción basado en lógica borrosa. Las variables que utiliza son RPM, aceleración, pendiente y consumo. Para cada una de ellas define etiquetas lingüísticas (altas, bajas) y una función de pertenencia. Sobre estas variables y etiquetas construye un modelo de siete reglas (ej. RPM altas y Aceleración negativa → Eficiente). El trabajo resulta interesante y novedoso por la aplicabilidad de un modelo borroso a la conducción. Sin embargo el trabajo adolece de un prueba práctica más exhaustiva (solo una ruta con la mayor parte en autopista y un vehículo tipo furgoneta) y tampoco hay una evaluación del sistema con conductores para ver la eficacia desde el punto de vista formativo y de ahorro de combustible.

Se han encontrado varios trabajos que proponen modelos teóricos de sistemas de recomendación con poca viabilidad de llevarlos a la práctica. En [Malikopoulos2013] los autores identificaron los factores que están más relacionados con el consumo. El principal factor identificado por los fabricantes de vehículos es la demanda de energía del motor en cada momento. Los fabricantes en los vehículos modernos introducen mapas de calibración motor característicos que se adaptan a perfiles específicos de ruta (autopista, urbano). El trabajo construye metamodelos polinómicos para aproximar las variaciones de consumo a partir del factor aceleración en rutas fijas (por ejemplo una línea de bus urbano). También construye un entorno de recomendación en tiempo real basado en la aceleración óptima vs aceleración que en cada momento está llevando el conductor. Este entorno permite incluir restricciones de tiempo para no penalizar excesivamente la velocidad media. Las pruebas realizadas obtienen resultados de ahorros superiores al 5% sin incrementar apenas el tiempo medio. Esta aproximación tiene limitaciones evidentes (además de imponer repetición de ruta y establecimiento del perfil óptimo) como la no consideración del estado del tráfico en cada momento con lo que la recomendación de aceleración óptima podría no poder ejecutarse. Tampoco tiene en consideración las deceleraciones /frenadas que se produzcan en la ruta (factores que tienen una influencia importante en el aprovechamiento de la inercia). [Kamal2011] presenta un objetivo similar a Malikopoulos pero pensado para trayectos con frecuentes pendientes. El modelo es testado en simulaciones con trayectos reales y los autores reivindican su utilidad para construir sistemas de asistencia en tiempo real o vehículos autónomos. El trabajo propone un sistema de control (uso del freno/acelerador) basado en:

- Información precisa de la pendiente anticipada en cada momento (basada en mapas digitales de resolución de 5 metros)
- Caracterización precisa de la motorización/aerodinámica del vehículo y estimación del consumo de combustible.

Las simulaciones del sistema propuesto son comparadas con otras basadas en velocidad constante, consiguiendo ahorros de más del 5%. Como los propios autores advierten, la solución está pensada para zonas no urbanas en las que el tráfico/semáforos no afecte a las decisiones del sistema en cada momento (al igual que Malikopoulos).

[Saboohi2009] desarrollan un modelo teórico que obtiene el consumo menor basándose en la marcha, RPM y posición del pedal del acelerador. El modelo es validado en situaciones diferentes de tráfico obteniéndose rangos de óptimos de valores para esas variables, para un vehículo (turismo) en concreto y tipologías de rutas. Una posible implementación apuntada por los autores sería un sistema que ajustara los rangos de funcionamiento del motor (RPM) en función del tipo/estado de tráfico de la ruta así como recomendará al conductor la marcha a engranar en cada momento. Este modelo, además de la dificultad de ponerlo en práctica como los casos de Kamal y Malikopoulos, no está pensando para la formación y aprendizaje de la conducción eficiente.

2.1.1.3 Otros aspectos tratados en el estado del arte en torno a la conducción eficiente

[Young2011] realiza un estudio del estado del arte en torno a un concepto más global que la conducción eficiente, referido como *Smart driving*. Resalta que la conducción eficiente implica una conducción segura en la mayor parte de los casos, aunque existen algunas reglas de la conducción eficiente que pueden ir en su detrimento: el conducir en la marcha más alta o aprovechando la inercia sin el uso del freno pueden tener efectos negativos sobre el control del vehículo. También realiza un inventario de otras herramientas más allá de la conducción eficiente que afectan a la reducción del consumo como son los navegadores que seleccionan la ruta más óptima o menos congestionada.

De la misma forma, [Sivak2012] realiza un estudio comparativo de los factores que influyen en el consumo. Considerando la conducción eficiente como un aspecto operacional, aborda otros factores como son la adecuada selección del tipo del vehículo y su motorización como el factor que más influye en el consumo, por encima del estilo de conducción.

Existen también visiones críticas sobre la conducción eficiente, así en [Alam2014] aporta evidencias de estudios que demuestran que la eco-conducción puede aumentar las emisiones en ciudades muy congestionadas. Es decir, mientras las reduce a nivel individual, las aumenta a nivel de la red, dado que se acelera más suavemente, la velocidad baja y los vehículos permanecen más tiempo en la vía. Sin embargo el autor apunta que determinados colectivos como los autobuses de transporte público deben constituirse como excepciones.

[Barkenbus2010] en cambio realiza un repaso de las políticas y buenas prácticas de los distintos países en torno a la conducción eficiente. Para un efecto global propone acciones beneficiosas ya probadas como son el apoyo en forma de ayudas a la formación y a los dispositivos de recomendación para su implantación por flotas y particulares. También el apoyo mediante incentivos fiscales y esquemas de “pago según conduces” o *pay as you drive* populares entre las aseguradoras. Todo ello acompañado de campañas de concienciación en los medios.

2.1.2 En el ámbito industrial

2.1.2.1 Herramientas de fabricante de vehículos industriales

En los últimos años, los principales fabricantes de vehículos industriales han lanzado al mercado herramientas de gestión de flotas que incorporan información del estilo de conducción para conseguir una conducción más eficiente y reducción de emisiones. Estas herramientas vienen como un módulo opcional para vehículos nuevos e incluso se comercializan para otras marcas que dispongan de interfaz FMS [FMS2010]. Además suelen ofrecer cursos de conducción eficiente puntuales que acompañan al paquete de contratación de la herramienta.

Se trata de herramientas con múltiples funcionalidades tradicionales de la de gestión de flotas, como son

- Eventos de alarma (conductor que pasa de horas legales, llenado de combustible, retirada de combustible del depósito, etc.)
- Consulta de posición en tiempo real y de rutas.
- Consulta de conductor actualmente en el vehículo y de su programa de paradas y tiempo conducido para ese día (o para un periodo).
- Consulta de datos del estilo de conducción para ese vehículo/conductor
- Cálculo de rutas a partir de posición actual y en base a tiempo de conducción límite para el conductor (aceptación o no de servicios sobre la marcha).
- Descarga de datos de tacógrafo.
- Informes históricos de conductores y vehículos.
- Incorporación de alertas de tráfico.
- Mensajería entre central y vehículo.
- Notificaciones de averías y otra información para mantenimientos
- Geovallado / *Mapmatching* / *Reverse geocoding*

En este apartado no se analizarán tales funcionalidades propias de sistemas tradicionales de gestión de flotas, solamente las relacionadas con la conducción eficiente.

2.1.2.2 Volvo DynaFleet

El fabricante Volvo comercializa recientemente en sus camiones y autobuses más modernos la herramienta de gestión de flotas Volvo *DynaFleet* [Volvo2013].

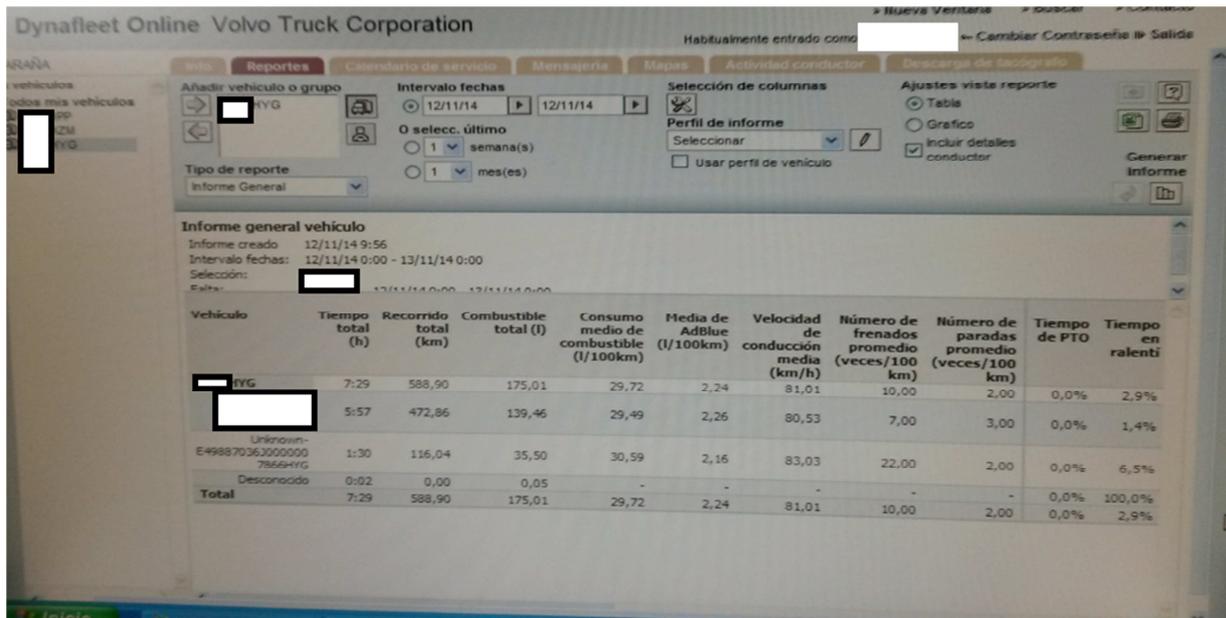
A continuación se muestra la lista de campos que presentan los informes de conductor o vehículo que puede obtener la herramienta, relacionados con el estilo de conducción:

- **Tiempo total:** total de horas del periodo de tiempo seleccionado.
- **Distancia total:** distancia total de conducción.
- **Combustible total:** volumen total de combustible.
- **Media de combustible:** Consumo medio de combustible
- **Velocidad de conducción media:** velocidad promedio durante la conducción.
- **Número de frenados promedio:** promedio de veces que se han utilizado los frenos del vehículo.

- **Número de paradas promedio:** promedio de veces que se ha detenido el vehículo.
- **Tiempo de PTO:** tiempo utilizado para la toma de fuerza (tiempo con el motor en marcha).
- **Tiempo en ralentí:** tiempo con el vehículo al ralentí.
- **Tiempo dentro de nivel económico:** tiempo de conducción económica.
- **Tiempo por encima del nivel económico:** tiempo de conducción por encima del límite económico.
- **Tiempo en marcha libre:** tiempo de marcha libre.
- **Tiempo con programador de velocidad:** tiempo de conducción con el programador de velocidad.
- **Tiempo de sobrevelocidad del vehículo:** tiempo de conducción superando el límite de velocidad definido en los ajustes del vehículo.
- **Tiempo en la marcha más alta:** tiempo de conducción en la marcha más alta.
- **Tiempo de carga del motor:** tiempo de conducción con la carga del motor por encima del 90% de par máximo.
- **Tiempo con el motor sobrerrevolucionado:** tiempo de conducción con la velocidad del motor en la zona roja.
- **Modo caja de cambios**
 - Tiempo automático: tiempo de conducción con la caja de cambios en modo automático.
 - Tiempo manual: tiempo de conducción con la caja de cambios en modo manual.
 - Tiempo de potencia: tiempo de conducción con la caja de cambios en modo de potencia.
- **Peso del vehículo**
 - Distancia con peso bajo: distancia recorrida con un peso de convoy inferior a 13 toneladas.
 - Distancia con peso medio: distancia recorrida con un peso de convoy entre 13 y 28 toneladas.
 - Distancia con peso completo: distancia recorrida con un peso de convoy superior a 28 toneladas.

Las [figuras 4 y 5](#) muestran algunas capturas de estos campos en la herramienta de Volvo.

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión



Tiempo de PTO	Tiempo en ralentí	Tiempo dentro de nivel económico	Tiempo por encima del nivel económico	Tiempo en marcha libre	Tiempo con programador de velocidad	Sobrevelocidad de vehículo (límite para flota)	Tiempo en la marcha más alta	Tiempo de carga del motor	Tiempo con el motor sobrerrevolucionado	Tiempo automático
0,0%	2,9%	88,9%	2,9%	6,9%	84,0%	0,9%	74,6%	7,7%	0,0%	100,0
0,0%	1,4%	89,4%	2,9%	8,1%	85,6%	0,7%	73,5%	6,8%	0,0%	100,0
0,0%	6,5%	89,1%	3,1%	2,2%	80,0%	1,5%	80,9%	11,3%	0,0%	100,0
0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0
0,0%	2,9%	88,9%	2,9%	6,9%	84,0%	0,9%	74,6%	7,7%	0,0%	100,0

Figura 4: Ejemplo de reportes de un conductor y un vehículo de Volvo donde se ven datos relacionados con el estilo de conducción



Figura 5: Módulo asistente embarcado de Volvo para proporcionar información al conductor

2.1.2.3 Daimler FleetBoard

Daimler tiene su propia compañía para soluciones de este tipo, conocida como *FleetBoard* [Daimler2013]. A continuación se muestran los indicadores que obtiene la herramienta relacionados con el estilo de conducción. Nótese que algunos indicadores son directos de una magnitud (% uso del pedal del freno) mientras que otros son calculados (conducción previsor) según método propietario de la compañía.

- **Est. Cond. (Estilo de conducción)** es la nota global, resultado de ponderar algunos indicadores posteriores.
- **Cond. Prev. (Conducción previsor)** atiende a cuestiones relativas a la anticipación en la conducción, conforme al uso del freno y del acelerador.
- **Mov. Acel. (Movimiento del pedal del acelerador) valora positivamente el uso suave del acelerador.**
- **Diag. Motor (INT) (Diagrama de motor)** puntúa el tiempo que se pasa dentro de la zona verde del cuentarrevoluciones.
- **Vel. Cte. (INT) (Velocidad constante)** penaliza las variaciones bruscas de velocidad.
- **Decel. (Deceleraciones)** puntúa la forma de frenar del conductor, atendiendo al número e intensidad de las frenadas.
- **% Lim. Vel. (Porcentaje limitador auto. Velocidad)** muestra el porcentaje total de uso del *Tempomat* o controlador de velocidad en la ruta.
- **Tiempo conducción** muestra el tiempo conducido en el periodo (coche en movimiento).
- **Tiempo ralentí** indica el tiempo en que el coche ha estado arrancado sin moverse.
- **Freno pie % (porcentaje de uso freno de pie)** enseña el porcentaje de tiempo durante la conducción que el conductor ha pasado con el freno pisado.
- **Km s/acel. (Kilómetros sin pisar el acelerador)** es el número de kilómetros recorridos sin pisar el acelerador.
- **% Km arrast. (Porcentaje de kilómetros de arrastre)** indica el porcentaje de kilómetros recorridos sin pisar el acelerador.
- **Nº Parad. (número de paradas)** contabiliza las paradas de más de 1 minuto de duración.
- **Km** muestra los kilómetros conducidos en el periodo.
- **Litr. Cons. (Litros consumidos)** contabiliza los litros totales consumidos en el periodo (semana o mes).
- **Litr. Cond. (Litros conducción)** contabiliza los litros consumidos con el coche en movimiento (semana o mes).
- **Litr. Ral. (Litros ralentí)** contabiliza los litros consumidos con el coche parado.
- **Cons. Total (Consumo total)** muestra el consumo en litros/100km durante el periodo (semana o mes).
- **Cons. Cond. (Consumo conducción)** indica el consumo registrado a partir de los litros consumidos (Litr. Cons.) en conducción, sin tener en cuenta el gasto a ralentí.

La información puede mostrarse de forma tabular o gráfica agrupándolo por distintos períodos. Algunos de los indicadores tienen un objetivo ideal (entre 1 y 10) que puede ajustarse según las características del servicio y sobre el cual cada conductor se ve evaluado en cada período (ver figura 6)

 Registro de consumos

Conductor: CONDUCTOR DE PRUEBA

Periodo	Est. Cond.	Cond. Prev.	Mov. Acel.	Diag. Motor (INT)	Vel. cto.(INT)	Decel.	% Lim. Vel.	Tiempo conduc.	Tiempo ralend
Semana anterior	6,11	2,33	4,11	9,16	7,45	8,69	0,00	15:26:06	03:35:58
Mes anterior	6,54	3,05	5,86	9,18	7,81	8,71	1,06	56:40:08	18:36:04
Objetivos	9,5	9,5	9,5	9,1	9,2	9	70		

Periodo	Freno pie %	Km s/accel.	% Km arrast.	Nº Parad.	Km	Litr. cons.	Litr. cond.	Litr. ral.	Cons. total	Cons. Cond.
Semana anterior	9,95	140,33	31,05	233	451,94	190,00	183,36	6,64	42,04	41,00
Mes anterior	9,04	558,87	25,77	1178	2168,81	813,50	764,50	49,00	37,51	35,00

Figura 6: Informe del estilo de conducción obtenido para un conductor basado en la herramienta FleetBoard

FleetBoard dispone de una característica de su solución para posibilitar la comparativa entre conductores y vehículos diferentes y/o que realizan un servicio diferente (tipo de ruta). Según la información del producto las notas son ponderadas teniendo en cuenta aspectos como el tipo de ruta y su pendiente o el peso del vehículo.

2.1.2.4 Scania Fleet Management

Por su parte, otro fabricante de referencia de autobuses y camiones, como es el caso de Scania, también ha desarrollado su herramienta de características similares al caso de Volvo y Daimler. En el caso de Scania la herramienta se denomina *Scania Fleet Management* [Scania2013]. En la figura 7 puede verse un ejemplo de informe resumen semanal de un conjunto de autobuses. Esta herramienta ofrece indicadores similares al resto de fabricantes, sin embargo no tiene desarrollado un sistema de información a bordo como se destacaba para el caso de Volvo.

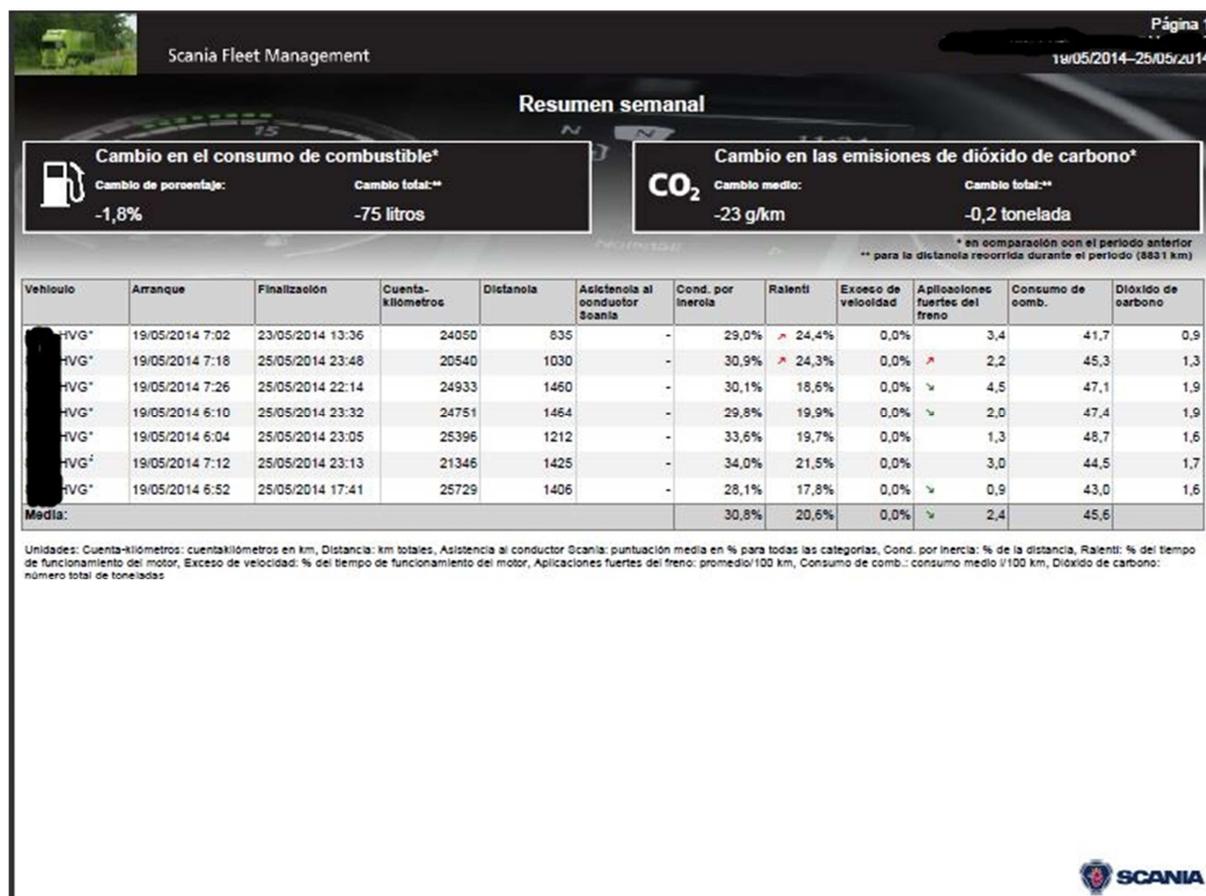


Figura 7: Informe de estilo de conducción generado por la herramienta de Scania Fleet Management

2.1.2.5 Fiat Eco-Drive

Fiat fue pionero en la introducción de un sistema para la conducción eficiente en determinados vehículos de la marca (principalmente turismos). El sistema, denominado *Ecodrive* [Fiat2013] se basa en un dispositivo USB que el usuario conecta al vehículo y que registra datos de su conducción (sin proveerle de ningún tipo de asistencia durante la conducción). Una vez terminada la conducción, el usuario puede llevarse el dispositivo y conectarlo a un PC. Mediante una aplicación de escritorio –y versiones más recientes aplicación móvil y una aplicación de recomendación en tiempo real– desarrollada por Fiat el usuario puede llevar seguimiento de su conducción y recibir recomendaciones para el ahorro. Fiat fue pionero en el aspecto social de la eco-conducción mediante la creación de una comunidad virtual denominada *ecoVille* donde las contribuciones de los usuarios en términos de reducción de emisiones son agregadas mostrándose equivalencias de dichos ahorros mediante ejemplos cotidianos. Uno de los problemas de este sistema es la falta de estandarización siendo utilizable solamente por ciertos vehículos de la marca. En la figura 8 puede verse la aplicación de asistencia del sistema *Ecodrive*, denominado *Ecodrive Live*, presente en algunos modelos recientes de la marca.



Figura 8: Aplicación de recomendación en tiempo real Fiat Ecodrive

2.2 Esfuerzos de estandarización y regulatorios

Existen algunas iniciativas en el ámbito de la estandarización y regulación que están permitiendo popularizar los sistemas de gestión de flotas y de apoyo a la conducción eficiente entre las flotas de vehículos. La propia Unión Europea en el marco regulatorio ha apoyado sistemas para conducción eficiente. En su “Plan de acción para el despliegue de Sistemas de Transporte Inteligentes” [STI2008] destaca lo siguiente:

“4.1. Hacia un transporte más ecológico

Las aplicaciones de STI para la programación de desplazamientos, la navegación de a bordo dinámica y la asistencia a la conducción ecológica también contribuyen a aliviar la congestión, a una movilidad más ecológica y a un menor consumo de energía. Para alcanzar estos objetivos, la UE puede recurrir a varios instrumentos: apoyo financiero, iniciativas de normalización y medidas legislativas y no legislativas [...] Promoción del despliegue de sistemas avanzados de asistencia a la conducción y sistemas de STI relacionados con la seguridad, incluida su instalación en vehículos nuevos (mediante homologación) y, en su caso, su adaptación a vehículos usados.”

En el año 2012, la Unión Europea introdujo una normativa por la cual todos los vehículos tipo turismo debían incorporar el indicador de cambio de marcha óptima, obligando a los fabricantes a introducir una recomendación de conducción eficiente de serie en los vehículos [65/2012/CE].

A continuación se describen dos iniciativas relevantes a nivel de estandarización.

2.2.1 Interfaz FMS para vehículos industriales – *Fleet Management System*

En la década de los años 90, con la aparición de las normativas de emisiones a nivel europeo EURO II y sobre todo EURO III, los fabricantes de automóviles comenzaron a introducir centralitas electrónicas (en inglés ECU *Electronic Control Unit*) en los vehículos para diversos propósitos (diagnóstico, seguridad,...). El protocolo utilizado por dichas centralitas se basó en el estándar SAE J1939 [SAEJ1939], modelo que define varias capas de la arquitectura ISO OSI [ISO7498] y que utilizan otros estándares como el CAN – *Controller Area Network*- para las capas físicas y de datos.

Los fabricantes realizaron implementaciones deficientes del estándar SAE, definiendo al mismo tiempo conjuntos de mensajes propietarios lo que generó una verdadera fragmentación en lo que respecta a la información disponible en el parque vehicular. Además de los mensajes propietarios, otra dificultad añadida era la imposibilidad para un tercero de conectarse a las centralitas de un vehículo sin invalidar la garantía del fabricante (por la peligrosidad que podría suponer alterar las comunicaciones vehiculares). Esta barrera fue superada parcialmente por la aparición en el mercado de mecanismos de conexión no intrusivos como fueron las pinzas inductivas.

Afortunadamente en el año 2002 se publicó el interfaz FMS. El Sistema de Gestión de Flotas (o *FMS*, por sus iniciales en inglés, *Fleet Management System*) es una interfaz estándar (basada en el SAE J1939) que publica un conjunto de datos para ser usados por un tercero con independencia del fabricante [FMS2010]. Fueron seis fabricantes europeos: Daimler AG, MAN AG, Scania, Volvo (incluyendo Renault), DAF Trucks e IVECO los que desarrollaron el llamado FMS-estándar en el año 2002, para hacer posible que las aplicaciones para telemática fueran independientes del fabricante. El FMS-estándar como tal fue la base para el Bus-FMS-estándar para autobuses y autocares que se publicó en el año 2004. De la misma forma, el interfaz FMS se convirtió en el mecanismo recomendado por los fabricantes para que terceros usaran los datos de los vehículos. Cabe destacar que se realizaron revisiones del estándar FMS en los años 2010 y 2012, ampliando en cierta medida la información disponible.

El interfaz FMS se popularizó sobre todo a partir de EURO V y sobre todo con la llegada de EURO VI, donde es obligatorio que venga de serie en los vehículos de tipo industrial [715/2007/CE]. Es importante destacar que el FMS publica un subconjunto limitado de datos de la conducción y del vehículo, aunque puede considerarse suficiente para proporcionar un conjunto de indicadores para la conducción eficiente (véase figura 9).

Sin embargo, el interfaz FMS está disponible solamente en vehículos recientes siendo la realidad de las flotas muy distinta (solo un pequeño porcentaje lo constituyen vehículos nuevos). Por dicho motivo, en la presente tesis se usarán métodos alternativos de captura de la información para aquellos vehículos en los que no sea posible la lectura de mensajes FMS (explicado más adelante en la descripción de la tecnología y del sistema CatedBox).

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

En las siguientes [figuras 9 y 10](#) se muestran el conjunto de mensajes FMS y también las cartas promulgada por los fabricantes en las que se advierte que el único medio de conexión a las centralitas ha de ser a través del FMS, si no se quiere invalidar la garantía.

La velocidad del vehículo (basado en las ruedas)
La velocidad del vehículo (de tacógrafo)
Interruptor de embrague (on / off)
Interruptor de frenado (on / off)
El control de crucero (on / off)
PTO Power take-off (estado / Modo)
Pedal de acelerador, posición (0-100%)
Total de combustible utilizado
Nivel de combustible (0-100%)
La velocidad del motor
Peso por eje (kg)
Total de horas del motor (h)
Versión del software del estándar FMS (soporta varios modos)
Número de identificación del vehículo (ASCII)
Tacógrafo (información)
Distancia del vehículo en alta resolución
Temperatura del refrigerante del motor

Figura 9: Mensajes del interfaz FMS (Fuente [FMS2010])

Brussels, 14 October 2004

Subject : CAN bus connection

Dear,

The European commercial vehicle manufacturers would like to draw to your attention and increasingly risky phenomena.

As you know, the electronic system in vans and trucks are increasing day by day and now govern most of the functionalities. The possibility to get operating data information from the vehicle electronics has been supported by the main European truck manufacturers and they have agreed a common standard (FMS-Standard*) for the communication between the truck electronics and on-board computers used to retrieve these data. In order to supply this information, each manufacturer makes available an interface, which is the only acceptable way to connect external devices to the vehicle electronics.

Direct connection to the CAN bus system for the purpose of retrieving operating data or for other purposes is not allowed as it could be extremely dangerous since it can interfere with the correct functionality of the truck systems, for example engine or brakes.

For this reason, European truck manufacturers declare that in the case of direct connection with the CAN bus, they reserve the right to withdraw any warranty on the product or to consider it null and avoid. At the same time the truck manufacturer shall not be subject to product liability arising from any direct CAN bus connection made by a third party.

We would ask therefore that your institute does not approve any third party external electronic device that connects directly to the internal bus system.

Yours sincerely,

Ivan Hodac
Secretary General

* Fleet Management System

Figura 10: Carta de los fabricantes recomendando el uso del estándar FMS (Fuente: [FMS2010])

2.2.2 Interfaz OBD-II –On Board Diagnostics –II- para vehículos tipo turismo

En el caso de los vehículos tipo turismo, el interfaz FMS no está disponible al no tratarse de un vehículo industrial. La alternativa que se tiene en este caso es la utilización del interfaz OBD-II [OBD1998], disponible en todos los vehículos tipo turismo europeos desde 2003 y 2001 en función de si se trata diésel o gasolina, respectivamente. También es un interfaz disponible en los vehículos industriales y es usado por los talleres de automóviles como puerto de diagnóstico en el mantenimiento de los vehículos. La ventaja de este interfaz es el fácil acceso al mismo, estando normalmente ubicado debajo del volante como puede verse en la figura 11. La principal desventaja es la reducida información aportada en relación a la conducción, siendo como fue comentado anteriormente un interfaz pensado para el diagnóstico de averías.

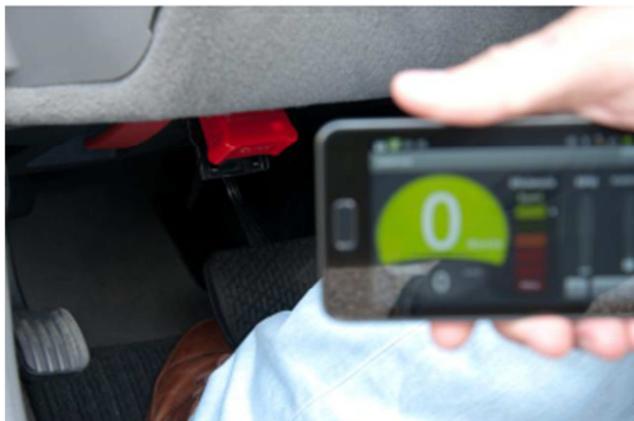


Figura 11 : Localización del interfaz OBD-II en un turismo y sensor CatedBox conectado al mismo (Fuente [Rionda2012])

La información proporcionada utilizada por el sistema CatedBox diseñado en la presente tesis ha sido la mostrada en la figura 12. Nótese que el OBD-II no proporciona información del consumo instantáneo del vehículo, lo que constituye una limitación importante, habiéndose utilizado en el presente trabajo aproximaciones a partir de otros parámetros (como el MAF, flujo de aire que entra en el motor). Estas aproximaciones no están exentas de error, especialmente en los vehículos diésel, aunque la tendencia de consumo real sí se consigue mantener. Otro de los parámetros relacionados con la conducción eficiente que no proporciona este interfaz es la marcha engranada, pero en este caso sí puede ser calculada a partir de la relación de marchas de cada vehículo, las revoluciones y velocidad instantánea de cada vehículo, teniendo en cuenta las recomendaciones del proyecto europeo TREATISE y validado en pruebas de campo (algoritmo de cálculo presentado en [Rionda2012])

Velocidad del motor (RPM)
Velocidad del vehículo (Km/h)
Posición del acelerador
Flujo de aire inyectado en el motor (MAF)
Carga del motor

Figura 12: Mensajes proporcionados por el OBD-II [OBD1998] –denominados PIDs (Parameter ID) en relación a la conducción y utilizados por el sistema CatedBox [Rionda2012]

2.3 Trabajos en el campo de los tutores y los sistemas de aprendizaje

2.3.1 Sistemas de aprendizaje

Las nuevas tecnologías para la educación (conocidas como *e-learning* o *educational learning*) se han utilizado cada vez más frecuentemente para la formación durante los últimos 20 años (principalmente desde la aparición de la Web). Especialmente interesante para los objetivos de la presente tesis es la utilización del *e-learning* para la formación de personas en el propio entorno del trabajo. [Daneshgar2008] realiza un análisis del estado del arte y estudios en este ámbito, destacando que “la

existencia de programas de formación aumenta en un 300% la motivación de un trabajador a no dejar la empresa". Este autor señala que las motivaciones de un trabajador y un estudiante son diferentes, por lo que recomienda que los sistemas de aprendizaje para los primeros sean más prácticos que teóricos, se basen en la solución de problemas reales (si es posible en el propio trabajo –*learning by doing*) y tengan en cuenta las diferencias entre cada perfil de trabajador. Por su parte, [Cheng2011] destaca aspectos a tener en cuenta para una adopción exitosa de un sistema de *e-learning* en el entorno profesional, como son el contexto organizacional y el apoyo de la dirección. En esta misma línea, [Macpherson2004] habla de considerar si es adecuado el "nivel de madurez de la organización" para que un sistema *e-learning* tenga éxito. [Deruin2005] realiza un estudio de casos reales de adopción de sistemas *e-learning* entre empresas, destacando la importancia del diseño, el despliegue y la evaluación del sistema como claves para su eficacia.

Existen numerosos trabajos de la evaluación de sistemas de aprendizaje en varios sectores profesionales como es el de la salud o el de las nuevas tecnologías (no así en la conducción). Así [Harun2001] diseña un sistema de *e-learning* para el sector médico con los requisitos de formación *just in time*, multidisciplinar y de compartición de buenas prácticas entre la comunidad. [Ong2004] realiza un análisis de los factores de éxito de programas de *e-learning* entre compañías tecnológicas de Taiwan, destacando al igual que Cheng la necesidad de contar con el apoyo de la dirección, pero también la importancia de la utilidad percibida por el trabajador, la facilidad de uso y la utilización *just in time* (al igual que Harun) para el aumento de la productividad.

Dentro del *e-learning*, destaca la modalidad *blended learning* que se ha posicionado en los últimos años como aproximación formativa eficaz y de creciente popularidad. [Graham2006] la define como "la combinación de formación presencial con aquella basada en las nuevas tecnologías", y habla de su eficacia para el aprendizaje permanente (*lifelong learning*) y el aprendizaje en el entorno profesional. Un estudio en Estados Unidos [Bonk2007] destaca la creciente popularidad de los sistemas *blended* para la formación en los entornos profesionales. Este mismo estudio apunta tendencias futuras de aplicación de los sistemas *blended* (de forma similar a lo apuntado por Harun2002), como formaciones *just in time* y de apoyo a la productividad en el propio trabajo, en la búsqueda de una mayor conexión entre la formación y los resultados empresariales. Otro trabajo de este autor [Bonk2005] también realiza un estudio similar en el ámbito educativo y corporativo apuntando de igual modo una creciente popularidad y adopción progresiva de los sistemas *blended learning*. Nótese que la presente tesis propone un sistema que mediante un tutor a bordo del vehículo cumple con estas dos expectativas. [Arbaugh2009] realiza una investigación de sistemas *blended* aplicados a disciplinas, estando extendidos principalmente en formación para TIC y gestión empresarial, y en menor medida para economía y finanzas. Este trabajo apunta el margen de investigación y desarrollado de los sistemas *blended* para otras áreas.

No existe mucha literatura de aproximaciones *blended learning* para la conducción eficiente, pero sí en otros sectores como el de la construcción [Wall2008]. En este trabajo los autores diseñan una aproximación *blended* basada en formación presencial combinada con un juego práctico en simulador presentando resultados eficaces para el aprendizaje permanente. Como otros trabajos ya presentados

(Ong2004), destacan la importancia del aspecto tecnológico (su utilidad) así como una planificación y ejecución cuidadosas de las distintas etapas formativas.

En el ámbito de la conducción eficiente y los sistemas de aprendizaje *blended*, se han estudiado trabajos basados en el uso de simuladores. Así en [Pierro2011] se destaca la idoneidad de la simulación en la formación en conducción eficiente por su “seguridad”, “repetibilidad”, “menor coste que otras formaciones” y la posibilidad de medición avanzada basada en telemetría y en cámaras. Por su parte [Scott2012] realiza un enfoque *blended* realizando una ruta de “línea base” en simulador, a continuación una sesión teórica y práctica en carretera para terminar con la repetición de la ruta en simulador. Sin embargo no profundizan en un estudio a largo plazo o en cómo hacer el aprendizaje permanente.

Uno de los trabajos basado en proyecto financiado por el programa europeo *LifeLong Learning*¹[ICTDRV2015], destaca explícitamente el *blended learning* como una aproximación formativa ideal para los conductores profesionales y que debe ser impulsada desde la Unión Europea a nivel regulatorio. En dicho proyecto realiza un piloto *blended* basado en formaciones teóricas y prácticas mediante simuladores de vehículos.

2.3.2 Tutores

[Tulusan2011] realiza un estudio de qué tecnologías de asistencia en el vehículo son las más eficaces para realizar una conducción eficiente. Los autores realizan un estudio basado en encuestas a más de 500 conductores (no necesariamente profesionales). Las tecnologías las caracterizan en tres tipos:

- Información en tiempo real al conductor: Este método se posiciona como el más eficaz pero dado que demanda más atención del conductor han de tenerse muy en cuenta aspectos de diseño y usabilidad: la colocación adecuada y la preferencia de mensajes visuales sobre sonoros; todo ello para evitar efectos de rechazo entre los conductores.
- Información acumulada: Aquí se incluyen mensajes periódicos a los conductores (ej. mensaje fin de ruta). Esta aproximación puede ser muy eficaz si es personal e incluye algún tipo de mensaje de motivación.
- Información *offline*: El trabajo presenta este método como el menos eficaz ya que a priori está descontextualizado. La eficacia en este caso la basa en la definición de objetivos y en incentivos para aumento de la motivación.

Los conductores valoraron la siguiente información en tiempo real o acumulada como la más importante:

- Consumo y desempeño personal (con respecto a los objetivos definidos)
- Potenciales ahorros por llevar una conducción determinada. Destacar estos ahorros en ejemplos equivalentes de actividades cotidianas, para facilitar la comprensión.
- Comparación consigo mismo en condiciones similares de rutas y tiempos.
- Comparación con otros conductores en condiciones similares.

¹*LifeLong Learning Programme*. European Commission http://ec.europa.eu/education/tools/llp_en.htm

Por su parte [Wilfinger2009], realiza un estudio similar a *Tulusan*, pero proponiendo cinco interfaces concretas de asistencia. Dos de ellos, denominados *EcoMatic* y *EcoPedal* suponen modos de funcionamiento del vehículo, es decir el conductor solo puede elegir activarlos o no, por lo que quedan fuera de los objetivos de la presente tesis. Dos de los interfaces, denominados *EcoSpeedometer* y *EcoDisplay* recibieron puntuación alta por parte de los usuarios en los tres factores analizados: facilidad de uso, utilidad percibida e intención de uso (bajo un TAM –*Technology Acceptance Model*). Al igual que *Tulusan* los usuarios valoraron el disponer de información resumen de su desempeño y equivalencias visuales de los ahorros (por ejemplo en hojas), como se muestra en la figura 13:

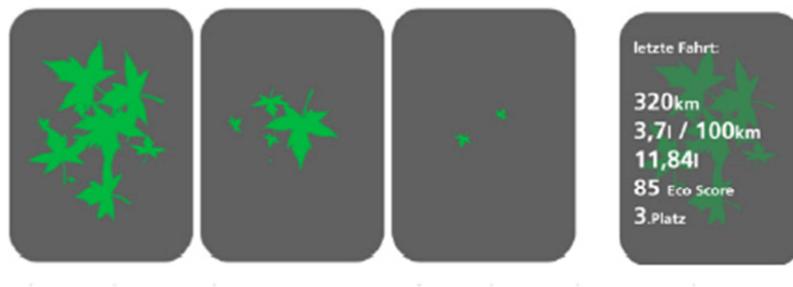


Figura 13: Interfaz Ecodisplay propuesto por Wilfinger2009

[Ando2012] lleva a cabo un estudio con turistas en Japón, utilizando tecnología de asistencia en tiempo real así como portales *offline* de recomendación (tecnología de soporte similar a la aportación Ecomilla del autor de la tesis). El estudio busca explicar las motivaciones que pueden impulsar a un particular a realizar conducción eficiente. Aquellos individuos más interesados desde el principio en el factor “social” y de “juego” del experimento son los que obtuvieron mejores resultados de ahorro y reducción de emisiones.

[Corcoba2014] introduce también el juego o *gamification* como una técnica para aumentar la motivación de los usuarios a seguir las recomendaciones de conducción eficiente. Para ello, propone un tutor a bordo basado en *smartphone* con una serie de puntuaciones, comparativas y logros (*gamification*) frente a una versión que solo muestra recomendaciones en conducción eficiente. En la Figura 14 se muestra la parte del interfaz correspondiente a los “logros”. Los autores demuestran que hay una correlación entre las técnicas de *gamification* y la reducción de consumo (frente a una recomendación basada solamente en consejos de conducción eficiente), especialmente en conductores “agresivos” o poco eficientes en la situación inicial.



Figura 14: Interfaz del tutor embarcado de Corcoba2014

[Araujo2012] también utiliza un sistema basado en *smartphone* para realizar un tutor de conducción eficiente para vehículos de tipo turismo (véase figura 15). El sistema fue construido en el operativo *Android* y se basaba en un elemento denominado *Coach* que proporcionaba recomendaciones periódicas al conductor como: “Cambia a una marcha superior” o “Modera la velocidad”.

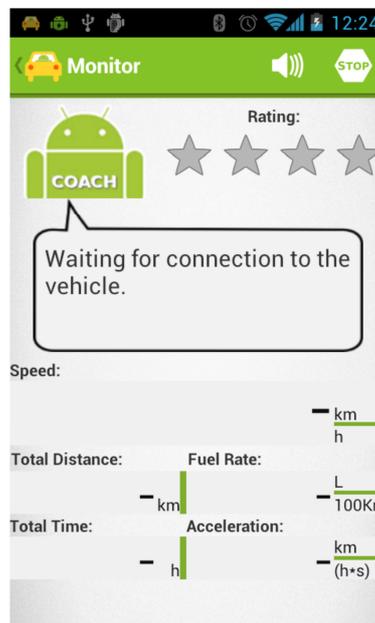


Figura 15: Interfaz del tutor embarcado de Araujo2012

Otros autores han realizado estudios sobre el riesgo de utilizar tutores embarcados. [Rouzikhah2013] realiza un análisis de la distracción causada por un mensaje de conducción eficiente. La implicación de

las tecnologías de asistencia en la seguridad en la conducción es un aspecto muy importante para la adopción de este tipo de sistemas. Nótese, como apunta el mismo trabajo, que el 78% de los accidentes la falta de atención es un factor decisivo.

Para ello, realiza un estudio comparativo con otras actividades habituales en la conducción, como son “cambiar un CD” y “usar el navegador”. También se compara con una “línea base” (escenario sin distracciones). El trabajo resulta interesante pues el estado del arte no se ha centrado estudiar el efecto para la seguridad de la conducción de las tecnologías para la conducción eficiente.

El estudio tiene las siguientes características:

- Tamaño del experimento: 22 participantes (con experiencia en la conducción de mínimo 5 años y realizando agrupaciones por edad), que reciben incentivos monetarios por participar.
- Medios: Uso de un simulador avanzado de conducción. Ruta de 14 kms en entorno metropolitano. Repetición de la ruta en dos días por cada participante. Se manda realizar las acciones distractoras haciéndolas coincidir con maniobras de conducción como son el cambio de carril, adelantamiento o disminución de velocidad antes de glorietas o intersecciones. El asistente de conducción es una PDA programada para proporcionar mensajes periódicos de la eficiencia en la conducción (ej. “Consumo alto debido a excesivas aceleraciones”).
- Metodología de análisis: Utilización de test subjetivos así como objetivos basados en tiempos de respuesta y grado de ejecución en las maniobras).

Los resultados arrojan que el mensaje de conducción eficiente tiene un grado de distracción mucho menor que el uso del CD o el navegador y muy cercano al escenario “línea base”. La repetición de la prueba el segundo día demostró el efecto experiencia (menor distracción) en las otras actividades que implican una actividad manual (no así el mensaje de conducción, que tienen una demanda meramente cognitiva).

2.4 Conclusiones

Como se ha descrito en el estado del arte, existen bastantes trabajos e interés por parte de la comunidad científica en el campo de la conducción eficiente. Los trabajos analizados demuestran un interés relativamente reciente, dado que la mayor parte de los mismos se engloban en los últimos 15 años. Esto puede ser explicado por varios motivos, mereciendo destacar las siguientes. Por un lado, la evolución de las tecnologías vehiculares hacia una digitalización, estandarización y apertura de la información disponible para ser explotada por terceras partes (los mencionados interfaces FMS y OBD-II), ha permitido medir y evaluar los casos de estudio presentados en los trabajos analizados. Por otro, el apoyo desde las administraciones en forma de ayudas para la investigación y el desarrollo de proyectos en torno a la conducción eficiente ha favorecido la proliferación de estudios en este ámbito.

La literatura encontrada se ha centrado principalmente en las siguientes áreas. En primer lugar, se ha estudiado bastante al efecto de las formaciones en conducción eficiente presentando resultados en términos de ahorro y variables analizadas. Existe bastante consenso en los buenos resultados que

proporciona la formación al menos en el corto plazo. En menor medida, se han publicado trabajos en torno a indicadores y modelos para llevar a cabo el seguimiento en conducción eficiente, la mayor parte desde la perspectiva de qué variables correlan mejor con el consumo de combustible.

En el caso de los tutores y sistemas de aprendizaje, han sido pocos los trabajos encontrados aplicados a la conducción eficiente, aunque sí los relacionados con otros entornos profesionales, que han obtenido muy buenos resultados. Interesante especialmente es el concepto de “gamificación”, que de manera muy incipiente aunque con prometedores resultados, ha sido tratado por la literatura existente con aplicación a la conducción eficiente.

Por su parte los fabricantes de vehículos industriales han empezado a comercializar sus propias herramientas de gestión de flota que incorporan indicadores relacionados con la conducción eficiente.

Sin embargo, existen ciertos aspectos no tratados por la literatura existente, que creemos que son objetivos y aportaciones novedosas de la presente tesis para una implantación real y perdurable de un sistema de aprendizaje en conducción eficiente:

- **Metodología formativa y de seguimiento para el aprendizaje:** Los trabajos existentes evalúan distintas aproximaciones formativas de forma puntual, no incidiendo en un enfoque metodológico para hacer un seguimiento continuo y perdurable en el tiempo del aprendizaje. Del mismo modo, no existe un alineamiento con las técnicas novedosas para el aprendizaje *e-learning*, basado en los paradigmas *blended learning*, *active learning*, *learning by doing* o *lifelong learning*.
- **Entorno tecnológico de soporte al aprendizaje:** La literatura existente se apoya en algunos casos en sistemas para recogida y análisis de datos de la conducción. Estos sistemas no están diseñados para el soporte de una metodología continua de aprendizaje, que es objeto de la presente tesis. Otro aspecto no recogido en la literatura que facilita la implantación y aceptación de los sistemas tecnológicos de este tipo por parte de las empresas, es tener en cuenta la información de los sistemas TI existentes en las empresas profesionales de transporte por carretera.
- **Alineamiento con normas de calidad de gestión energética:** Otro objetivo de la presente tesis no tratado por el estado del arte, es conseguir la alineación de la metodología propuesta con normas de calidad muy importantes entre las empresas de transporte (como es el caso de la ISO 50001), y que por tanto se facilite la adopción de un sistema de aprendizaje en conducción eficiente al mismo tiempo que se asegure la conformidad con este tipo de normativas.

Por su parte los fabricantes de vehículos industriales están comercializando soluciones de gestión de flotas que en la mayor parte de casos incorporan información relacionada con la conducción eficiente. Las conclusiones que se pueden obtener de estos sistemas en relación a la presente tesis son:

- **Información orientada al gestor sin enfoque metodológico:** Las herramientas están muy enfocadas al perfil gestor o administración de la flota, con una clara vocación a la gestión en tiempo real, sin una participación clara de los conductores (ausencia de metodología, ej. cómo se comunica la información al conductor y cómo se evalúa el aprendizaje).

- **Falta de información y recomendaciones personalizadas para el conductor para el fomento del aprendizaje:** Los informes proporcionan información muy detallada del conductor y del vehículo de lo que ha pasado a nivel de una ruta o de un período de tiempo, pero sin identificar qué ha de hacer el conductor para mejorar ni de si está mejorando en determinados aspectos.
- **Indicadores de conducción eficiente heterogéneos:** Cada fabricante incorpora un conjunto de indicadores relacionados con el estilo de conducción, algunos de ellos calculados, sin existir un consenso claro de qué indicadores son los más importantes para el aprendizaje de la conducción eficiente.

Solamente el sistema de *Fiat Ecodrive* puede ser considerado que está enfocado para el aprendizaje en conducción eficiente, aunque como se ha comentado la falta de estandarización hace que solo pueda ser utilizado en vehículos de la marca Fiat. Nótese además que Fiat comercializa vehículos tipo turismo y no vehículos industriales, objetivo principal de la presente tesis.

CAPÍTULO III: APORTACIONES

3 CAPÍTULO III: APORTACIONES

3.1 Introducción

Esta tesis tiene como objetivo el diseño de un sistema de apoyo al aprendizaje de la conducción eficiente en vehículos de combustión. Para alcanzar este objetivo se desarrollan tanto aspectos metodológicos como aspectos tecnológicos de sistemas software y hardware que den soporte a la metodología diseñada.

La metodología diseñada, denominada BLED (*“Blended Learning for Efficient Driving”*) sigue los paradigmas de formación *e-learning*: *blended learning*, *lifelong learning*, *learning by doing* y *mobile learning* y está orientada principalmente a su utilización por flotas profesionales. También es objetivo la alineación de BLED con normas de gestión energética como es la ISO 50001.

La tecnología diseñada, denominada CatedBox (*Car Assistant to Efficient Driving Box*) posibilita la implementación de dicha metodología BLED. CatedBox se basa en componentes hardware y software localizados tanto en el vehículo como en sistemas servidores centrales, diseñándose teniendo en cuenta el uso de estándares para que sea posible su utilización en la mayor parte de vehículos del mercado actual. Otros objetivos secundarios son: que el diseño contemple elementos que faciliten una adecuada gestión y provisión del servicio TI; la utilización de tecnologías *open source* y estándares en la medida de lo posible para la reducción de costes e interoperabilidad de la misma; y que el diseño permita la escalabilidad futura del sistema en términos de número de vehículos y conductores.

En las siguientes secciones de este capítulo se describen en detalle la metodología BLED de mejora de la eficiencia en la conducción y la tecnología CatedBox que incluye los elementos necesarios para soportar dicha metodología.

3.2 Metodología de aprendizaje de conducción eficiente BLED (*Blended learning for efficient driving*)

En este capítulo se define una metodología para la aplicación de procesos de aprendizaje en conducción eficiente orientada a flotas profesionales. Dicha metodología define el uso de la formación presencial y de los elementos tecnológicos de soporte que se utiliza como base para la mejora de los conductores, así como los sistemas de evaluación de la misma. Esta metodología forma parte del trabajo publicado en [Rionda2014].

3.2.1 Fundamentos

El método de aprendizaje BLED (*Blended Learning for Efficient Driving*), define un proceso didáctico en el contexto de la conducción eficiente. A través de diferentes técnicas busca que conductores, tanto de vehículos industriales como turismos, realicen una conducción más eficiente desde el punto de vista del consumo de combustible. A través de su aplicación los conductores consiguen que los vehículos disminuyan el consumo y por tanto reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de ser posible su aplicación para conductores de vehículos tipo turismo, la metodología BLED está diseñada especialmente para su utilización en contextos de empresas de transporte por carretera (ya sean de pasajeros, mercancías o medio ambiente), y por tanto con flotas de vehículos industriales, donde los conductores son profesionales del sector.

BLED se fundamenta en los siguientes paradigmas de aprendizaje:

- **Blended learning.** La metodología combina seminarios presenciales, sistemas de *e-learning* a través de plataforma web, con un tutor en tiempo real situado en el propio vehículo, generando con ello un contexto de aprendizaje mixto.
- **Learning by doing.** Una parte importante del proceso de mejora en la conducción se realiza a través de la repetición durante el propio proceso de conducción. Así, a través de las alarmas y recomendaciones que el tutor a bordo da al conductor, éste irá adaptando su estilo de conducción a uno más eficiente.
- **Mobile learning.** Una parte fundamental del proceso de aprendizaje se realiza utilizando equipos móviles embarcados en el propio vehículo.
- **Long-term learning.** La metodología busca un aprendizaje que permita al conductor conseguir una conducción más eficiente de forma permanente.

Dado que su objetivo es la eficiencia en la conducción desde el punto de vista energético, la metodología BLED se ha alineado con el estándar internacional ISO 50001 [ISO50001] de Sistemas de Gestión de la Energía, de forma que las empresas que la utilicen sean capaces de incorporar esta metodología como parte de su sistema de gestión favoreciendo el cumplimiento de este estándar internacional, y al mismo tiempo, ser conformes con la ya mencionada directiva comunitaria 2012/27 de eficiencia energética.

3.2.2 Descripción general

El proceso que describe la metodología BLED es el que se presenta en la [figura 16](#). En él se puede observar la participación de tres roles diferenciados en su aplicación:

- **Conductor.** Es la persona que busca hacer su conducción más eficiente. Podría asimilarse al alumno de un sistema de aprendizaje en un contexto más tradicional.
- **Responsable de flota.** Perteneciente normalmente a la dirección de la empresa, es el encargado de supervisar la mejora de los conductores. Puede asociarse a un evaluador no experto además

de la persona que debería tomar las decisiones de cómo informar al conductor en su proceso de mejora.

- **Experto en conducción eficiente.** Profesor encargado de impartir seminarios de conducción eficiente y evaluar desde un punto de vista experto la mejora de los conductores.

La metodología de aprendizaje BLED descansa sobre tres herramientas de formación:

- **Seminarios presenciales de formación.** Cursos impartidos por los expertos en conducción eficiente. En ellos se incluyen la tutorización del conductor en el propio vehículo, mediante la realización de recorridos supervisados por el experto en conducción eficiente.
- **Plataforma de *e-learning* y análisis *offline*.** Sistema para el análisis de rutas, análisis de indicadores de conducción eficiente, recepción de consejos sobre mejora de la conducción y apoyo remoto de experto a través de plataforma web.
- **Tutor embarcado o asistente en tiempo real.** Sistema capaz de recibir información de la centralita del vehículo para analizar la evolución de la marcha del vehículo, capaz de proporcionar al conductor recomendaciones y alertas referidas a su conducción.

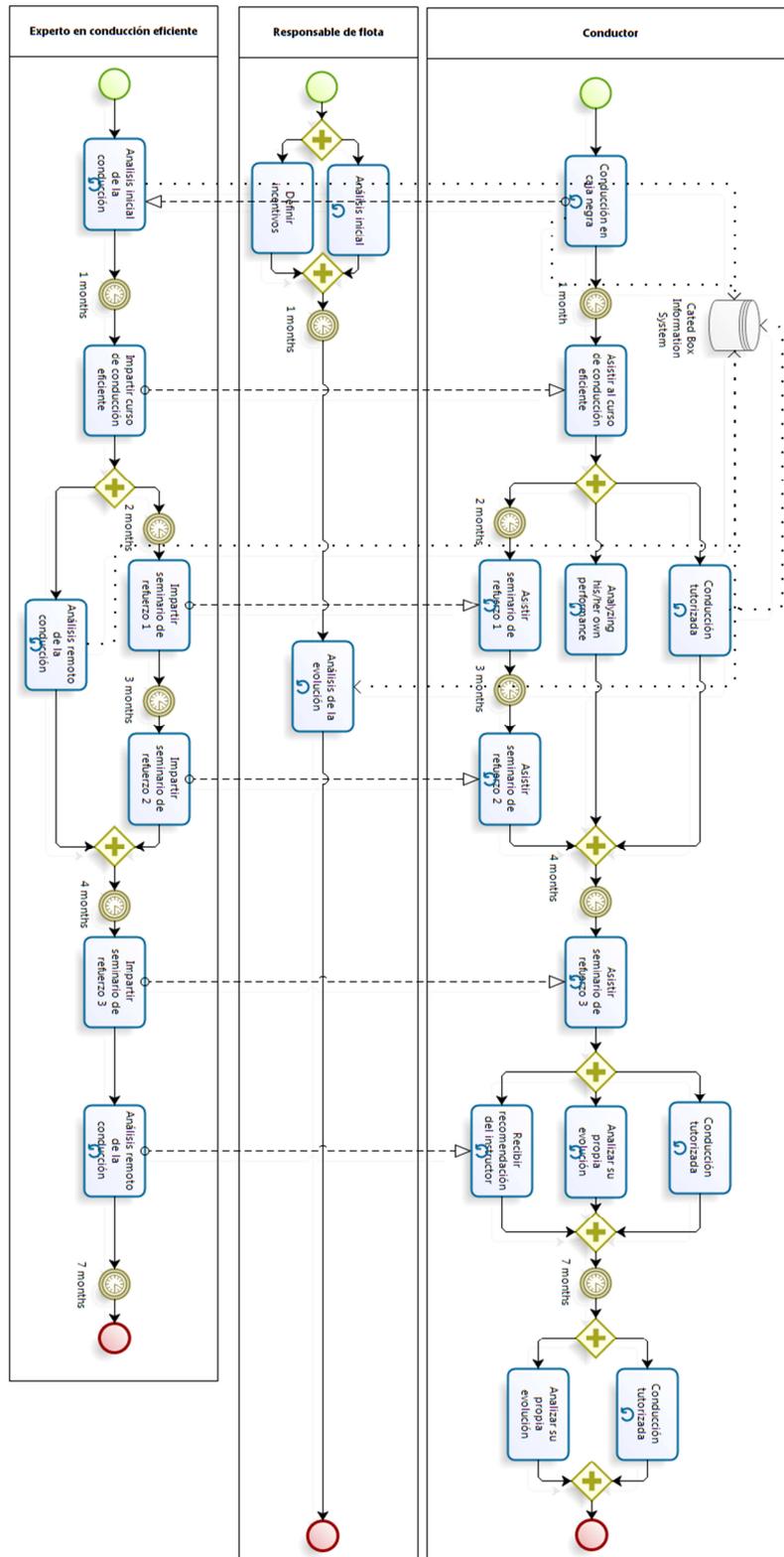


Figura 16: Proceso de aplicación de la metodología BLED

El proceso de aplicación de la metodología BLED está organizado en 4 diferentes fases:

- **Fase de caja negra** (1 mes). En esta fase se estudia la conducción del conductor desde el punto de vista de la eficiencia con objeto de establecer una línea base, tal y como se indica en ISO 50001. La monitorización del conductor se realiza recogiendo información a través del sistema CatedBox en modo caja negra. Este periodo es tomado como referencia para analizar la mejora en la conducción en los sucesivos análisis a lo largo de todo el proceso de aprendizaje.
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia presencial de expertos** (3 meses). Este periodo comienza con un seminario sobre conducción eficiente. Durante los siguientes tres meses, el conductor cuenta con la asistencia del sistema embarcado CatedBox que le proporciona guías en tiempo real, la plataforma de análisis *offline* y *e-learning* y uno o dos seminarios de refuerzo con un experto en conducción eficiente. En dichos seminarios se dan recomendaciones pero también se hace un análisis de la evolución entre el conductor y el experto.
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia remota de expertos** (3 meses). Al igual que la fase anterior ésta comienza con un seminario. Es la última interacción presencial que el conductor va a tener con los expertos. A partir de ese momento cuenta con el apoyo de los mismos únicamente a través de la plataforma de *e-learning* donde recibe recomendaciones y puede analizar su propia evolución. Cuenta también con el apoyo del tutor embarcado de igual forma que en la fase anterior.
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y plataforma de análisis *offline/e-learning*** (periodo ilimitado, mínimo 5 meses). La última fase está centrada en el proceso de aprendizaje autónomo. El conductor cuenta como única asistencia con el tutor embarcado y la plataforma de análisis *offline*. Deberá de ser capaz de a través del seguimiento de sus consejos y de su propia evaluación a través de la plataforma Web mantener o mejorar la eficiencia en su conducción.

3.2.3 Aprendizaje presencial

El aprendizaje presencial está conformado por un curso (8 horas de duración) y uno-dos seminarios (3 horas de duración) que se distribuyen a lo largo de los 4 primeros meses de aplicación de la metodología.

3.2.3.1 Curso inicial de conducción eficiente

El curso o seminario inicial pone las bases para que el conductor descubra los fundamentos de la conducción eficiente. El curso tiene ocho horas de duración para cada conductor y se estructura en 4 sesiones:

- Una primera sesión práctica en la que el conductor realizará una ruta con el formador observando su forma de conducir. En ella el conductor manejará el vehículo de forma libre, es decir, sin recibir ningún tipo de indicación. La forma de manejar el vehículo será una referencia

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

para el formador, aunque puesto que el conductor sabe que lo están observando no podrá considerarse una actuación totalmente libre.

- La segunda sesión es una formación teórica en el aula en la que se analizan las bases y cómo aplicar la conducción eficiente a diferentes situaciones (figura 17).
- En la tercera sesión se realiza una ruta en este caso con el formador dando recomendaciones de cómo hacer su conducción más eficiente (figura 18).
- Por último, la cuarta sesión es de revisión y cierre del curso en la propia aula de formación. En ella, se analizan las ineficiencias más comunes, se resolverán dudas de los conductores y se motivará a los conductores para que pongan en marcha las lecciones aprendidas.



Figura 17: Imagen de un sesión teórica del curso inicial de la metodología



Figura 18: Imagen de un sesión práctica del curso inicial de la metodología

Para llevar a cabo la acción formativa, se definen grupos reducidos de con un número máximo de ocho personas por grupo. Esta formación se realiza a través de una lección magistral participativa con el apoyo de presentaciones multimedia. Los puntos a desarrollar en la **sesión formativa en el aula** son:

- **Presentación, importancia y objetivos:** Breve introducción del proyecto, que debe ser realizada idealmente por el responsable de la flota o alguien designado a tal efecto (o previamente presentado a nivel interno).
- **Consumo de energía y emisiones al medio ambiente en el transporte urbano:** Comprender la importancia del proyecto para la empresa y la sociedad por su impacto en la reducción de emisiones y seguridad y confort para los pasajeros (donde sea aplicable). Se introducen las características de los vehículos industriales, el peso del consumo de energía en el transporte, su impacto en el medio ambiente y su efecto nocivo para la salud.
- **Tecnología de motores y de vehículos:** se abordan los conceptos de potencia y par motor (figura 19), consumo de combustible, curvas características, la influencia concepto de inercia y su repercusión en el consumo.

Conceptos de par motor y potencia

adn mobile solutions
smart innovations

- Par: fuerza de rotación aplicada al final de un eje giratorio
 - Es la “fuerza de empuje”
 - La fuerza que se hace para girar los pedales de una bicicleta o para girar un destornillador al apretar un tornillo es un par
 - **Par Motor Máximo** es la máxima fuerza de giro que puede proporcionar el motor, se da a revoluciones medias y bajas
 - Zona verde del cuentarrevoluciones = **Conducción Eficiente**
- Potencia: es la cantidad de trabajo que puede desarrollar un motor en un tiempo determinado
 - Cuanta más potencia tiene un motor, más trabajo puede realizar en el mismo tiempo
 - Acelera un vehículo más rápido
 - Sube una pendiente a más velocidad
 - Arrastra cargas más pesadas
 - **Potencia Máxima** = altas revoluciones = consumo muy elevado

Figura 19: Transparencia utilizada para explicar los conceptos de Par motor y Potencia

- **Actitud del conductor:** importancia de la mentalidad del conductor, la actitud en el arranque, la previsión y la anticipación. En esta parte se incide en la actitud del conductor como elemento clave para mantener una conducción eficiente, haciéndole ver que este tipo de conducción le

causará menos *stress* y nerviosismo en su rutina de trabajo. También se recalca la importancia de anticipar constantemente el tráfico circundante para una mayor eficiencia (ej. aprovechamiento de inercia) y seguridad en la conducción.

- **La conducción eficiente como una conducción de la nueva era:** (en la [figura 20](#) se muestran ejemplos de transparencias usadas para estos conceptos):
 - Técnicas de conducción eficiente
 - Beneficios: entre ellos la no penalización del servicio en tiempo.
 - La tecnología como aliado del conductor: Herramientas que acompañarán al conductor para asistirle en la conducción. Introducción a la tecnología CatedBox y a la metodología BLED. Se hace una descripción tanto de los sistemas embarcados como del portal Web de análisis *offline* y de los informes mensuales de desempeño
- **Ejemplos de casos reales (casos prácticos virtuales):**
 - Profundizar en aquellos patrones ineficientes detectados en fase de caja negra para las diferentes agrupaciones de la flota.
 - Ejemplos anonimizados de otros servicios similares (otras flotas) de la mejora de rendimiento del conductor sin penalizar los tiempos de servicio.
- **Cierre y futuros pasos:** Esta parte debe ser coordinada con el responsable de la flota que apoyará al experto. Tiene el objetivo de informar a los conductores cómo y cuándo se les informará (ej. informes mensuales de desempeño entregados con la nómina) y cómo seguirá la empresa la evolución de su aprendizaje y desempeño. También se les comunica la siguiente formación práctica que tendrá lugar.
- **Encuestas de calidad:** Se facilita una encuesta de calidad a los conductores para recabar mejoras y observaciones.



Figura 20: Transparencia utilizada en el curso inicial en el caso de empresas de transporte de pasajeros urbanas

En las **sesiones prácticas** se realizan dos rutas en condiciones muy parecidas de trayecto, duración y distancia. Idealmente las rutas a realizar deben de ser trayectos en los conductores desarrollan su actividad. Estas dos rutas se denominan "libre" y "guiada" y tienen una de duración entre 15 y 20 minutos cada una. En la ruta libre se observa al conductor sin darle ninguna recomendación. Durante la ruta supervisada el experto debe de comentar al conductor diferentes aspectos de mejora haciendo especial énfasis en indicarle que una conducción más eficiente no aumenta la duración de los trayectos, si no que en ocasiones es incluso capaz de reducirlos.

En la sesión de cierre, el formador entrega a los conductores un informe con su desempeño a lo largo de las rutas realizadas. El objetivo será que el conductor pueda analizar por sí mismo cómo una conducción eficiente implica menor consumo y mantenimiento (o incluso incremento) de las velocidades medias. Un ejemplo de esta información se muestra en la Figura 21.



Resultados de la formación

Día de la formación **20 abril 2015**

Conductor: 2380 - [redacted]		Vehículo: 650 - 2111HGT										
Hora		tipo	min.	km	Velocidad		Consumo		Alarmas Nivel 2			
inicio	fin				Máxima	Media	l/100km	%	acc.	dec.	rpm.	ralenti
08:49	09:12	Libre	22,2	4,9	62,4	13,3	66,0		835,6	2.098,2	308,2	0,0
10:55	11:11	Guiada	16,4	4,3	53,1	15,6	55,1	-16,5%	374,6	2.142,6	75,8	0,0

Conductor: 2415 - [redacted]		Vehículo: 650 - 2111HGT										
Hora		tipo	min.	km	Velocidad		Consumo		Alarmas Nivel 2			
inicio	fin				Máxima	Media	l/100km	%	acc.	dec.	rpm.	ralenti
09:46	10:03	Libre	16,8	4,3	55,7	15,3	55,2		1.159,7	1.228,4	960,9	0,0
11:50	12:09	Guiada	18,9	4,2	52,5	13,2	51,6	-6,5%	460,0	1.672,9	0,0	0,0

Conductor: 2785 - [redacted]		Vehículo: 650 - 2111HGT										
Hora		tipo	min.	km	Velocidad		Consumo		Alarmas Nivel 2			
inicio	fin				Máxima	Media	l/100km	%	acc.	dec.	rpm.	ralenti

Figura 21: Ejemplo de informe de resultados de la formación inicial práctica

3.2.3.2 Seminarios de refuerzo

Estos seminarios se centran en el repaso de conceptos clave de la conducción eficiente para los vehículos específicos de la flota, resolviendo consultas o dudas que puedan tener los conductores de la tecnología de soporte CatedBox. Asimismo, se revisa con cada conductor su evolución basada en los informes mensuales de seguimiento/portales y se le plantean objetivos de mejora personalizados para el siguiente periodo (hasta el siguiente seminario o periodo de auto seguimiento basado en informes mensuales). También se ilustran casos prácticos reales de situaciones ineficientes detectadas que pueden ser comunes para varios conductores, como es el caso mostrado en la figura 22, correspondiente a aceleraciones ineficientes en zonas adyacentes a una glorieta.

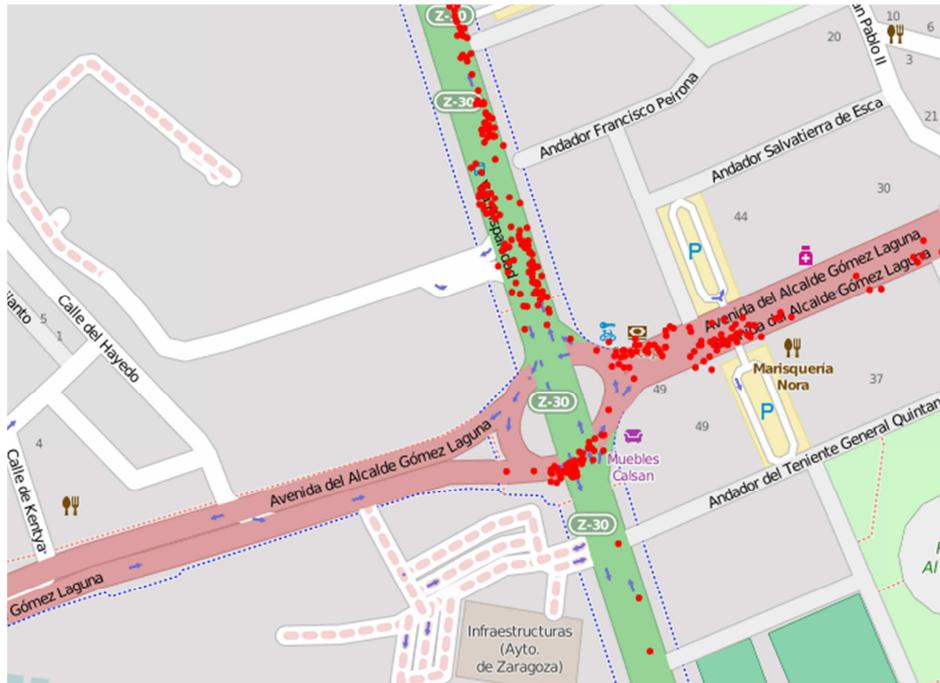


Figura 22: Alarmas de aceleración concentradas en una zona determinada, en una línea de autobús urbana

3.2.4 Tutorización durante la conducción: tutor embarcado/asistente en tiempo real

El segundo elemento sobre el que descansa la metodología es el tutor abordo o embarcado. Éste tiene como objetivo mantener la atención del conductor sobre las cuestiones relativas a la eficiencia durante toda su jornada trabajando en el vehículo. Fundamentalmente se busca que los conceptos relacionados con la eficiencia no se abandonen y se siga pensando en ellos a lo largo de todo el periodo de actividad diaria. Su importancia es vital, puesto que el conductor que debe de estar centrado en muchas cuestiones como el tráfico, estado de las vías, o subida y bajada de pasajeros, inconscientemente puede dejar que la eficiencia pase a un segundo plano. De esta forma, mediante una serie de señales visuales no intrusivas, se evita que los comportamientos eficientes caigan en el olvido y se refuerza permanentemente la formación

Se busca conseguir este comportamiento de aprendizaje “*on the job*” mediante una serie de componentes que forman lo que hemos llamado tutor embarcado:

- **Sistema de lectura de los parámetros de funcionamiento del vehículo.** Conectado al puerto OBD-II [OBD1998] (si es un vehículo de tipo turismo) o al puerto FMS/ J1939 [SAEJ1939] (si es un vehículo industrial) este dispositivo recoge y transmite la información al dispositivo embarcado.
- **Dispositivo embarcado.** Se encarga de realizar las tareas de recepción de la información proporcionada por el sistema anterior, su transmisión al sistema centralizado de recepción y proceso, y de la presentación de información al usuario visualmente mediante una pantalla que muestra la aplicación de tutorización.



Figura 23: Aplicación de tutorización funcionando en un autobús urbano

La aplicación de tutorización (figura 23) es el principal componente pedagógico del asistente en tiempo real y tiene como misión generar los estímulos que mantengan la atención del conductor sobre la eficiencia en la conducción. Para ello se utilizan una serie de indicadores y alarmas que dependen de las características del vehículo (por ejemplo en un vehículo con cambio automático la recomendación de cambio de marcha está deshabilitada, si es un vehículo donde se necesita incidir sobre el régimen de revoluciones hay un indicador específico para ello). Mediante estos indicadores (descritos en detalle más adelante) se busca que el conductor mantenga, mientras realiza su trabajo habitual, los niveles de calidad de la conducción.

Para hacer más sencilla e implícita la autoformación, la aplicación muestra un código de colores asociados con el cumplimiento o no de las recomendaciones para conducción eficiente:

- **Verde:** Indica que se está conduciendo de forma correcta conforme a las recomendaciones.
- **Amarillo:** Indica una alarma de nivel medio. Indica un comportamiento que penaliza la eficiencia entre niveles leves e intermedios.
- **Rojo:** Indica un nivel de alarma de nivel alto. Indica un comportamiento que penaliza la eficiencia en niveles de intermedios a altos.

Los niveles pueden ser ajustados por el experto en conducción de forma dinámica para facilitar el proceso de aprendizaje. Demasiadas alarmas los primeros días de uso del sistema pueden desmoralizar al conductor con lo que se puede ir aumentando los niveles de exigencia de las alarmas de forma progresiva siguiendo la idea de mejora continua. Las alarmas son descritas con detalle en el posterior apartado 3.2.6.

3.2.5 Sistema de *e-learning* y análisis *offline*

El tercer elemento sobre el que descansa esta metodología BLED es el sistema de *e-learning* y análisis *offline*. Esta herramienta tiene diferentes perfiles y objetivos para los diferentes roles que participan en la metodología.

En el caso del conductor, su misión es la de apoyar al aprendizaje presencial permitiendo que éste revise sus actuaciones. Para el conductor el papel de este elemento es meramente auxiliar, puesto que la metodología tiene como uno de sus principales paradigmas que el aprendizaje se realice mientras se trabaja. Sin embargo, su importancia puede ser grande si se despierta en el conductor la curiosidad por ver sus resultados y mejorar su desempeño.

La herramienta también tendrá perfiles para el experto en conducción eficiente y el responsable de flota. En estos casos, su función será la de seguimiento y control. En el caso del experto, la información que puede obtener con la misma es de suma importancia a la hora de preparar los seminarios de refuerzo y los informes de seguimiento.

3.2.5.1 Conductor

Cada conductor dispone de un portal Web con las siguientes características funcionales, que permiten mejorar su propia formación:

- **Análisis de rutas y alarmas.** El conductor puede examinar sus propias rutas y estudiar dónde se han producido sus alarmas, razonando el por qué y permitiéndole reflexionar sobre si será capaz de evitarlas en el próximo recorrido. En la [figura 24](#) puede observarse un ejemplo para un autobús urbano articulado.
- **Recepción de recomendaciones, generales y personalizadas, de conducción eficiente.** El conductor tiene recomendaciones personalizadas generadas por los sistemas CatedBox, a partir del análisis de sus rutas, y recomendaciones realizadas por los expertos en conducción eficiente (principalmente a través de los informes periódicos de desempeño)
- **Formación general de apoyo sobre conducción eficiente.** Adicionalmente el conductor cuenta en la plataforma con información general sobre conducción eficiente similar a la estudiada en el curso y los seminarios de refuerzo.

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

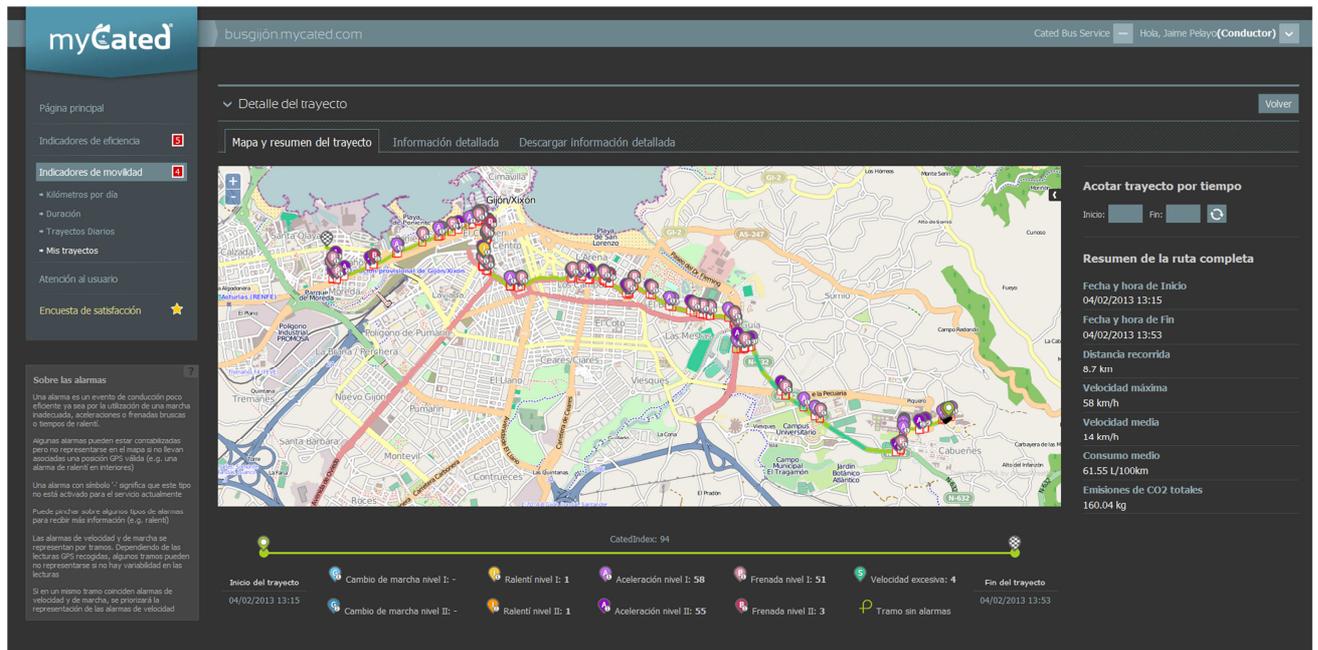


Figura 24: Mapas con alarmas para el análisis detallado de las rutas

3.2.5.2 Experto en conducción eficiente

El experto dispone de un portal específico de análisis y seguimiento de los conductores (figura 25), que permite:

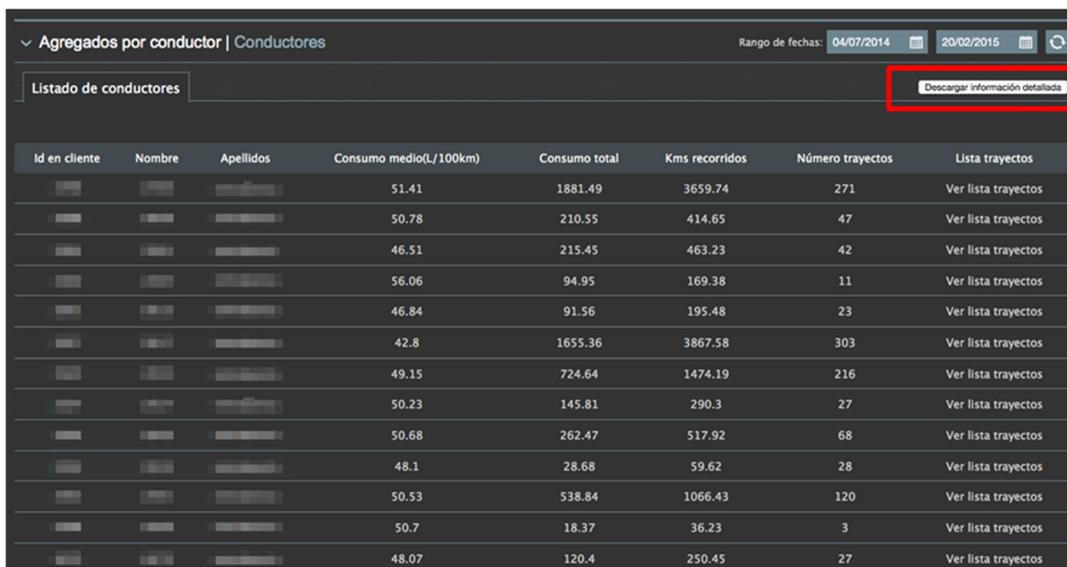
- **Introducir comentarios personalizados** para la evaluación del progreso mediante informes mensuales
- **Revisar datos resumen de ineficiencias** en base a las alarmas para mayor precisión en los comentarios.



Figura 25: Portal del experto en conducción eficiente con la posibilidad de introducir comentarios para la evaluación del progreso de aprendizaje

3.2.5.3 Responsable de flota

El responsable de flota puede acceder a toda la información que disponen los conductores pero además tiene acceso a información agregada a nivel de conductores y vehículos (figura 26), pudiendo establecer distintos filtros o descargar la información a formato de hoja de cálculo. Por último también tiene la opción de consultar y descargar los informes de evaluación del progreso a nivel de los conductores o a nivel de agregados de la flota.



The screenshot shows a web interface for fleet management. At the top, there is a navigation bar with 'Agregados por conductor | Conductores' and a date range filter set to '04/07/2014' to '20/02/2015'. Below the navigation bar, there is a tab labeled 'Listado de conductores' and a red-bordered button labeled 'Descargar información detallada'. The main content is a table with the following columns: 'Id en cliente', 'Nombre', 'Apellidos', 'Consumo medio(L/100km)', 'Consumo total', 'Kms recorridos', 'Número trayectos', and 'Lista trayectos'. The table contains 14 rows of data.

Id en cliente	Nombre	Apellidos	Consumo medio(L/100km)	Consumo total	Kms recorridos	Número trayectos	Lista trayectos
			51.41	1881.49	3659.74	271	Ver lista trayectos
			50.78	210.55	414.65	47	Ver lista trayectos
			46.51	215.45	463.23	42	Ver lista trayectos
			56.06	94.95	169.38	11	Ver lista trayectos
			46.84	91.56	195.48	23	Ver lista trayectos
			42.8	1655.36	3867.58	303	Ver lista trayectos
			49.15	724.64	1474.19	216	Ver lista trayectos
			50.23	145.81	290.3	27	Ver lista trayectos
			50.68	262.47	517.92	68	Ver lista trayectos
			48.1	28.68	59.62	28	Ver lista trayectos
			50.53	538.84	1066.43	120	Ver lista trayectos
			50.7	18.37	36.23	3	Ver lista trayectos
			48.07	120.4	250.45	27	Ver lista trayectos

Figura 26: Portal de seguimiento a nivel de responsable de la flota donde pueden consultarse datos por vehículo y conductor, así como efectuar la descarga de informes y de la información presentada en tablas

3.2.6 Sistema de evaluación del aprendizaje

3.2.6.1 Indicadores y magnitudes de conducción eficiente

El progreso del conductor hacia una conducción más eficiente se evalúa a través de las métricas o indicadores de conducción eficiente que se presentan en este apartado, que son utilizados en todas las etapas del servicio formativo (asistente embarcado, informes mensuales, portales y formación presencial).

Estos indicadores se basan principalmente en el concepto de “alarmas” producidas durante la conducción y registradas por el asistente o tutor embarcado. Estas alarmas se registran y normalizan para poder informar del desempeño de las mismas y establecer contextos comparables entre conductores. Las alarmas se contabilizan como el número de segundos transcurridos con señal de nivel rojo activa en el tutor embarcado (figura 27). Estos segundos de alarma acumulados se promedian por cada cien kilómetros de forma idéntica a como se hace para informar del consumo medio entre los vehículos (l/100km). En cualquier caso, el sistema está preparado para soportar otros indicadores de

conducción eficiente que se consideren introducir en el futuro como parte del proceso de mejora continua.



Figura 27: Alarma roja de revoluciones de motor (RPM) en el asistente embarcado

Los indicadores de conducción eficiente son los siguientes:

- **Indicador de aceleración:** Promedio de alarmas de aceleración de nivel rojo en el periodo en el que se desee evaluar el aprendizaje. Se corresponden con las alertas rojas en el tutor embarcado cuando se supera el umbral de aceleración marcado como adecuado.
- **Indicador de deceleración:** Promedio de alarmas de deceleración de nivel rojo en el periodo en el que se desee evaluar el aprendizaje. Se corresponden con las alertas rojas en el tutor embarcado cuando se supera el umbral de deceleración marcado como adecuado.
- **Indicador de ralentí:** Promedio de alarmas de ralentí de nivel rojo en el periodo en el que se desee evaluar el aprendizaje. Se corresponden con las alertas rojas en el tutor embarcado cuando se supera los segundos con el motor en ralentíes marcados como adecuados (en el caso de ralentí se expresan en minutos). Una alarma de ralentí nivel rojo se activa a partir de 180 segundos en el caso de un autobús urbano. Ej. un conductor con un valor de 12 de este indicador significa que como promedio ha pasado 12 minutos cada 100 km con paradas por encima de 180 segundos.
- **Indicador de RPM:** Promedio de alarmas de RPM de nivel 2 en el periodo en el que se desee evaluar el aprendizaje. Se corresponden con las alertas rojas en el tutor embarcado cuando se superan las revoluciones de motor marcadas como adecuadas.

Es importante destacar qué representa el umbral para la generación de una alarma roja o amarilla. Se presentan en la [tabla 9](#) los umbrales que fueron obtenidos mediante técnicas de calibración mediante equipos embarcados de referencia y ajustados mediante pruebas empíricas [Rionda2015b]. En el caso de la aceleración y deceleración estos se miden en m/s^2 y representan eventos longitudinales (no laterales). Por ejemplo, una aceleración de $1 m/s^2$ significa que la velocidad se incrementa en $1 m/s$ cada segundo transcurrido

Tabla 9: Umbrales por tipo de vehículo a partir de los cuales se genera una alarma. (Fuente [Rionda2015b])

Alarma \ Tipo veh.	Autobús	Ambulancia	Camión	Camión residuos	Barredora
Aceleración amarilla	1,078m/s ²	1,617m/s ²	1,617m/s ²	1,617m/s ²	1,176m/s ²
Aceleración roja	1,568m/s ²	2,352m/s ²	2,352m/s ²	2,352m/s ²	1,96m/s ²
Deceleración amarilla	0,882m/s ²	1,323m/s ²	1,323m/s ²	1,323m/s ²	1,176m/s ²
Deceleración roja	1,568m/s ²	2,352m/s ²	2,352m/s ²	2,352m/s ²	1,96m/s ²
Ralentí amarillo	120s	90s	90s	120s	120s
Ralentí rojo	180s	180s	180s	180s	180s
RPM amarillo	1650 RPM	2000 RPM	1650/1800	1650/1800	1500 RPM
RPM rojo	1800 RPM	2400 RPM	1800/2000	1800/2000	2000 RPM

Existen otros indicadores que no miden el desempeño directo del conductor pero que son necesarios para contextualizar la evaluación del aprendizaje. Estos son los siguientes:

- **Consumo:** medido típicamente en litros a los 100 kilómetros (l/100km) o en litros/hora.
- **Velocidad media:** Este indicador mide velocidad media (km/h) en los vehículos y conductores (indicador adicional para demostrar que no se ha penalizado el tiempo de servicio por una conducción eficiente).
- **Distancia y tiempo de conducción:** Este indicador mide la distancia (km) y tiempo de conducción (minutos y segundos). Es útil, por ejemplo, para realizar comparativas, conocer si el resto de indicadores obtenidos son sobre vehículos/conductores que han realizado tiempos y distancias similares o no.
- **Rutas:** número de trayectos realizados por el conductor a través de la búsqueda de rutas del vehículo coincidentes con los turnos del conductor suministrados por la empresa. El sistema de turnos será explicado en el apartado CatedBox.

3.2.6.2 Evaluación periódica del conductor mediante informes

La metodología define dos tipos de informes para la evaluación periódica del aprendizaje de los conductores, uno para cada conductor y otro para el responsable de la flota. La frecuencia de generación de estos informes se ha decidido mensual, tanto por operatividad (posibilidad de hacer la entrega conjunta con otros elementos como la nómina mensual en el caso de conductores de vehículos industriales) como por disponibilidad de cantidad suficiente de información.

La evolución se mide como el promedio de mejora de las alarmas con respecto a la referencia de caja negra o línea base energética. Por ejemplo, un 10% indica que en un periodo el conductor mejoró los índices de referencia en un 10%; y un -10% que su promedio fue peor en esa cantidad con respecto a dicha referencia. Es decir, a mayor porcentaje mayor mejora.

3.2.6.2.1 Informe mensual por conductor

Con periodicidad mensual se genera un informe para cada conductor que contiene el desempeño para ese mes en la conducción, así como comentarios/recomendaciones personalizadas de mejora realizados por el experto en conducción eficiente. En la **figura 28** se pueden ver las distintas secciones que conforman el informe mensual y los detalles en las **figuras 29, 31 y 32**. Nótese que se ha buscado simplicidad para no abrumar de información al conductor y, al mismo tiempo, poder informarle de su desempeño de forma comprensible en todos los indicadores de conducción eficiente.

Con el objetivo de mostrar al conductor cómo está evolucionando con respecto a sus compañeros, se establece el concepto de agrupación o clúster, que compara a conductores que realizan un servicio similar en términos de características de vehículo y tipología de ruta (es decir similar contexto de la conducción).

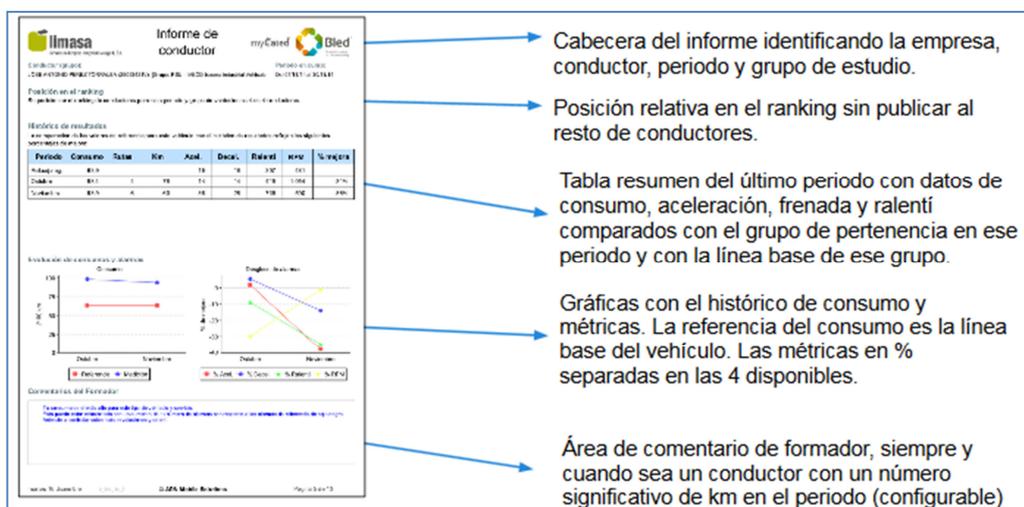


Figura 28: Informe mensual de conductor

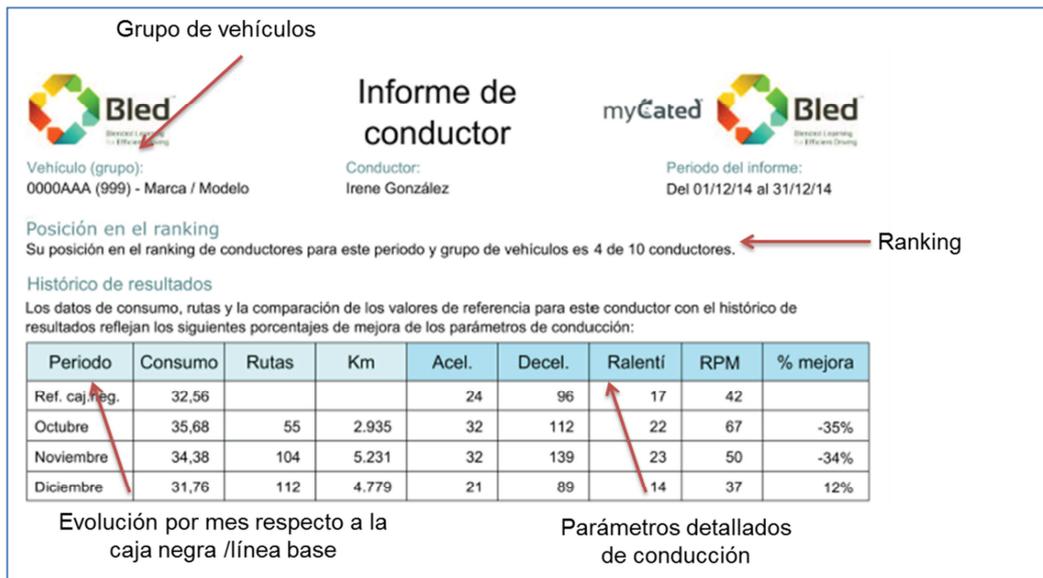


Figura 29: Informe conductor (cabecera, posición ranking, tabla resumen)

En el curso inicial del aprendizaje presencial el experto en conducción eficiente explica a los conductores la forma en que deben de interpretarlo; en cualquier caso se entrega una hoja con el informe que contiene una leyenda de interpretación del mismo. A continuación se muestra un ejemplo (figura 30):



Bled
Blended Learning
for Efficient Driving

Ayuda a la interpretación del informe de conductor



myCated

Interpretación del informe

Los trayectos incluidos en el informe corresponden a los realizados por dicho conductor en el uso del vehículo que se menciona. Se incluye, además del periodo indicado, información histórica de periodos anteriores y las mediciones en caja negra a modo de referencia.

Referencia del vehículo

La indicación de referencia refleja los valores iniciales que deben ser mejorados mediante una conducción más eficiente para cada una de las magnitudes indicadas en el vehículo actual. Estos valores fueron tomados durante el periodo de caja negra anterior a la formación.

Magnitudes indicadas

El informe considera las siguientes magnitudes analizadas en cada periodo:

- Consumo: expresado en litros de combustible consumidos por el vehículo a los 100 km.
- Rutas: número de trayectos realizados por el conductor en el periodo (a través de la búsqueda de rutas del vehículo coincidentes con los turnos del conductor suministrados por la empresa).
- Kilómetros: total de kilómetros acumulados por el conductor en el periodo sobre dicho vehículo.
- Alarmas: promedio de alarmas (expresadas como número de segundos con la alarma activa cada 100 km).
 - **Aceleración:** Promedio de alarmas de aceleración de nivel 2 en el periodo. Se corresponden con las alertas rojas en el embarcado cuando se supera la aceleración marcada como adecuada.
 - **Deceleración:** Promedio de alarmas de deceleración de nivel 2 en el periodo. Se corresponden con las alertas rojas en el embarcado cuando se supera la deceleración marcada como adecuada.
 - **Ralentí:** Promedio de alarmas de ralentí de nivel 2 en el periodo. Se corresponden con las alertas rojas en el embarcado cuando se supera los segundos de ralentí marcados como adecuados (en este caso expresadas en minutos). Una alarma de ralentí nivel 2 (roja) se activa a partir de 180 segundos. Por ejemplo, un conductor con un valor de 12 en el informe significa que como promedio ha pasado 12 minutos cada 100 km con paradas por encima de 180 segundos.
 - **RPM:** Promedio de alarmas de RPM de nivel 2 en el periodo. Se corresponden con las alertas rojas en el embarcado cuando se superan las revoluciones de motor marcadas como adecuadas.
 - **% mejora:** Promedio de mejora de las alarmas anteriores con respecto a la referencia de caja negra. Por ejemplo, un 10% indica que en ese periodo el conductor mejoró los índices de referencia en un 10%; y un -10% que su promedio fue peor en esa cantidad con respecto a dicha referencia. Es decir, a mayor % mayor mejora.



Fig1: Alarmas en el embarcado del vehículo

Cálculo del ranking

La posición en el ranking (formado por todos los conductores de vehículos del mismo grupo) viene determinada en cada periodo por el porcentaje de mejora promedio en las alarmas. Por ejemplo, que un conductor con un promedio de mejora en alarmas del 10% y con posición 5 en el ranking sobre 12, se sitúa en esta posición porque 4 conductores del grupo han obtenido mejoras superiores al 10%.

Comentarios del formador

Para cada periodo nuestro equipo de formadores ofrecerá su interpretación de los datos obtenidos por el conductor, cómo está evolucionando y qué se le puede aconsejar para que siga mejorando su desempeño. Si el conductor no alcanza un número mínimo de km en el periodo se omite dicho comentario.

Evolución de consumo y alarmas

Se presenta de manera gráfica el histórico de consumo del conductor en este vehículo (expresado en litros de combustible a los 100km) y los % de mejora desglosados de las alarmas sobre los valores de referencia (recuérdese que mejor cuanto mayor % en el caso de las mejoras).

© ADN MOBILE SOLUTIONSV2.0 – DICIEMBRE 2014

Figura 30: Hoja de interpretación del informe que se entrega al conductor

Abel Rionda Rodríguez

81

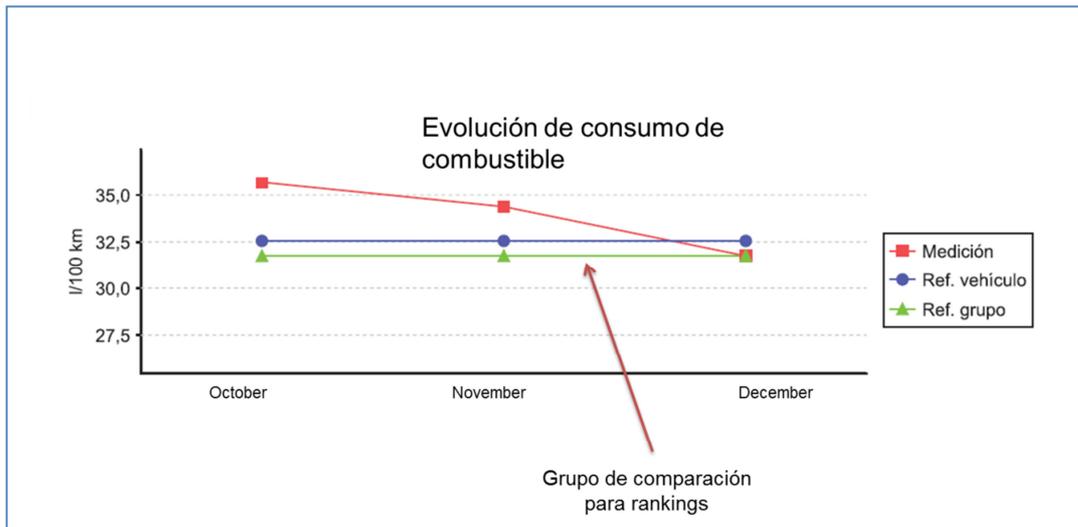


Figura 31: Informe conductor (detalle evolución consumo)

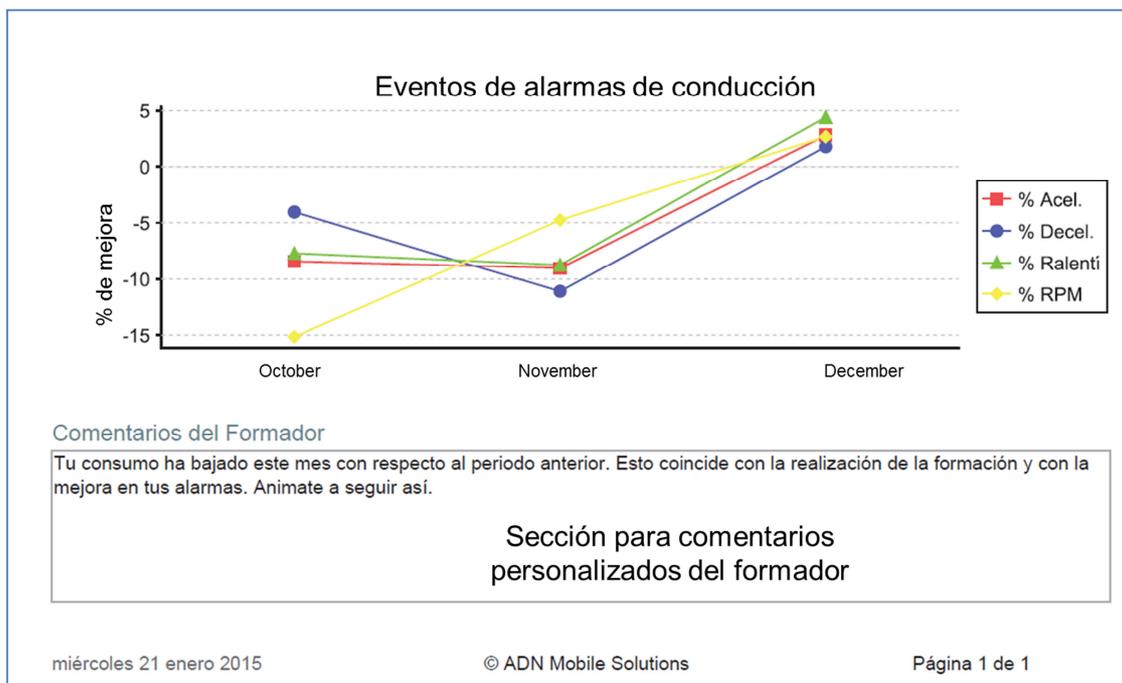


Figura 32: Informe conductor: Evolución de los indicadores conducción y comentarios personalizados del experto en conducción eficiente

3.2.6.2.2 Informe mensual responsable flota

El responsable de la flota dispone un informe resumen de los conductores en las distintas agrupaciones (figura 33). Se informa en términos de porcentaje de mejora de los indicadores de conducción eficiente respecto a la referencia de línea base (columna “promedio mejora”) así como otros indicadores resumen como los promedios de consumo, velocidad y posición en el ranking. Interesante destacar que se le

puede informar de cómo están desempeñando los conductores dentro de la metodología frente a otros que no la han cursado (en casos en los que el proyecto no se ha extendido entre todos los conductores).

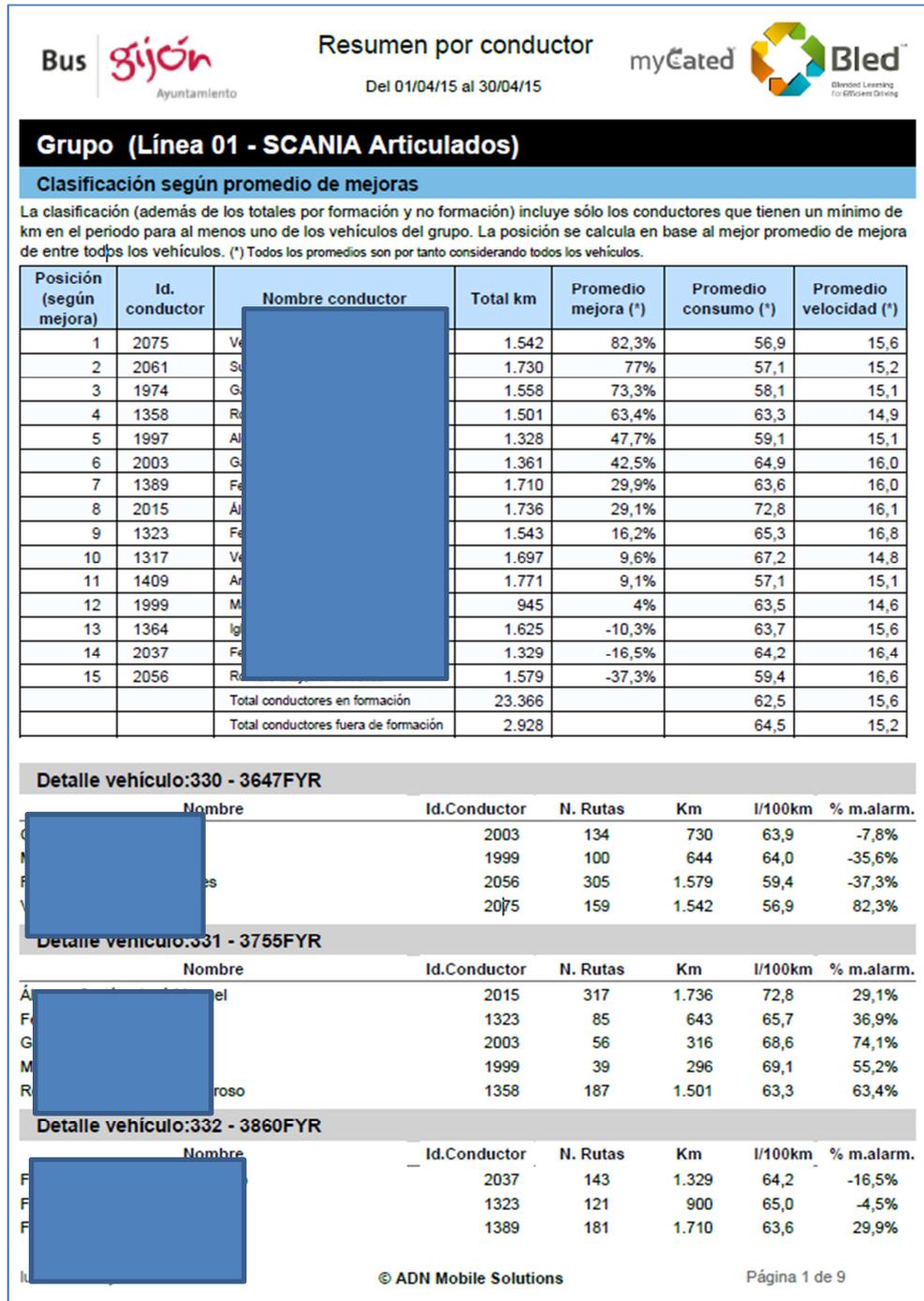


Figura 33: Informe mensual para el responsable de la flota

3.2.7 Alineación con ISO 50001

La metodología BLED ha sido diseñada para que su aplicación facilite el seguimiento de la norma ISO 50001, habiéndose presentado esta alineación en [Rionda2015a]. Tanto el proceso que define como la tecnología CatedBox en la que se apoya, posibilitan el cumplimiento de los siguientes requisitos definidos en la norma:

- **Responsabilidad de la dirección.** Se define un responsable de la flota como representante de la dirección, un proceso de revisión periódica y promueve la toma de conciencia energética a través de la posibilidad de definir una política de información en base al desempeño en la conducción.
- **Política energética.** Permite evaluar el uso actual y pasado de la energía consumida en el proceso de conducción. Define una línea base de consumo de energía durante el periodo de conducción en caja negra.
- **Implementación y operación.** A través de los cursos presenciales y la tecnología CatedBox de apoyo a la conducción eficiente se instruye al conductor para ahorrar de energía a través de una conducción más eficiente. La herramienta de análisis CatedBox y los informes de evolución son la base para informar sobre el desempeño energético y la definición de metas.
- **Verificación.** El sistema de información en el que CatedBox almacena la información permite realizar el seguimiento del consumo de energía. Dicha información posibilita la realización de auditorías internas, la valoración de objetivos y la determinación de acciones correctivas.
- **Revisión por la dirección.** El responsable de flota nombrado por la dirección dispone de un cuadro de mando (portal Web responsable flota) con información global de la flota e individual de cada conductor y vehículo. Dicha información procesada permite una fácil revisión de indicadores por parte de la dirección.

En la [tabla 10](#) se muestra la correspondencia específica entre algunos apartados de la norma ISO y los aspectos diseñados de la metodología BLED y la tecnología de soporte CatedBox:

Tabla 10: Correspondencia entre apartados de la ISO 50001 y características de la metodología BLED y sistema de soporte CatedBox

Metodología BLED y tecnología CatedBox	ISO 50001	
	Capítulo	Descripción
La mejora continua se ha considerado en el diseño de la metodología BLED específicamente mediante la fase de duración ilimitada para el aprendizaje permanente: “Fase de tutorización con tutor a bordo y plataforma de análisis <i>offline/e-learning</i> ”.	1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN Esta Norma Internacional especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético , incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.
Metodología BLED: Descripción general Línea base Tecnología CatedBox	3	TÉRMINOS Y DEFINICIONES Línea de base energética Equipo de gestión de la energía
	4.2	LIDERAZGO
Metodología BLED: Descripción general	4.2	Responsabilidad de la dirección
Metodología BLED: Descripción general	4.5.1y 4.5.2	Generalidades y Competencia, formación y toma de conciencia
	4.5	IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN
Metodología BLED: Aprendizaje presencial	4.5.2	Competencia, formación y toma de conciencia
Metodología BLED: Aprendizaje presencial/tutor embarcado/informes conductor	4.5.3	Comunicación
Metodología BLED: Sistema de evaluación del aprendizaje	4.5.4.1 y 4.6.5	Documentación: Requisitos de la documentación y Control de los registros
Metodología BLED: Descripción general	4.5.5	Control operacional
Metodología BLED: Descripción general	4.4.3	Revisión energética
Metodología BLED: Descripción general	4.4.4	Línea de base energética
Metodología BLED: Sistema de <i>e-learning</i> y análisis <i>offline</i>	4.5.5	Control operacional
Tecnología de soporte CatedBox	4.5.7	Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía
Metodología BLED: Sistema de evaluación del aprendizaje - Indicadores y magnitudes de conducción eficiente.	4.4.5	Indicadores de desempeño energético
Metodología BLED: Sistema de evaluación del aprendizaje – Evaluación periódica del conductor mediante informes / Sistema de <i>e-learning</i> y análisis <i>offline</i>	4.6.1	Seguimiento, medición y análisis
Metodología BLED: Descripción general	4.7	Revisión por la dirección

3.3 Sistema de apoyo a la conducción eficiente

CatedBox

3.3.1 Descripción general

La arquitectura que soporta la metodología propuesta BLED, que se muestra en la [figura 34](#), está formada por diversos componentes tanto hardware como software agrupados en dos sistemas principales: sistema embarcado y sistema central. El conjunto se denomina sistema CatedBox.

El **sistema embarcado** en el vehículo se encarga de recoger la información de la centralita del mismo, realizar los cálculos necesarios para que la aplicación de recomendación y alarma presente la información al conductor y transmitir al sistema central la información para su almacenado.

Con esta información (enviada de forma continua por los sistemas embarcados) y la recibida del sistema de gestión de turnos de la compañía de transporte y otros sistemas externos, el **sistema central** habilita datos de seguimiento de vehículos y conductores para ser consultados a través de portales Web, tanto por el responsable de la flota como por los propios conductores (**subsistemas front-end y back-end**).

El **subsistema de inteligencia de negocio** o *business intelligence* (BI) obtiene la información de la base de datos principal (*back-end*) y está pensado para crear informes periódicos con los que el experto puede ampliar la información sobre determinadas situaciones ineficientes. También está pensado para la generación de informes de valor añadido para el responsable de la flota (ej. mapas globales de ineficiencias a nivel de flota). Este subsistema se ha tenido en cuenta en el diseño de la arquitectura global pero no ha sido objeto de análisis y desarrollo en la presente tesis.

El **subsistema directorio central** tiene la misión de facilitar la tarea de instalación de los sistemas embarcados (proceso conocido como descubrimiento automático) así como de llevar a cabo labores de mantenimiento y actualización remota de los equipos embarcados.

Adicionalmente el sistema central cuenta con un subsistema encargado de hacer las tareas de gestión de servicio (**subsistema gestión TI**) para llevar a cabo una adecuada gestión y provisión del servicio. De este modo los conductores o el responsable de la flota pueden introducir desde el portal Web incidencias o peticiones de servicio para que el equipo de gestión las procese. También trata aquellas que el sistema autogenera a partir de revisión automática del estado de los sistemas embarcados (ej.: fallo en el equipo embarcado nº xyz debido a que lleva una semana sin enviar datos).

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

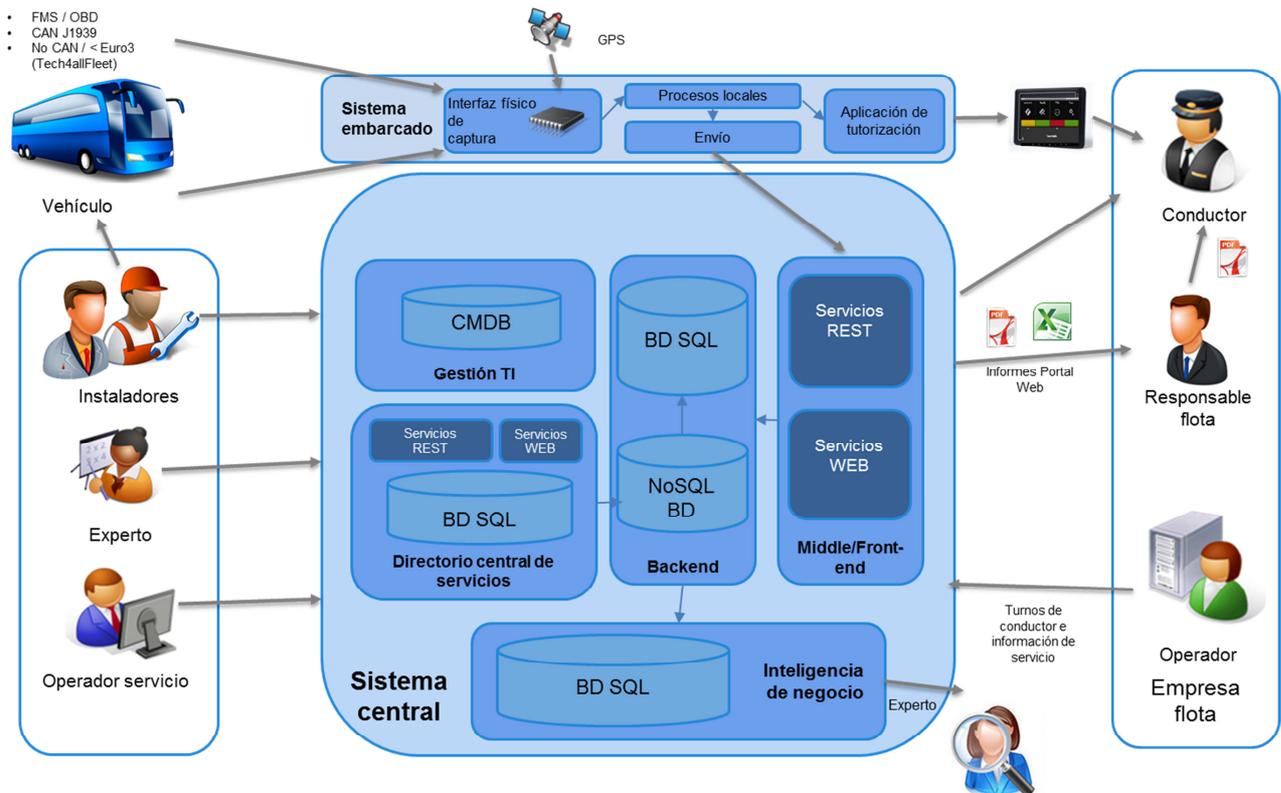


Figura 34: Arquitectura del sistema CatedBox

3.3.2 Sistema embarcado

El sistema embarcado tiene dos elementos físicos (centralita hardware con distintos componentes físicos) y pantalla externa de asistencia al conductor.

3.3.2.1 Arquitectura y módulos

La centralita hardware del sistema embarcado tiene los siguientes módulos software y hardware (figura 35):

- **Interfaces de conexión con el vehículo:** El dispositivo dispone de dos elementos físicos de conexión con el vehículo así como elementos firmware de gestión básica de dichos elementos.
 - **Interfaz CAN:** diseñado específicamente para interactuar con el bus de datos CAN (*Controller Area Network*) del vehículo por el cual se transmiten desde las diferentes centralitas o ECUs (*Electronic Control Units*) datos de funcionamiento del vehículo, tales como la velocidad, revoluciones, nivel de carga del motor, consumo, etc. Esta conexión a las centralitas del vehículo se realizan a través de los interfaces FMS u OBD dependiendo del tipo de vehículo que se trate. La conexión es como elemento pasivo, realizando solamente lectura y traducción de los mensajes que transitan por dicho bus CAN.

- **Interfaz Tech4AllFleet:** Este interfaz está específicamente diseñado para vehículos que no disponen de Interfaz CAN. Permite obtener señales analógicas del sensor de RPM del vehículo o del caudal de combustible (figura 39), permitiendo convertir estas señales en digitales y ser tratadas por el sistema como si fueran de un vehículo con mensajes digitales CAN. *Tech4AllFleet* consiste en unos conectores adicionales del sensor que se conectan a otros elementos del vehículo (sensor analógico RPM del vehículo) y un método para transformar estas señales analógicas en digitales. Una vez traducidas las envía de forma transparente al interfaz CAN.
- **Otros elementos hardware e interfaces serie de conexión: GPS y Módem GPRS**
 - **Interfaz serie:** Este elemento se comunica con otros elementos hardware como son el módulo GPS y Módem GPRS y será el punto de comunicación con la aplicación Android (a nivel de comunicación de puerto serie).
- **CPU y Sistema Android:** El dispositivo dispone de un procesador de arquitectura ARM que forma parte de un ordenador embarcado de diseño *open source* y basado en sistema operativo Android de la marca Radxa.
 - **Aplicación de tutorización:** Esta aplicación (denominada APK –*Application Package File* en el entorno *Android*) se comunica con el interfaz CAN para la lectura de los parámetros de la conducción, realizando un primer procesado de la información (normalmente llevado a cabo cada segundo) para la determinación de alarmas de la conducción. Parte de esta información procesada junto con otra en bruto se envía a la aplicación de actualización y gestión para su envío al sistema central mientras que otra parte se muestra en el interfaz gráfico visible al conductor.
 - **Aplicación Tech4AllFleet:** La aplicación *Tech4AllFleet* realiza algunos filtros y conversiones adicionales necesarios antes de mostrar la información al conductor o su envío al sistema central (su misión es principalmente asegurar la calidad del dato, ya que en ocasiones se producen errores en las medidas convertidas del entorno analógico al digital).
 - **Aplicación de actualización y gestión:** Esta aplicación se encarga de la coordinación del resto de aplicaciones del sistema *Android* y de la comunicación con el sistema central para atender peticiones de actualización remota (programación *OTA –Over The Air*) o de envío de información.

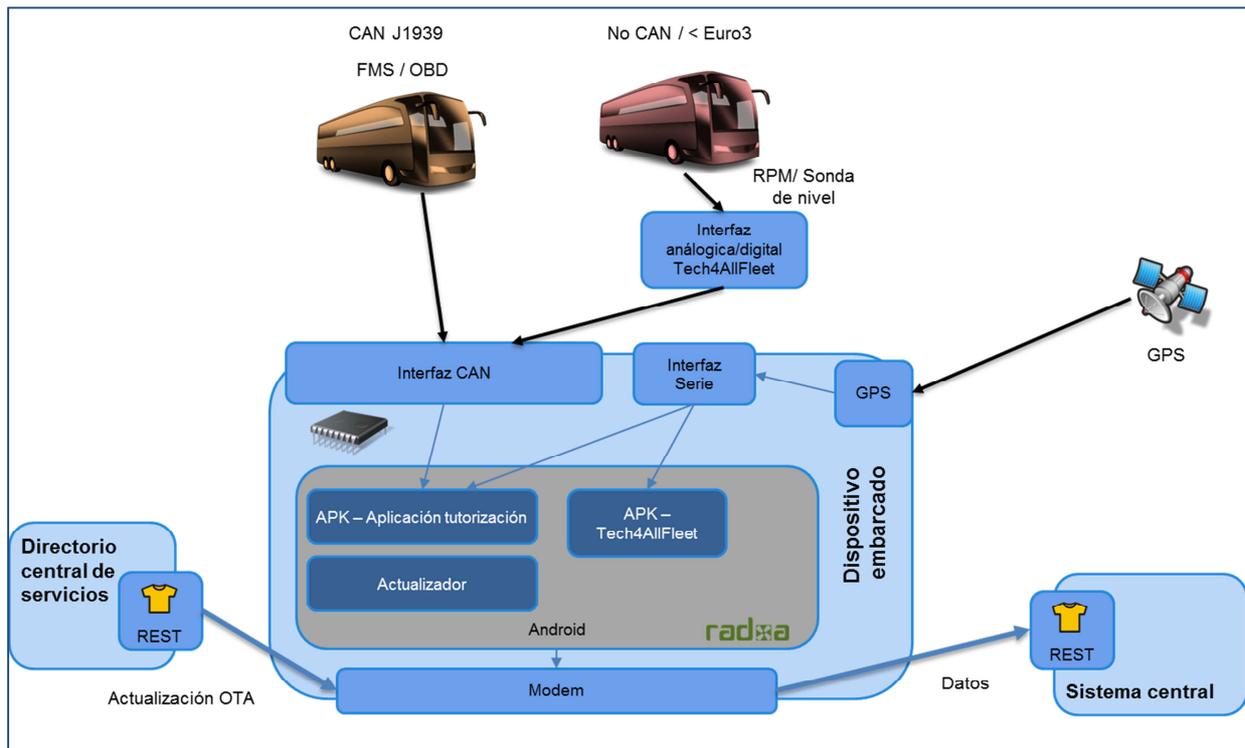


Figura 35: Arquitectura y módulos del sistema embarcado

3.3.2.2 Especificaciones hardware y software del sistema embarcado

A continuación se detallan las especificaciones técnicas de los componentes hardware del sistema embarcado CatedBox (tabla 11). El aspecto del dispositivo embarcado y sus componentes hardware es el que se muestra en las figura 36 y 37. El diseño de componentes hardware puede ser consultado en el ANEXO V: ESQUEMA DE DISEÑO HARDWARE DEL SISTEMA EMBARCADO.

Tabla 11: Características del sistema embarcado, componentes hardware

Componente	Características del equipo
Material	Aluminio pulido
Modo de anclaje	Tornillos de fijación o medios físicos alternativos.
Consumo eléctrico en reposo	75mA --> 1,8W @24V
Consumo eléctrico medio	220mA --> 5,28W@24V
Consumo eléctrico máximo	300mA --> 7,2W @24V
Conectores	Conector general propietario (véase figura 38) Conector antena GPRS Conector video
Dimensiones	177x120x40 [mm]
Acelerómetro	MMA8451Q 3-Axis
Conexión al vehículo	Pinza inductiva/Canbus-FMS interface
Conectividad de datos	GPRS - Quectel M95
GPS	Quectel L80
CPU y Sistema operativo	ARM Cortex-A9 quad core 1.6Ghz /2GB DDR3 Radxa/Android 4.4.2 <i>KitKat</i>
Aplicación CE	Propia. Desarrollada en el proyecto
Aplicación OTA (actualización remota)	Propia. Desarrollada en el proyecto



Figura 36: Componentes del sistema hardware embarcado

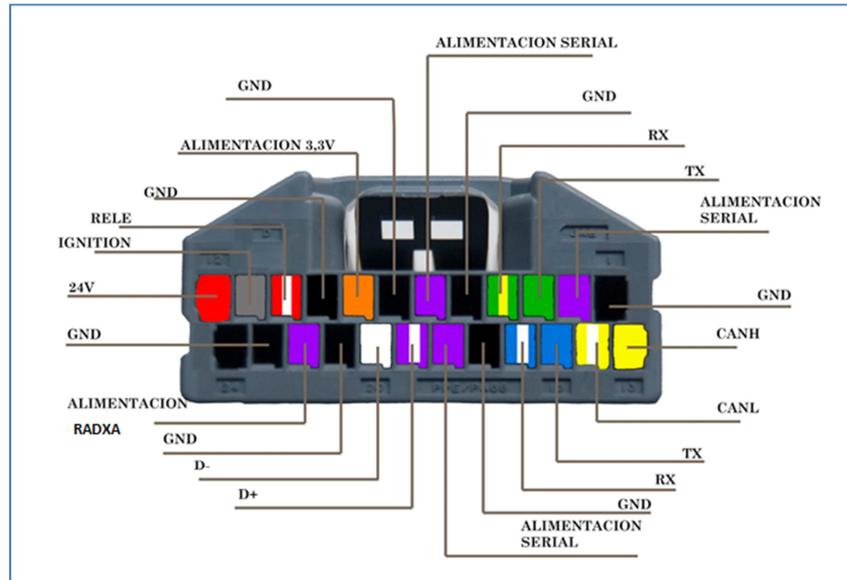


Figura 37: Señales del conector general propietario del sistema embarcado

3.3.2.2.1 Interfaz Sensor Analógico (Tech4AllFleet)

A continuación (tabla 12) se detallan las especificaciones técnicas de la centralita Tech4AllFleet (sonda de nivel consumo y sonda de revoluciones de motor). La figura 38 muestra su aspecto real y tamaño.

Tabla 12: Características del sistema embarcado, interfaz Tech4AllFleet

Componente	Características del equipo
Material	Plástico PVC
Modo de anclaje	Medios físicos, regleta conexión.
Consumo eléctrico en reposo	--
Consumo eléctrico medio	12 mA --> 0,29 W @24V
Consumo eléctrico máximo	15 mA --> 0,36 W @24V
Conectores	Cableado general propietario
Dimensiones	80x40x15 [mm]

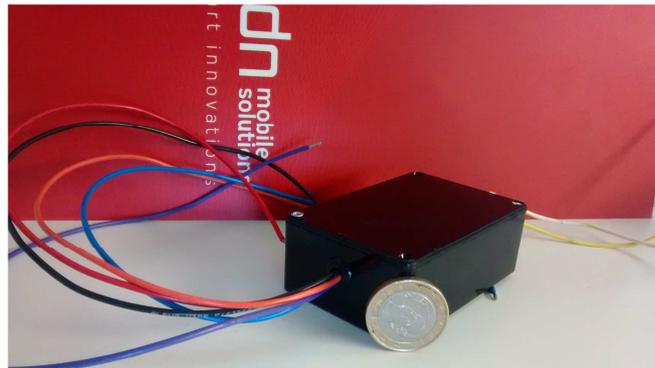


Figura 38: Aspecto del interfaz Tech4AllFleet del sistema embarcado

El interfaz *Tech4AllFleet* se conecta a las señales del cuadro de instrumentos de aquellos vehículos con motorizaciones inferiores a EURO III y que por tanto no tienen interfaz CAN Bus. En la siguiente figura 39 se muestra un ejemplo.

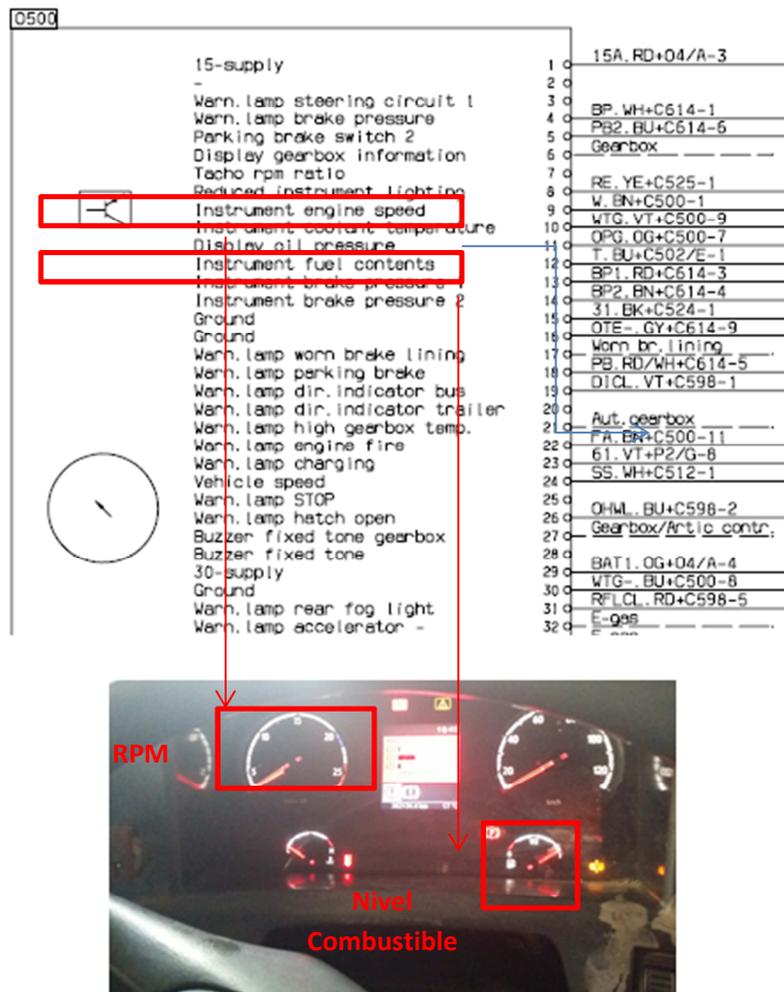


Figura 39: Algunas conexiones analógicas al cuadro de instrumentos en vehículo Scania EURO II. Ejemplo de Tech4allfleet

3.3.2.2.2 Pantalla de Asistencia Equipo Embarcado

A continuación (tabla 13) se detallan las especificaciones técnicas de la pantalla del asistente cuyo aspecto real se puede ver en la figura 40.

Tabla 13: Características técnicas de la pantalla de asistente embarcado

Componente	Características del equipo
Material	Plástico PVC
Modo de anclaje	Tornillos de fijación
Consumo eléctrico en reposo	23mA --> 0,55 W @24V
Consumo eléctrico medio	70mA --> 1,68 W @24V
Consumo eléctrico máximo	70mA --> 1,68 W @24V
Conectores	Conector alimentación 12/24V Conector video
Dimensiones	120x85x30 [mm] 4.3"



Figura 40: Aspecto de la pantalla del asistente embarcado

3.3.3 Sistema central

3.3.3.1 Subsistema front-end y back-end

El subsistema principal dentro del sistema central es el denominado *front-end* y *back-end* por su misión coordinadora sobre el resto de subsistemas (véase figura 41).

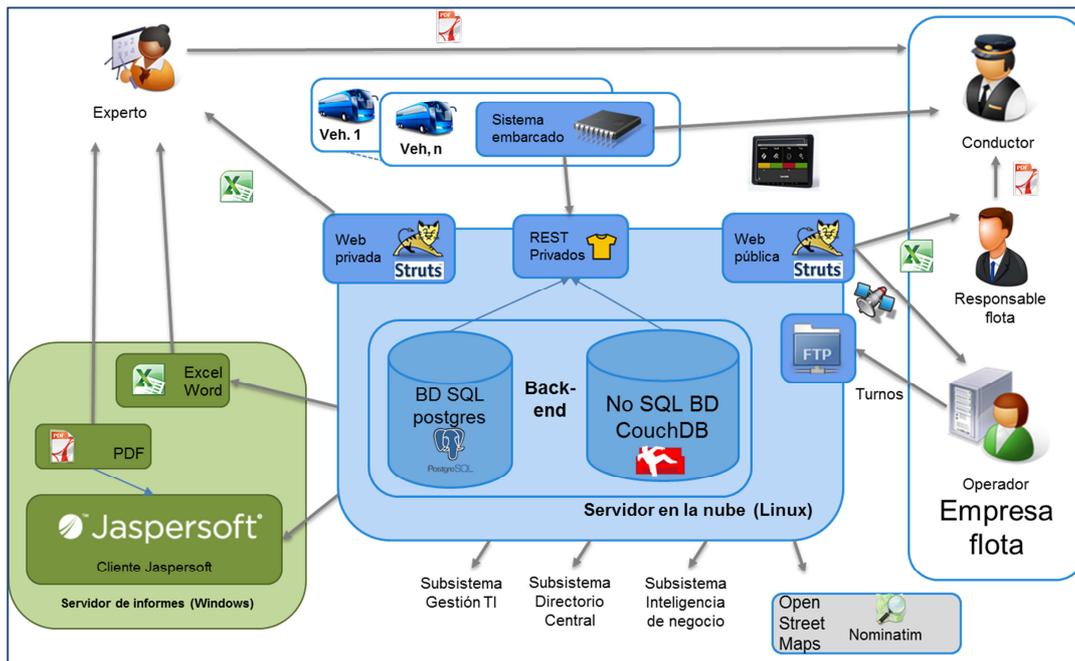


Figura 41: Subsistemas front-end y back-end del sistema central y relación con otros subsistemas

Específicamente, este subsistema es el repositorio principal de información (*back-end*) y ofrece un conjunto de servicios y webs para los diferentes actores del sistema. También centraliza el proceso de generación de informes. Este subsistema necesita de al menos una máquina Linux y otra Windows para su funcionamiento.

El **sistema repositorio back-end** se basa en una base de datos NoSQL (del proveedor *Apache CouchDB*) y otra relacional SQL basada en *PostgreSQL*, ambas *open source*. Se ha optado por un diseño híbrido para aprovechar las ventajas de cada tipo de base de datos: Las bases de datos noSQL son adecuadas para almacenamiento masivo de información desnormalizada y heterogénea, pudiendo modificarse el diseño de lo almacenado dinámicamente (ej. añadiendo nuevo tipo de información no contemplada en los diseños iniciales). En cambio, las de tipo SQL son óptimas para realizar consultas de información con tiempo de respuesta rápido y por varios criterios, aspecto en el que las de tipo No SQL no son óptimas (ej. necesario para un sistema de informes como los ofrecidos por el sistema central).

El funcionamiento de este sistema repositorio es el siguiente: A través de un conjunto de servicios *Rest* privados, la información recibida de los embarcados es insertada de forma continua en la base de datos NoSQL. A la unidad de información recogida ya analizada por el dispositivo embarcado se denomina *sample*. Cada envío al sistema central a través de los servicios *Rest* empaqueta varios *samples*. En la figura 42 se muestra el contenido de un *sample*, enviado en formato JSON. Nótese que el formato JSON permite una estructura tipo diccionario clave/valor, donde la clave se ha codificado para reducir el tamaño del paquete de datos enviado (ej. "ts" se refiere a la marca de tiempo o *timestamp*). Puede consultarse la descripción de los campos del *sample* en el ANEXO IV: DESCRIPCIÓN DE LOS *SAMPLES* JSON DE LA BASE DE DATOS NOSQL COUCHDB.

```
{
  "_id": "144370028038510000",
  "_rev": "1-f77cf41797c03468c38f0f67d688cc44",
  "type": "sample",
  "data": {
    "tcg": "4",
    "rpm2": "0",
    "ca": "NaN",
    "ts": "2015-10-01 13:51:20.385+0200",
    "dde": "0.0",
    "aept": "68.0",
    "geoLocation": {
      "coordinates": [
        -5.6119766,
        43.523163,
        0
      ],
      "properties": "",
      "type": "Point"
    },
    "tsg": "0",
    "za": "0",
    "bs": "0",
    "tfl2": "0.0",
    "fl": "98.4",
    "cca": "0",
    "rpm": "750",
    "tvd": "4.65426575E8",
    "fr": "46.95",
    "xa": "0",
    "tfu": "502400.0",
    "dp": "15",
    "ds": "3",
    "app": "49.6",
    "d": "0.0",
    "rtm": "-1",
    "tfl": "0.0",
    "wm": "0",
    "ya": "0",
    "a": "0.0",
    "cs": "1",
    "vw": "0.0",
    "ife": "0.0",
    "ets": "1443700280385",
    "s": "61.4296875",
    "pbs": "-1",
    "cl": "3",
    "eplcs": "73.0",
    "rs": "-1.0",
    "gs": "0.0",
    "arpt": "-1.0"
  },
  "ver": "",
  "vehType": "CAN",
  "vehId": "10000"
}
```

Figura 42: *Sample* en formato JSON que conforma la unidad de envío al sistema central –base de datos noSQL- por parte del sistema embarcado

Cuando se produce un evento conocido como “fin de ruta” (identificado por un apagado de motor del vehículo y anotado como tal en la información recibida del sistema embarcado), se genera un conjunto de información denominada “información de cierre de ruta” que es insertada en la base de datos SQL. Este cierre de ruta contiene un resumen de los indicadores de conducción eficiente (tanto en bruto como calculados, así como las alarmas mostradas en el asistente embarcado) y de la ruta (duración, fecha, etc). Puede verse la descripción de este mensaje fin de ruta en la [figura 43](#). El esquema de diseño

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

de la base de datos SQL puede ser consultado en el ANEXO VI: ESQUEMA DE DISEÑO DE BASE DE DATOS SQL POSTGRESQL.

Caption	Name	Data Type
Identificador de la ruta	id_route	_id - Serial
Identificador de vehículo	id_vehicle	_id - Serial
Identificador de usuario/conductor	id_userdriv	_id - Serial
Tipo de ruta (Driver, Engine, ...)	type	_type - Character(%p1)
Indica si la ruta se realizó en modo caja negra o no (aplica a coches)	is_bbox	Boolean
Fecha de inicio de la ruta	s_date	_date - Date
Hora de inicio de la ruta (HH sin minutos)	s_time	_num_int - Bigint
Fecha de fin de la ruta	e_date	_date - Date
Timestamp de inicio de la ruta	s_ts	_timestamp - Timestamp(%p1) with time zone
Timestamp de fin de la ruta	e_ts	_timestamp - Timestamp(%p1) with time zone
Timestamp de creación del registro	created_ts	_timestamp - Timestamp(%p1) with time zone
Timestamp de cierre del registro	closed_ts	_timestamp - Timestamp(%p1) with time zone
Ruta completada o en proceso	is_complete	Boolean
Ruta valida	is_valid	Boolean
Duración de la ruta en milisegundos	duration	_num_int - Bigint
Samples en BDD	has_samples	Boolean
Numero de muestras en la ruta	n_samples	_num_int - Bigint
Máximo intervalo entre samples	max_lapse	_num_real - Double precision
Promedio de intervalo entre samples	avg_lapse	_num_real - Double precision
Fuente del dato de combustible (I-Instantaneo, T-total)	fuel_source	_type - Character(%p1)
Consumo total	fuel_total	_num_real - Double precision
Kilometros totales	km	_num_real - Double precision
Consumo a los 100km	fuel_100km	_num_real - Double precision
Identificador del cliente para la ruta	customer_route_id	_id_external - Character varying(%p1)
Identificador del cliente para el trayecto (sentido dentro de la ruta)	customer_way_id	_id_external - Character varying(%p1)
Ruta procesada por el proceso de turnos	is_processed	Boolean
Contador de defectos encontrados en cada sample	n_defects	Bigint
Marcador de errores graves que podrian invalidar la ruta	error	Bigint
Segundos en alarma nivel 1 de aceleración	aln1_acc	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 1 deceleración	aln1_dec	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 1 ralenti	aln1_idle	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 1 RPM	aln1_rpm	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 1 marcha	aln1_gear	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 2 aceleración	aln2_acc	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 2 deceleración	aln2_dec	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 2 ralenti	aln2_idle	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 2 RPM	aln2_rpm	_num_real - Double precision
Segundos en alarma nivel 2 marcha	aln2_gear	_num_real - Double precision
speed_source (G - GPS, V-Vehicle)	speed_source	_type - Character(%p1)
Promedio velocidad	avg_speed	_num_real - Double precision
Maximo velocidad	max_speed	_num_real - Double precision
Promedio RPM	avg_rpm	_num_real - Double precision
Maximo RPM	max_rpm	_num_real - Double precision
Minimo aceleración	min_acc	_num_real - Double precision
Maximo aceleracion	max_acc	_num_real - Double precision
Promedio ralenti	avg_idle	_num_real - Double precision
Máximo ralenti	max_idle	_num_real - Double precision
TFU en el inicio de la ruta	first_tfu	_num_real - Double precision
TFU al final de la ruta	last_tfu	_num_real - Double precision
FUEL LEVEL en el inicio de la ruta	first_fl	_num_real - Double precision
FUEL LEVEL al final de la ruta	last_fl	_num_real - Double precision
Segundos en inercia totales	total_inertia	_num_real - Double precision
Segundos de freno pulsado	total_brake	_num_real - Double precision

Figura 43: Campos y descripción de un mensaje fin de ruta que se almacena en el repositorio central, base de datos SQL, tabla route.

La información almacenada en el sistema repositorio hasta este momento es a nivel de vehículo. Sin embargo es necesario identificar al conductor que realizó cada ruta con el fin de poder implementar la

metodología de aprendizaje. Para ello se establece un servicio FTP de intercambio periódico de **información de turnos** con la empresa de la flota. Se evaluaron otros métodos de identificación basados en la utilización del tacógrafo o la utilización de dispositivos externos tipo llave o tarjeta de conductor, descartándose pues no todos los vehículos disponen de tacógrafo y la utilización de dispositivos externos son dependientes de que los conductores los utilicen y por tanto sujetos a posibles olvidos. Los casos de estudio evaluados no tuvieron inconveniente en enviar a un servicio FTP (periódicamente, normalmente con frecuencia diaria) información del turno para un determinado vehículo (véase [figura 44](#)). Una vez recepcionada esta información se vuelve a generar una nueva “información cierre de ruta” esta vez asociada a un conductor y almacenándola igualmente en la base SQL.

Formato

```
id_vehiculo;fecha-hora_inicio;fecha-hora_fin;id_conductor[;id_trayecto;id_sentido]
```

Ejemplo

```
El vehículo 6229 entre las 06:50 y las 07:15 estaba asignado al conductor 9174 y realizaba trayecto en la línea 1.6229;2013-11-01 06:50;2013-11-01 07:15;9174;1
```

Figura 44: Formato y ejemplo del contenido de un fichero de información de turnos

Este subsistema ofrece además **portales web** y servicios *Rest* asociados para los conductores, responsable de la flota y experto (este último un portal privado), todo ello identificado como sistema **front-end**. Los portales Web utilizan en varias de sus vistas mapas para visualizar la información. Se ha optado por el servicio *open source* de mapas y librerías asociadas de *Open Street Maps* y la herramienta *Nominatim* para el proceso conocido como *reverse geocoding*.

El **subsistema de generación de informes** para los portales web (con posibilidad de generación y descarga en formato PDF) se basa en la licencia *open source* del producto *JasperSoft* de la empresa *Tibco*. Este sistema de generación de informes reside en una máquina diferente y consume información de la base de datos SQL.

3.3.3.2 Subsistema directorio de servicios

El directorio central de servicios permite un sistema que escale independientemente del número de vehículos, desacoplando el proceso de configuración de los sistemas embarcados del de instalación, mediante el siguiente proceso (véase [figura 45](#)):

1. Un operador de servicio define las instancias de servicio *front-end* y *back-end* determinadas (ej. puede tenerse una instancia dimensionada en hardware y software para una flota de 50 vehículos y otra instancia para otra de 150 vehículos).
2. Un instalador registra en el directorio los nuevos sistemas embarcados fabricados (a modo de inventario), cada embarcado con un identificador unívoco.
3. El operador de servicio asocia un determinado embarcado a una instancia servidora *front-end/back-end*.
4. El instalador lleva a cabo la instalación de los sistemas embarcados en los vehículos (sin existir una asignación previa de vehículo-sistema embarcado).

5. Cuando el vehículo es arrancado por primera vez, el sistema embarcado hace una petición al sistema central identificando el vehículo donde está instalado.
6. El directorio central le envía una configuración con los parámetros adecuados para que envíe y se comunique con la instancia *front-end* y *back-end* configurada. También registra la asociación vehículo-sistema embarcado.

Este subsistema flexibiliza el proceso de instalación en los vehículos, pudiendo ir repartiéndose la instalación de las unidades según se dispongan de vehículos y reduce el tiempo de configuración y puesta en marcha del sistema.

El subsistema directorio central se compone de una base de datos *PostgreSQL* además de un conjunto de servicios *Rest* y portales privados para el operador y el instalador. Este sistema se comunica con las distintas instancias del sistema central *front-end/back-end* que haya desplegadas.

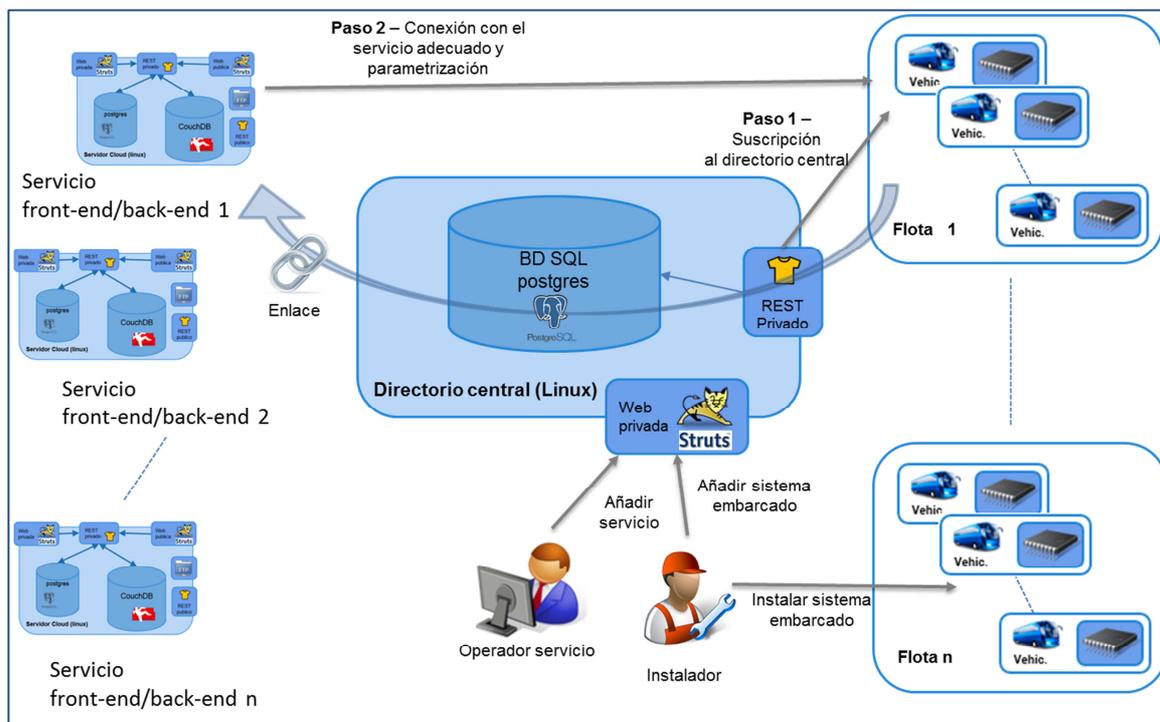


Figura 45: Funcionamiento del directorio central de servicios

3.3.3.3 Subsistema de gestión TI

La gestión de la operación del sistema y su ciclo de vida se realiza mediante el subsistema de gestión del servicio, cuyo núcleo es la herramienta de gestión ProactivaNET de la empresa Espiral Microsistemas. Esta herramienta, orientada a soportar servicios certificados en ISO 20000, como es el objetivo del diseño, permite registrar todo tipo de información relevante para el funcionamiento del servicio en su base de datos de configuraciones del sistema (o CMDB de sus siglas en inglés). Adicionalmente la herramienta permite la gestión de incidencias y peticiones de servicio que los distintos usuarios pueden registrar (conductores, responsables de flota u operadores del servicio). Para facilitar la integración con

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

el resto de sistemas y con objeto de no duplicar los portales Web a través de los que se interacciona con el usuario, éstas se registrarán desde los portales Web del sistema central (portales públicos del conductor o responsable de flota o privados de los operadores del servicio). Estos portales web a su vez invocarán los servicios web de Proactiva NET registrando o actualizando la incidencia correspondiente.

Para que ProactivaNET tenga la información actualizada con el resto del sistema se ha diseñado un proceso conciliación de la misma (figura 46). Este se realiza periódicamente a través unos servicios web que se comunican con el directorio central de servicios con el fin de tener sincronizados los vehículos, sistemas embarcados e instancias del sistema central *front-end/back-end* que se encuentran operativos.

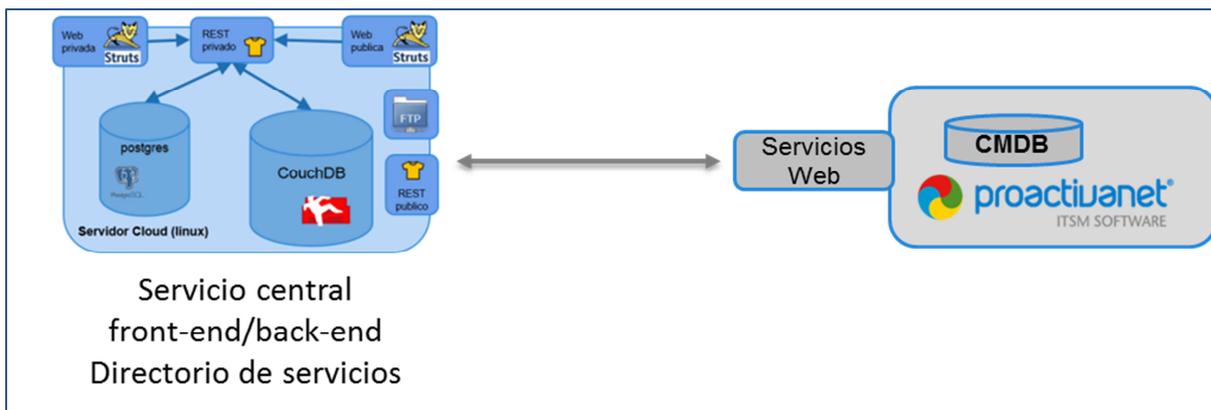


Figura 46: Subsistema de gestión TI e interacción con el subsistema *front-end/back-end* y directorio de servicios

Es importante destacar que algunas incidencias se generan de forma automática en base a los procesos de supervisión de los sistemas embarcados que se definan. Alternativamente existe un portal privado de investigación de los sistemas embarcados por parte del operador de servicio, y a partir de este puede decidir crear o gestionar la incidencia correspondiente (figura 47).

Información de la instalación	Cuadro de mando	Calidad de las rutas	Auditorías por vehículo	Dispositivos	Salir					
Cuadro de mando										
<input type="text"/> Actualizar										
			Total							
4	0	0	4							
Número de serie	Id cliente	Frecuencia (s)	Matricula	Versión app	Estado	Última posición	Última ruta	Última auditoría	Auditorías	Rutas
351abf72-6f4c-11e4-b7a9-0cc47a400020	102	1,15	9790DBP	1.1.0.er.hw4		02/03/2015 18:26	02/03/2015 16:08	02/03/2015 18:09	Ver	Ver
351ac60c-6f4c-11e4-b7ac-0cc47a400020	106	1,15	3619FFL	1.1.0.er.hw4		02/03/2015 18:26	02/03/2015 15:45	02/03/2015 18:13	Ver	Ver
351ac5b2-6f4c-11e4-b7ab-0cc47a400020	109	1,15	8315FJJ	1.1.0.er.hw4		02/03/2015 18:26	02/03/2015 16:36	02/03/2015 18:14	Ver	Ver
351ac512-6f4c-11e4-b7aa-0cc47a400020	99	1,15	7835CJK	1.1.0.er.hw4		02/03/2015 18:25	02/03/2015 16:04	02/03/2015 17:14	Ver	Ver
11111111-2222-3333-4444-555555555555	0000AAA	1,33	0000AAA	1.1.0.er.hw4		01/01/2000 00:00	25/02/2015 10:28	25/02/2015 10:30	Ver	Ver

Figura 47: Portal web privado para investigación de incidencias de sistemas embarcados CatedBox

3.3.3.4 Especificaciones hardware y software del sistema central

En este apartado se resumen las tecnologías hardware y software de terceros utilizadas por el sistema central (ya introducidas en anteriores apartados):

- Desarrollos en lenguaje *Java*.
- Servidores Linux (Distribución *Ubuntu*) y *Windows Server*.
- Tecnologías en el servidor:
 - Servidor de aplicaciones *Apache Tomcat*.
 - Servicios web *Rest* mediante *Jersey*.
 - Servicios de presentación web basados en *Apache Struts*.
- Bases de datos:
 - Modelo E-R SQL en *PostgreSQL*.
 - Modelo noSQL en *Apache CouchDB*.
- Mapas y cartografía basados en *Open Street Maps*.
- Herramientas de gestión del servicio (ISO 20000) propias y utilización de herramienta *Proactiva NET* de Espiral Microsistemas.

CAPÍTULO IV: CASOS DE ESTUDIO

4 CAPÍTULO IV: CASOS DE ESTUDIO

4.1 Caso de estudio 1: Empresa Municipal de Transportes de Gijón (EMTUSA)

4.1.1 Caracterización del estudio

El estudio que se describe a continuación se ha desarrollado en la compañía de autobuses urbanos de la ciudad de Gijón (Asturias, España). Esta compañía pública, llamada EMTUSA (Empresa Municipal de Transportes Urbanos S.A.) gestiona 15 líneas diurnas que recorren la ciudad incluyendo diferentes áreas de la zona rural. La compañía transporta aproximadamente unos 50.000 pasajeros cada mes con un total de 80 autobuses.

De todas sus líneas, dos (líneas 12 y 15) fueron seleccionadas para realizar el caso de estudio que ahora se plantea. La [tabla 14](#) resume las características de ambas líneas. Al iniciar los trabajos se instalaron sistemas embarcados CatedBox en todos los autobuses de ambas líneas, 10 en total, como se puede observar en la [figura 48](#). Los autobuses de dichas líneas están dotados de cambio automático y son de los modelos MAN CARSA CITY-VERSUS ARTICULADO (5 autobuses) y SCANIA N310UA6X2/2 (5 autobuses de tipo articulado).



Figura 48: Instalación en un autobús de EMTUSA. Año 2013

Un total de 65 conductores formaron parte del estudio. Todos ellos con una edad superior a los 37 años y con una experiencia mínima de 6 años en la empresa. La edad media del grupo fue de 45 años y una experiencia media de 21.

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

El estudio se inició en octubre de 2013 con una planificación inicial de un año y 3 meses (ajustándose a las fases de la metodología descrita en esta tesis doctoral).

Dos formadores de la empresa ADN Mobile Solutions ocuparon los roles de experto en conducción eficiente encargándose de los seminarios presenciales y de la asistencia remota.

Tabla 14: Características de las Rutas 12 y 15

Ruta	Distancia (O-D, D-O)	Duración media	Velocidad Media	Tipo trayecto
Línea 12	10,3-10,3 km	38,6 min	15,98 km/h	Urbano
Línea 15	10,4-9,2 km	35,67 min	16,48 km/h	Urbano

4.1.2 Desarrollo del estudio

El desarrollo del estudio viene dado por la ejecución de la metodología creada en el marco de esta tesis doctoral. El desarrollo del caso de estudio se realizó con la siguiente secuencia temporal:

- **Fase de caja negra** (1 mes) - octubre 2013 a noviembre 2013
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia presencial de expertos** (4 meses) - noviembre 2013 – febrero 2014
 - **Curso inicial presencial:** noviembre 2013
- **Entrega de informes emitidos por expertos** (13 meses) - (noviembre 2013 – diciembre 2014)
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia remota de expertos** (3 meses) - febrero 2014 – mayo 2014
 - **Seminario de refuerzo o *workshop*:** mayo 2014
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y plataforma de análisis *offline/e-learning*** (periodo ilimitado, mínimo 5 meses) junio 2014 – diciembre 2014

4.1.3 Resultados

En esta sección se exponen los resultados obtenidos a lo largo del caso descrito. Primeramente se muestra el desempeño general de la flota de vehículos a lo largo de los 15 meses, para seguidamente analizar en profundidad el aprendizaje de 3 conductores seleccionados de la flota.

En la [figura 49](#) se muestra una comparativa del consumo interanual de los vehículos, en la cual se muestran como líneas sólidas los resultados de consumo del año 2013, mientras que en líneas discontinuas se muestran los de 2014.

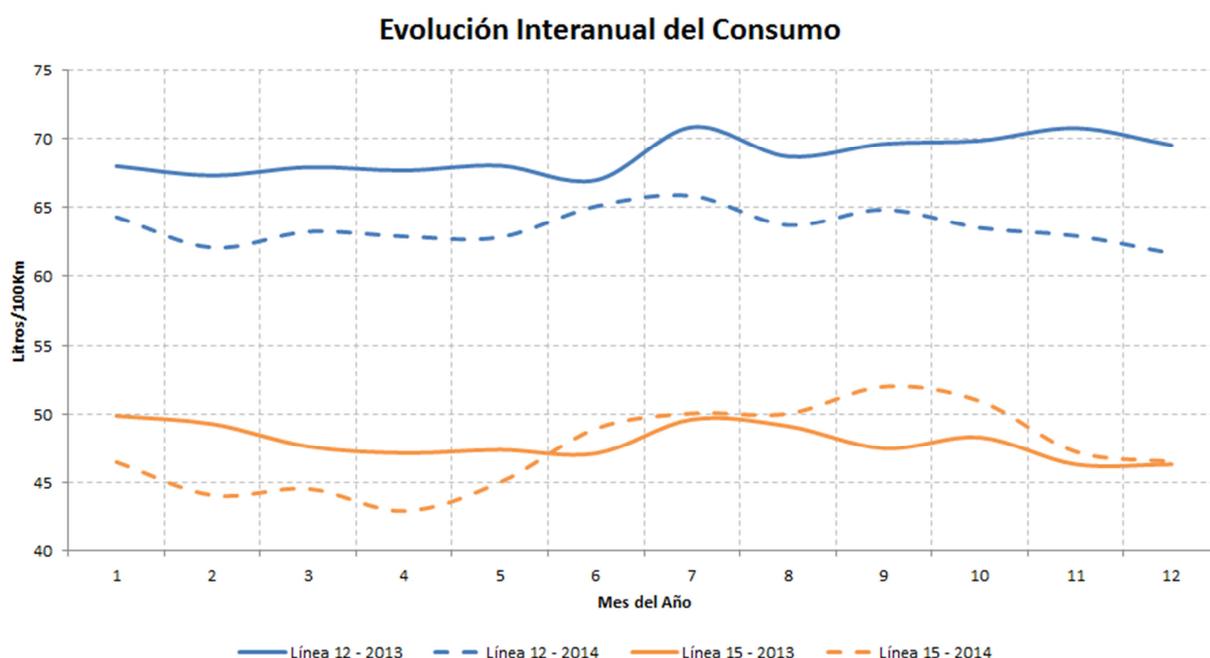


Figura 49: EMTUSA-Evolución interanual del consumo

El desempeño analizado muestra la reducción significativa en litros de gasoil consumido a lo largo de 2014 para los vehículos de la línea 12 y 15. En el caso de esta última línea los meses de junio en adelante superan los datos del año anterior. La información representada de la [figura 49](#) fue suministrada por la dirección de EMTUSA para realizar esta comparativa (basados en datos de su surtidor). Estos hacen referencia a todos los conductores de la flota de EMTUSA que condujeron esas líneas, por lo que es necesario realizar una separación entre los conductores participantes en el caso de estudio y los que no. A partir de este punto en este caso de estudio, todos los datos referenciarán a conductores que forman parte del caso de estudio.

Para respaldar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico para la verificación de la afirmación realizada sobre los conductores participantes, siguiendo el proceso descrito en [[Rohatgi2001](#)].

Este análisis está constituido por la evaluación de varios tests necesarios para realizar el contraste de hipótesis sobre dos conjuntos, con la finalidad de comparar los resultados de 2013 (primeras fases del caso de estudio) contra los de 2014. Para llevar a cabo el análisis se utilizaron los datos recogidos durante el caso de estudio por la plataforma CatedBox.

Para poder llegar a realizar los tests que contrasten la diferencia de medias (*T de Student*) o medianas (*Wilcoxon*) entre los dos años evaluados y se pueda determinar si las diferencias expuestas anteriormente son significativas, se han de realizar como condición, los test de normalidad y homocedasticidad. En el caso de que estas dos condiciones se cumpliesen, se debería realizar el test de ANOVA y en otro caso el de *Kruskal Wallis* para finalmente realizar los contrastes a través de la *T de Student* o *Wilcoxon*.

En primera instancia, se comprobó la normalidad de los datos de consumo mediante el test *Kolmogorov-Smirnov*.

Kolmogorov-Smirnov constituye un test de decisión para comprobar si los datos evaluados siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea que los datos provienen de una distribución normal, contra la alternativa (H_1) de que no provienen de una distribución normal. El resultado será H_1 si el test rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5%, con un intervalo de confianza del 95%. En este caso, se obtuvo un *pvalor* (0), rechazando la hipótesis nula.

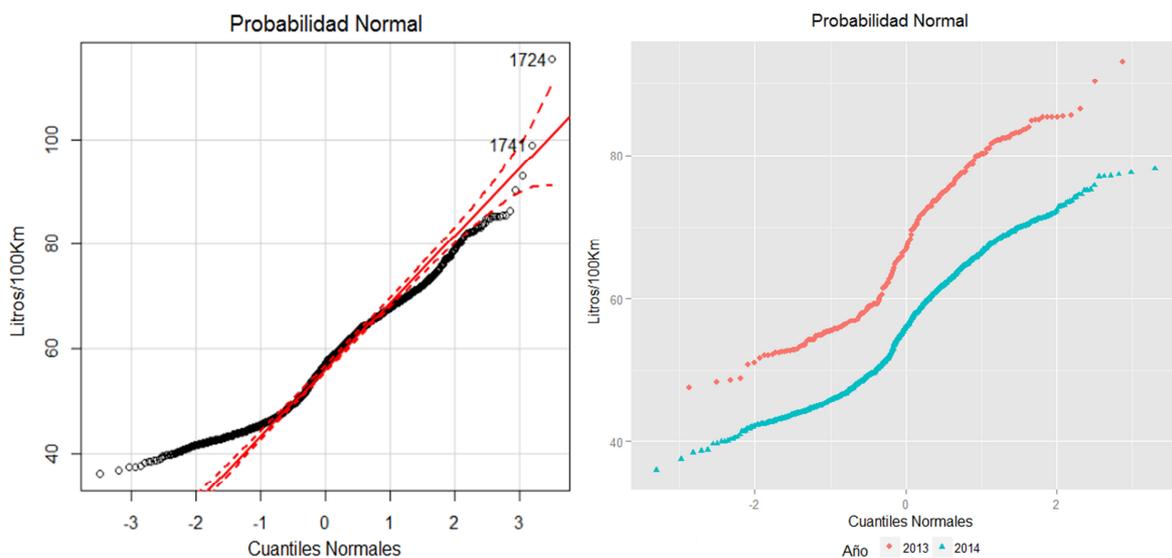


Figura 50: Comprobación de la normalidad general y por año

Gráficamente se puede comprobar que los datos no provienen de una distribución normal, al apreciarse una gran desviación sobre la línea de tendencia normal, como se muestra en la figura 50.

El segundo test realizado se encargó de comprobar la homocedasticidad de la distribución a través del test de *Bartlett*. Si una distribución es homocedástica, el error cometido por el modelo tiene siempre la misma varianza.

En este caso, se comprobaron las varianzas de los consumos de los 15 meses evaluados. La hipótesis nula definida (H_0), determina que las distribuciones de los consumos de cada año provienen de una distribución normal con la misma varianza, por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) determina que no todos los años tienen la misma varianza.

El resultado del test de homocedasticidad con un *p*valor (0) indica que se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa, considerando que la comparación de varianzas entre los dos años son distintas. Según esto, no todas las distribuciones tienen la misma varianza.

Una vez obtenidos los test previos necesarios y, en función de los resultados obtenidos, se procedieron a ejecutar los test de contraste de medias o medianas.

En el caso de que se cumpliera normalidad y homocedasticidad, se podría ejecutar el test de la ANOVA para hacer un contraste de las medias de cada año. En este caso, al no cumplirse las condiciones, el test de ANOVA no proporcionaría resultados válidos. De todas formas se decidió realizar el test de ANOVA. Dicho test, plantea como hipótesis nula (H_0) que no existen diferencias entre las medias de cada año, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) plantea la desigualdad. Como resultado del test de contraste de medias, el valor bajo de *p* ($4,27e-94$), se rechaza la hipótesis nula y por tanto, puede deducirse que existen diferencias significativas entre las medias de los consumos de los diferentes años. El *boxplot* de la [figura 51](#) permite visualizar gráficamente estas diferencias

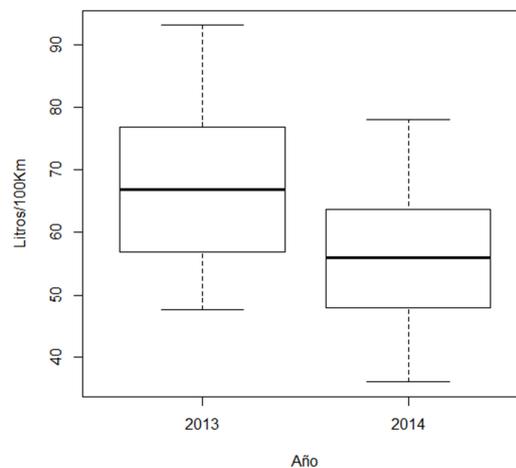


Figura 51: *Boxplot* del contraste de medias

Al no cumplirse la normalidad ni homocedasticidad, se tiene que realizar el test de contraste de medianas en lugar de contraste de medias (ANOVA). Para ello se va a ejecutar el test de *Kruskal – Wallis* con el objetivo de determinar si los datos de los diferentes años tienen la misma mediana.

En el caso de la hipótesis nula (H_0), se plantea el caso de que las medianas son iguales, mientras que en la hipótesis alternativa (H_1) son distintas. El resultado de este contraste de hipótesis indica, según el

bajo valor de p obtenido ($8,86e-71$), que existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años.

Por último, se realiza el test de *Wilcoxon* puesto que la distribución no tiene normalidad. Este test tiene como funcionalidad la determinación de diferencias entre conjuntos. Como hipótesis nula (H_0) se plantea el caso de que la diferencia entre las medianas consumos de 2013 y 2014 sea menor o igual a 0, la hipótesis alternativa (H_1) por contrario, indica que la diferencia mencionada sea mayor a 0. El resultado obtenido, con un valor de p ($2,2e-16$) rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa, determinando que existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años y que el consumo en 2014 es significativamente menor.

Una vez probada la validez estadística de los datos de consumo, y dado que el carácter de conducción y por tanto desempeño varía en función del tipo de autobús que se conduce, se realiza una separación de las líneas en las que se dividen los vehículos, para mostrar una evaluación de los resultados generales de las líneas 12 y 15.

En el caso de la línea 15 los resultados de consumo obtenidos en el año 2014 frente a 2013, muestran una reducción notable salvo en los meses de septiembre y octubre.

En la [figura 52](#) se muestra la evolución del consumo y las alarmas de aceleración obtenidas en función de cada mes. La evolución del consumo se representa a través de litros a los 100 Km, mientras que las alarmas se referencian en función del número de segundos que se permanece en ese intervalo de alarma a los 100Km.

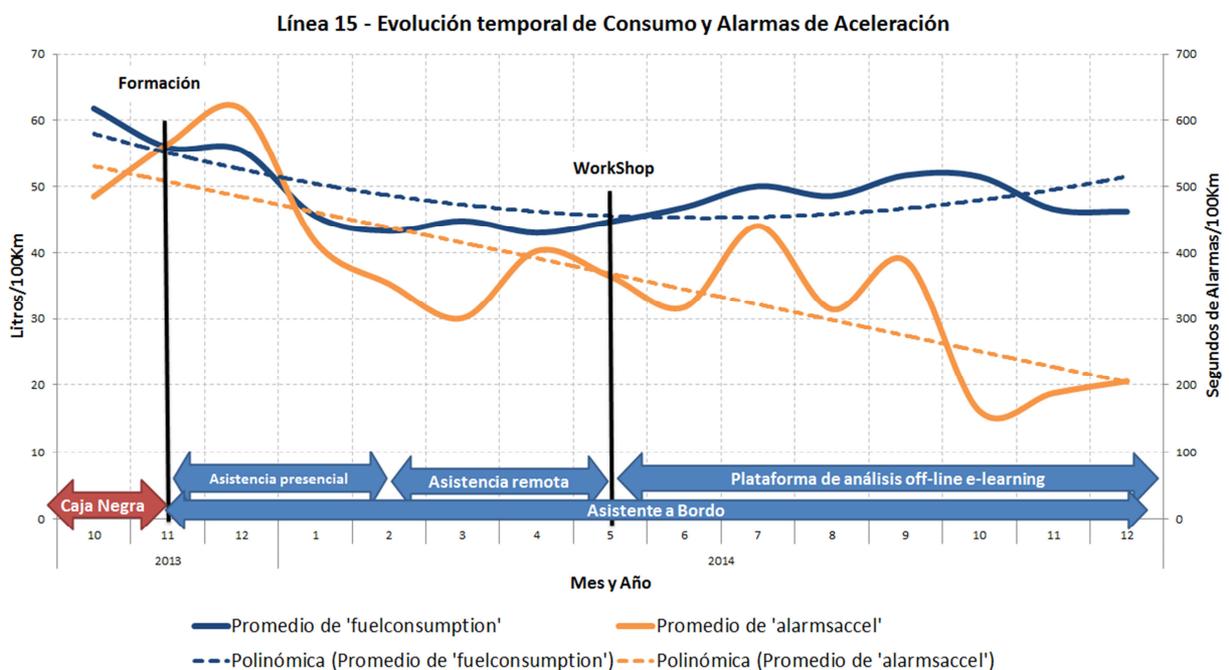


Figura 52: Desempeño Línea 15 (Consumo y Aceleración)

Los resultados permiten apreciar en líneas generales, una reducción considerable de alarmas de aceleración en el conjunto del periodo estudiado, mientras que para consumo en el mes de junio surge un repunte que se mantiene hasta octubre del mismo año. Este repunte puede ser explicado a través de la estacionalidad veraniega, donde el uso del aire acondicionado tiene un impacto importante sobre el consumo de combustible en los vehículos (véase comparativa interanual de la [figura 49](#)).

Los comportamientos de los autobuses que pertenecen a esta línea fueron los siguientes:

- 326: Actuación positiva posterior al seminario de refuerzo.
- 323: Reducción de alarmas generalizada a partir de la formación inicial.
- 324: Reducción de alarmas generalizada a partir de la formación inicial.
- 325: Efecto de bajada posterior a la formación, seguido de un repunte en los meses de marzo y abril, para volver a descender en mayo pasado el seminario de refuerzo.
- 321: Efecto de reducción de alarmas posterior a la formación que se prolonga hasta abril, donde se produce un ligero repunte corregido por el efecto del seminario de refuerzo.

En el caso de los resultados obtenidos para la línea 12, mostrada en la [figura 53](#), se puede apreciar un comportamiento similar en lo que se refiere al desempeño, consiguiendo reducciones en alarmas de aceleración de hasta un 75%.

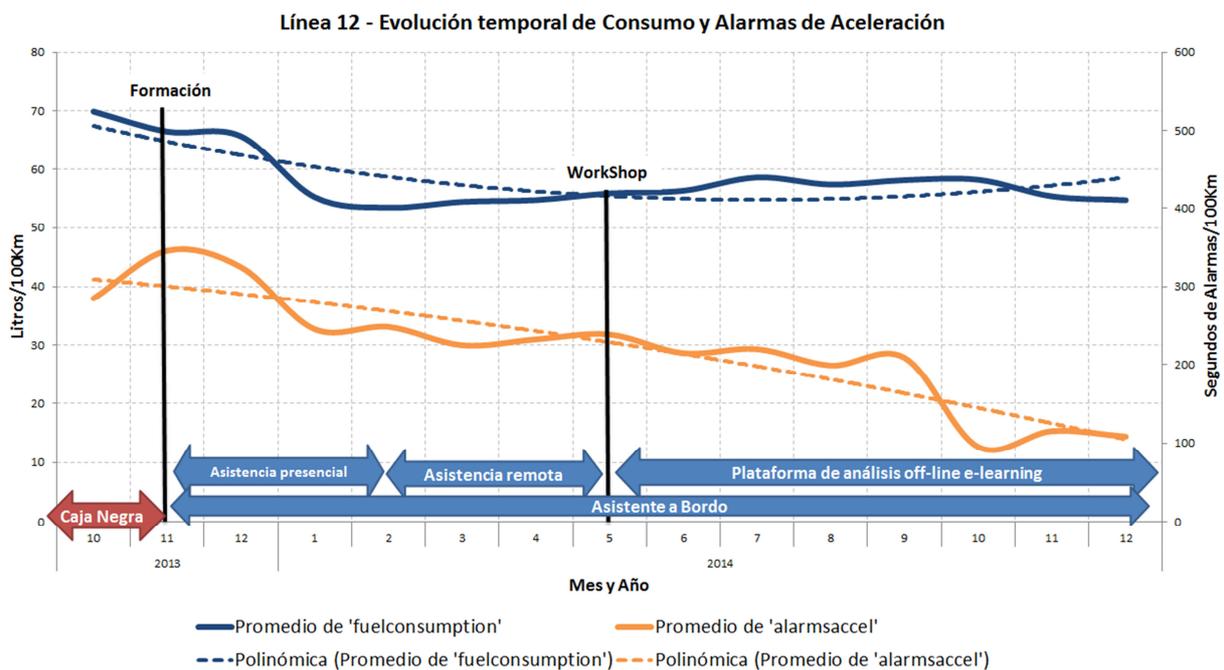


Figura 53: Desempeño Línea 12 (Consumo y Aceleración)

En líneas generales, se remarcan las tendencias descendentes en cuanto a consumo y alarmas de aceleración a lo largo de la duración del caso de estudio, donde se destaca que los meses de junio a septiembre (5-10) tienen un impacto estacional debido al uso del aire acondicionado en los vehículos.

Los comportamientos de los autobuses que pertenecen a esta línea fueron los siguientes:

- 348: Actuación positiva posterior a la formación y el seminario de refuerzo.
- 347: Reducción de alarmas generalizada a partir de la formación inicial.
- 349: Reducción de alarmas generalizada a partir de la formación inicial.
- 350: Efecto de bajada posterior a la formación, seguido de un repunte en los meses de junio, julio y agosto, para volver a descender en septiembre.
- 351: Reducción de alarmas generalizada a partir de la formación inicial.

Como muestra de este desempeño, en la [figura 54](#) está disponible la evolución para el vehículo 350.

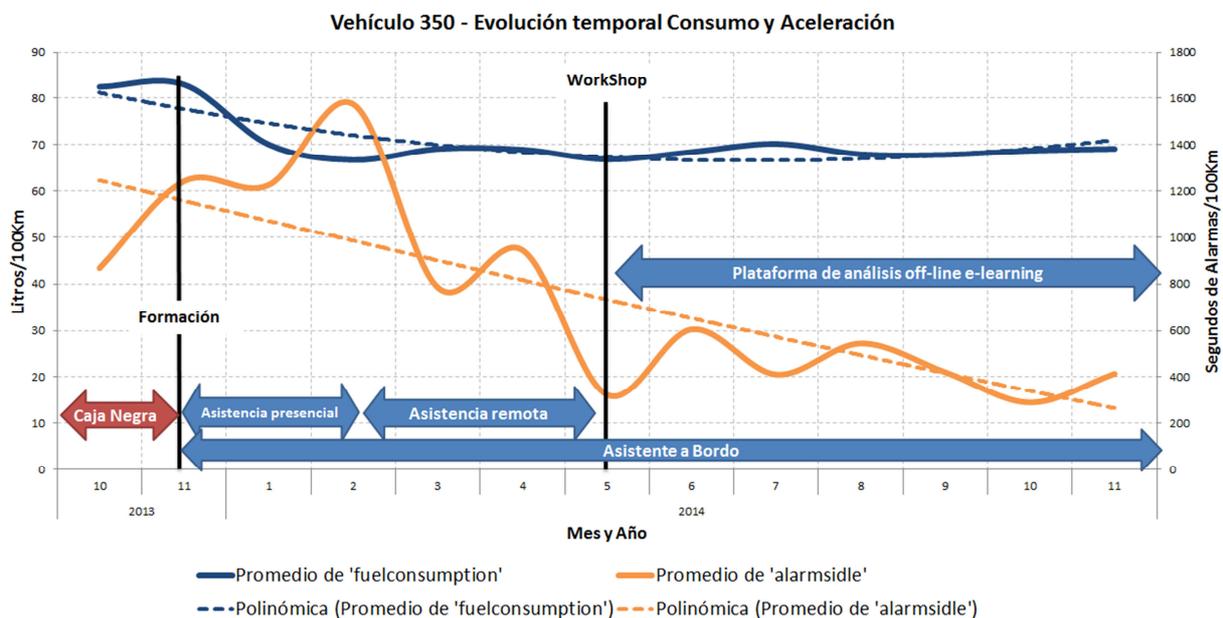


Figura 54: Desempeño Vehículo 350

A través de los datos obtenidos por los análisis anteriormente realizados, se seleccionaron 3 conductores para la realización de una evaluación concreta desde el inicio del caso de estudio, evaluando su aprendizaje y desempeño a lo largo de los meses.

Dadas las diferentes casuísticas de desempeño entre el conjunto de conductores, se plantea el análisis de comportamiento de 3 tipos de conductores, un conductor que mejora notablemente, otro que mejora poco a lo largo de los meses y, por último, un conductor que ya desempeñaba de manera muy notable y consigue mejorar.

Conductor 37

El conductor evaluado plantea la casuística de un conductor que mejora mucho desde el inicio del caso de estudio, mostrando una progresión a lo largo de los meses en todos los factores.

En la [figura 55](#) se muestra el análisis de consumo, donde el conductor consigue mejorar sus cifras a lo largo de los meses incluso evitando la estacionalidad en el verano. Pasados 12 meses desde la caja negra, se consigue mantener esa reducción de manera satisfactoria a través de los conocimientos obtenidos en el proceso. Se ha de destacar que este conductor consigue contener el incremento de consumo durante los meses que determinan el periodo estacional donde el gasto de combustible es mayor a causa del aire acondicionado del vehículo.

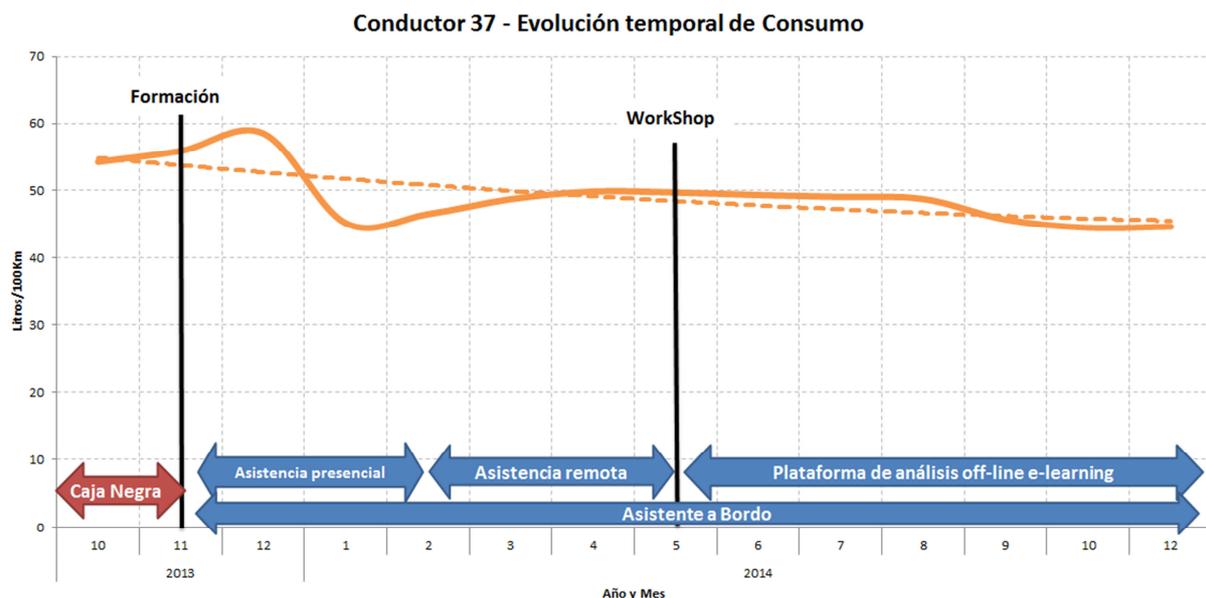


Figura 55: Evolución de Consumo Conductor 37

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* (0,006591), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* (0,691), aceptando por tanto la hipótesis nula.

Dado que la distribución no cumple normalidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2013 frente a 2014 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* (7,907e-08), determinando que las medianas son distintas. Por último, se realizó el test de contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las medianas de 2013-2014 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *pvalor* (8,064e-12), determinando que la mediana de 2014 fue inferior a la de 2013 y verificando la reducción de consumo.

Para desglosar el análisis de consumo expuesto, se evalúan los factores que impactan en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la [figura 56](#), el conductor mostró una reducción considerable a lo largo de los meses sucesivos a la primera formación, consiguiendo estabilizarse entre los 200 y 300 segundos de alarma a los 100Km. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 61% sobre la fase inicial, aunque pese a los resultados, en el mes de octubre de 2014 se muestra un crecimiento en el número de segundos de alarma de aceleración.

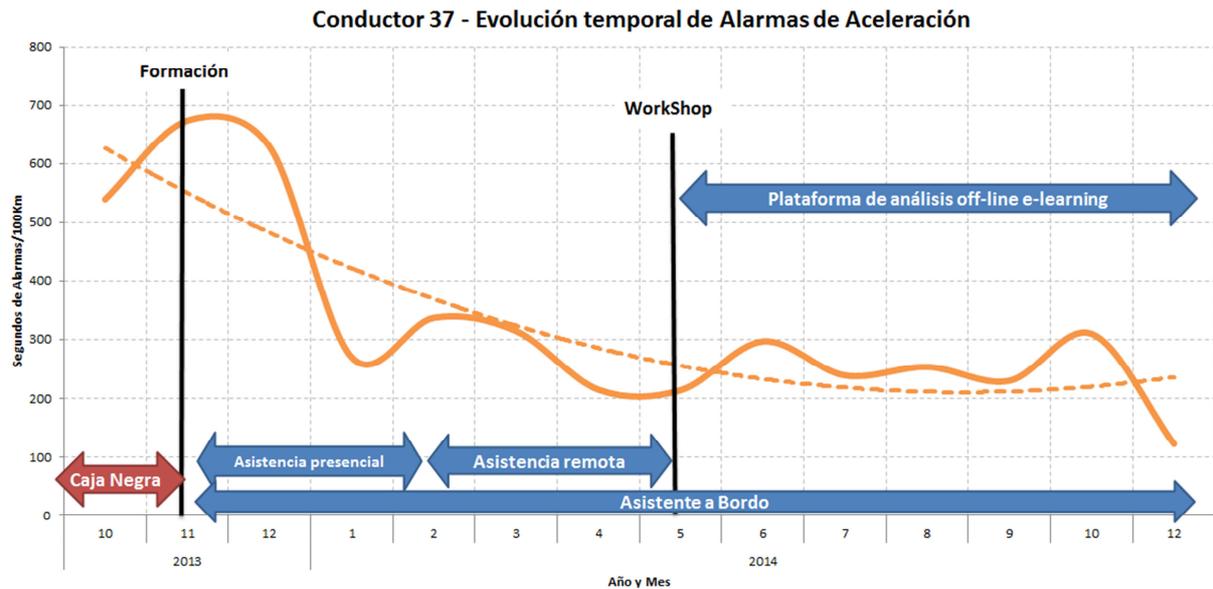


Figura 56: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 37

Al igual que las alarmas de aceleración, las alarmas de deceleración ([figura 37](#)) se reducen notablemente a lo largo de los meses de manera progresiva. Se puede destacar un repunte en el mes de enero que establece la tendencia para el resto del año. La diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 73% de mejora en este indicador.

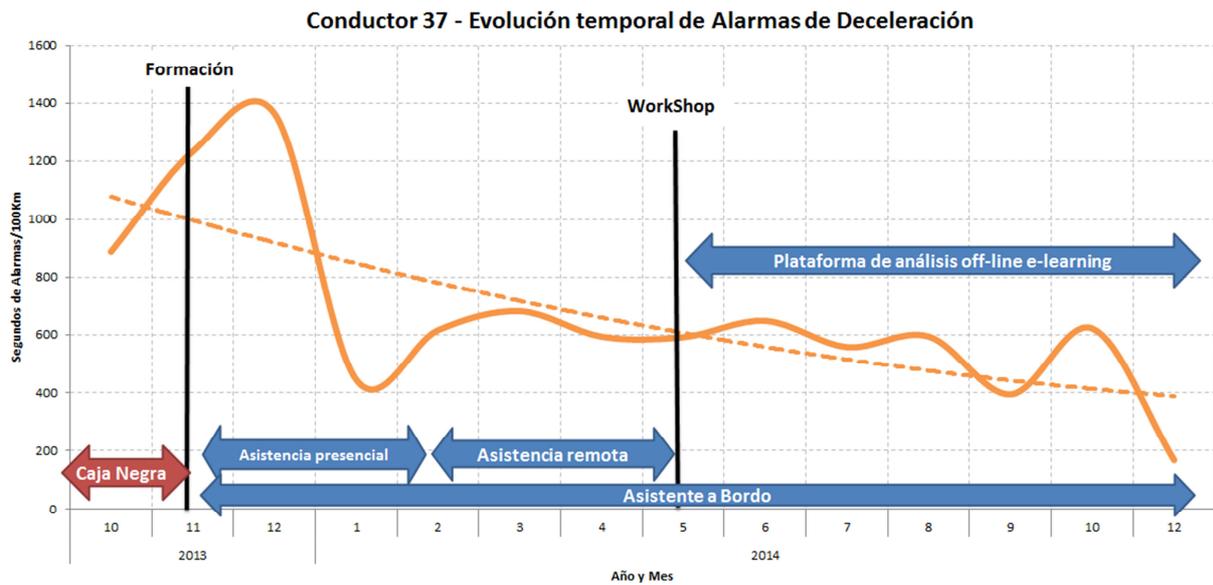


Figura 57: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 37

Las alarmas de ralenti (figura 58) siguen la misma tendencia que las anteriormente comentadas. El conductor consigue afianzar una mejora sobre los datos obtenidos en la caja negra, aunque la tendencia es menos estable, generando intervalos irregulares a lo largo de los meses, obteniendo una reducción del 85%.

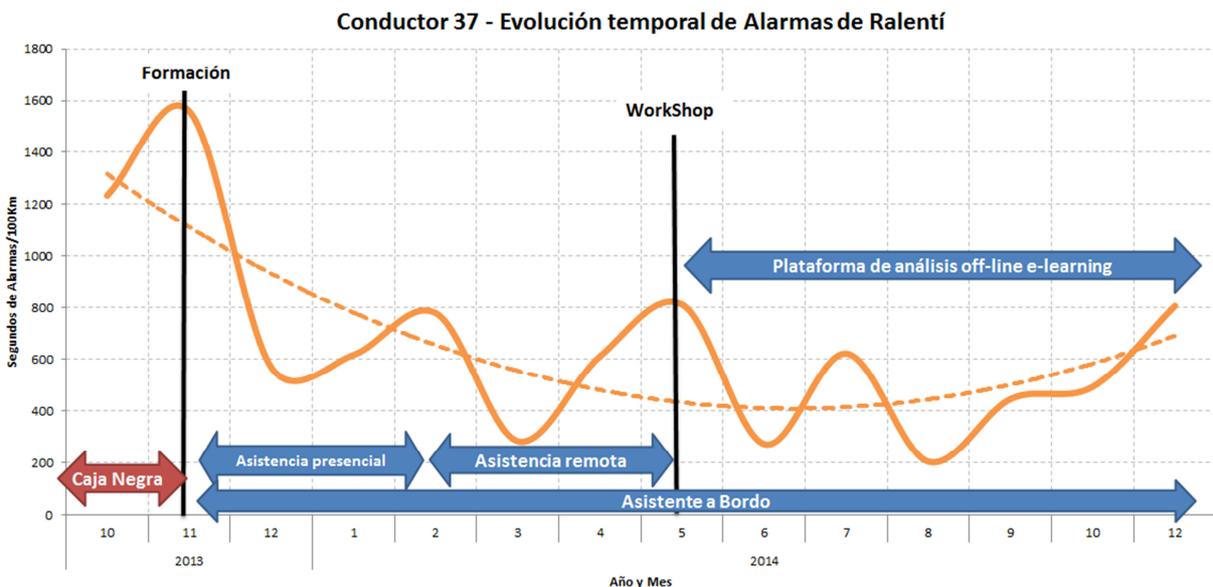


Figura 58: Segundos Alarma de Ralenti Conductor 37

La evaluación de este conductor resulta muy positiva, puesto que los resultados reflejan la asimilación de conocimientos de manera progresiva y significativa, destacando los resultados obtenidos alarmas de

aceleración y deceleración. Sin embargo, las alarmas de ralentí denotan un carácter irregular a lo largo de año pese a la bajada inicial.

Conductor 38

En el caso del conductor 38, se plantea una casuística de comportamiento totalmente distinta a la del caso anterior. Mientras que en el conductor 37 mejoraba notablemente, el conductor 38 consigue una mejora menor.

En la figura 59 se muestra el análisis del consumo, donde el conductor consigue mejorar sus resultados a lo largo de los meses. Pasados 12 meses desde la caja negra se consigue mantener esa reducción, aunque se puede apreciar una subida de consumo estacional en los meses de verano de 2014.

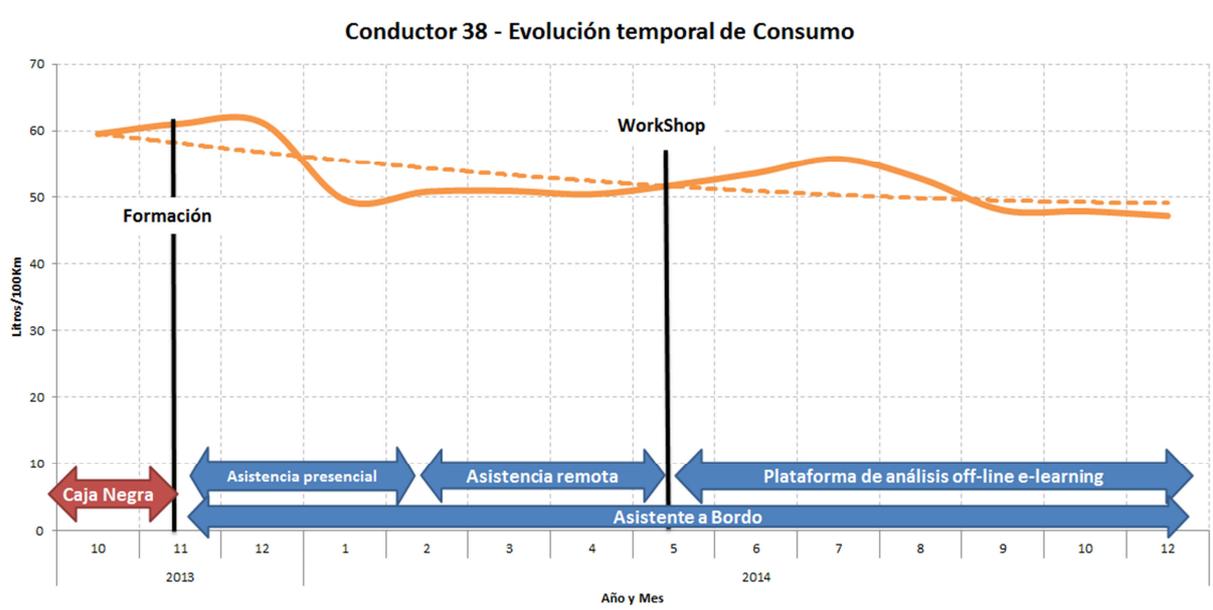


Figura 59: Evolución de Consumo Conductor 38

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* (0,004395), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* (0,01668), aceptando por tanto la hipótesis alternativa.

Dado que la distribución no cumple normalidad ni homocedasticidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2013 frente a 2014 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* (5,281e-

08), determinando que las medianas son distintas. Por último, se realizó el test de contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las medianas de 2013-2014 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *pvalor* ($2,762e-08$), determinando que la mediana de 2014 fue inferior a la de 2013 verificando la reducción de consumo.

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los factores que impactan en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la *figura 60*, el conductor mostró una reducción en los dos meses posteriores a la formación, consiguiendo estabilizarse entre los 400 y 600 segundos de alarma a los 100Km. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 30% sobre la fase inicial. En este caso, las subidas repentinas en las alarmas se producen en el mes previo a las vacaciones, coincidiendo con el punto mínimo a la vuelta de las mismas, pudiendo haber sido motivadas por una cierta ansia previa al periodo vacacional estando más centrado a la vuelta de dicho período.

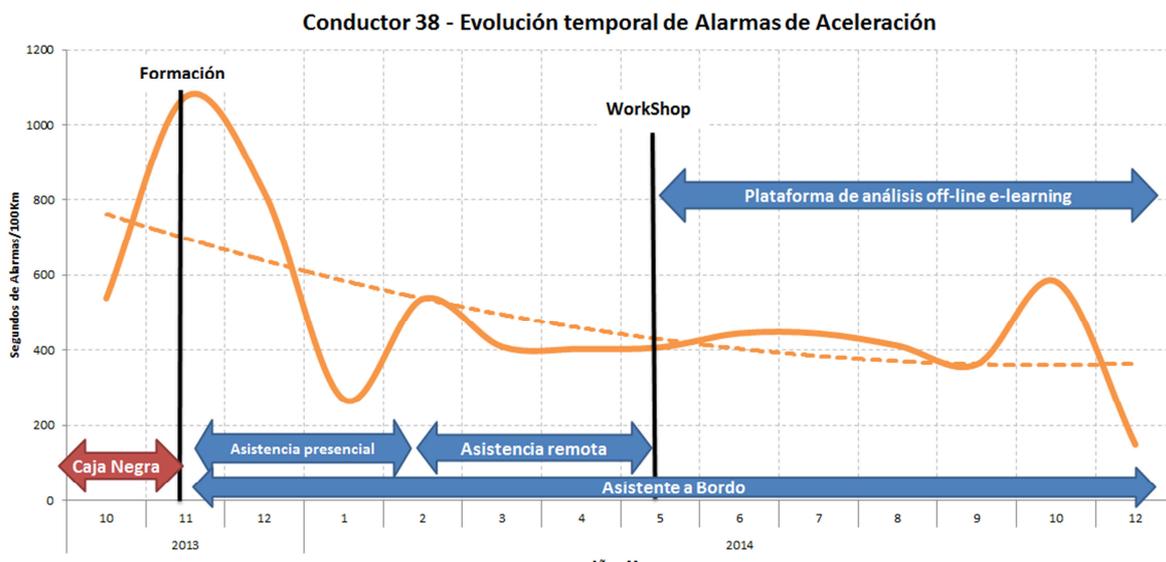


Figura 60: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 38

Al igual que las alarmas de aceleración, las alarmas de deceleración (*figura 61*) bajan a lo largo de los meses, consiguiendo estabilizarse en torno a los 1000 segundos de alarma a los 100Km. Se puede destacar un repunte en el mes de enero que establece la tendencia para el resto del año. La diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 46% de mejora.

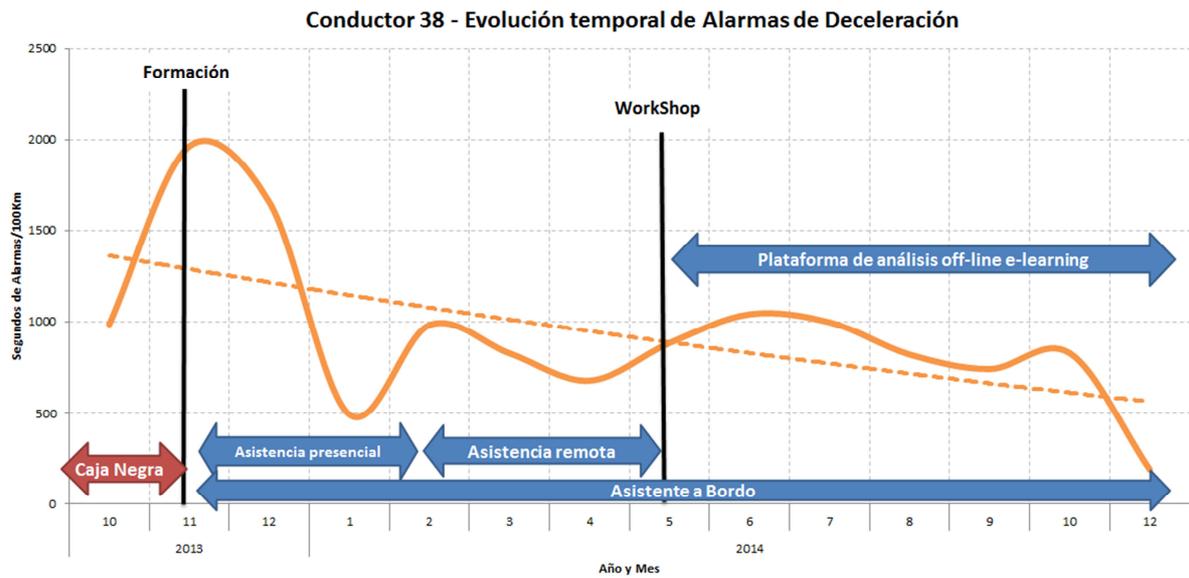


Figura 61: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 38

Las alarmas de ralentí (figura 62) al contrario que las anteriores, siguen una tendencia descendente con mucha más pendiente. El conductor consigue afianzar una mejora sobre los datos obtenidos en la caja negra, de manera estable, obteniendo una reducción del 79%.

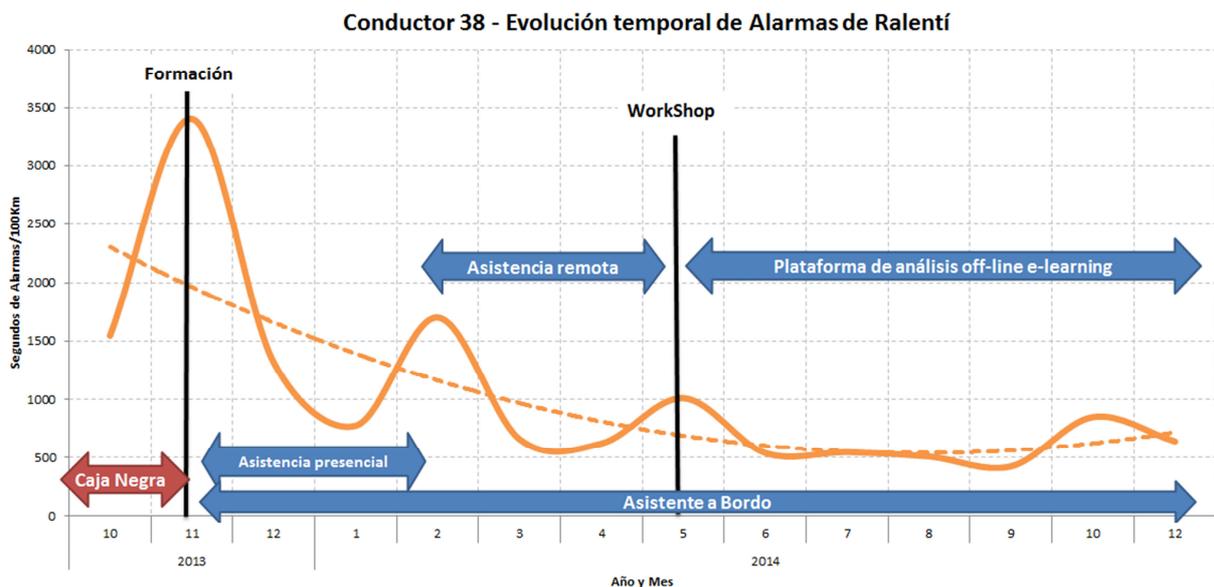


Figura 62: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 38

La evaluación de este conductor resulta positiva, puesto que los resultados reflejan la asimilación de conocimientos de manera progresiva, destacando los resultados obtenidos tanto en alarmas de deceleración como de ralentí, donde obtiene buenos resultados en los últimos meses.

Conductor 20

Por último se plantea el análisis el caso del conductor 20, cuya casuística es un punto intermedio entre los dos explicados anteriormente. Mientras que en el conductor 37 mejoraba notablemente y el 38 mejoraba ligeramente, el conductor 20 es un conductor el cual desempeña a un muy buen nivel al inicio de la metodología y consigue mejorar.

En la figura 63 se muestra el análisis del consumo, donde el conductor consigue mejorar sus resultados a lo largo de los meses. Pasados 12 meses desde la caja negra se consigue mantener esa reducción, aunque se puede apreciar una pequeña subida de consumo estacional en los meses de verano de 2014.

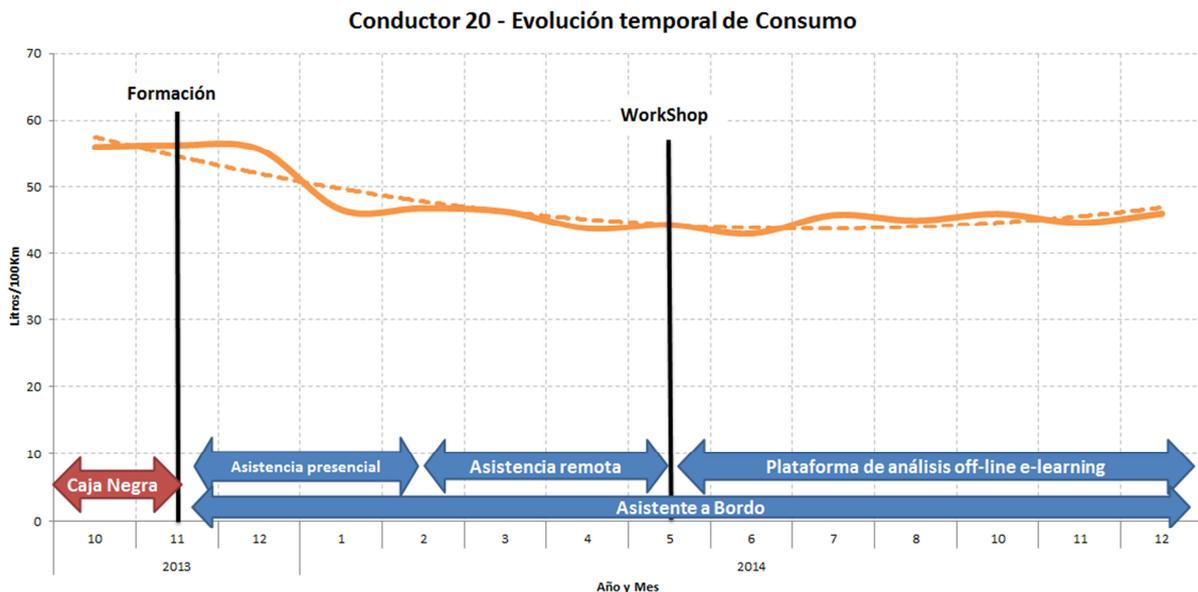


Figura 63: Evolución de Consumo Conductor 20

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* (0,0001975), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de Bartlett, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* (0,3783), aceptando por tanto la hipótesis nula.

Dado que la distribución no cumple normalidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2013 frente a 2014 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* (1,22e-08), determinando que las medianas son distintas. Por último, se realizó el test de contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las

medianas de 2013-2014 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *p*valor ($6,393e-09$), determinando que la mediana de 2014 fue inferior a la de 2013 verificando la reducción de consumo.

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los factores que impactan en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la [figura 64](#), el conductor mostró una reducción en los dos meses posteriores a la formación, consiguiendo estabilizarse entre los 200 y 300 segundos de alarma a los 100Km. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 37% sobre la fase inicial.

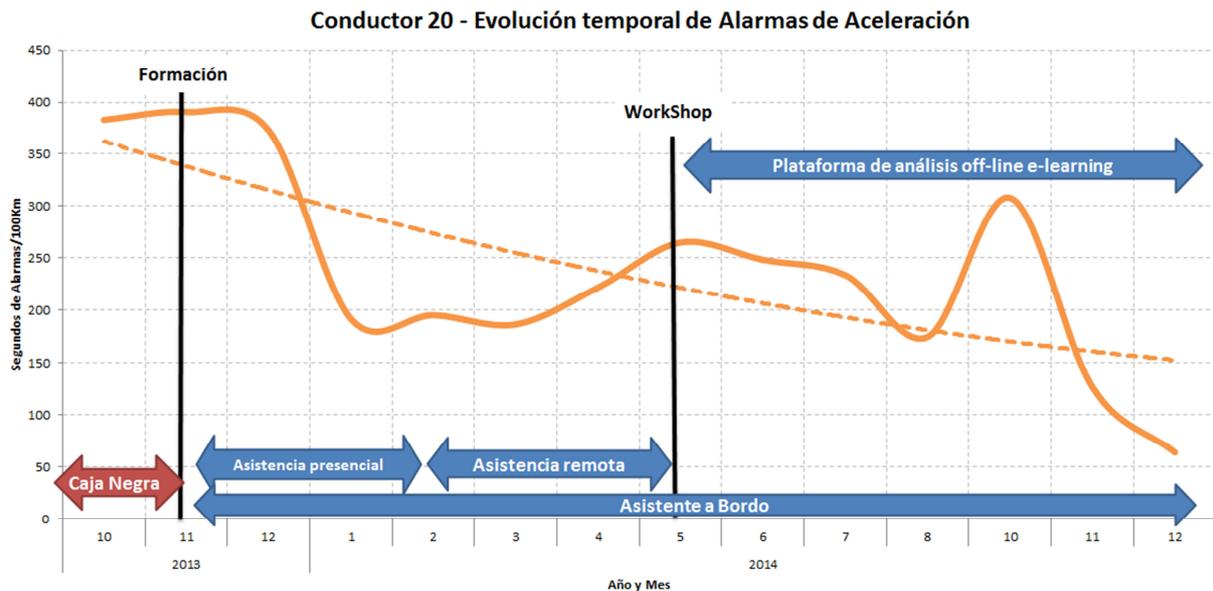


Figura 64: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 20

Al igual que las alarmas de aceleración, las alarmas de deceleración ([figura 65](#)) bajan a lo largo de los meses, consiguiendo estabilizarse en torno a los 150 segundos de alarma a los 100Km. Se puede destacar un repunte en el mes de enero que establece la tendencia para el resto del año. La diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 25% de mejora. Cabe destacar que si se realiza una comparación frente al resto de conductores analizados en esta sección, el número de segundos en alarma a los 100Km es muy inferior, por lo que presenta más variación y menos porcentaje de mejora. La subida detectada en el mes de octubre puede venir explicada por su regreso de las vacaciones, pues pasado ese mes sus resultados vuelven a la normalidad.

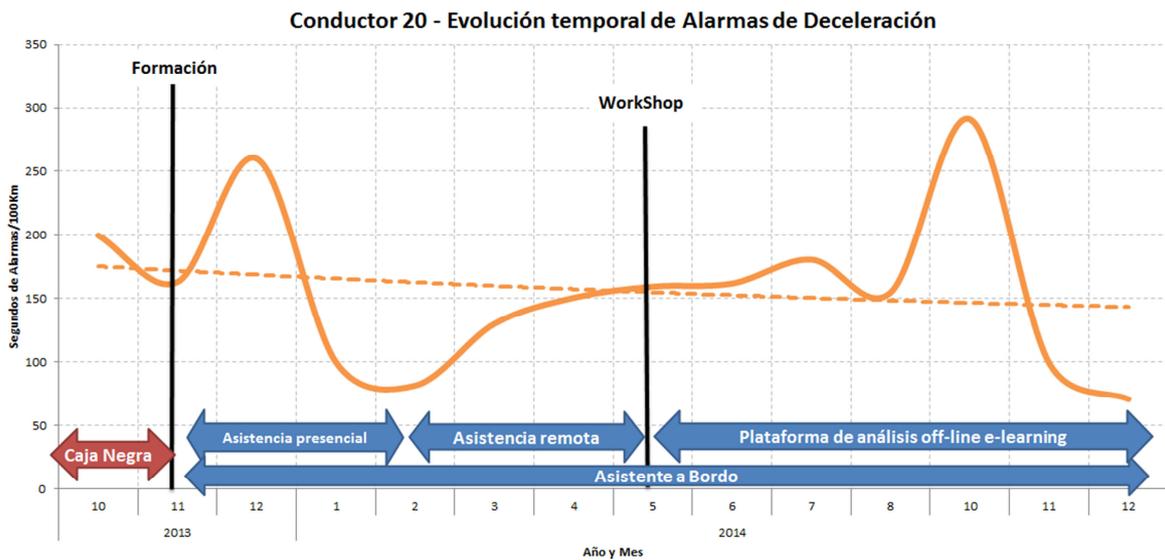


Figura 65: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 20

Las alarmas de ralentí (figura 66) al contrario que las anteriores, siguen una tendencia descendente con mucha más pendiente. El conductor consigue afianzar una mejora sobre los datos obtenidos en la caja negra, de manera estable, obteniendo una reducción del 57%.

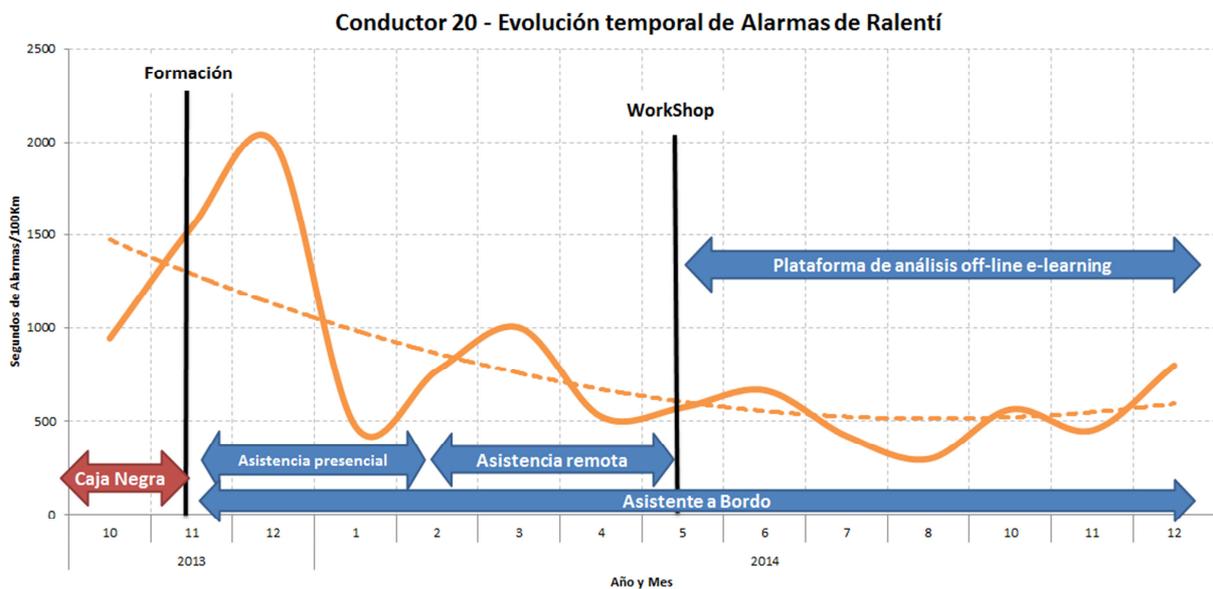


Figura 66: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 20

La evaluación de este conductor resulta positiva, puesto que los resultados reflejan la asimilación de conocimientos de manera progresiva. Una vez realizada la primera formación, se obtienen resultados muy positivos obteniendo una gran reducción de alarmas, teniendo en cuenta el contexto de este conductor quien era un buen conductor al inicio. Pasados unos meses, reaparecieron algunos hábitos ineficientes, que se consiguen mitigar con el seminario de refuerzo presencial, actuando eficazmente

sobre la reaparición de dicha tendencia negativa. Esta acción implicó una tendencia de reducción de alarmas, llegando a su máximo en diciembre de 2014, donde prácticamente no produce alarmas de aceleración y ralentí, demostrando una conducción muy eficiente.

4.1.4 Conclusiones

Como ha reflejado el desarrollo del caso de estudio, la evaluación de los conductores ha sido muy positiva. Los resultados denotan una adquisición de conocimiento a lo largo de cada fase de la metodología. Se ha de destacar que la formación inicial posterior a la caja negra es un hito clave que impacta en gran medida sobre el desempeño posterior. Ese proceso combinado con el tutor abordo y la asistencia de la plataforma *offline*, hace que se afiancen los conocimientos y mejore el desempeño (en términos de conducción eficiente) de la flota, como se ha mostrado en los resultados generales.

4.2 Caso de estudio 2: Compañía del Tranvía Eléctrico de Avilés (CTEA)

4.2.1 Caracterización del estudio

El estudio que se describe a continuación se ha desarrollado en la compañía de autobuses urbanos de la ciudad de Avilés (Asturias, España). Esta compañía, concesionaria del transporte público de la ciudad, se llama CTEA (Compañía del Tranvía Eléctrico de Avilés, perteneciente al grupo ALSA) y gestiona 9 líneas diurnas que recorren la ciudad. La compañía transporta aproximadamente unos 12.000 pasajeros cada mes con un total de 20 autobuses.

De todas sus líneas, tres (líneas 1, 5 y 6) fueron seleccionadas para realizar el caso de estudio que ahora se plantea. La [tabla 15](#) resume las características de ambas líneas. Al iniciar los trabajos se instalaron los sistemas embarcados CatedBox en los autobuses de las líneas citadas, 8 en total, como se puede observar en la [figura 67](#). Los autobuses de dichas líneas están dotados de cambio automático y son de los modelos Mercedes Benz O530 G Citaro (6 autobuses) y Mercedes Benz O530 Citaro (2 autobuses).



Figura 67: Instalación en un autobús de CTEA. Año 2014

Un total de 24 conductores formaron parte del estudio. Todos ellos con una edad superior a los 42 años y con una experiencia mínima de 6 años en la empresa. La edad media del grupo fue de 48 años y una experiencia media de 18.

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

El estudio se inició en octubre de 2014 con una planificación inicial de un año (ajustándose a las fases de la metodología descrita en esta tesis doctoral).

Un formador de la empresa ADN Mobile Solutions ocupó el rol de experto en conducción eficiente encargándose de los seminarios presenciales y de la asistencia remota.

Tabla 15: Característica de las Rutas 1, 5 y 6

Ruta	Distancia (O-D, D-O)	Duración media	Velocidad Media	Tipo trayecto
Línea 1	14,36 - 14,06 km	1h 15m	17,01 km/h	Urbano
Línea 5	9,15 - 12,6 km	1h 20m	21,98 km/h	Urbano
Línea 6	10,1 - 9,40 km	52m	19,69 km/h	Urbano

4.2.2 Desarrollo del estudio

El desarrollo del estudio viene dado por la ejecución de la metodología expuesta en esta tesis. El desarrollo del caso de estudio se realizó de la siguiente manera:

- **Fase de caja negra** (1 mes) - octubre 2014 a noviembre 2014
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia presencial de expertos** (3 meses) - noviembre 2014 – enero 2015
 - **Formación inicial presencial:** noviembre 2014
- **Entrega de informes emitidos por expertos** (10 meses) - (noviembre 2014 – septiembre 2015)
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia remota de experto** (3 meses) - enero 2015 – abril 2015
 - **Seminario de refuerzo o *workshop*:** abril 2015
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y plataforma de análisis *offline/e-learning*** (periodo ilimitado, mínimo 5 meses) abril 2015 – septiembre 2015 (fase actualmente en ejecución).

4.2.3 Resultados

En esta sección se exponen los resultados obtenidos a lo largo del caso descrito. Primeramente se mostrará el desempeño general de la flota de vehículos a lo largo de los 12 meses, para seguidamente analizar en profundidad el aprendizaje de 3 conductores seleccionados de la flota.

En la figura 68 se muestra una comparativa del consumo interanual de los vehículos, en la cual se muestran como líneas sólidas los resultados de consumo del año 2014, mientras que en líneas discontinuas se muestran los de 2015.

Para el caso de CTEA, se plantean los resultados obtenidos sobre el caso expuesto en el apartado anterior a lo largo de 12 meses. En la gráfica posterior se muestran los resultados de consumo obtenidos en el año 2014, frente a 2015, donde se obtiene una mejoría notable.

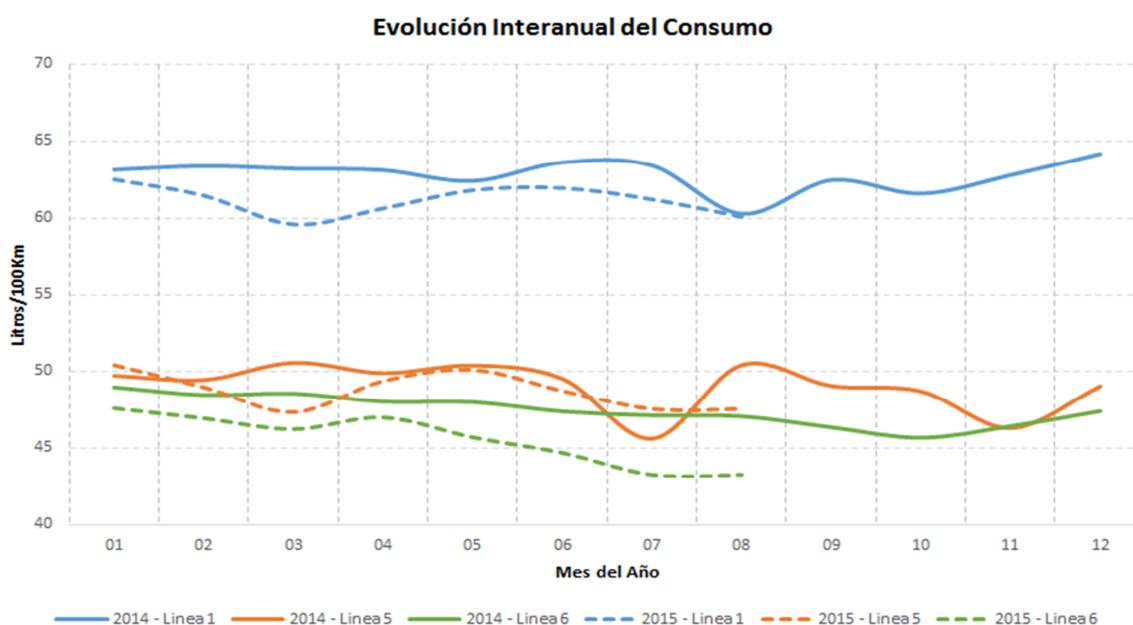


Figura 68. CTEA-Evolución interanual del Consumo

El desempeño analizado muestra la reducción significativa en litros de gasoil consumido a lo largo de 2015 para los vehículos de la línea 1, 5 y 6. En el caso de la línea 5 el mes de julio supera los datos del año anterior. La información representada de la figura 68 fue suministrada por la dirección de CTEA para realizar esta comparativa (basada en datos de surtidor de CTEA). Estos hacen referencia a todos los conductores de la flota de CTEA, por lo que es necesario realizar una separación entre los conductores participantes en el caso de estudio y los que no. A partir de este punto en este caso de estudio, todos los datos presentados pertenecen a conductores que forman parte del caso de estudio.

Para respaldar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea de nuevo un análisis formal estadístico siguiendo el proceso descrito en [Rohatgi2001].

Este análisis está constituido por la evaluación de varios tests necesarios para realizar el contraste de hipótesis sobre dos conjuntos, con la finalidad de comparar los resultados de 2014 (primeras fases del caso de estudio) contra los de 2015. Para llevar a cabo el análisis se utilizaron los datos recogidos durante el caso de estudio por la plataforma CatedBox.

Para poder llegar a realizar los test que contrasten la diferencia de medias (*T de Student*) o medianas (*Wilcoxon*) entre los dos años evaluados y se pueda determinar si las diferencias expuestas anteriormente son significativas, se han de realizar como condición, los test de normalidad y homocedasticidad. En el caso de que estas dos condiciones se cumpliesen, se debería realizar el test de ANOVA y en otro caso el de *Kruskal Wallis* para finalmente realizar los contrastes a través de la *T de Student* o *Wilcoxon*.

En primera instancia, se comprobó la normalidad de los datos de consumo mediante el test *Kolmogorov-Smirnov*. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea que los datos provienen de una distribución normal, contra la alternativa (H_1) de que no provienen de una distribución normal. El resultado será H_1 si el test rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5%, con un intervalo de confianza del 95%. El *pvalor* obtenido por el test (0) hace que se rechace la hipótesis nula en favor de la alternativa.

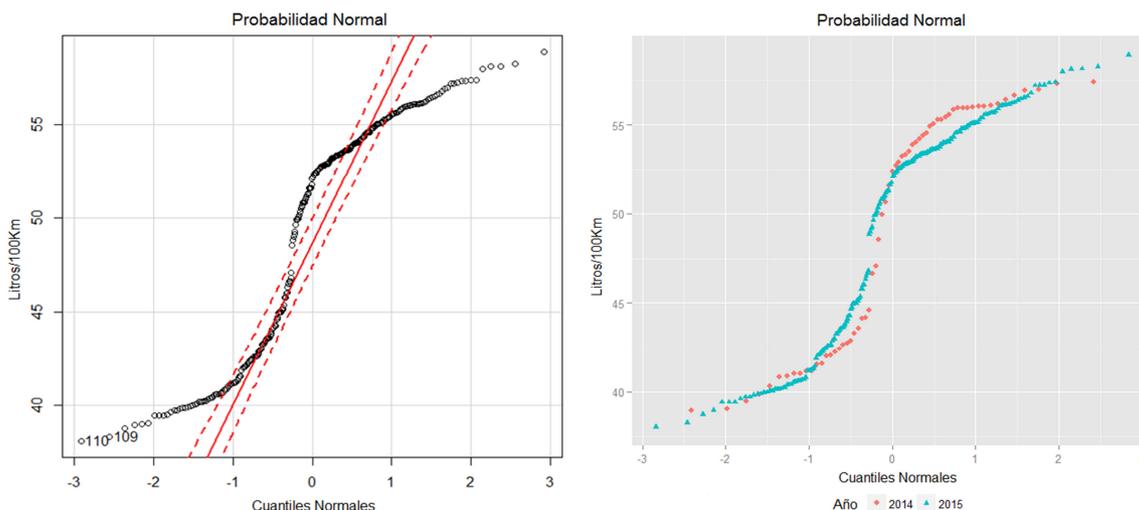


Figura 69: Comprobación de la normalidad general y por año

Gráficamente en la figura 69 se puede comprobar que los datos no provienen de una distribución normal, al apreciarse una gran desviación sobre la línea de tendencia normal.

El segundo test realizado se encargó de comprobar la homocedasticidad de la distribución a través del test de *Bartlett*. Si una distribución es homocedástica, el error cometido por el modelo tiene siempre la misma varianza.

En este caso, se comprobaron las varianzas de los consumos de los 12 meses evaluados. La hipótesis nula definida (H_0), determina que las distribuciones de los consumos de cada año provienen de una

distribución normal con la misma varianza, por otro lado, la hipótesis alternativa (H1) determina que no todos los años tienen la misma varianza.

El resultado del test de homocedasticidad *pvalor* (0,3988) indica que se acepta la hipótesis nula a favor de que tienen igual varianza. Según esto, todos los resultados de consumo para 2014 y 2015 tienen la misma varianza a nivel de muestra.

Una vez obtenidos los tests previos necesarios y, en función de los resultados obtenidos, se procedieron a ejecutar los tests de contraste de medias o medianas.

En este caso, al cumplirse la homocedasticidad solamente, el test de ANOVA no proporcionaría resultados válidos. De todas formas, se decidió llevar a cabo el test de ANOVA. Dicho test, plantea como hipótesis nula (H0) que no existen diferencias entre las medias de cada año, mientras que la hipótesis alternativa (H1) plantea la desigualdad. Como resultado del test de contraste de medias, al resultar un valor alto de *p* (0,9735), se acepta la hipótesis nula y por tanto, puede deducirse que no existen diferencias significativas entre las medias de los consumos de los diferentes años. El *boxplot* de la [figura 70](#) permite visualizar gráficamente estas diferencias.

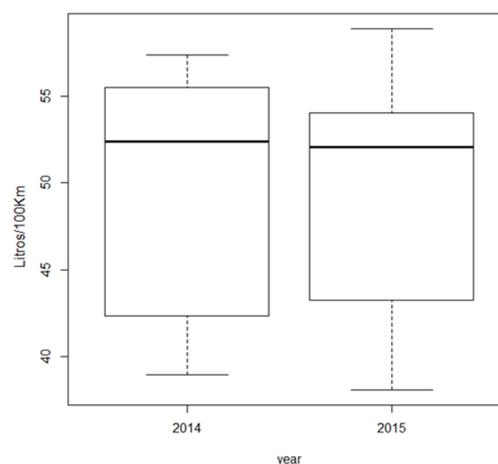


Figura 70: *Boxplot* del contraste de medias

Al no cumplirse la normalidad, se tiene que realizar el test de contraste de medianas en lugar de contraste de medias (ANOVA). Para ello se procedió a ejecutar el test de *Kruskal – Wallis* con el objetivo de determinar si los datos de los diferentes años tienen la misma mediana.

En el caso de la hipótesis nula (H0), se planteó el caso de que las medianas son iguales, mientras que en la hipótesis alternativa fueran distintas. El resultado de este contraste de hipótesis indica según el alto valor de *p* obtenido (0,685) que se acepta la hipótesis nula. Dado que las medianas son estadísticamente equivalentes no es necesario realizar el test de *Wilcoxon*. Por lo tanto, se concluye que no existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años.

El resultado obtenido se puede interpretar como una comparación entre los consumos obtenidos a final del año 2014 con 2015 (nótese que son datos de consumos registrados por CatedBox por lo que no se

dispone de más histórico). Este resultado está causado por la mejora de unos conductores y el peor desempeño en otros, igualando el resultado obtenido el final del año anterior.

Una vez probada la validez estadística de los datos de consumo, y dado que el carácter de conducción y por tanto desempeño varía en función del tipo de autobús que se conduce, se realiza una separación de las líneas en las que se dividen los vehículos, para mostrar los resultados generales de las líneas 1, 5 y 6.

En el caso de la línea 1 los resultados de consumo obtenidos en el año 2015, frente a 2014, muestran una ligera reducción salvo en los meses de junio, julio y agosto dada la estacionalidad de los meses de verano en los cuales el uso del aire acondicionado fue muy intenso.

En la [figura 71](#) se muestra la evolución del consumo y las alarmas de aceleración obtenidas en función de cada mes. La evolución del consumo se representa a través de litros a los 100 Km, mientras que las alarmas se referencian en función del número de segundos que se permanece en ese intervalo de alarma a los 100Km.

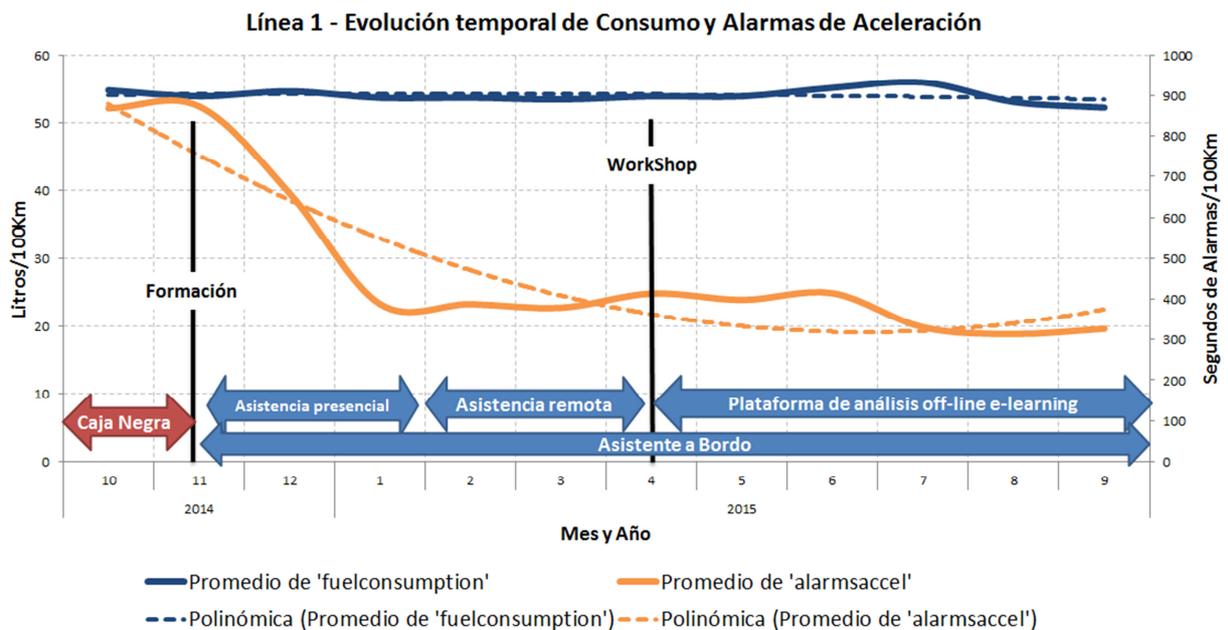


Figura 71: Desempeño Línea 1 (Consumo y Aceleración)

Los resultados permiten apreciar en líneas generales, una reducción considerable de alarmas de aceleración a lo largo de todo el periodo estudiado, mientras que para consumo en el mes de junio surge un repunte que se mantiene hasta agosto del mismo año. Este repunte puede ser explicado a través de la estacionalidad veraniega, donde el uso del aire acondicionado tiene un impacto importante sobre el consumo de combustible en los vehículos (véase comparativa interanual basada en datos de surtidor mostrada en la [figura 68](#)).

En el caso de los resultados obtenidos para la línea 5, mostrada en la figura 72, se puede apreciar un comportamiento similar en lo que se refiere al desempeño, consiguiendo reducciones en alarmas de aceleración de hasta un 70%.

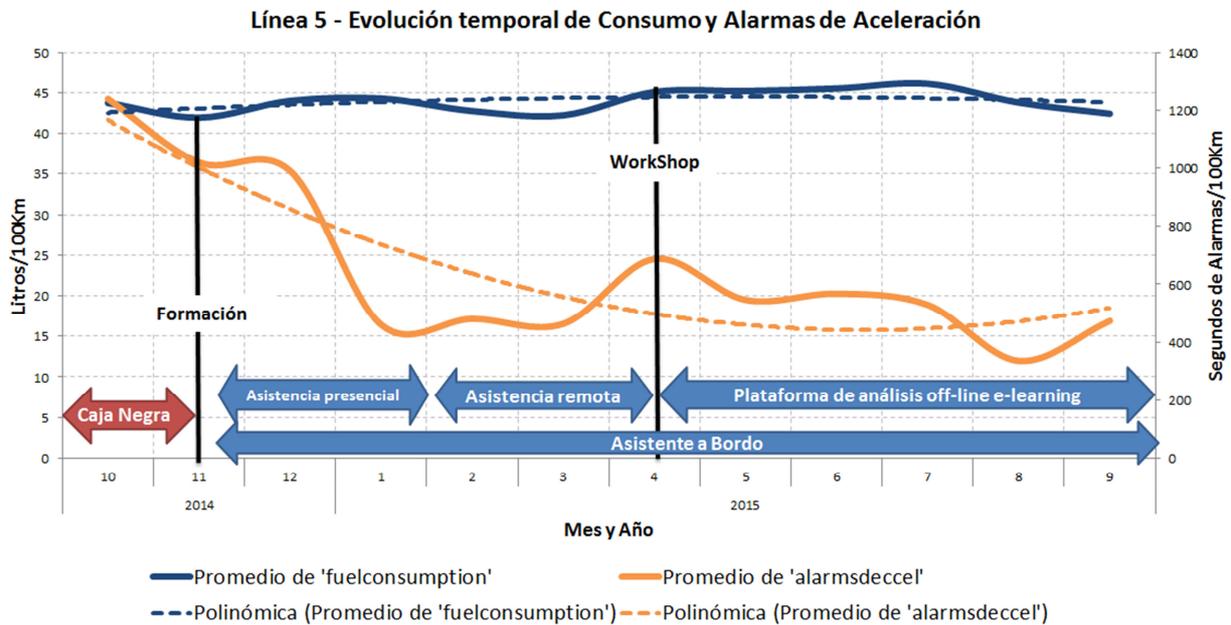


Figura 72: Desempeño Línea 5 (Consumo y Aceleración)

En líneas generales, se remarcan las líneas de tendencia estable en cuanto a consumo y descendente para alarmas de aceleración y deceleración a lo largo de la duración del caso de estudio. Los puntos más destacables de descenso son los posteriores a la formación y seminario de refuerzo respectivamente.

En el caso de los resultados obtenidos para la línea 6, mostrada en la figura 73, se puede apreciar un comportamiento similar a las dos anteriores en lo que se refiere al desempeño, consiguiendo reducciones en alarmas de aceleración de hasta un 67%.

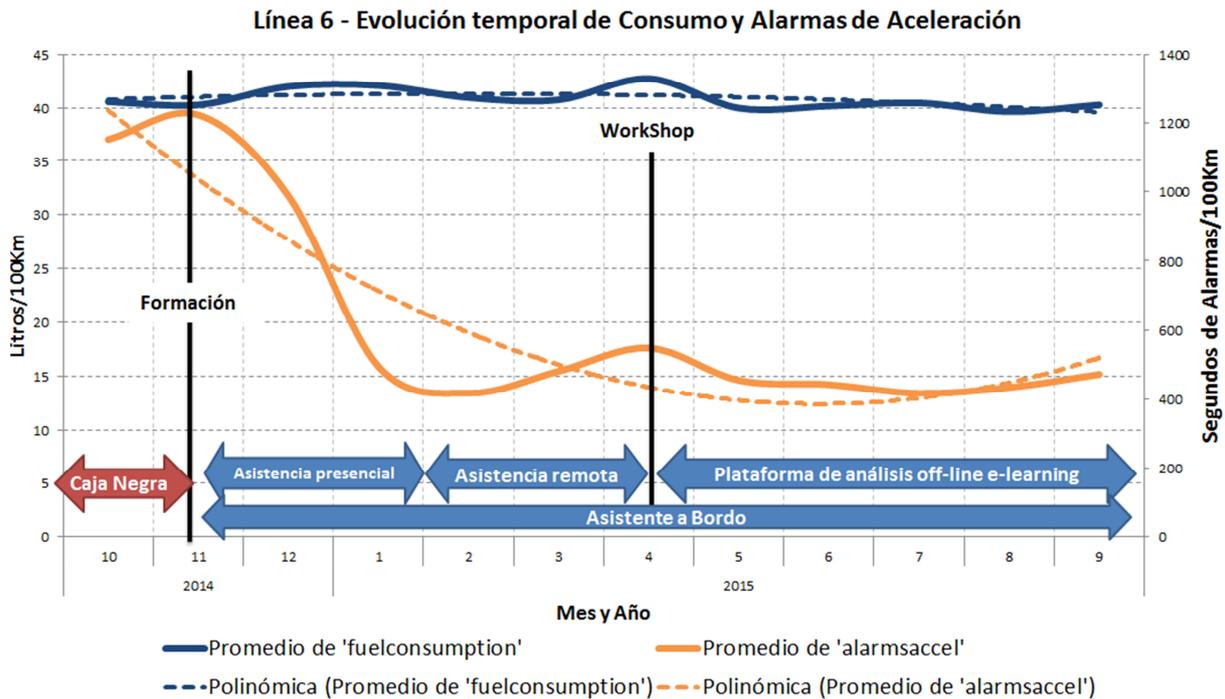


Figura 73: Desempeño Línea 6 (Consumo y Aceleración)

Sin embargo, en este caso la subida de gasto de combustible y número de segundos en alarma se produce de marzo a junio, reduciéndose en el periodo de estacionalidad mencionado anteriormente.

A través de los datos obtenidos por los análisis anteriormente realizados, se seleccionaron 3 conductores para la realización de una evaluación concreta desde el inicio del caso de estudio, evaluando su aprendizaje y desempeño a lo largo de los meses.

Conductor 30

El conductor evaluado plantea la casuística de un conductor que mejora desde el inicio del caso de estudio, mostrando una progresión a lo largo de los meses en todos los factores.

En la [figura 74](#) se muestra el análisis de consumo, donde el conductor consigue mejorar sus cifras a lo largo de los meses incluso conteniendo los registros durante la estacionalidad del verano. Pasados 10 meses desde la caja negra, consigue mantener esa reducción de manera satisfactoria a través de los conocimientos obtenidos en el proceso.

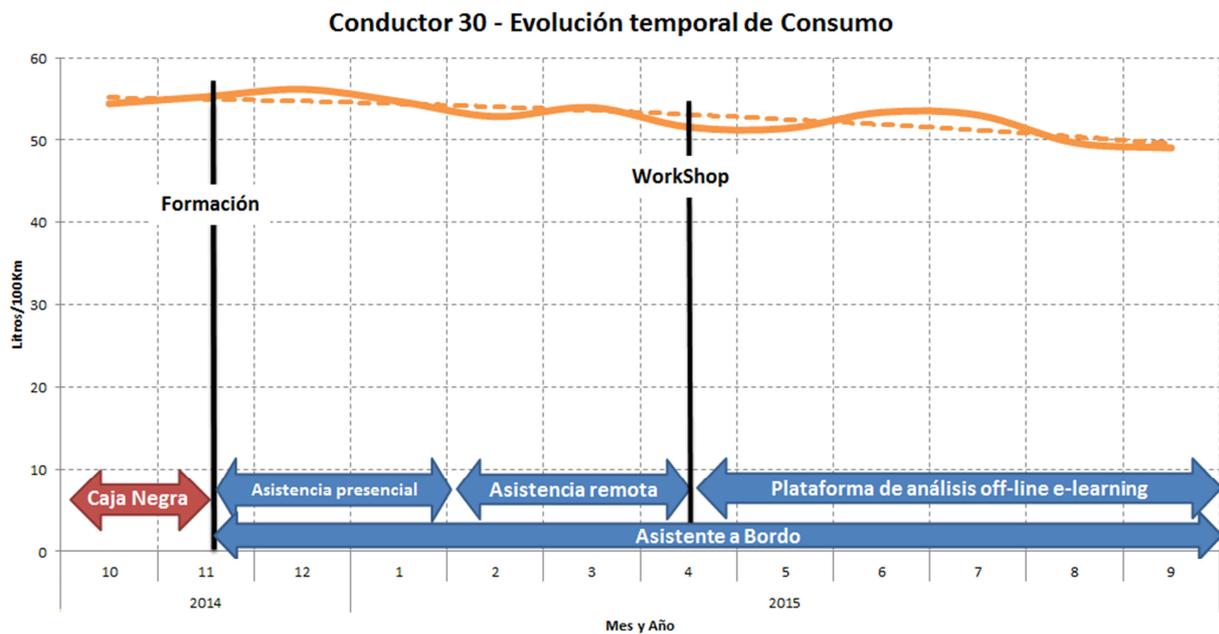


Figura 74: Evolución de Consumo Conductor 30

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* ($1,269e-05$), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* ($0,09432$), aceptando por tanto la hipótesis nula.

Dado que la distribución no cumple normalidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2014 frente a 2015 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* ($0,0005796$), determinando que las medianas son distintas. Por último, se realizó el test de contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las medianas de 2014-2015 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *pvalor* ($0,0002983$), determinando que la mediana de 2015 fue inferior a la de 2014 verificando la reducción de consumo.

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los indicadores que impactan en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la [figura 75](#), el conductor mostró una reducción considerable a lo largo de los meses sucesivos a la primera formación, consiguiendo estabilizarse entre los 200 y 300 segundos de alarma a los 100Km. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 66% sobre la fase inicial.

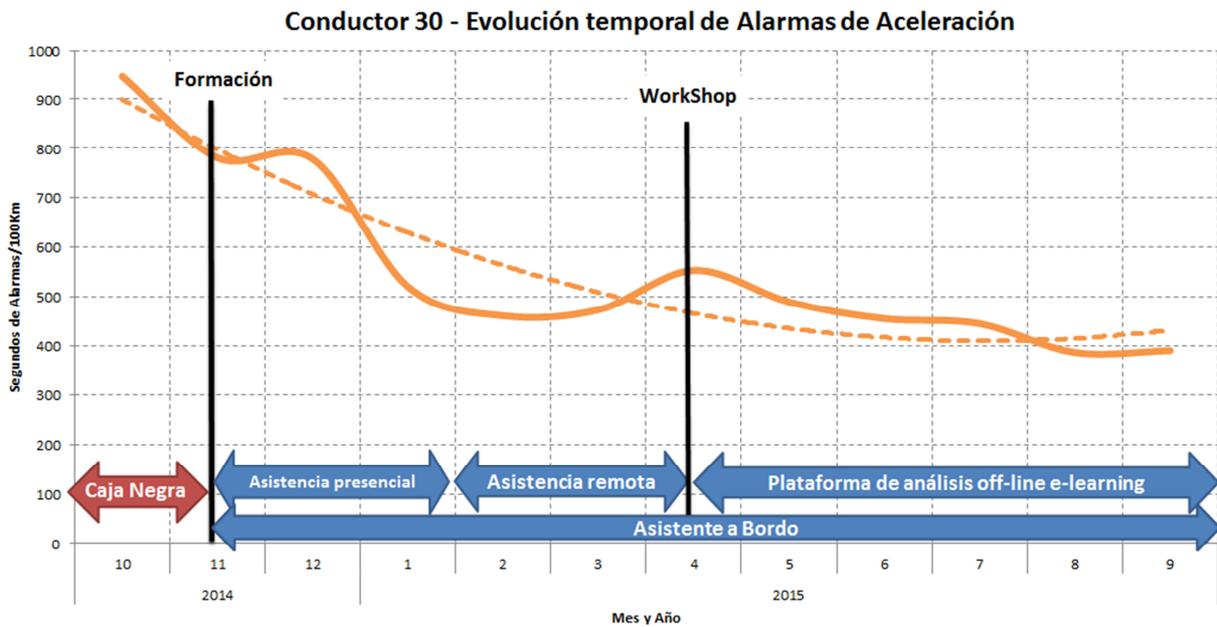


Figura 75: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 30

Al igual que las alarmas de aceleración, las alarmas de deceleración (figura 76) sufren una reducción continua a lo largo de los meses. Pasado el periodo de caja negra, la reducción fue gradual hasta el mes de abril, donde las alarmas de deceleración sufren un pequeño repunte. La diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 67% de mejora en este indicador.

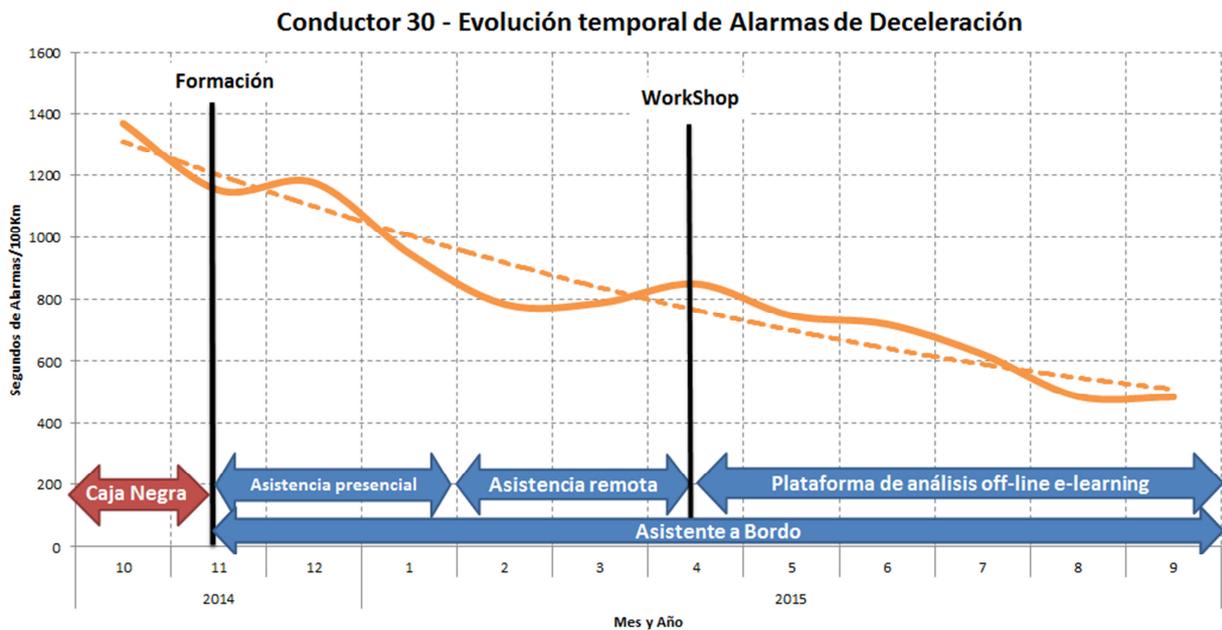


Figura 76: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 30

Las alarmas de ralentí (figura 77) siguen la misma tendencia que las anteriormente comentadas. El conductor consigue afianzar una mejora sobre los datos obtenidos en la caja negra, aunque se puede destacar un repunte de las alarmas entre junio y julio, obteniendo finalmente una reducción del 19%.

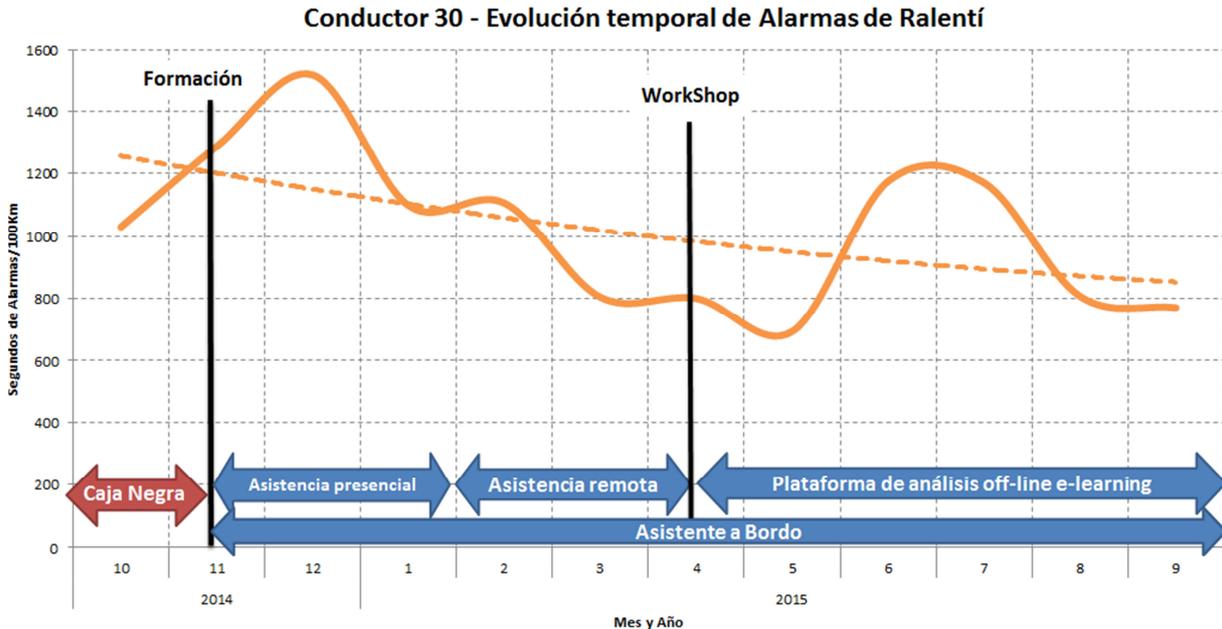


Figura 77: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 30

La evaluación de este conductor resulta positiva, puesto que los resultados reflejan la asimilación de conocimientos de manera progresiva, destacando los resultados obtenidos en todas las alarmas, donde obtiene buenos resultados en los últimos meses salvo en las alarmas de ralentí, donde en los últimos meses sufre un repunte considerable.

Conductor 16

En el caso del conductor 16 se plantea una casuística de comportamiento similar a la del caso anterior, obteniendo resultados de mejora a lo largo de todo el caso de estudio.

En la figura 78 se muestra el análisis del consumo, donde el conductor consigue unos resultados equivalentes a lo largo de los meses. Pasados 10 meses desde la caja negra se consigue mantener, aunque se puede apreciar una subida de consumo estacional en los meses de verano de 2015.

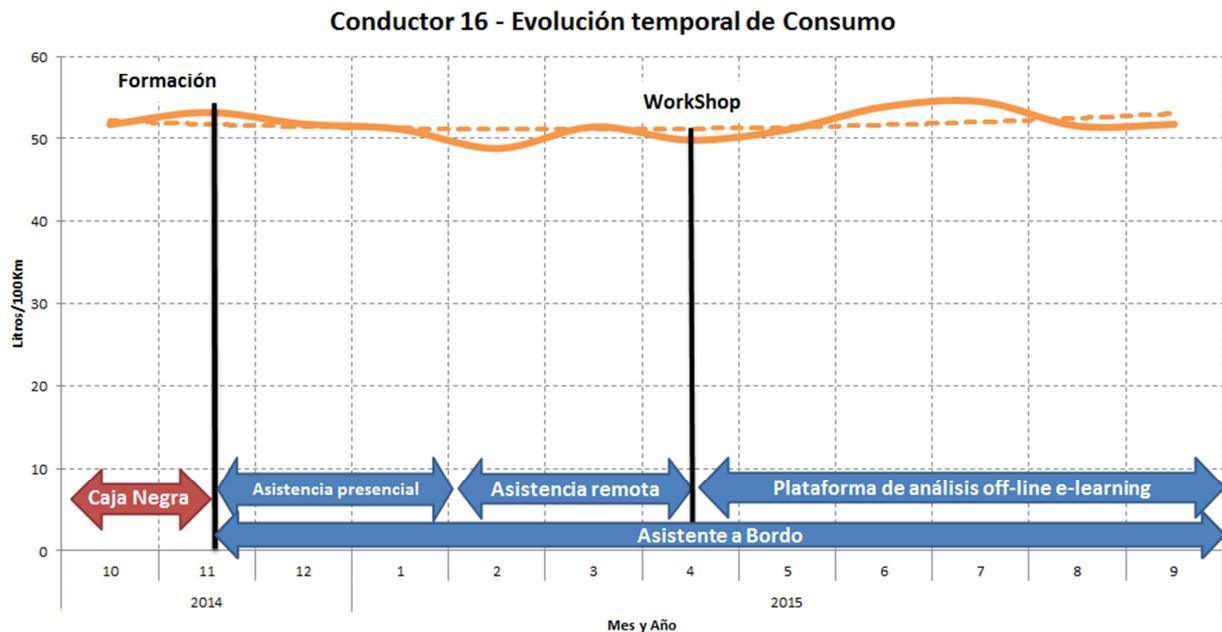


Figura 78: Evolución de Consumo Conductor 16

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* ($3,083e-07$), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* ($0,566$), aceptando por tanto la hipótesis nula.

Dado que la distribución no cumple normalidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2014 frente a 2015 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* ($0,3168$), determinando que las medianas pueden ser consideradas iguales. Dado que las medianas son estadísticamente equivalentes no es necesario realizar el test de *Wilcoxon*. Por lo tanto, se concluye que no existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años.

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los indicadores que influyen en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la figura 79, el conductor mostró una reducción en los dos meses posteriores a la formación, consiguiendo estabilizarse entre los 400 y 200 segundos de alarma a los 100Km. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 69% sobre la fase inicial.

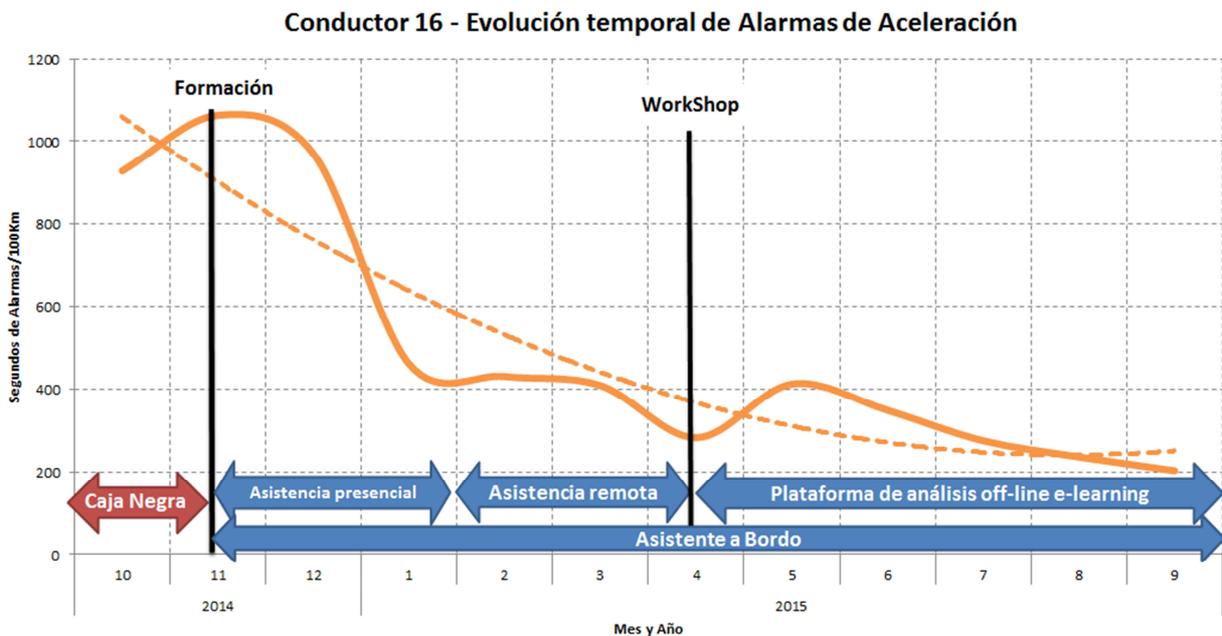


Figura 79: Segundos de Alarmas de Aceleración Conductor 16

Al igual que las alarmas de aceleración, las alarmas de deceleración (figura 80) bajan a lo largo de los meses, consiguiendo estabilizarse en torno a los 100 segundos de alarma a los 100km. Se puede destacar un repunte en el mes de enero que establece la tendencia descendente para el resto del año. La diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 65% de mejora.

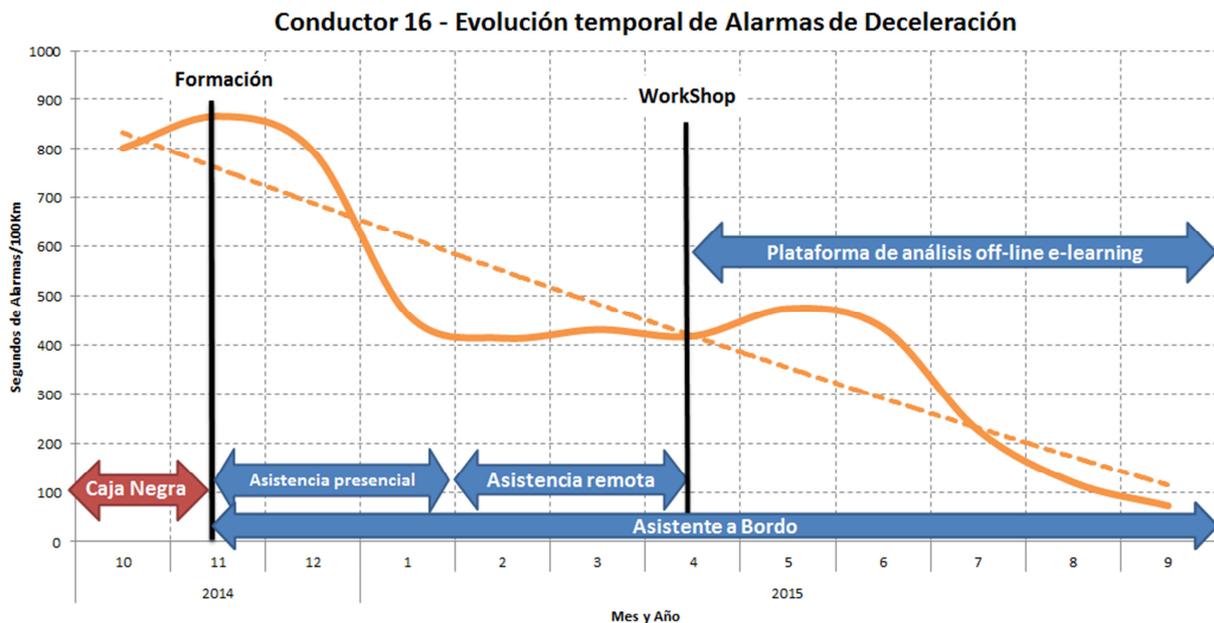


Figura 80: Segundos de Alarmas de Deceleración Conductor 16

Las alarmas de ralentí (figura 81), al igual que el resto, siguen una tendencia descendente de que se prolonga en el tiempo. El conductor consigue afianzar una mejora sobre los datos obtenidos en la caja negra, de manera estable, obteniendo una reducción del 33%.

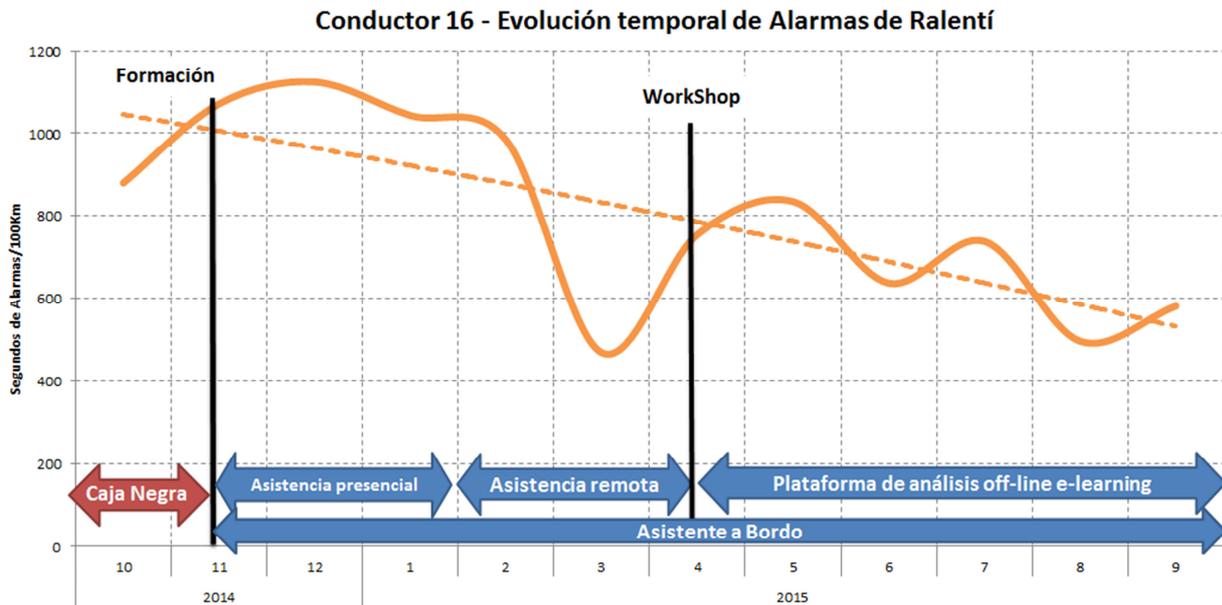


Figura 81: Segundos Alarma de Ralentí Conductor 16

La evaluación de este conductor resulta positiva, pese al estancamiento varios meses en el número de alarmas, puesto que los resultados reflejan la asimilación de conocimientos de manera progresiva, destacando los resultados obtenidos tanto en alarmas de aceleración y deceleración, donde obtiene buenos resultados en los últimos meses.

Conductor 7

En el caso del conductor 7 se plantea una casuística de comportamiento similar a la del caso anterior, obteniendo resultados de mejora a lo largo de todo el caso de estudio.

En la figura 82 se muestra el análisis del consumo, donde el conductor consigue unos resultados equivalentes a lo largo de los meses. Pasados 10 meses desde la caja negra se consigue mantener, aunque se puede apreciar una subida de consumo estacional en los meses de verano de 2015.

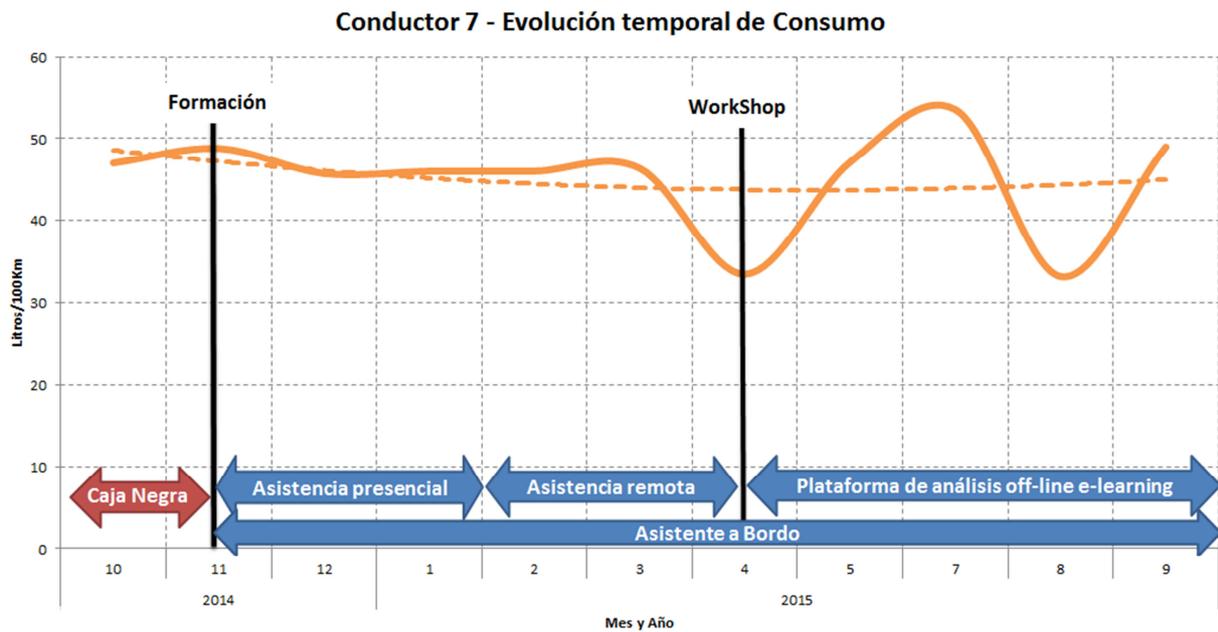


Figura 82: Evolución de Consumo Conductor 7

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* ($1,177e-08$), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* ($0,05115$), aceptando por tanto la hipótesis nula.

Dado que la distribución no cumple normalidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2014 frente a 2015 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* ($0,7934$), determinando que las medianas pueden ser consideradas iguales. Dado que las medianas son estadísticamente equivalentes no es necesario realizar el test de *Wilcoxon*. Por lo tanto, se concluye que no existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años.

Como se puede apreciar en la figura 83, pasados 12 meses desde el momento de la caja negra, el conductor consigue una tendencia descendente de segundos de alarma de aceleración frente al estado inicial. Este comportamiento se ve reflejado en los meses posteriores a la formación presencial, donde el descenso es considerable. Sin embargo, en los meses de marzo a mayo sufre un repunte en los valores medidos corrigiéndose a partir de julio de 2015.

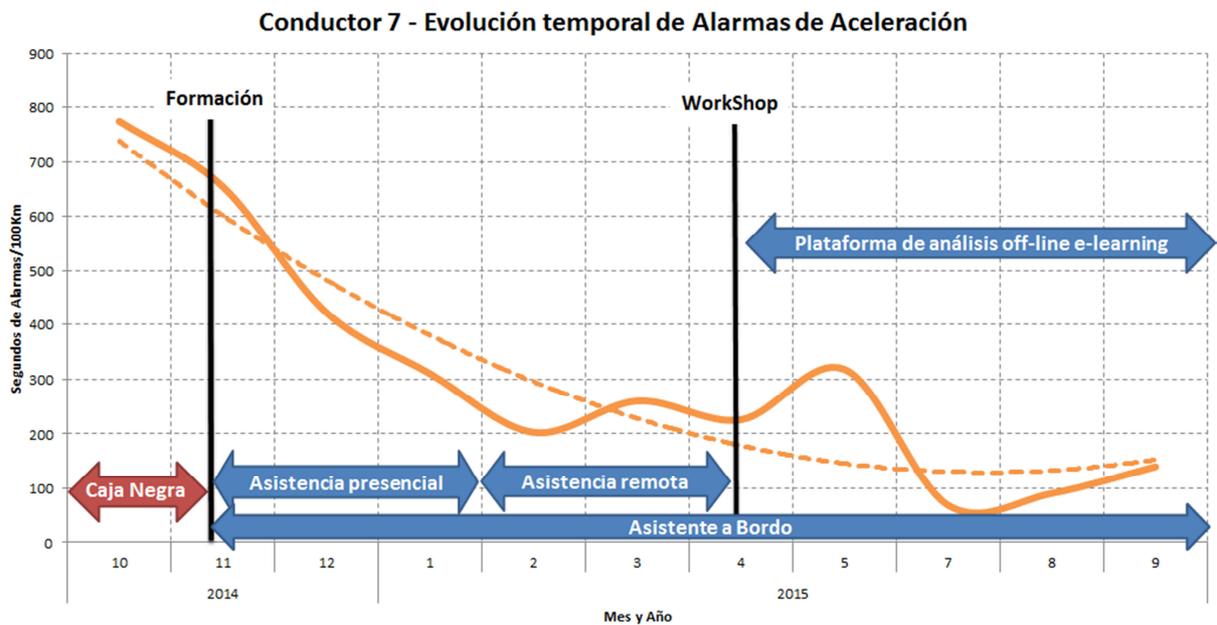


Figura 83: Segundos Alarma de Aceleración Conductor 7

Al igual que en las alarmas de aceleración, este conductor destacó en su evolución de alarmas de deceleración (figura 84). El comportamiento mostrado fue similar en las alarmas deceleración, teniendo un repunte entre marzo y mayo. Finalmente, en el mes de agosto el conductor consigue que tiendan a 0 segundos de alarma a los 100Km, es decir, 100Km sin tener ningún segundo de frenada fuerte.

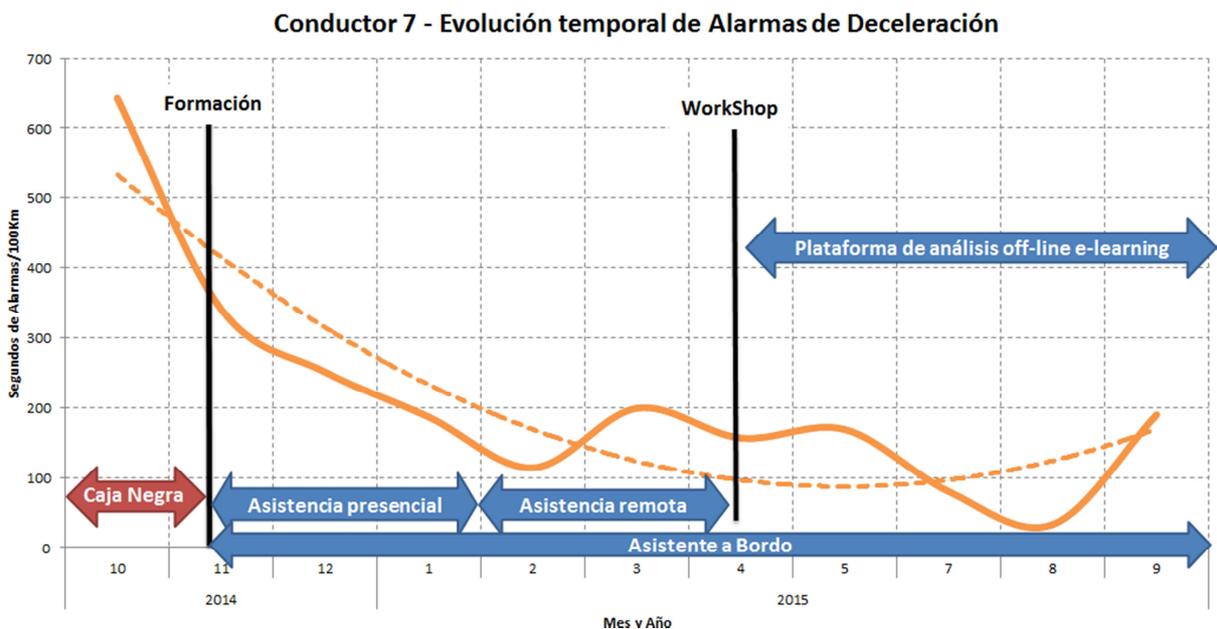


Figura 84: Segundos Alarma de Deceleración Conductor 7

En el caso de la evolución del ralentí de este conductor (figura 85), se pueden apreciar repuntes en los primeros meses del año. A partir de ese punto y pese a un repunte en el mes de junio, se van reduciendo los segundos de alarma de ralentí progresivamente hasta obtener unos resultados positivos.

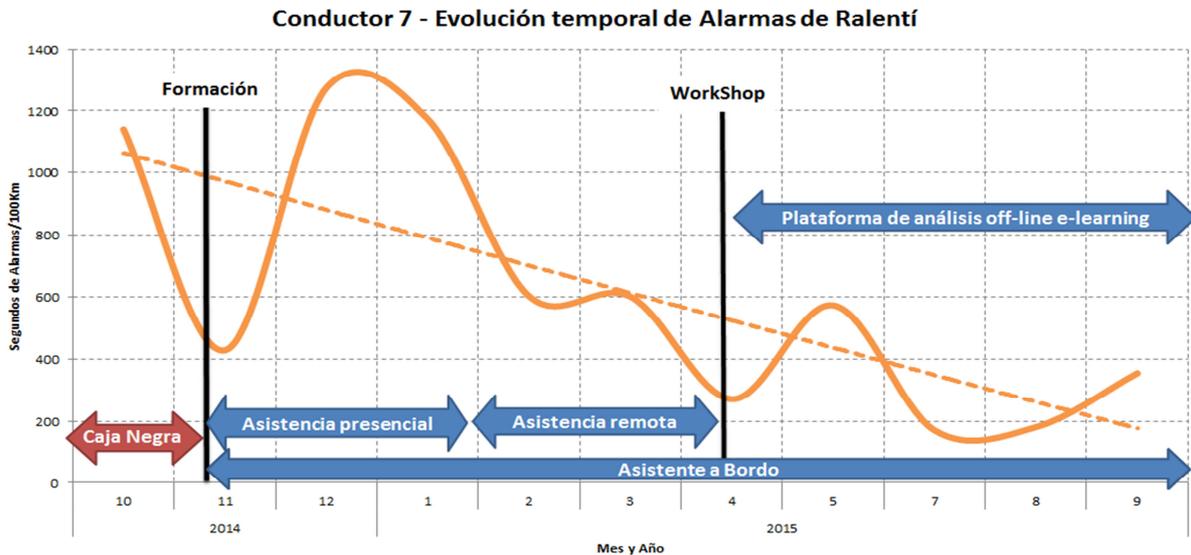


Figura 85. Segundos de Alarmas de Ralentí Conductor 7

La conclusión de la evaluación de este conductor se resume en lo comentado en las figuras anteriores. Se puede asegurar la asimilación de conocimiento a través de las técnicas expuestas en esta metodología, dado el desempeño realizado a través de los meses evaluados en el caso de estudio.

4.2.4 Conclusiones

La evaluación de los conductores ha sido positiva, puesto que han adquirido conocimiento a lo largo de cada fase de la metodología. Se ha de destacar la formación posterior a la caja negra como un conocimiento inicial de conducción eficiente que impacta en buena medida sobre el desempeño. Ese proceso combinado con el asistente abordo y la asistencia *offline*, hacen que se afiancen los conocimientos y mejore el desempeño (en términos de conducción eficiente) de la flota como se ha mostrado en los resultados generales.

4.3 Caso de estudio 3: Empresa Municipal de Limpieza de Gijón (EMULSA)

4.3.1 Caracterización del estudio

El estudio que se describe a continuación se ha desarrollado desde octubre de 2013 en la Empresa Municipal de Servicios de Medio Ambiente Urbano de Gijón S.A. (EMULSA), donde se desplegó para 10 vehículos de distinto tipo y que realizan servicios diferentes. La [tabla 16](#) resume las características de dichos vehículos y de su actividad.

Tabla 16: Característica de los vehículos gestionados en el caso de estudio de EMULSA

Vehículo	Marca/modelo	Tipo	Servicio	Horario
352	Renault Access	Camión de carga trasera	Recogida de muebles	Nocturno
350	Renault Premium	Contenedor de carga lateral	Recogida de basura	Nocturno
351	Renault Premium	Contenedor de carga lateral	Recogida de basura	Nocturno
329	Renault Premium	Contenedor de carga lateral	Recogida de basura	Nocturno
330	Renault Premium	Contenedor de carga lateral	Recogida de basura	Nocturno
362	Renault Premium Lander	Polibrazo grúa porta contenedores	Transporte entre puntos limpios y planta de reciclaje	Diurno
304	RosrocaCITYCAT	Barredora	Limpieza viaria con agua a presión	Diurno
306	RosrocaCITYCAT	Barredora	Barrido viario	Diurno
333	RosrocaCITYCAT	Barredora	Barrido viario	Diurno
334	RosrocaCITYCAT	Barredora	Barrido viario	Diurno



Figura 86: Instalación del sistema embarcado en EMULSA



Figura 87: Jornada de formación inicial con vehículos de EMULSA

Un total de 33 conductores formaron parte del estudio. Todos ellos con una edad superior a los 35 años y con una experiencia mínima de 6 años en la empresa. La edad media del grupo fue de 48 años y una experiencia media de 19.

El estudio se inició en octubre de 2013 con una planificación inicial de un año (ajustándose a las fases de la metodología descrita en esta tesis doctoral). En las figuras 86 y 87 pueden verse imágenes del caso de estudio, del sistema embarcado utilizado y de una jornada de formación inicial, respectivamente.

Un formador de la empresa ADN Mobile Solutions se hizo cargo del rol de experto en conducción eficiente encargándose de la formación inicial, *workshops* y de la asistencia remota.

4.3.2 Desarrollo del estudio

El desarrollo del estudio viene dado por la ejecución de la metodología expuesta en esta tesis. El desarrollo del caso de estudio se realizó de la siguiente manera:

- **Fase de caja negra** (1 mes) - octubre 2013 a noviembre 2013
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia presencial de expertos** (4 meses) - noviembre 2013 – febrero 2014
 - **Curso inicial presencial:** noviembre 2013
- **Entrega de informes emitidos por expertos** (10 meses) - (noviembre 2013 – septiembre 2014)
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y asistencia remota de expertos** (3 meses) - febrero 2014 – mayo 2014
 - **Seminario de refuerzo o *workshop*:** mayo 2014
- **Fase de tutorización con tutor a bordo y plataforma de análisis *offline/e-learning*** (periodo ilimitado, mínimo 5 meses) mayo 2014 – septiembre 2014.

4.3.3 Resultados

En esta sección se exponen los resultados obtenidos a lo largo del caso descrito. Primeramente se mostrará el desempeño general de la flota de vehículos a lo largo de los 10 meses, para seguidamente analizar en profundidad el aprendizaje de 3 conductores seleccionados de la flota. Dado que en este caso no se cuenta con datos suministrados por la empresa relativos a consumo de su surtidor, no será posible presentar datos interanuales.

Pese a no contar con los datos interanuales, se presentan resultados de consumo obtenidos a lo largo de 12 meses de la misma manera que en los casos anteriores. Para comprobar la validez estadística de los datos analizados se realizaron rigurosas pruebas estadísticas sobre la información. Los análisis posteriores se realizan para cada una de las agrupaciones de vehículos presentadas en la caracterización del estudio.

Para verificar si existe una reducción en los datos de consumo, se plantea igualmente un análisis formal estadístico como se presenta en [Rohatgi2001].

Este análisis está constituido por la evaluación de varios tests necesarios para realizar el contraste de hipótesis sobre dos conjuntos, con la finalidad de comparar los resultados de 2013 (primeras fases del caso de estudio) contra los de 2014. Para llevar a cabo el estudio se utilizaron los datos recogidos durante el caso de estudio.

Para poder llegar a realizar los test que contrasten la diferencia de medias (*T de Student*) o medianas (*Wilcoxon*) entre los dos años evaluados y se pueda determinar si las diferencias expuestas anteriormente son significativas, se han de realizar como condición, los test de normalidad y homocedasticidad. En el caso de que estas dos condiciones se cumpliesen, se debería realizar el test de ANOVA y en otro caso el de *Kruskal Wallis* para finalmente realizar los contrastes a través de la *T de Student* o *Wilcoxon* en caso de encontrar diferencias significativas.

En primera instancia, se comprobó la normalidad de los datos de consumo mediante el test *Kolmogorov-Smirnov*. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea que los datos provienen de una distribución normal, contra la alternativa (H_1) de que no provienen de una distribución normal. El resultado será H_1 si el test

rechaza la hipótesis nula con un nivel de significancia del 5%, con un intervalo de confianza del 95%. El *p*valor obtenido por el test ($2,2e-16$) hace que se rechace la hipótesis nula en favor de la alternativa.

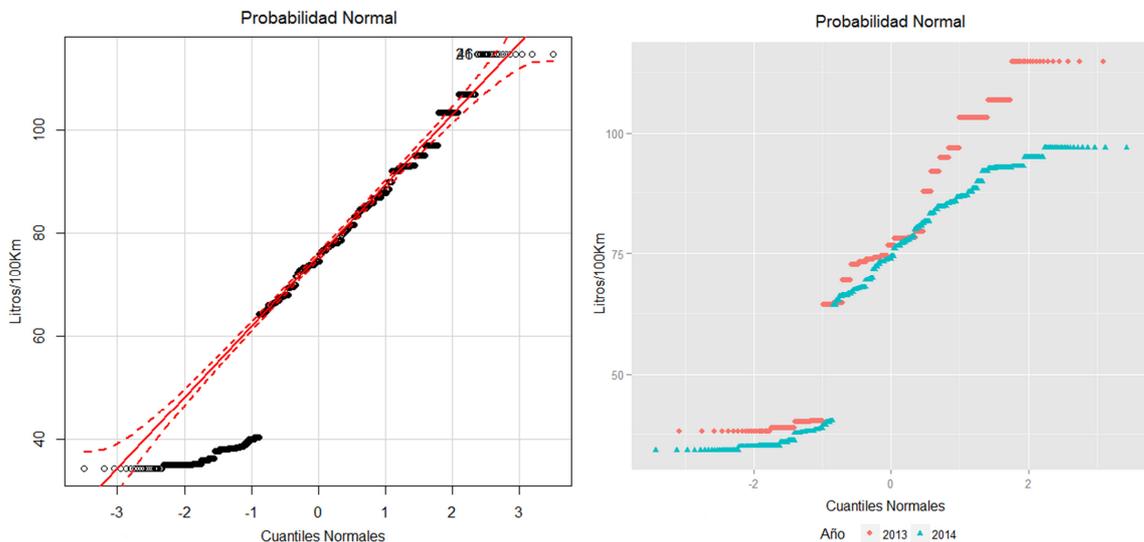


Figura 88: Comprobación de la normalidad general y por año

Gráficamente en la figura 88 se puede comprobar que los datos no provienen de una distribución normal, al apreciarse una gran desviación sobre la línea de tendencia normal.

El segundo test realizado se encargó de comprobar la homocedasticidad de la distribución a través del test de *Bartlett*. Si una distribución es homocedástica, el error cometido por el modelo tiene siempre la misma varianza.

En este caso, se comprobaron las varianzas de los consumos de los meses evaluados. La hipótesis nula definida (H_0), determina que las distribuciones de los consumos de cada año provienen de una distribución normal con la misma varianza, por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) determina que no todos los años tienen la misma varianza.

El resultado del test de homocedasticidad con un *p*valor (0,0001203) indica que se rechaza la hipótesis nula, considerando que la comparación de varianzas entre los dos años es distinta. Según esto, todas las distribuciones tienen distinta varianza a nivel de muestra.

Una vez obtenidos los test previos necesarios y, en función de los resultados obtenidos, se procedieron a ejecutar los test de contraste de medias o medianas.

En el caso de que se cumpliera normalidad y homocedasticidad, se podría ejecutar el test de la ANOVA para hacer un contraste de las medias de cada año. En este caso, al no cumplirse la normalidad, el test de ANOVA no proporcionaría resultados válidos. De todas formas, se decidió realizar el test de ANOVA. Este test plantea como hipótesis nula (H_0) que no existen diferencias entre las medias de cada año,

mientras que la hipótesis alternativa (H1) plantea la desigualdad. Como resultado del test de contraste de medias se obtuvo un bajo valor de p ($1,971e-12$), rechazándose la hipótesis nula y por tanto, puede deducirse que existen diferencias significativas entre las medias de los consumos de los diferentes años. El *boxplot* de la [figura 89](#) permite visualizar gráficamente estas diferencias

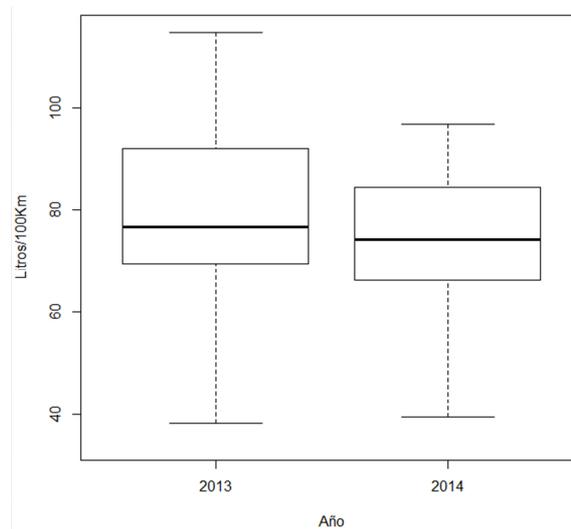


Figura 89: *Boxplot* del contraste de medias

Al no cumplirse la normalidad, se tiene que realizar el test de contraste de medianas en lugar de contraste de medias (ANOVA). Para ello se va a ejecutar el test de *Kruskal – Wallis* con el objetivo de determinar si los datos de los diferentes años tienen la misma mediana.

En el caso de la hipótesis nula (H0), se plantea el caso de que las medianas son iguales, mientras que en la hipótesis alternativa son distintas. El resultado de este contraste de hipótesis indica según el bajo valor de p obtenido ($1,051e-08$), determina que existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años.

Por último, se realiza el test de *Wilcoxon* puesto que la distribución no tiene normalidad. Este test tiene como funcionalidad la determinación de diferencias entre conjuntos. Como hipótesis nula (H0) se plantea el caso de que la diferencia entre las medianas consumos de 2013 y 2014 sea menor o igual a 0, la hipótesis alternativa por contrario, indicará que la diferencia mencionada sea mayor a 0. El resultado obtenido, con un valor de p ($5,257e-09$) rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa, determinando que existen diferencias significativas en las medianas de los consumos de los diferentes años y que el consumo en 2014 es significativamente menor. El resultado obtenido se puede interpretar como una comparación entre los consumos obtenidos a final de 2013 con 2014.

Dado que el carácter de conducción y por tanto desempeño varía en función del tipo de vehículo que se conduce, se realiza una separación por las agrupaciones en las que se dividen los vehículos, obteniendo los resultados generales de cada tipología, RSU, RSU-Polibrazo y Barredora .

En la [figura 90](#) se muestra la evolución del consumo y las alarmas de aceleración obtenidas en función de cada mes para la agrupación RSU. La evolución del consumo se representa a través de litros a los 100 Km, mientras que las alarmas se referencian en función del número de veces que se supera ese intervalo de alarma a los 100Km.

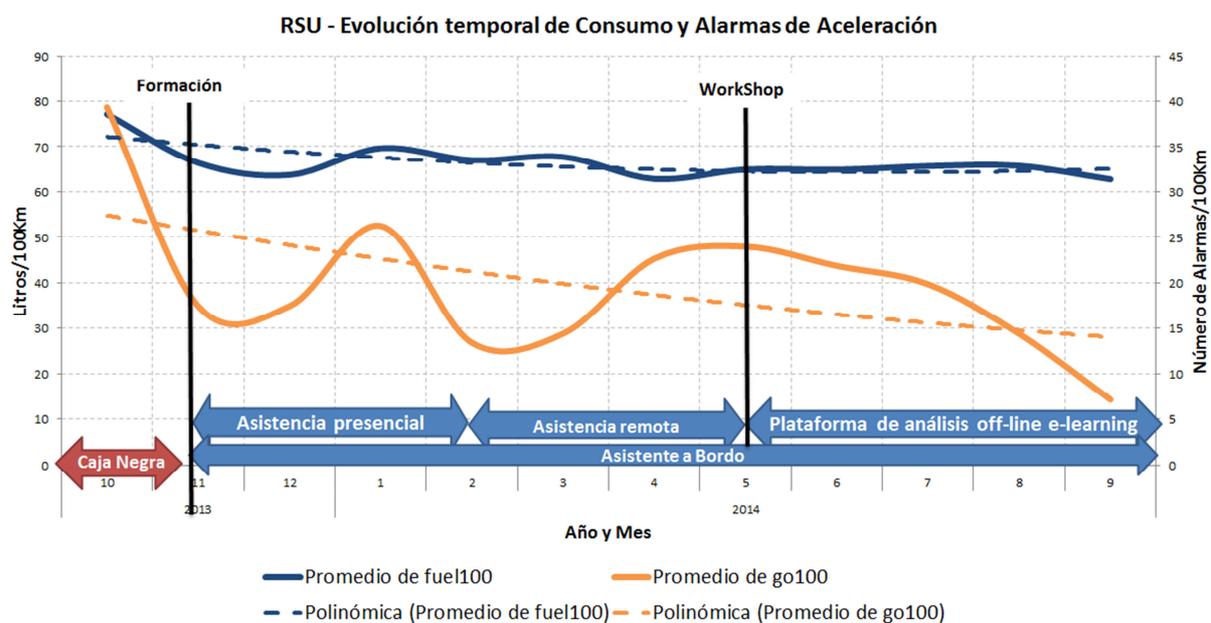


Figura 90: Evolución temporal de Consumo y Alarmas de Aceleración

Los resultados permiten apreciar en líneas generales, una reducción considerable de alarmas de aceleración a lo largo de todo el periodo estudiado, mientras que para consumo se mantiene un descenso hasta septiembre de 2014.

En el caso de los resultados obtenidos para los vehículos de tipología RSU-Polibrazo, mostrada en la [figura 91](#), apreciándose una reducción tanto de consumo como de alarmas de aceleración, consiguiendo reducciones en alarmas de hasta un 42%.

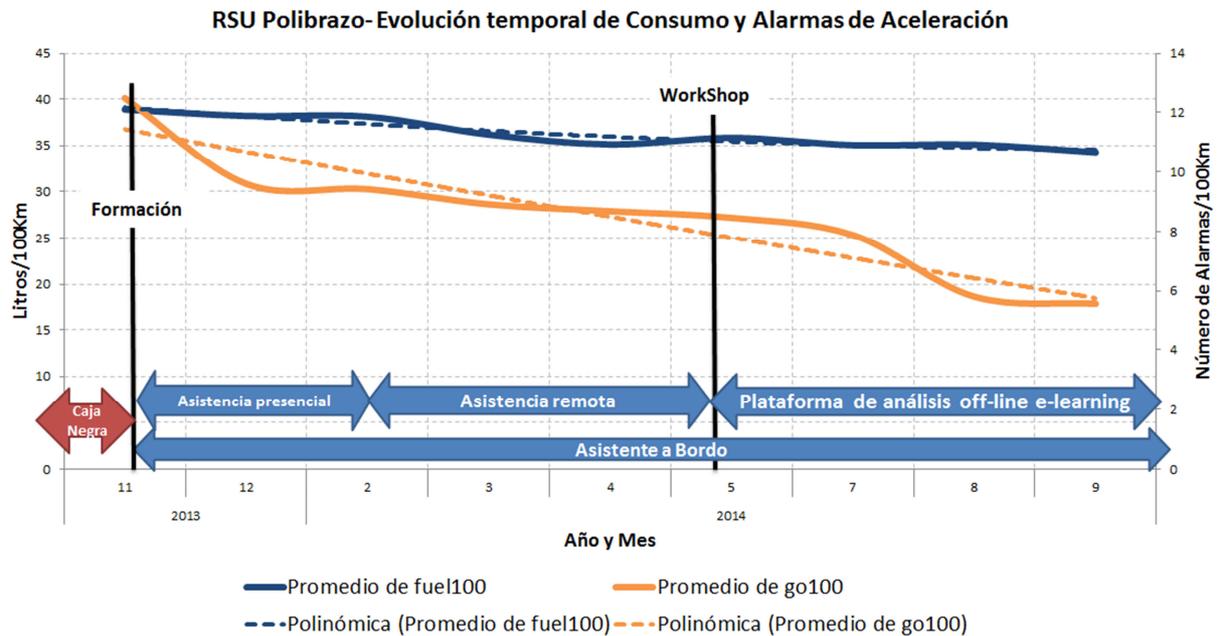


Figura 91: Polibrazo – Evolución temporal de Consumo y Alarmas de Aceleración

En líneas generales, se remarcan las líneas de tendencia estable en cuanto a consumo y descendente para alarmas de aceleración y deceleración a lo largo de la duración del caso de estudio. Los puntos más destacables de descenso son los posteriores a la formación inicial y workshop respectivamente.

En el caso de los resultados obtenidos para las barredoras, mostrados en la figura 92, se puede apreciar un comportamiento similar que las dos anteriores en lo que se refiere al desempeño, consiguiendo reducciones en alarmas de aceleración de hasta un 84%.

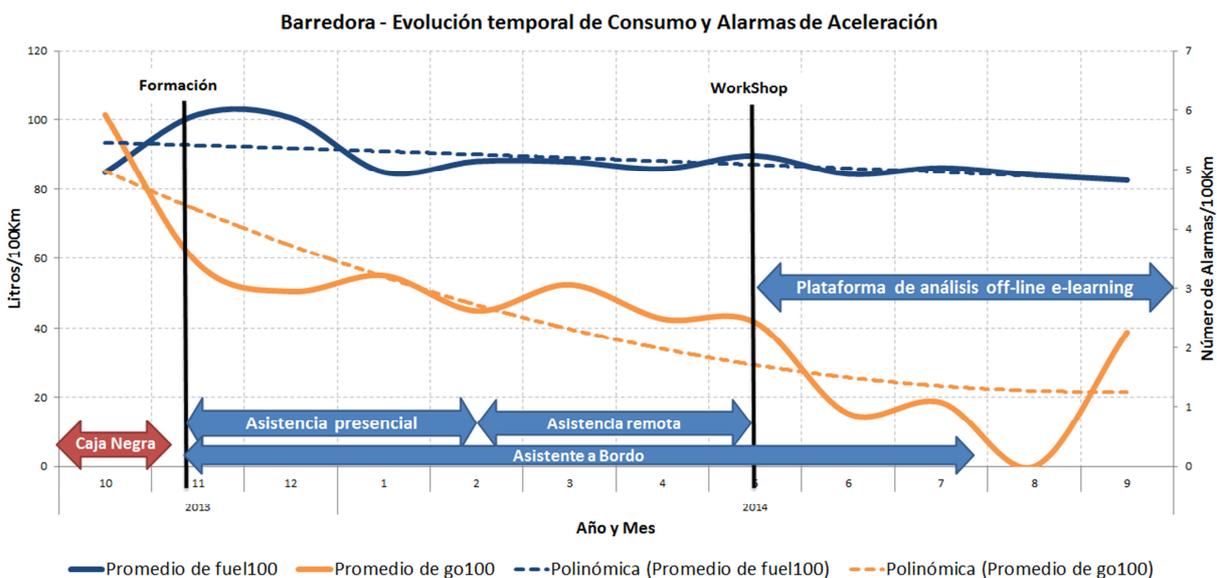


Figura 92: Barredora – Evolución temporal de Consumo y Alarmas de Aceleración

A través de los datos obtenidos por los análisis anteriormente realizados, se seleccionaron 3 conductores para la realización de una evaluación concreta desde el inicio del caso de estudio, evaluando su aprendizaje y desempeño a lo largo de los meses.

Dadas las diferentes casuísticas de desempeño entre el conjunto de conductores, se plantea el análisis de comportamiento de 3 conductores para evaluar su evolución.

Conductor 6A48

El conductor evaluado plantea la casuística de un conductor que mejora desde el inicio del caso de estudio, mostrando una progresión a lo largo de los meses en todos los indicadores.

En la [figura 93](#) se muestra el análisis de consumo, donde el conductor consigue mejorar sus cifras a lo largo de los meses incluso evitando la estacionalidad en el verano. Pasados 9 meses desde la caja negra, se consigue mantener esa reducción de manera satisfactoria a través de los conocimientos obtenidos en el proceso.

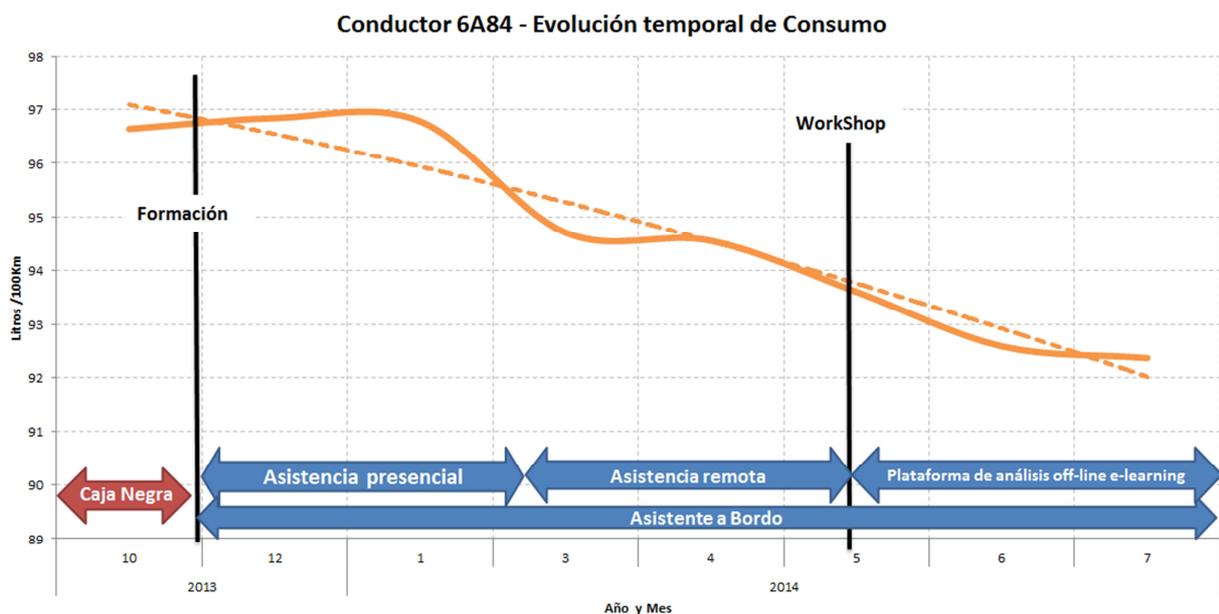


Figura 93: Conductor 6A84 –Evolución temporal de Consumo

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* ($2,402e-08$), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la

distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* ($2,2e-16$), aceptando nuevamente por tanto la hipótesis alternativa.

Dado que la distribución no cumple normalidad ni homocedasticidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2013 frente a 2014 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* ($4,211e-09$), determinando que las medianas no son equivalentes. Por último, se realizó el test de contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las medianas de 2013-2014 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *pvalor* ($2,168e-09$), determinando que la mediana de 2014 fue inferior a la de 2013 verificando la reducción de consumo.

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los factores que impactan en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la [figura 94](#), el conductor mostró una reducción considerable a lo largo de los meses sucesivos a la primera formación, consiguiendo una reducción tendiendo hacia la eliminación de alarmas de aceleración a los 100Km. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 81% sobre la fase inicial.

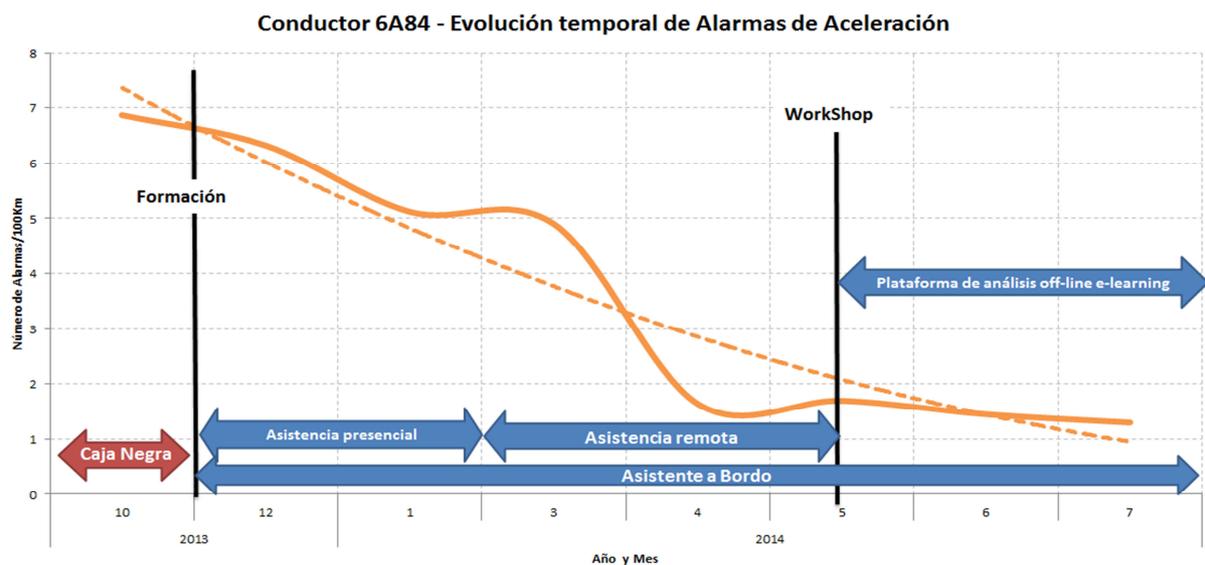


Figura 94: Conductor 6A84 – Evolución temporal de Alarmas de Aceleración

Al igual que las alarmas de aceleración, las alarmas de deceleración ([figura 95](#)) sufren una reducción continua a lo largo de los meses. Pasado el periodo de caja negra, la reducción fue gradual hasta el fin del caso de estudio, donde las alarmas de deceleración obtienen su valor mínimo. La diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 84% de mejora en este indicador.

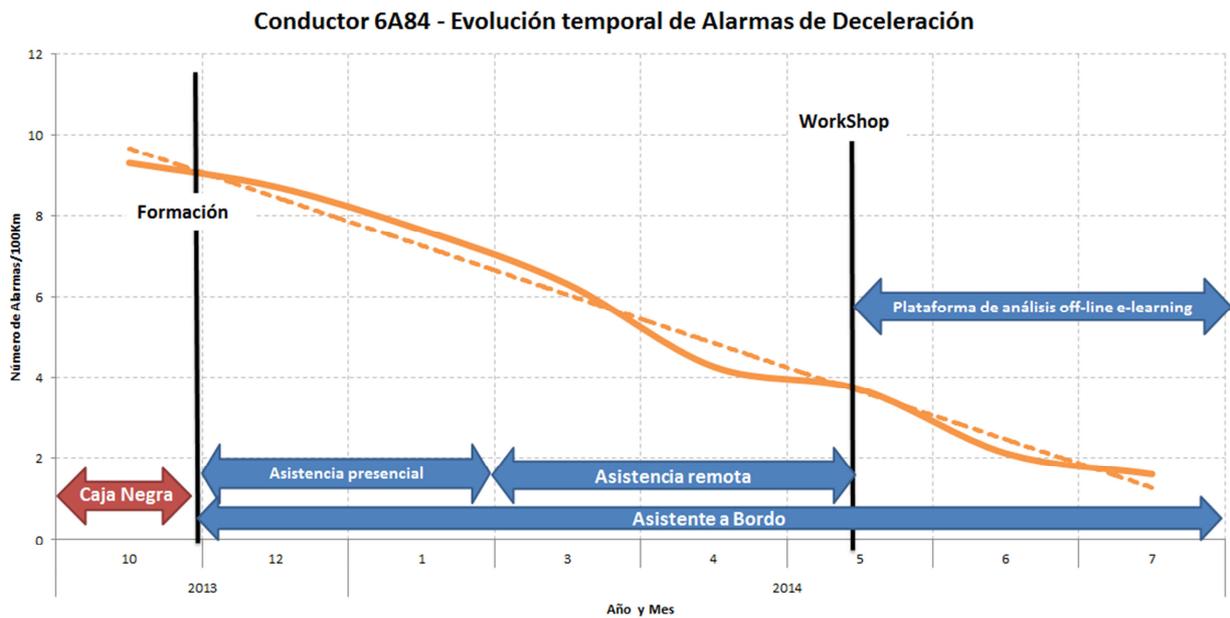


Figura 95: Conductor 6A84 –Evolución temporal de Alarmas de Deceleración

Respecto a las alarmas de ralentí (figura 96), al contrario que el resto, siguen una tendencia ascendente que se prolonga en el tiempo. El conductor empeora a lo largo del tiempo respecto a las alarmas de ralentí, obteniendo respecto a la caja negra un resultado negativo de un 33%.

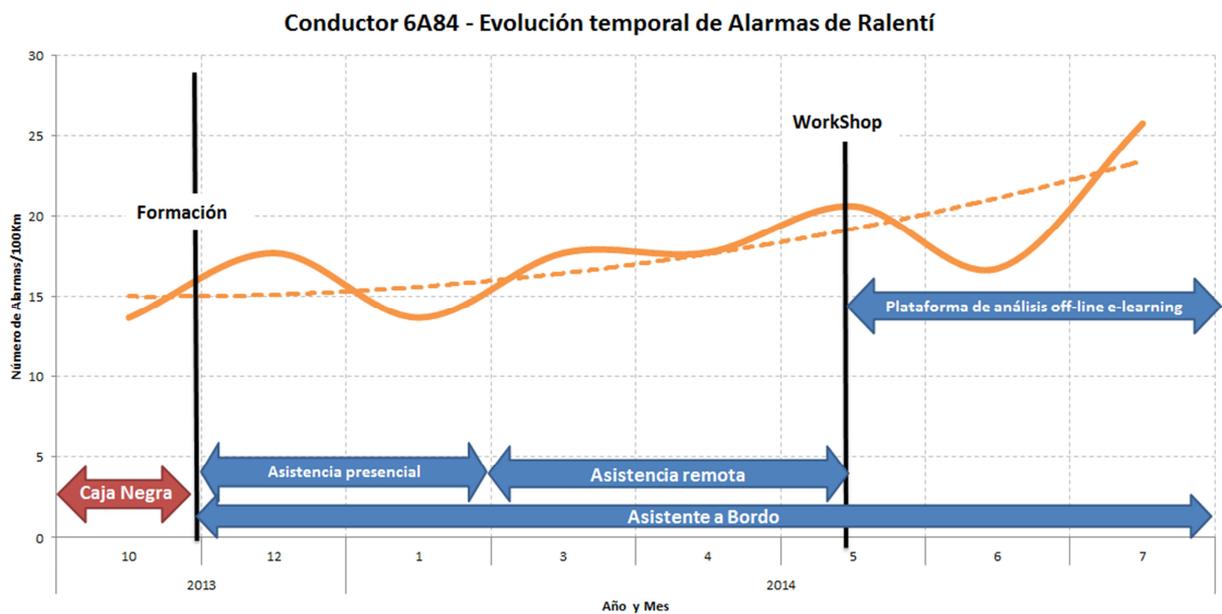


Figura 96: Conductor 6A84 – Evolución temporal de Alarmas de Ralentí

La evaluación de este conductor en el global resulta positiva, pero se debe destacar el empeoramiento constante de las alarmas de ralentí de este conductor. Pese a las alarmas de ralentí, los resultados sobre

las alarmas de aceleración y deceleración son muy buenos, llegando al punto de eliminar las alarmas de aceleración en los últimos meses.

Conductor AC1

En el caso del conductor AC1 se plantea una casuística de comportamiento similar a la del caso anterior, pero en este caso, los resultados de mejora se obtienen en el final del caso de estudio.

En la [figura 97](#) se muestra el análisis del consumo, donde el conductor consigue unos resultados equivalentes a lo largo de los meses. En el mes de abril de 2014 se puede destacar una reducción considerable en el gasto de combustible, la cual se mantiene para el resto de meses.

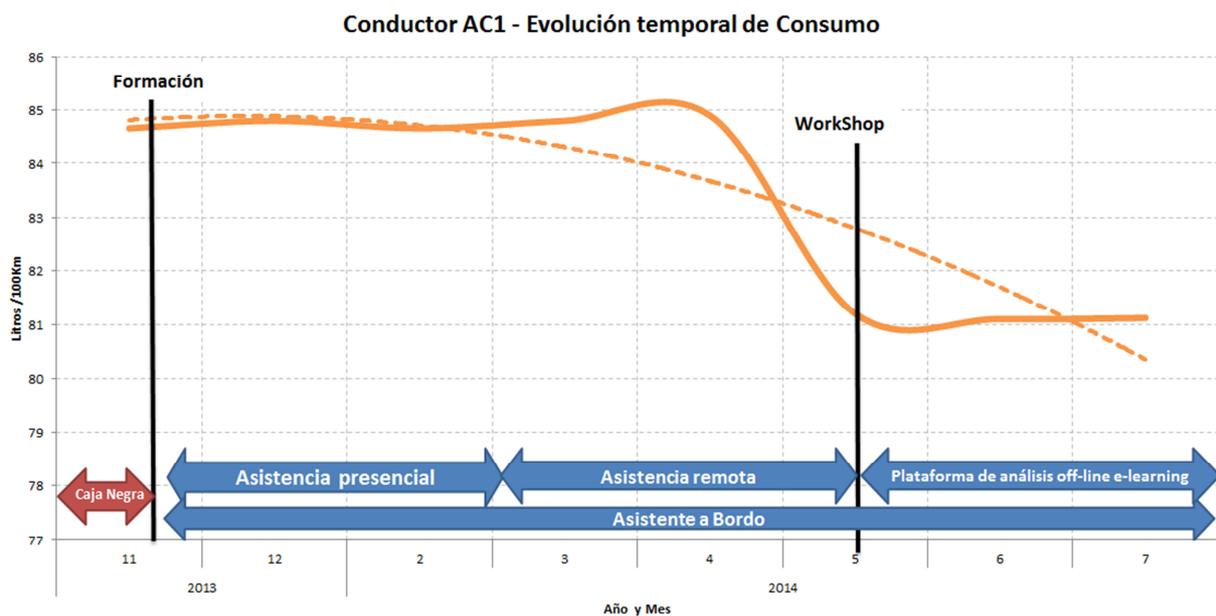


Figura 97: Conductor AC1 –Evolución temporal de Consumo

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* ($3,465e-13$), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* ($2.2e-16$), rechazando por tanto la hipótesis nula.

Dado que la distribución no cumple normalidad ni homocedasticidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2013 frente a 2014 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* ($0,01737$), determinando que las medianas no son equivalentes. Por último, se realizó el test de

contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las medianas de 2013-2014 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *pvalor* (0,008802), determinando que la mediana de 2014 fue inferior a la de 2013 verificando la reducción de consumo

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los indicadores que influyen en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la [figura 98](#), el conductor mostró una tendencia de estabilidad en los primeros meses, obteniendo resultados parecidos. Al igual que el consumo, en abril de 2014 se produjo una reducción, así como en mayo volvió a repuntar. Se debe tener en cuenta que la variación es mínima, no llegando a las 3 alarmas de aceleración. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 40% sobre la fase inicial.

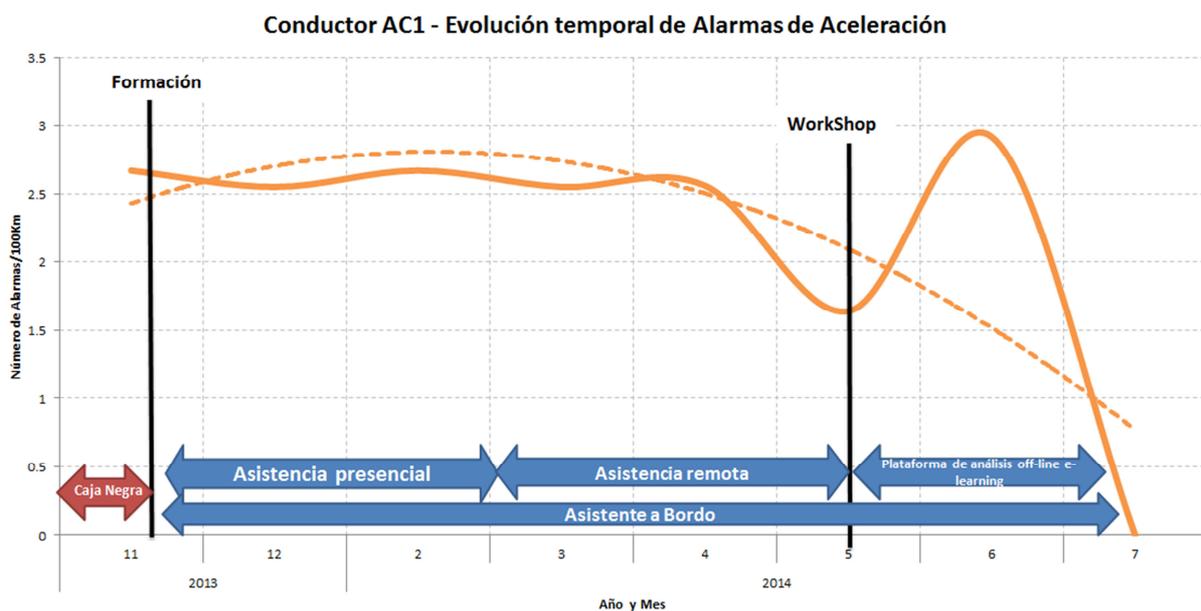


Figura 98: Conductor AC1 Evolución temporal de Alarmas de Aceleración

En el caso de las alarmas de deceleración ([figura 99](#)), estas sufren una variación mínima a lo largo de los primeros meses, teniendo un repunte en febrero de 2014. Seguidamente los datos obtenidos consiguieron una mejora, estableciéndose hasta el final del caso de estudio. Deben destacarse los periodos posteriores al proceso de formación y *workshop*, donde se consiguen mejoras. Finalmente, la diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 56% de mejora en este factor.

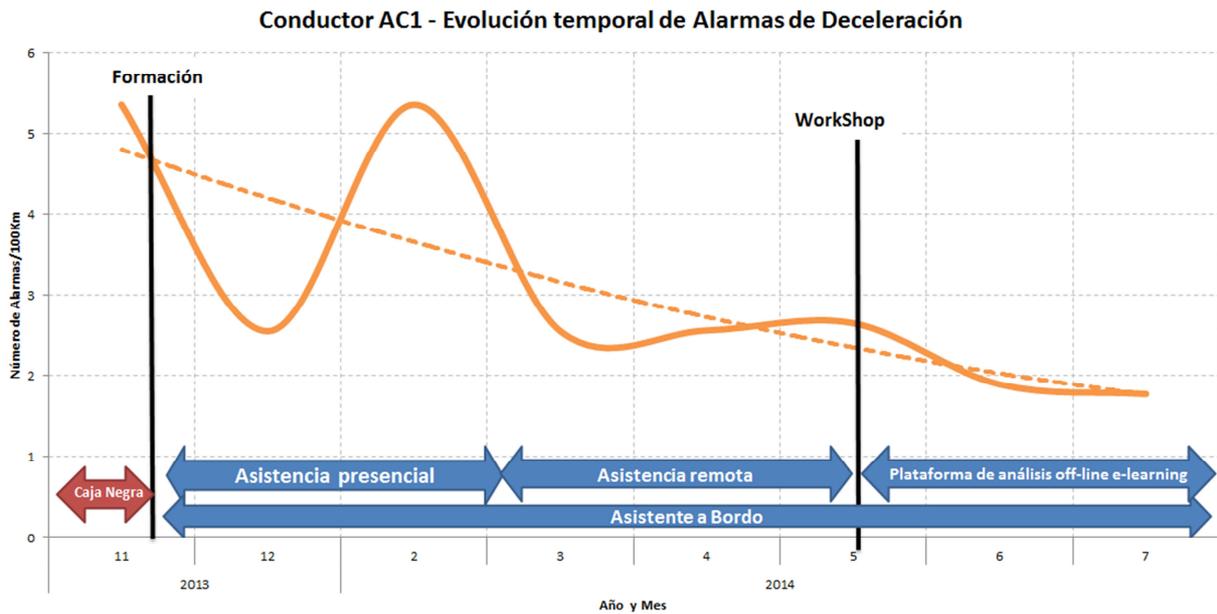


Figura 99: Conductor AC1-Evolución temporal de Alarmas de Deceleración

Respecto a las alarmas de ralentí (figura 100), al igual que el resto de alarmas vistas anteriormente, se vuelve a producir el repunte en febrero de 2014. Seguidamente vuelve a conseguirse una reducción en el resto de meses hasta finalizar el caso de estudio. Los resultados obtenidos, finalmente denotan una mejora en el desempeño de este factor en un 37,5%.

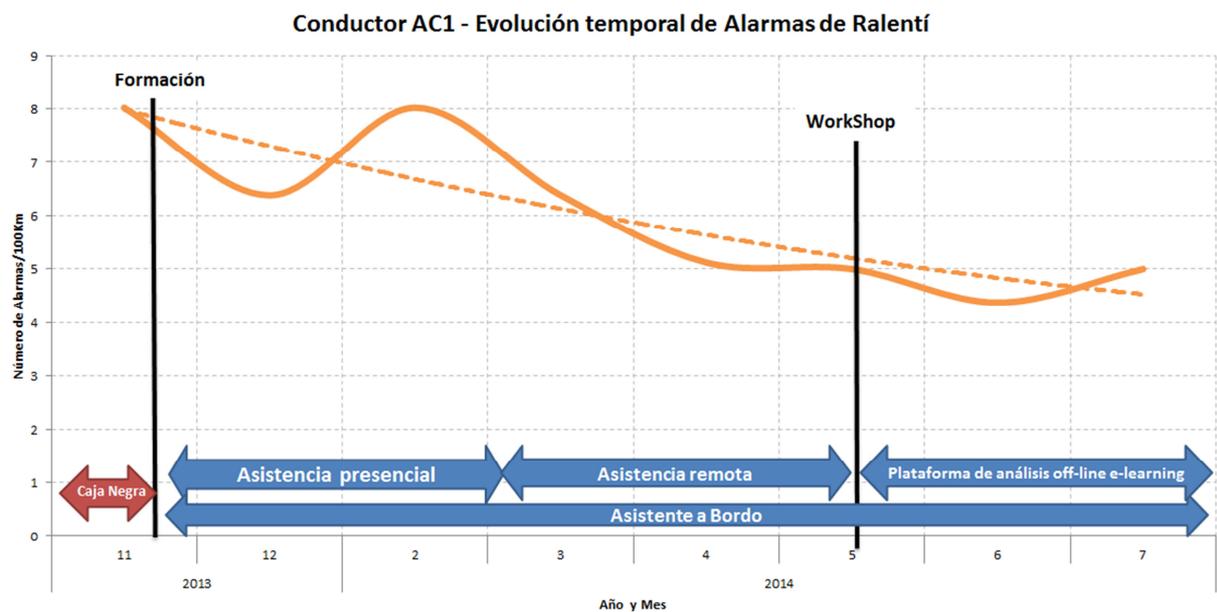


Figura 100: Conductor AC1 Evolución temporal de Alarmas de Ralentí

La evaluación de este conductor en el global resulta positiva, destacando en cualquier caso los repuntes localizados en el mes de febrero. Pese a esto, los resultados obtenidos son positivos, obteniendo mejora

de desempeño a lo largo de los meses en todos los indicadores. Ha de destacarse que esta mejora, aunque expresada de manera porcentual parece alta, si se aprecian la diferencia en cantidad de número de alarmas resulta pequeña, puesto que estos conductores ya venían realizando un buen desempeño.

Conductor 91

En el caso del conductor 91 se plantea una casuística de comportamiento similar a la del caso anterior, obteniendo resultados de mejora a lo largo de todo el caso de estudio, aunque con variaciones muy pequeñas en sus resultados.

En la [figura 101](#) se muestra el análisis del consumo, donde el conductor finalmente consigue unos resultados de mejora. En los primeros meses del caso de estudio, los resultados obtenidos de consumo distan de ser estables, mostrando variaciones en torno a los 80 litros/100km. En abril de 2014 consigue una mejora importante respecto al consumo inicial en caja negra, mientras que en mayo vuelve a subir. Sin embargo, en el periodo posterior al *workshop* realizado en mayo, consigue afianzar la mejora obtenida en abril para el resto de meses.

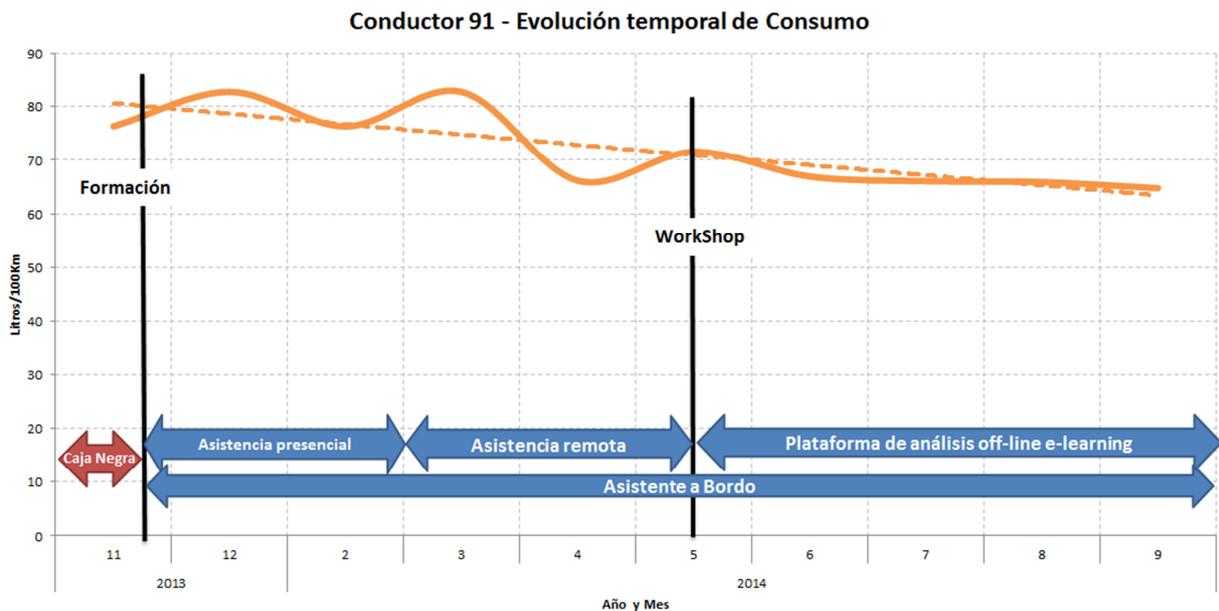


Figura 101: Conductor 91 – Evolución temporal de Consumo

Para verificar la reducción expuesta en los datos de consumo, se plantea un análisis formal estadístico al igual que en los datos generales de la flota.

En primera instancia se realizó el test de *Kolmogorov-Smirnov* para comprobar si los datos siguen una distribución normal. Para la hipótesis nula (H_0) se plantea la normalidad de los mismos, mientras que para la alternativa la no normalidad. Los resultados del test resultaron en un *pvalor* ($1,422e-10$), que indica el rechazo de la hipótesis nula en favor de la alternativa. Seguidamente se procedió con el test de homocedasticidad de *Bartlett*, donde la hipótesis nula (H_0) corresponde a la homocedasticidad de la

distribución. Para este test, se obtuvo un *pvalor* (0,001932), aceptando por tanto la hipótesis alternativa.

Dado que la distribución no cumple normalidad ni homocedasticidad, se realizó el test de *Kruskal-Wallis* para determinar si las medianas de 2013 frente a 2014 eran iguales. La hipótesis nula definida (H_0) representaba a la igualdad entre ambas medianas. Los resultados del test obtuvieron un *pvalor* (4,12e-08), determinando que las medianas no son equivalentes. Por último, se realizó el test de contraste de medianas de *Wilcoxon* para verificar la variación entre las mismas. La hipótesis nula (H_0) se definió como la variación entre las medianas de 2013-2014 fuera mayor que 0. El test obtuvo un *pvalor* (2,105e-08), determinando que la mediana de 2014 fue inferior a la de 2013 verificando la reducción de consumo

Para desglosar el análisis de consumo, se evalúan los factores que impactan en el mismo. En el caso de las alarmas de aceleración, representadas en la [figura 102](#), el conductor mostró una tendencia de estabilidad en los primeros meses, obteniendo resultados parecidos. Al igual que el consumo, en mayo de 2014 se produjo un repunte importante, el cual se consiguió corregir en julio, para finalmente afianzarse en el resto de meses. Se debe tener en cuenta que la variación entre las alarmas anteriormente mencionadas es mínima, no llegando a las 2 alarmas de aceleración. Esta actuación consigue arrojar un decremento de alarmas de un 29% sobre la fase inicial.

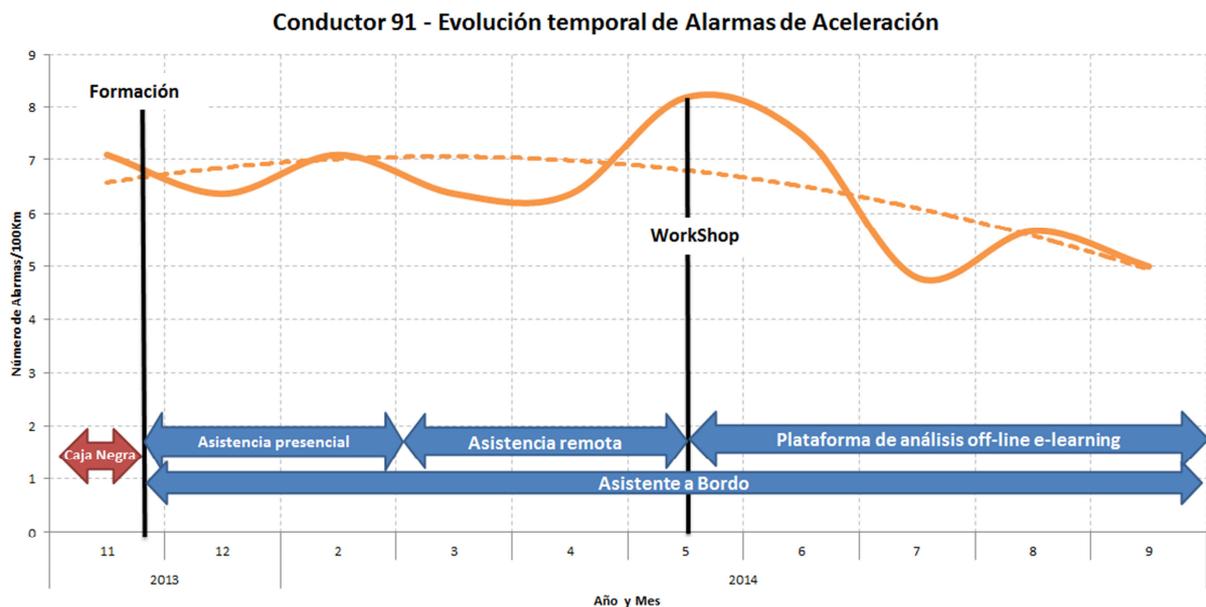


Figura 102: Conductor 91 - Evolución temporal de Alarmas de Aceleración

En el caso de las alarmas de deceleración ([figura 103](#)), estas sufren una variación a lo largo de los primeros meses, teniendo un repunte en marzo de 2014. Seguidamente los datos obtenidos mejoraron, estableciéndose hasta el final del caso de estudio, donde vuelve a surgir un repunte. Deben destacarse los periodos posteriores al proceso de formación y *workshop*, donde se consiguen mejoras. En este caso, al contrario que los anteriores donde las diferencias entre variación de alarmas eran muy pequeñas, se

pueden apreciar diferencias de hasta 15 alarmas. Finalmente la diferencia de la media de resultados obtenidos en los últimos meses de desempeño y la fase inicial fue de un 44% de mejora en este factor.

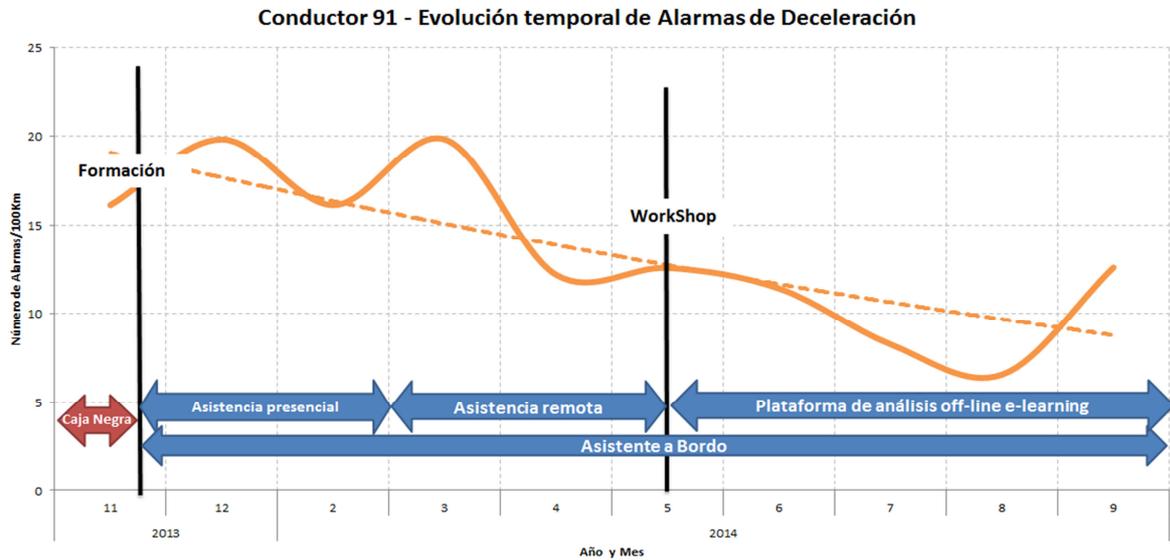


Figura 103: Conductor 91 – Evolución temporal de Alarmas de Deceleración

Las alarmas de ralenti (figura 104), al igual que el resto, siguen una tendencia descendente de que se prolonga en el tiempo a partir de abril de 2014. El conductor consigue afianzar una mejora sobre los datos obtenidos en la caja negra, de manera estable, llegando a reducir por completo las alarmas de ralenti.

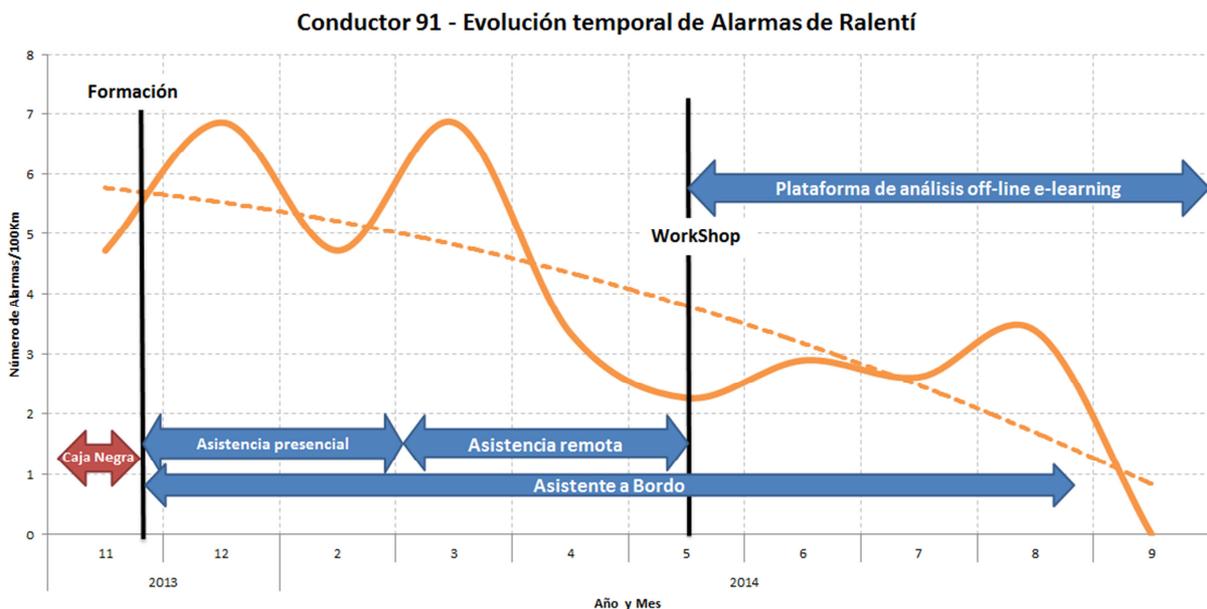


Figura 104: Conductor 91 – Evolución temporal de Alarmas de Ralenti

La evaluación de este conductor en el global resulta positiva, pero se debe destacar la poca regularidad del mismo, mostrando inestabilidad en las fases iniciales del caso de estudio. Pese a la inestabilidad generada en los primeros meses, estos resultados obtenidos son muy positivos en las alarmas de deceleración donde consigue una mejoría importante. En el caso de las alarmas de aceleración y ralentí, los resultados mejoran, incluso llegando a eliminarse en estas últimas.

4.3.4 Conclusiones

Como ha reflejado el desarrollo del caso de estudio, la evaluación de los conductores en términos generales ha sido positiva. En este caso de estudio, al contrario que en los anteriores, la adquisición de conocimiento por los conductores a lo largo del tiempo no ha sido la misma. En algunos casos, la adquisición tarda unos meses en llegar, ralentizando el proceso de mejora. Este comportamiento se fue corrigiendo puntualmente a través de los informes de desempeño enviados mensualmente, concienciando a los conductores de las mejoras que podían conseguir. Hay que tener en cuenta que es un caso de estudio completamente diferente al resto, por la naturaleza de servicios que realizan en los que no transportan pasajeros y porque implementa una política de trabajo normalmente "a destajo".

Al igual que en los casos de estudio anteriores, se ha de remarcar la formación posterior a la caja negra como un conocimiento inicial de conducción eficiente que impacta en gran manera sobre el desempeño. Ese proceso combinado con el asistente a bordo y la asistencia de la plataforma, hace que se afiancen los conocimientos y mejore el desempeño (en términos de conducción eficiente) de la flota, como se ha mostrado en los resultados generales.

CAPÍTULO V: RESUMEN APORTACIONES, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5 CAPÍTULO V: RESUMEN APORTACIONES, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Resumen aportaciones. Conclusiones

Esta tesis doctoral ha conseguido diseñar y poner en marcha una metodología para la mejora de la eficiencia en la conducción basada en el uso de tutores abordo, un sistema *offline* de *e-learning* y formación con expertos en la materia. Además, ha creado la tecnología adecuada para soportar dicha metodología. Ambos elementos suponen una importante mejora respecto al estado del arte actual en los siguientes campos:

- La mayoría de los proyectos de mejora de la eficiencia en flotas profesionales, puestos en marcha y reflejados en la literatura, se basan únicamente en cursos de formación. Solo algunos de ellos tienen sistemas de monitorización que permiten evaluar los resultados. Hasta donde nuestro conocimiento llega, no existen procesos de aprendizaje complejos que estructuren el uso y combinación de las diferentes técnicas de apoyo que es posible utilizar. En la mayoría de los casos el proceso se restringe a la formación y un pequeño periodo de seguimiento.
- Para llevar a cabo el seguimiento, existen algunos sistemas de monitorización para vehículos que permiten extraer información sobre el funcionamiento de un vehículo, pero pocos son los que además son capaces de incorporar información adicional y además proporcionar *feed-back* al conductor. Tampoco son muchos los que realizan la transmisión de la información a un sistema central para su posterior procesamiento y evaluación.
- Tampoco existen métodos de aprendizaje que hayan sido pensados para que la empresa supere las certificaciones de uso eficiente de la energía, como la ISO 50001.

Los objetivos planteados al comienzo de la tesis doctoral han sido alcanzados de forma satisfactoria. Estos eran el diseñar una metodología de aprendizaje en conducción eficiente y los elementos tecnológicos para soportarla además de su alineación con la norma ISO50001. Todos ellos han sido alcanzados dentro de un proceso de mejora continua que ha llevado a la creación de múltiples versiones y prototipos a lo largo de los años de trabajo en esta tesis doctoral. Los elementos diseñados han sido evaluados en múltiples escenarios con un número importante de conductores profesionales para asegurar la máxima validez y aplicación real de los mismos.

Por todo ello, puede considerarse que se han generado un avance en el estado de la ciencia actual a través, no solo de la definición científica de métodos y la creación técnica de sistemas, sino además, a través de la implantación en el contexto industrial de todos estos elementos. La evaluación con éxito en

casos reales es sin duda el culmen a un trabajo de investigación donde se ha demostrado su valía y aplicación industrial. En este caso, el haber conseguido llegar al uso comercial de este trabajo puede considerarse que el proceso científico iniciado en el mismo ha culminado con el final más adecuado para el desarrollo tecnológico e industrial que demanda la sociedad española.

5.2 Trabajos futuros

El trabajo desarrollado en esta tesis doctoral ha permitido definir nuevas líneas y campos de investigación que posibilitan seguir avanzando en el campo del aprendizaje de la conducción eficiente. Muchas son las ideas que han surgido para mejorar la interacción con los conductores, la evaluación del aprendizaje o el proceso formativo en sí mismo. En este apartado se describirán en más detalle algunas de las que ya se han empezado a analizar en el marco de otras tesis doctorales y trabajos de investigación.

5.2.1 Nuevos paradigmas de cómo informar al conductor

El objetivo de esta línea de trabajo futuro es la evolución de la aplicación de tutorización y recomendación en tiempo real al conductor. El modelo actual de informar al conductor se basa en la presentación de alarmas en diferentes niveles (rojo, amarillo, verde) según el nivel de eficiencia en la conducción. Esta línea tratará, en primer lugar, de explorar nuevos enfoques basados en la *gamificación* que tan buenos resultados están dando en otras áreas de la formación profesional. La aplicación embarcada diseñada que se basa en un sistema operativo moderno (*Android*) permitirá esta evolución sin ser necesario un cambio tecnológico. En segundo lugar, se explorarán los interfaces HUD (*Heads-up Display*) por su creciente popularidad y beneficios para reducir la distracción del conductor (figura 105).



Figura 105: Ejemplo de interfaz HUD [Fuente: Navdy www.navdy.com]

5.2.2 Evaluación del conductor mediante técnicas analíticas avanzadas

La evaluación del proceso de aprendizaje puede llegar a ser una técnica muy compleja que trata de percibir con detalle y a través de competencias precisas si el estudiante está mejorando sus conocimientos o no. Este campo denominado técnicamente *learning analytics* apenas se ha desarrollado para entornos como en el que se enmarca esta tesis doctoral que podríamos denominar *on-the-job-*

training. La definición formal de las competencias que el conductor ha de adquirir, la determinación de cómo medir cada una de esas competencias y la especificación del proceso de evaluación, son elementos que prácticamente no han sido abordados. Esta tesis doctoral ha determinado un proceso de evaluación inicial que, de forma general, permite conocer si el conductor está mejorando su práctica diaria. Sin embargo, existen muchos factores que condicionan la misma y son referidos globalmente como “contexto de la conducción” (estado de la vía, estado del vehículo, estado del clima, etc.) y que en un sistema más complejo de evaluación deberían poder tenerse en cuenta. Por último, aunque no menos importante, esta evaluación avanzada permitirá dar respuesta a otra de las demandas de las compañías de transporte interesadas en la utilización comercial de estos sistemas: ser capaz de determinar y separar los ahorros de combustible y mejoras debidos a la conducción de los generados por otros factores ajenos a la misma, propios de este mencionado “contexto”.

5.2.3 Conducción segura además de eficiente

Conducir de forma segura además de eficiente son dos de los retos más importantes para las próximas décadas siglo XXI en el campo de la movilidad. Desde hace tiempo, las administraciones públicas y las empresas invierten importantes cantidades de dinero en formación y en campañas para fomentar ambos aspectos, tanto en conductores particulares como en profesionales. Sin embargo, no se han conseguido poner en marcha de forma generalizada sistemas que detecten si las campañas y la formación han tenido el éxito esperado y en caso de no haberlo tenido, se realicen las medidas correctivas complementarias que mejoren los resultados. Para ello, es importante disponer de un sistema capaz de monitorizar el comportamiento del vehículo y posteriormente hacer un tratamiento complejo de los datos recogidos. Diversas compañías han desarrollado en los últimos años sistemas de monitorización con diversos propósitos y enfoques de negocio. Los más avanzados combinan datos recogidos a partir de las centralitas o ECUs del vehículo con localizadores GPS. En el campo de la explotación de estos datos no existen grandes desarrollos. En general, dichas empresas definen una serie de indicadores básicos de resumen centrados fundamentalmente en el ahorro de combustible o niveles de las fuerzas g en las aceleraciones que utilizan en tratamientos estadísticos básicos. La posibilidad de detectar patrones complejos que estudien, por ejemplo, si se produce un periodo de ralentí del motor cuando el vehículo está en marcha por encima de 50 km/h facilitaría la determinación de acciones concretas del conductor que deben de ser corregidas y que aportan mucho más conocimiento que unos datos resumen que son extremadamente genéricos. Basándose en ese conocimiento es posible realizar unas acciones correctivas muy focalizadas y posteriormente analizar su impacto. Por ejemplo, se podrían organizar seminarios de refuerzo para tratar cuestiones concretas de cada conductor. El impacto siempre sería mayor que volver a impartir un seminario genérico donde las cuestiones tratadas ya se realizan correctamente en su mayoría.

Esta línea de trabajo se centrará en caracterizar patrones de conducción eficiente y segura, diseñar un sistema de localización de los mismos en los registros de actividad del vehículo extraídos del Bus CAN (y de otros elementos como acelerómetros) y crear un sistema automático que sea capaz de informar de la localización de esos patrones, en qué magnitudes y de recomendar de forma automática acciones correctivas. Para ello será necesario el desarrollo de procesos analíticos y de tratamiento de grandes cantidades de datos, así como un sistema inteligente para la realización de las recomendaciones.

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

También será necesario incorporar un acelerómetro al sistema embarcado y calibrarlo de manera adecuada para la detección de patrones no seguros.

REFERENCIAS

6 REFERENCIAS

[ALSA]	Grupo ALSA S.L.U. https://www.alsa.es/
[Alam2014]	<i>A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations.</i> MS Alam, A McNabola <i>Transport Policy</i> , 2014, vol. 35, p. 42-49.
[Ando2012]	<i>A study on factors affecting the effective eco-driving.</i> <i>Procedia-Social and Behavioral Sciences.</i> R Ando, Y Nishihori. 2012, vol. 54, p. 27-36.
[Andrieu2012]	<i>Comparing effects of eco-driving training and simple advices on driving behavior.</i> C Andrieu, G Saint Pierre. <i>Procedia-Social and Behavioral Sciences</i> , 2012, vol. 54, p. 211-220.
[Araujo2012]	<i>Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns.</i> En <i>Intelligent Vehicles Symposium (IV)</i> . Araújo, R., Igreja, A. et al. 2012 IEEE. IEEE, 2012. p. 1005-1010.
[Arbaugh2009]	<i>Research in online and blended learning in the business disciplines: Key findings and possible future directions.</i> Arbaugh, J. B., Godfrey, M. R et al. 2009. <i>The Internet and Higher Education</i> , 12(2), 71-87.
[Barkenbus2010]	<i>Eco-driving: An overlooked climate change initiative.</i> JN Barkenbus. <i>Energy Policy</i> , 2010, vol. 38, no 2, p. 762-769.
[Beusen2009]	<i>Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course.</i> B Beusen, S Broekx, T Denys, C Beckx. <i>Transportation research part D: transport and environment</i> , 2009, vol. 14, no 7, p. 514-520.
[Birrell2014]	<i>Analysis of three independent real-world driving studies: A data driven and expert analysis approach to determining parameters affecting fuel economy.</i> Birrell, S. 2014. <i>Transportation research part D: transport and environment</i> , vol. 33, p. 74-86.
[BOE 2015-4990]	Resolución de 28 de abril de 2015, del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía –IDAE-, por la que se publica la Resolución de 24 de marzo de 2015, del Consejo de Administración, por la que se establecen las bases reguladoras y convocatoria del programa de ayudas para actuaciones de cambio modal y uso más eficiente de los modos de transporte
[Bonk2005]	<i>Future directions of blended learning in higher education and workplace learning settings.</i> CJ Bonk, KJ Kim, T Zeng. 2005. <i>World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications.</i> p. 3644-3649.
[Bonk2007]	<i>The Present and Future State of Blended Learning in Workplace Learning Settings in the United States.</i> 2007. CJ Bonk, KJ Kim et al. Online Submission. <i>Institute of Education Sciences.</i>
[CNE2013]	Comisión Nacional de la Energía. Estudio sobre las emisiones derivadas del consumo de carburantes en el transporte por carretera en España. 2013.
[Cheng2011]	<i>The effects of organizational learning environment factors on e-learning acceptance.</i> B Cheng, M Wang et al. <i>Computers & Education</i> , 2012, vol. 58, no 3, p. 885-899.
[Corcoba2011]	<i>Artemisa: using and android device as an eco-driving assistant.</i> Corcoba Magaña, M Muñoz. 2011. <i>Journal of Selected Areas in Mechatronics (JMTC)</i> , 1-8. June Edition.
[Corcoba2014]	<i>The Impact of Using Gamification on the Eco-driving Learning.</i> VC Magaña, MM

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

	Organero. 2014. <i>Ambient Intelligence-Software and Applications</i> . Springer International Publishing. p. 45-52
[Couch2015]	Base de datos noSQL CouchDB. <i>The Apache Software Foundation</i> . 2015. http://couchdb.apache.org/
[CTEA]	Compañía del Tranvía Eléctrico de Avilés, S.A. - http://www.tranviaaviles.es/es/index.asp
[2007/46/CE]	DIRECTIVA 2007/46/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 5 de septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos
[2009/30/CE]	DIRECTIVA 2009/30/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo y se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
[2012/27/EC]	DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.
[715/2007/CE]	REGLAMENTO (CE) N o 715/2007 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 20 de junio de 2007 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos.
[65/2012/CE]	REGLAMENTO (UE) No 65/2012 DE LA COMISIÓN de 24 de enero de 2012 por el que se ejecuta el Reglamento (CE) no 661/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo referente a los indicadores de cambio de velocidad.
[Daimler2013]	<i>Daimler FleetBoard GmbH</i> . FleetBoard. 2013: http://www.fleetboard.info/
[Daneshgar2008]	<i>E-learning in Workplaces. Information & Communications Technology</i> . F Daneshgar, C Van Toorn 2008. ICICT 2008. ITI 6th International Conference on. IEEE, 2008. p. 65-70
[Deruin2005]	<i>E-learning in organizations. Journal of Management</i> . RE Derouin, BA Fritzsche, E Salas. 2005, vol. 31, no 6, p. 920-940
[EA0050]	EA 0050:2015 Especificación AENOR Sistema de gestión de conducción eficiente de vehículos industriales http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0055132&PDF=Si#.Vd2aZvIXdnk
[EMTUSA]	Empresa Municipal de Transportes Urbanos S.A. de Gijón - http://bus.gijon.es
[EMULSA]	Empresa Municipal de Servicios de Medio Ambiente Urbano S.A. de Gijón - https://cuidadoambiental.gijon.es/
[Ericsson2001]	<i>Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors</i> . E Ericsson. <i>Transportation Research Part D: Transport and Environment</i> , 2001, vol. 6, no 5, p. 325-345.
[ESPIRALMS]	Espiral Microsistemas S.L. 2015. Herramienta ProactivaNET. http://www.proactivanet.es

[Fiat2013]	<i>Fiat Ecodrive</i> http://ecodrive.driveuconnect.eu/
[Fleetech2015]	Fleetech AB 2015 http://www.fleetech.se/english-startpage.aspx
[FMS2010]	<i>Daimler Buses-EvoBus GmbH ,MAN Nutzfahrzeuge AG, Scania CV, Volvo Bus Corporation, et al. (2010) Bus FMS-Standard Interface description. Version. 00.02</i> http://www.fms-standard.com/
[Graham2006]	<i>Blended learning systems: definition, current trends, and future directions.</i> In C. J. Bonk, & C. R. Graham (Eds.), <i>The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs</i> (pp. 3e21). 2006. San Francisco, CA: Pfeiffer Publishing.
[GeoJSON]	Especificación para el intercambio de datos geoespaciales en formato JSON. Howard Butler (Hobu Inc.), Martin Daly (Cadc Corp), Allan Doyle (MIT), Sean Gillies (UNC-Chapel Hill), Tim Schaub (OpenGeo), Christopher Schmidt (MetaCarta). 2008. http://geojson.org/geojson-spec.html .
[Harun2001]	<i>Integrating e-learning into the workplace. The Internet and higher education.</i> MH Harun. 2001, vol. 4, no 3, p. 301-310.
[ICTDRV2015]	<i>On the way to high-quality technology-supported training for professional drivers.</i> ICT-DRV project. <i>Life Long Learning Programme.</i> European Commission 2015.
[IDAE2011]	IDAE, Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Guía IDAE: Conducción eficiente de vehículos industriales Depósito Legal: M-1079-2012 -Madrid, noviembre de 2011
[ISO7498]	<i>Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: The Basic Model. ISO/IEC 7498-1. Published by International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland. 1994.</i>
[ISO50001]	<i>International Organization for Standardization ISO. ISO 50001. Energy Management Systems. Requirement with guidance for use. Published by International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland. 2011</i>
[ISO20000]	<i>International Organization for Standardization ISO. ISO 20001. Information technology -- Service management -- Part 1: Service management system requirements. Published by International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland. 2011</i>
[Jaspersoft2015]	Herramienta <i>Jaspersoft</i> de la empresa <i>Tibco</i> . 2015. https://www.jaspersoft.com
[Java2015]	Lenguaje de desarrollo y plataforma <i>Java</i> . <i>Oracle Corporation</i> . 2015 https://www.java.com
[Jersey2015]	Servicios web <i>Rest</i> para <i>Java Jersey</i> . <i>Oracle Corporation</i> . 2015. https://jersey.java.net/
[Kamal2011]	<i>Ecological vehicle control on roads with up-down slopes. Intelligent Transportation Systems.</i> MAS Kamal, M Mukai, J Murata. <i>IEEE Transactions on</i> , 2011, vol. 12, no 3, p. 783-794.
[Kinney2008]	Kinney P.L., et al. <i>Airbone concentrations of PM (2.5) and diesel exhaust particles on Harlem sidewalks: a community-based pilot study. Environmental Health Perspectives. National Institutes of Health.</i> 2000.
[Liimatainen2011]	<i>Utilization of fuel consumption data in an ecodriving incentive system for heavy-duty vehicle drivers.</i> H Liimatainen. <i>Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on</i> , 2011, vol. 12, no 4, p. 1087-1095.
[Loh2002]	<i>From Asthma to AirBeat: Community-Driven monitoring of fine particles and</i>

	<i>black carbon in Roxbury. Massachusetts. Environmental Health Perspectives.</i> Loh P., et al. <i>National Institutes of Health.</i> 2002
[MacGordon2014]	<i>Comparison of fuel economy over different drive cycles each having the same average speed.</i> A. McGordon. <i>Advances in Human Aspects of Transportation: Part III.</i> 2014. p. 259-267
[Macpherson2004]	<i>E-learning: Reflections and evaluation of corporate programmes.</i> <i>Human Resource Development International.</i> A Macpherson, M Elliot, I Harris. 2004, vol. 7, no 3, p. 295-313.
[Malikopoulos2013]	<i>An optimization framework for driver feedback systems.</i> <i>Intelligent Transportation Systems.</i> A Malikopoulos, JP Aguilar. <i>IEEE Transactions on,</i> 2013, vol. 14, no 2, p. 955-964.
[Nominatim2015]	Herramienta <i>Nominatim</i> de <i>Open Street Maps</i> http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Nominatim
[Ong2004]	<i>Factors affecting engineers' acceptance of asynchronous e-learning systems in high-tech companies.</i> <i>Information & management.</i> CS Ong, JY Lai, YS Wang. 2004, vol. 41, no 6, p. 795-804.
[OSM2015]	Open Street Maps 2015 https://www.openstreetmap.org/
[Pierro2011]	<i>Virage Simulation. Driving Simulation Based Ecodrive Training Presentation.</i> <i>Sustainable Communities Conference and trade Show.</i> Pierro Hirsch. 2011. http://www.fcm.ca/Documents/presentations/2011/SCC2011/Driving_Simulator_based_Ecodrive_Training_EN.pdf
[PostgreSQL2015]	Base de datos SQL PostgreSQL. <i>The PostgreSQL Global Development Group.</i> 2015. http://www.postgresql.org/
[Ramanathan2009]	<i>Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives.</i> Ramanathan V., Feng Y. <i>Atmospheric Environment. Volume 43, Issue 1, Pages 37-50.</i> Elsevier. 2009
[Radxa2014]	<i>Radxa Limited.</i> 2014. http://wiki.radxa.com/Home
[Rionda2012]	Sistema Tutor para la Conducción Eficiente de Vehículos de Combustión. Abel Rionda, David Martínez, Xabiel G. Pañeda, David Arbesú, J. Emilio Jiménez, F.F. Linera. <i>Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje.</i> IEEE. 2012.
[Rionda2013]	<i>UrVAMM – A Full service for Environmental-Urban and Driving Monitoring of Professional Fleets.</i> A. Rionda, I. Marín, D. Martínez, F. Aparicio. A. Alija, A. García Allende, M. Miñambres, Xabiel G. Pañeda. <i>SmartMILE 2013, International Conference on New Concepts in Smart Cities.</i> Gijón. 2013.
[Rionda2014]	<i>Blended learning system for efficient professional driving.</i> Abel Rionda, Xabiel García Pañeda, Roberto García Fernández, Gabriel Díaz Orueta, David Martínez, María Mitre, David Arbesú, Ignacio Marín. <i>Computers and Education.</i> Elsevier. Volumen 78, Septiembre 2014, Páginas 124–139.
[Rionda2015a]	<i>Service to Manage the Efficient Driving of Combustion Vehicle Fleets to Support ISO 50001.</i> A. Rionda, D. Martínez, X. G. Pañeda, A. Álvarez, D. Arbesú, G. Díaz Orueta, J. Peláez, A. G. Pañeda. <i>IEEE LatinAmerica Transactions.</i> 2015.
[Rionda2015b]	Sistema para la reducción de costes operativos en una flota de autobuses urbanos a través de la aplicación de técnicas de conducción eficiente. Pablo Luque, Abel Rionda, Xabiel G. Pañeda, Daniel Álvarez, Francisco F. Linera, Alejandro G. Pañeda, Gabriel Díaz, David Martínez. <i>DYNA.</i> 2015.
[Rohatgi2001]	<i>An Introduction to Probability and Statistics,</i> V.K. Rohatgi. <i>Wiley Series in Probability and Statistics,</i> 2001.

[Rouzikhah2013]	<i>Examining the effects of an eco-driving message on driver distraction.</i> H Rouzikhah, M King, A Rakotonirainy. <i>Accident Analysis & Prevention</i> , 2013, vol. 50, p. 975-983.
[Saboohi2009]	<i>Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption.</i> Y Saboohi, H Farzaneh. <i>Applied Energy</i> , 2009, vol. 86, no 10, p. 1925-1932.
[OBD1998]	<i>OBD II International Standard J1962.</i> Society of Automotive Engineers (SAE). 1998.
[SAEJ1939]	<i>Serial Control and Communications Heavy Duty Vehicle Network - Top Level Document.</i> J1939. SAE. 2012. Disponible en: http://store.sae.org/j1939/contents/
[Scania2013]	<i>Scania Fleet Management System.</i> Scania CV 2013. http://www.scania.com/products-services/services/fleet_management/
[Scott2012]	<i>The role of a driving simulator in driver training to improve fuel economy.</i> H Scott, M Knowles, Actes INRETS, 2012, p. 313-323.
[Sivak2012]	M Sivak, B Schoettle <i>Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy.</i> <i>Transport Policy</i> , 2012, vol. 22, p. 96-99.
[STI2008]	Plan de acción para el despliegue de sistemas de transporte inteligentes (STI). Comisión Europea (2008) http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0886&from=EN
[Symmons2009]	<i>Ecodrive training delivers substantial fuel savings for heavy vehicle drivers.</i> MA Symmons, G Rose. En <i>Driving Assessment Conference</i> . 2009.
[Strömberg2013]	<i>Comparative effects of ecodriving initiatives aimed at urban bus drivers – Result from a field trial.</i> Helena K, Strömberg*, I.C. MariAnne Karlsson. <i>Transportation Research Part D: Transport and Environment</i> , vol. 22, p. 28-33. 2013
[Struts2015]	Servicios web de presentación Apache Struts. <i>The Apache Software Foundation</i> . 2015. https://struts.apache.org/ .
[TIBCO2015]	TIBCO Software, Inc. 2015. http://www.tibco.com/
[Tomcat2015]	<i>Apache Tomcat.</i> The Apache Software Foundation. 2015. http://tomcat.apache.org/
[TREATISE2005]	TREATISE se enmarcó en el programa de Energía Inteligente para Europa (EIE) - subprograma STEER- de la Unión Europea, y tiene vigencia desde enero de 2005 hasta junio de 2007, proporcionando formación gratuita en materia de transporte sostenible a agencias de energía y otros agentes locales. En el proyecto Treatise participaron 7 países de la UE, a través de sus respectivas agencias nacionales de energía, que se citan a continuación: <ul style="list-style-type: none"> • EST (<i>Energy Saving Trust</i>), del Reino Unido; • SENTER NOVEM, de Holanda; • VITO (<i>Vlaamse Instelling loor Technologisch Onderzoek</i>), de Bélgica; • CRES (<i>Centre for Renewables Energy Sources</i>), de Grecia; • MOTIVA (<i>Motiva Oy</i>), de Finlandia; • EVA (<i>Energieverwertungsagentur</i>), de Austria; • IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), de España.
[Tulusan2011]	<i>Eco-efficient feedback technologies: Which eco-feedback types prefer drivers most?.</i> J Tulusan, L Soi, J Paefgen, M Brogle. En <i>World of Wireless, Mobile and</i>

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

	<i>Multimedia Networks (WoWMoM), 2011 IEEE International Symposium on a. IEEE, 2011. p. 1-8.</i>
[VDO2015]	<i>Continental Automotive GmbH 2015 http://www.vdo.com/</i>
[Ubuntu2015]	<i>Distribución sistema operativo Linux Ubuntu. Canonical Ltd. 2015. http://www.ubuntu.com/</i>
[Villeta2012]	<i>Modelo para la Conducción Eficiente y Sostenible basado en Lógica Borrosa. M Villeta, T Lahera, S Merino, JG Zato. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, 2012, vol. 9, no 3, p. 259-266.</i>
[Volvo2013]	<i>Manual de ayuda Volvo Dynafleet. Volvo Truck Corporation 2013 http://www.volvotrucks.com/trucks/dynafleet-help/es-es/Documents/Dynafleet-Online-Help_es-es.pdf</i>
[Wahlberg2002]	<i>Fuel efficient driving training - state of art and quantification of effects. A.E af Wahlberg . Proceedings of Soric, vol. 2. 2002</i>
[Wahlberg2006]	<i>Short-term effects of training in economical driving: Passenger comfort and driver acceleration behavior. A.E af Wahlberg. International journal of industrial ergonomics, 2006, vol. 36, no 2, p. 151-163.</i>
[Wahlberg2007]	<i>Long-term effects of training in economical driving: Fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. A.E af Wahlberg. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007, vol. 37, no 4, p. 333-343.</i>
[Wall2008]	<i>Use of a simulation game in delivering blended lifelong learning in the construction industry—Opportunities and Challenges. Computers & Education. J Wall, V Ahmed. 2008, vol. 50, no 4, p. 1383-1393.</i>
[Wilfinger2009]	<i>Acceptance of future persuasive in-car interfaces towards a more economic driving behaviour. Meschtscherjakov, A., Wilfinger et al. 2009. Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. ACM.- p. 81-88.</i>
[WServer2012]	<i>Sistema operativo Windows Server 2012. Microsoft 2015. https://www.microsoft.com/es-xl/server-cloud/products/windows-server-2012-r2/default.aspx</i>
[Young2011]	<i>Safe driving in a green world: A review of driver performance benchmarks and technologies to support 'smart' driving. MS Young, SA Birrell, NA Stanton. Applied ergonomics, 2011, vol. 42, no 4, p. 533-539</i>
[Zarkadoula2007]	<i>Training urban bus drivers to promote smart driving: A note on a Greek eco-driving pilot program. M Zarkadoula, G Zoidis, E Tritopoulou. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2007, vol. 12, no 6, p. 449-451.</i>

ANEXOS

7 ANEXO I: PUBLICACIONES Y OTROS RESULTADOS DERIVADOS DE LA TESIS

7.1 Artículos en revista

- **Sistema Tutor para la Conducción Eficiente de Vehículos de Combustión.** Abel Rionda, David Martínez, Xabiel G. Pañeda, David Arbesú, J. Emilio Jiménez, F.F. Linera. Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE-RITA). 2012.
- **CatedBox, una tecnología para hacer estudios de movilidad 2.0.** Abel Rionda, David Martínez, Xabiel G. Pañeda, David Arbesú, J. Emilio Jiménez, F. F. Linera. Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información (RISTI). 2012.
- **Blended learning system for efficient professional driving.** Abel Rionda, Xabiel García Pañeda, Roberto García Fernández, Gabriel Díaz Orueta, David Martínez, María Mitre, David Arbesú, Ignacio Marín. *Computers and Education. Elsevier.* Volumen 78, Septiembre 2014, Páginas 124–139.
- **Service to Manage the Efficient Driving of Combustion Vehicle Fleets to Support ISO 50001.** A. Rionda, D. Martínez, X. G. Pañeda, A. Álvarez, D. Arbesú, G. Díaz Orueta, J. Peláez, A. G. Pañeda. *IEEE LatinAmerica Transactions.* 2015.
- **Sistema para la reducción de costes operativos en una flota de autobuses urbanos a través de la aplicación de técnicas de conducción eficiente.** Pablo Luque, Abel Rionda, Xabiel G. Pañeda, Daniel Álvarez, Francisco F. Linera, Alejandro G. Pañeda, Gabriel Díaz, David Martínez. DYNA. 2015.

7.2 Ponencias en congresos

- **La conducción eficiente como elemento clave para la reducción de los costes operativos de una compañía de transporte.** Abel Rionda, Ignacio Marín, Xabiel García Pañeda, Francisco Fernández Linera, Daniel Álvarez Mantaras, Pablo Luque Rodríguez. Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT). 2014.
- **Evaluación del aprendizaje de conducción eficiente en un entorno profesional.** Abel Rionda, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Alejandro G. Pañeda, Gabriel Díaz, Laura Pozueco. Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIE). Logroño, España. 2014.

7.3 Patentes

- **Sistema de monitorización y asistencia en la conducción de vehículos para integración y uso universal por parte de sistemas de información de terceros.** Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, David Arbesú Carbajal, José Emilio Jiménez Ibáñez, Hector Suarez Orviz. N. de solicitud: P201100622.
- **Dispositivo, sistema y método para la mejora de la eficiencia y seguridad en la conducción de vehículos.** Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, David Arbesú Carbajal, José Emilio Jiménez Ibáñez, Hector Suarez Orviz, Francisco Fernández Linera, Xabiel García Pañeda. N. de solicitud: P201230312.
- **Sistema de gestión de la conducción en flotas de vehículos y procedimiento asociado.** Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, Fernando Aparicio Martínez, Xabiel García Pañeda. N. de solicitud: EP15382120.2

7.4 Otras publicaciones

- **“Especificación Aenor (EA) 0050:2015 Sistema de gestión de conducción eficiente de vehículos industriales” dentro del Grupo de trabajo de AENOR CTN 216/GT 6 de “Sistema de gestión de conducción eficiente”.**
<http://www.en.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0055132&PDF=Si#.Vf2wqhHkeUm>
- **Ecomilla, Ingeniería para la Eficiencia Energética en la Milla del Conocimiento de Gijón - Informe Final.** Rionda Rodríguez Abel, Martínez Álvarez David, García Pañeda Xabiel, Arbesú Carbajal David y Jiménez Ibáñez José Emilio. ADN Context-Aware Mobile Solutions S.L. Depósito Legal: DL AS 1116-2012. 2012.
http://www.adnmobilesolutions.com/pdf/ecomilla_Informe_Resultados.pdf

8 ANEXO II: CURRICULUM VITAE

8.1 Resumen

Abel Rionda Rodríguez nació en Asturias, España en 1981 y es **Ingeniero Técnico (2003)** e **Ingeniero en Informática (2006)** por la **Universidad de Oviedo**. Como formación complementaria posee un título “Máster en Gestión de la Innovación” (2007-Universidad de Oviedo), un curso de “Creación y Gestión de Pymes” impartido por la Escuela de Organización Industrial EOI y un curso de aceleración de negocios por la Universidad de Cambridge (2011). Ha estudiado un **programa de doctorado** de la Universidad de Oviedo (“Avances en Informática”) habiendo desarrollado su **tesis doctoral por la UNED, en el departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control en el programa de doctorado en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control Industrial**”. Trabajó desde 2005 hasta 2010 en la línea de Movilidad e Independencia de dispositivo del Departamento de I+D+I de la Fundación CTIC Centro Tecnológico. Ha estado trabajando en numerosos proyectos de investigación a nivel regional, nacional y europeo sobre plataformas móviles y web móvil. Dentro de esta última línea de trabajo, Abel fue un miembro activo del *W3C Working Group Mobile Web Best Practices* desde 2006 hasta diciembre de 2009, liderando alguna iniciativa dentro del mismo Grupo. Desde 2008 hasta 2012, trabajó como profesor asociado en el departamento de Informática de la Universidad de Oviedo. En enero de 2010 fue socio **fundador de la empresa ADN Mobile Solutions**, donde actualmente es director general.

8.2 Artículos en revista

- Tres Técnicas de Prácticas Competitivas Basadas en el Paradigma *Project-Oriented Learning* para las Ingenierías TIC. Xabiel G. Pañeda, David Melendi, Sergio Cabrero, Raquel Blanco, Roberto García y Abel Rionda. Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE-RITA). 2012.
- *Using Standards to Build the DIMAG Connected Mobile Applications Framework*. Patricia Miravet, Francisco Ortin, Ignacio Marin, Abel Rionda. *Computer Standards & Interfaces*. 2013.
- Sistema Tutor para la Conducción Eficiente de Vehículos de Combustión. Abel Rionda, David Martínez, Xabiel G. Pañeda, David Arbesú, J. Emilio Jiménez, F.F. Linera. Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE-RITA). 2012.
- CatedBox, una tecnología para hacer estudios de movilidad 2.0. Abel Rionda, David Martínez, Xabiel G. Pañeda, David Arbesú, J. Emilio Jimenez, F. F. Linera. Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información (RISTI). 2012.

- *Blended learning system for efficient professional driving*. Abel Rionda, Xabiel García Pañeda, Roberto García Fernández, Gabriel Díaz Orueta, David Martínez, María Mitre, David Arbesú, Ignacio Marín. *Computers and Education. Elsevier*. Volumen 78, Septiembre 2014, Páginas 124–139.
- *Service to Manage the Efficient Driving of Combustion Vehicle Fleets to Support ISO 50001*. A. Rionda, D. Martínez, X. G. Pañeda, A. Álvarez, D. Arbesú, G. Díaz Orueta, J. Peláez, A. G. Pañeda. *IEEE Latina America Transactions*. 2015.
- Sistema para la reducción de costes operativos en una flota de autobuses urbanos a través de la aplicación de técnicas de conducción eficiente. Pablo Luque, Abel Rionda, Xabiel G. Pañeda, Daniel Álvarez, Francisco F. Linera, Alejandro G. Pañeda, Gabriel Díaz, David Martínez. *DYNA*. 2015.

8.3 Ponencias en congresos

- *Nomadic Device Identification and client provisioning for interaction in a vehicular network*. Ignacio Marín, Abel Rionda, David Martínez, Celia Montes, Germán Pedrosa, Antonio Campos. *IADIS Multi Conference on Computer Science and Information Systems (MCCSIS 2008)*. Amsterdam (Holanda). 2008
- *DIMAG: A Framework for Automatic Generation of Mobile Applications for Multiple Platforms*. Patricia Miravet, Ignacio Marín, Francisco Ortín, Abel Rionda. *ACM Mobility Conference 2009*. Niza (Francia). 2009.
- Cursos de Adaptación al Grado en las Ingenierías Técnicas de la Universidad de Oviedo. X. G. Pañeda, Senior Member, IEEE, D. Melendi, Member, IEEE, R. Garcia, F. Suarez, R. Blanco, A. Rionda, S. Cabrero. *Workshop Guimarães (Portugal)*. 2011.
- La conducción eficiente como elemento clave para la reducción de los costes operativos de una compañía de transporte. Abel Rionda, Ignacio Marín, Xabiel García Pañeda, Francisco Fernández Linera, Daniel Álvarez Mantaras, Pablo Luque Rodríguez. *Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT)*. Santander (España). 2014
- Experiencias en la implantación de un sistema de big data: Un caso aplicado a la evaluación del aprendizaje de técnicas de conducción eficiente. Alejandro G. Pañeda, Laura Pozueco, David Melendi, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, Alejandro G. Tuero, A. Rionda, Gabriel Díaz, José Luis Arciniegas. *Congreso Iberoamericano de Telemática (CITA)*. Popayán (Colombia). 2015.

- Evaluación del aprendizaje de conducción eficiente en un entorno profesional. Abel Rionda, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Alejandro G. Pañeda, Gabriel Díaz, Laura Pozueco. Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIIE). Logroño(España). 2014.
- Evaluación del aprendizaje de conducción eficiente en un entorno profesional. Abel Rionda, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Alejandro G. Pañeda, Gabriel Díaz, Laura Pozueco. Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIIE). Logroño, España. 2014.
- Experiencias en la implantación de un sistema de *big data*: Un caso aplicado a la evaluación del aprendizaje de técnicas de conducción eficiente. Alejandro G. Pañeda, Laura Pozueco, David Melendi, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, Alejandro G. Tuero, A. Rionda, Gabriel Díaz, José Luis Arciniegas. Congreso Iberoamericano de Telemática (CITA). Popayán, Colombia. 2015.

8.4 Patentes

- Dispositivo Central de Comunicaciones, Sistema y Método para la provisión de aplicaciones a dispositivos móviles de usuario en redes de comunicación. Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, Antonio Manuel Campos López, Germán Pedrosa Loureiro, Ignacio Marín Prendes. N. de solicitud: P200902304
- Sistema para controlar y gestionar la actividad de empresas de servicios adscritos a la ley de dependencia. Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, Antonio Corripio Álvarez. N. de solicitud: P201000726
- Sistema de monitorización y asistencia en la conducción de vehículos para integración y uso universal por parte de sistemas de información de terceros. Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, David Arbesú Carbajal, José Emilio Jiménez Ibáñez, Hector Suarez Orviz. N. de solicitud: P201100622.
- Dispositivo, sistema y método para la mejora de la eficiencia y seguridad en la conducción de vehículos. Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, David Arbesú Carbajal, José Emilio Jiménez Ibáñez, Hector Suarez Orviz, Francisco Fernández Linera, Xabiel García Pañeda. N. de solicitud: P201230312.
- Sistema de gestión de la conducción en flotas de vehículos y procedimiento asociado. Inventores: Abel Rionda Rodríguez, David Martínez Álvarez, Fernando Aparicio Martínez, Xabiel García Pañeda. N. de solicitud: EP15382120.2

8.5 Otras publicaciones

- Estrategias orientadas a la solución de la fragmentación de dispositivos en la Web móvil. Trabajo de investigación Programa de doctorado Avances en Informática. Departamento de Informática de la Universidad de Oviedo. 2008.
- “Especificación Aenor (EA) 0050:2015 Sistema de gestión de conducción eficiente de vehículos industriales” dentro del Grupo de trabajo de AENOR CTN 216/GT 6 de "Sistema de gestión de conducción eficiente".

<http://www.en.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0055132&P DF=Si#.Vf2wqhHkeUm>

- Ecomilla, Ingeniería para la Eficiencia Energética en la Milla del Conocimiento de Gijón - Informe Final. Rionda Rodríguez Abel, Martínez Álvarez David, García Pañeda Xabiel, Arbesú Carbajal David y Jiménez Ibáñez José Emilio. ADN Context-Aware Mobile Solutions S.L. Depósito Legal: DL AS 1116-2012. 2012.

http://www.adnmobilesolutions.com/pdf/ecomilla_Informe_Resultados.pdf

8.6 Participación en proyectos de convocatorias públicas de I+D+i

- *Management Framework for Intelligent Intermodal Transport- FreightWise*. Referencia: FP6-2004-TREN-3-020188. VI Programa Marco. Comisión Europea. 2006-2010.
- m:Via: Investigación de redes y servicios en el entorno del transporte por carretera. Plan AVANZA I+D-Proyecto Singular y Estratégico. Referencia: FIT-330503-2007-5. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2007-2009.
- *MyMobileWeb*: Tecnologías avanzadas para el acceso móvil, independiente de dispositivo e inteligente (guiado por semántica) a aplicaciones, servicios y portales de información. Plan AVANZA I+D-Proyecto Singular y Estratégico. Referencia: TSI-020301-2008-25. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2008-2010
- Desarrollo y explotación de una plataforma interactiva de monitorización de parámetros de automoción y sus aplicaciones. Programa NEOTEC. Referencia. IDI2012-0426. CDTI - Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2012.

- Tecnología de Gestión Eficiente de Vehículo con independencia de su antigüedad y características- *Tech4AllFleet*. Referencia: IDE 2012/000372. IDEPA (Dirección de Economía y Competitividad del Principado de Asturias). 2012.
- Servicio integrado en Vehículos Municipales para la Monitorización ambiental urbana – UrVAMM. Referencia: TSI-100502-2013-36. Acción Estratégica de Economía y Sociedad Digital - Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2013.
- Diseño y alineación con la norma ISO50001 de un sistema *e-learning analytics* para un servicio de conducción eficiente de vehículos de combustión - *Analytics Box*. Referencia: IE13-072. FICYT (Dirección de Economía y Competitividad del Principado de Asturias). 2013.
- Plataforma Abierta De Gestión De Movilidad y Sostenibilidad Para *Smartcities*- Gest City. Programa internacional Iberoeka referencia IDI-20140487. CDTI -Ministerio de Industria, Energía y Turismo. 2014.
- *Innovative services and platform for sustainable transport based on ecodriving techniques – Eurocated*, Grant Agreement Nº 650908. SME Instrument IT-01-2014-1. Horizonte 2020. Comisión Europea. 2014

8.7 Participación en comités de estandarización

8.7.1 World Wide Web Consortium (W3C) 2006-2009

Representante de la Fundación CTIC en el grupo de trabajo “Mobile Web Best Practices de W3C” (<http://www.w3.org/2005/MWI/BPWG/>), dentro de la “Mobile Web Initiative”, desde diciembre 2006 hasta diciembre 2009. De su participación activa cabe destacar lo siguiente:

- Líder de la iniciativa *Checker Task Force* abierta dentro de este grupo para la implementación de referencia de un servicio para W3C que valide contenidos Web contra los criterios definidos en el documento *Mobile OK Basic 1.0 Tests*- <http://www.w3.org/TR/mobileOK-basic10-tests/> - (que garantizan que los contenidos Web serán correctamente visualizados por la mayor parte de dispositivos móviles existentes). El trabajo ha estado relacionado a labores de diseño, desarrollo y pruebas además de ser el co-editor de los manuales de desarrollo y usuario. La versión online del servicio puede ser accedida en <http://validator.w3.org/mobile/> .La actividad en el grupo de trabajo de W3C (<http://www.w3.org/2005/MWI/BPWG/Group/TaskForces/Checker/>) así como en el *Task Force* sumaron un total de 20 días en el extranjero.

- Reunión presencial *Mobile Web Best Practices y Device Description*: 5 días. (Darmstadt, Alemania; 23-26 de abril de 2007).
- Reunión presencial *Mobile Web Best Practices (mobileOK Checker Task Force)*: 2 días (Londres, Reino Unido; 12-13 de junio 2007).
- Reunión presencial *Mobile Web Best Practices*: 5 días. (Londres, Reino Unido; 16-20 de julio de 2007).
- Reunión presencial *Mobile Web Best Practices (mobileOK Checker Task Force)*: 2 días (Sophia Antipolis, Francia; 4-5 de septiembre 2007).
- Reunión presencial *Mobile Web Best Practices y Device Description*: 3 días. (Boston, EEUU; 5-8 de noviembre de 2007).
- Reunión presencial *Mobile Web Best Practices* 3 días (Sophia Antipolis, Francia; 16-18 junio 2008)

8.7.2 Comité técnico de normalización AENOR AEN/CTN 216"Eficiencia energética, cambio climático y energías renovables" 2014-2015

Coeditor de la Especificación AENOR (EA) 0050:2015 Sistema de gestión de conducción eficiente de vehículos industriales" dentro del Grupo de trabajo de AENOR CTN 216/GT 6 de "Sistema de gestión de conducción eficiente". La participación fue como representante de la empresa ADN Mobile Solutions, entidad promotora de dicha especificación.

La especificación puede ser consultada en el repositorio de normas AENOR: <http://www.en.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0055132&PDF=Si#.Vf2wqhHkeUm>

9 ANEXO III: Categorías de vehículos industriales a nivel europeo

Este anexo recoge información relativa a las clasificaciones de los vehículos, considerándose industriales al objeto de la presente tesis los incluidos en las categorías N2, N3 y M2, M3.

Según la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos, se definen las categorías de vehículos que se muestran en la [tabla 17](#):

Tabla 17: Categorías de vehículos según la Directiva 2007/46/CE

Categoría	Descripción
M	Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.
M2	Vehículos de la categoría M que tengan más de ocho plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima no sea superior a 5 toneladas. Los vehículos pertenecientes a la categoría M2 podrán tener, además de las plazas de asiento, espacio para viajeros de pie.
M3	Vehículos de la categoría M que tengan más de ocho plazas de asiento además de la del conductor y cuya masa máxima sea superior a 5 toneladas. Los vehículos pertenecientes a la categoría M3 podrán tener espacio para viajeros de pie.
N	Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.
N1	Vehículos de la categoría N cuya masa máxima no sea superior a 3,5 toneladas.
N2	Vehículos de la categoría N cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas, pero no a 12 toneladas.
N3	Vehículos de la categoría N cuya masa máxima sea superior a 12 toneladas.

10 ANEXO IV: Descripción de los *samples* JSON de la base de datos NoSQL CouchDB

En la [tabla 18](#) se presentan las descripciones de los campos que constituyen los *samples* JSON que se almacenan en la base de datos NoSQL CouchDB. La columna “Origen” puede adoptar los siguientes valores:

- **Propio/Couch**: campo diseñado para guardar metainformación del modelo u otra información compuesta.
- **CAN**: campo para almacenar información directamente procedente de la centralita o ECU del vehículo, a través de FMS o del OBD-II.
- **T4AF /Tech4AllFleet**: campo para almacenar información de las sondas analógicas Tech4AllFleet.

Tabla 18: Descripción de los *samples* JSON de la base de datos NoSQL CouchDB

Etiqueta JSON	Nombre	Origen	Descripción
_id	Identificador	Propio/Couch	Identificador del documento en la base de datos.
_rev	Revisión	Propio/Couch	Código de revisión asociado al documento en la base de datos.
ver	Versión	Propio/Couch	Identificador de revisión interna del documento.
type	Tipo	Propio	Tipo de documento. En este caso, el valor del campo será siempre <i>sample</i> .
vehType	Tipo de vehículo	Propio	Tipo de vehículo asociado. Según una clasificación inicial, el valor del campo será “CAN” para referirse a vehículos en los que la conexión se hace a través del bus CAN, “OBD”

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

			para aquellos en los que dicha conexión se haga a través del puerto de diagnóstico y “T4AF” para los que funcionen en modo Tech4AllFleet.
vehId	Id de vehículo	Propio	Identificador del vehículo asociado a las lecturas.
data	Data	Propio	Objeto JSON que hace de contenedor de los datos específicos de la muestra.
ts	TimeStamp	Propio	Marca de tiempo asociada al instante en que la muestra es capturada. Se define el siguiente formato según el RFC-822: “yyyy-MM-dd HH:mm:ss.SSSZ”
ets	epoch timeStamp	Propio	Marca de tiempo asociada al instante en que la muestra es capturada. El formato utilizado es el epoch de Unix, número de segundos desde el 1 de enero de 1970.
s	speed	CAN	Velocidad medida en km/h, leída del bus CAN del vehículo.
gs	gpsSpeed	Propio	Lectura de velocidad medida en km/h recuperada del GPS
a	accel	CAN	Dato de aceleración longitudinal proporcionado por el bus CAN.
rpm	RPM	CAN	RPM proporcionadas por el bus CAN.
tvd	totalVehicleDistance	CAN	Datos de distancia total en km recorrida por el vehículo. Proporcionado por el bus CAN.
fr	fuelRate	CAN	Consumo instantáneo medido en l/h proporcionado por el bus CAN.

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

tfu	totalFuelUsed	CAN	Total de litros consumidos por el vehículo desde su puesta en marcha. Dato proporcionado por el bus CAN.
epics	enginePercentLoadAtCurrentSpeed	CAN	Porcentaje de carga del motor. Lectura directa del bus CAN.
aept	actualEnginePercentTorque	CAN	Porcentaje del par que está proporcionando el motor. Lectura directa del bus CAN.
dde	driverDemandEngine	CAN	Porcentaje de demanda de potencia actual. Lectura directa del bus CAN.
tsg	transSelectedGear	CAN	Marcha seleccionada. Lectura directa del bus CAN.
tcg	transCurrentGear	CAN	Marcha engranada. Lectura directa del bus CAN.
app	accelPedalPos	CAN	Posición del pedal del acelerador. Valor porcentual leído directamente del bus CAN.
vw	vehicleWeight	CAN	Peso total del vehículo en kg. Lectura directa del bus CAN.
xA	xAxis	Propio	Lectura del acelerómetro del sensor Cated para el eje X sobre la posición de instalación.
yA	yAxis	Propio	Lectura del acelerómetro del sensor Cated para el eje Y sobre la posición de instalación.
zA	zAxis	Propio	Lectura del acelerómetro del sensor Cated para el eje Z sobre la posición de instalación.
d	distance	Propio	Distancia calculada en kilómetros, acumulada en el trayecto actual de motor, entendiéndose como

				trayecto el periodo desde el último arranque de motor.
wm	workmode	Propio		Modo de trabajo. Campo específico para vehículos especiales (barredoras, baldeadoras) compuesto a partir de la lectura de datos del CAN.
ca	catedacc	Propio		Valor de aceleración (m/s ²) calculada por el sensor Cated.
geoLocation	geoLocation	Propio		Objeto JSON que contiene la información de posicionamiento actual, formateada según el estándar GeoJSON .
type	geoLocation/type	Propio		Tipo de elemento. Según la definición de GeoJSON, su valor será siempre "Point".
coordinates	geoLocation/coordinates	Propio		Vector JSON que contiene dos elementos: Longitud y Latitud y Altitud.
properties	geoLocation/properties	Propio		Objeto JSON de uso libre que permite añadir información extra a los datos de posicionamiento. Reservado para incluir datos referentes a calidad de señal asociada a la muestra.
cs	clutchSwitch	CAN		Estado del embrague (0 no pisado, 1 pisado)
bs	brakeSwitch	CAN		Estado del freno (0 no pisado, 1 pisado)
pbs	parkingBrakeSwitch	CAN		Estado del freno de mano (0 no echado, 1 echado)
cca	cruiseControlActive	CAN		Velocidad crucero (0 desactivada, 1 activada)

Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión

fl	fuelLevel	CAN	Nivel de combustible
ds	doorsStatus	CAN	Estado de las puertas (0 todas deshabilitadas, 1 al menos 1 puerta habilitada, 2 error, 3 no disponible)
cl	chairlift	CAN	Estado de la rampa (0 dentro, 1 fuera, 2 error, 3 no disponible)
dp	doorsPosition	CAN	Posición de las puertas (0 al menos 1 abierta, 1 cerrando la última puerta, 2 todas cerradas, 3-13 no definido, 14 error, 15 no disponible)
rtm	retarderTorqueMode	CAN	16 estados. Indica qué modo del par del retarder está generando, limitando o controlando el par.
arpt	actualRetarderPercentTorque	CAN	Par de frenado real del retarder como un porcentaje (SPN 556)
rs	retarderSelection	CAN	Posición del selector del conductor para los retarders que no son parte del sistema de motor, expresado como un porcentaje y determinado por la relación de la posición actual con respecto a la máxima.
tfl	techFuelLevel	T4AF	Nivel de la sonda principal de combustible T4AF
tfl2	techFuelLevel2	T4AF	Nivel de la segunda sonda de combustible T4AF
rpm2	RPM2	T4AF	RPM proporcionadas por un segundo motor.

11 ANEXO V: Esquema de diseño hardware del sistema embarcado

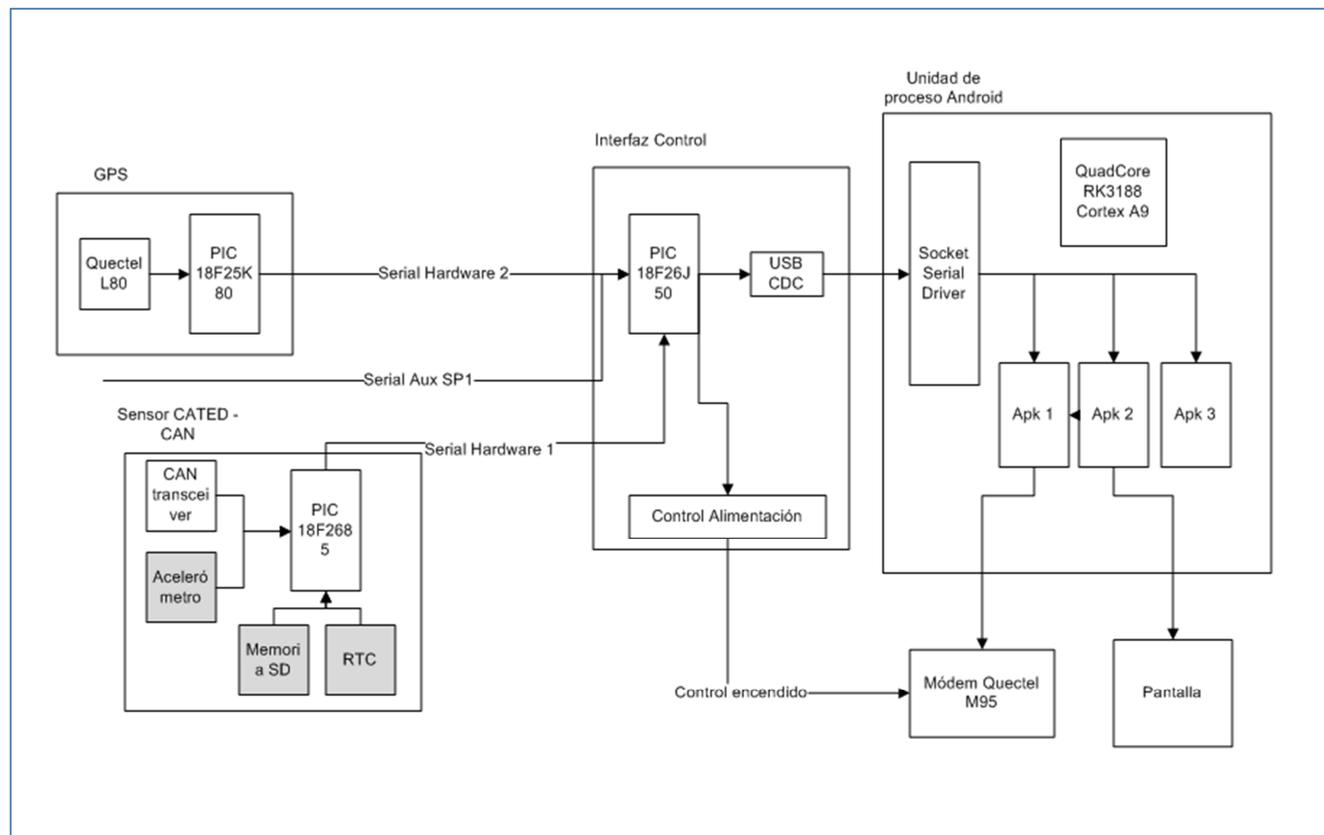


Figura 106: Esquema de diseño hardware del sistema embarcado

12 ANEXO VI: Esquema de diseño de base de datos SQL PostgreSQL

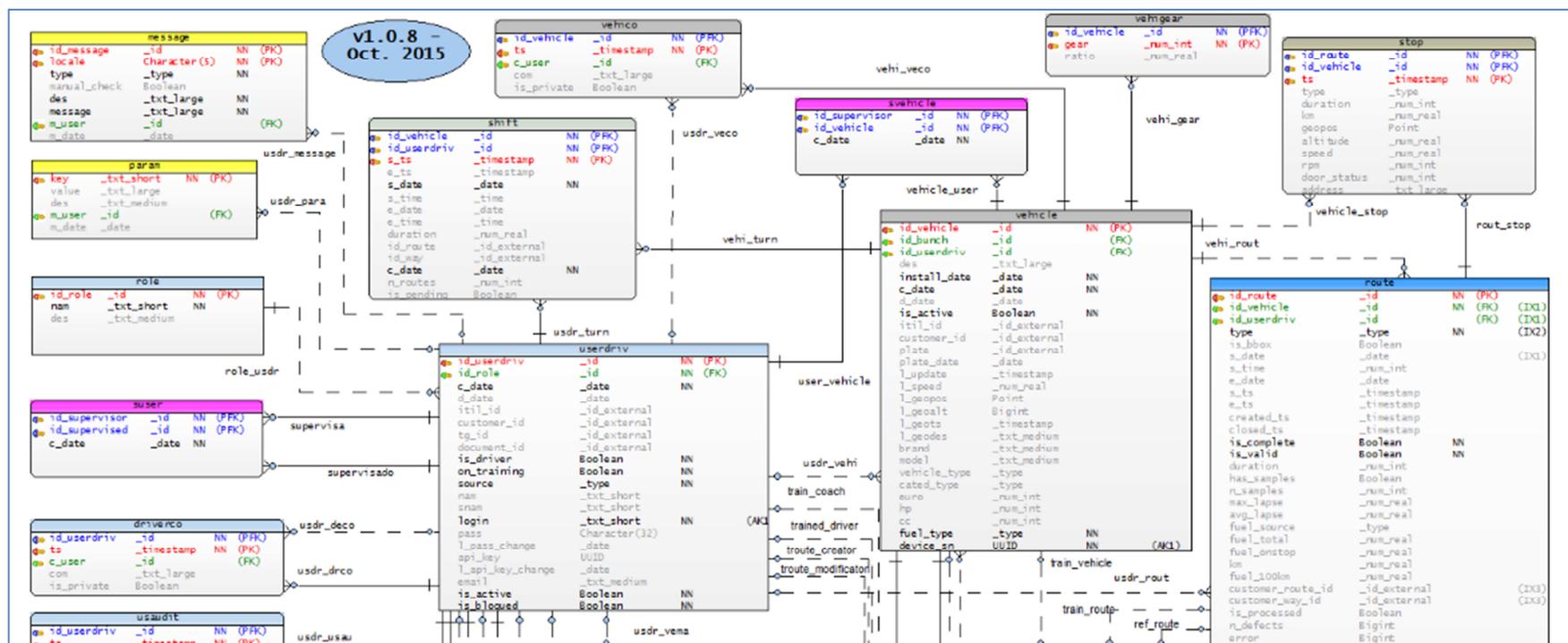


Figura 107: Esquema de diseño de base datos SQL PostgreSQL (I de III)

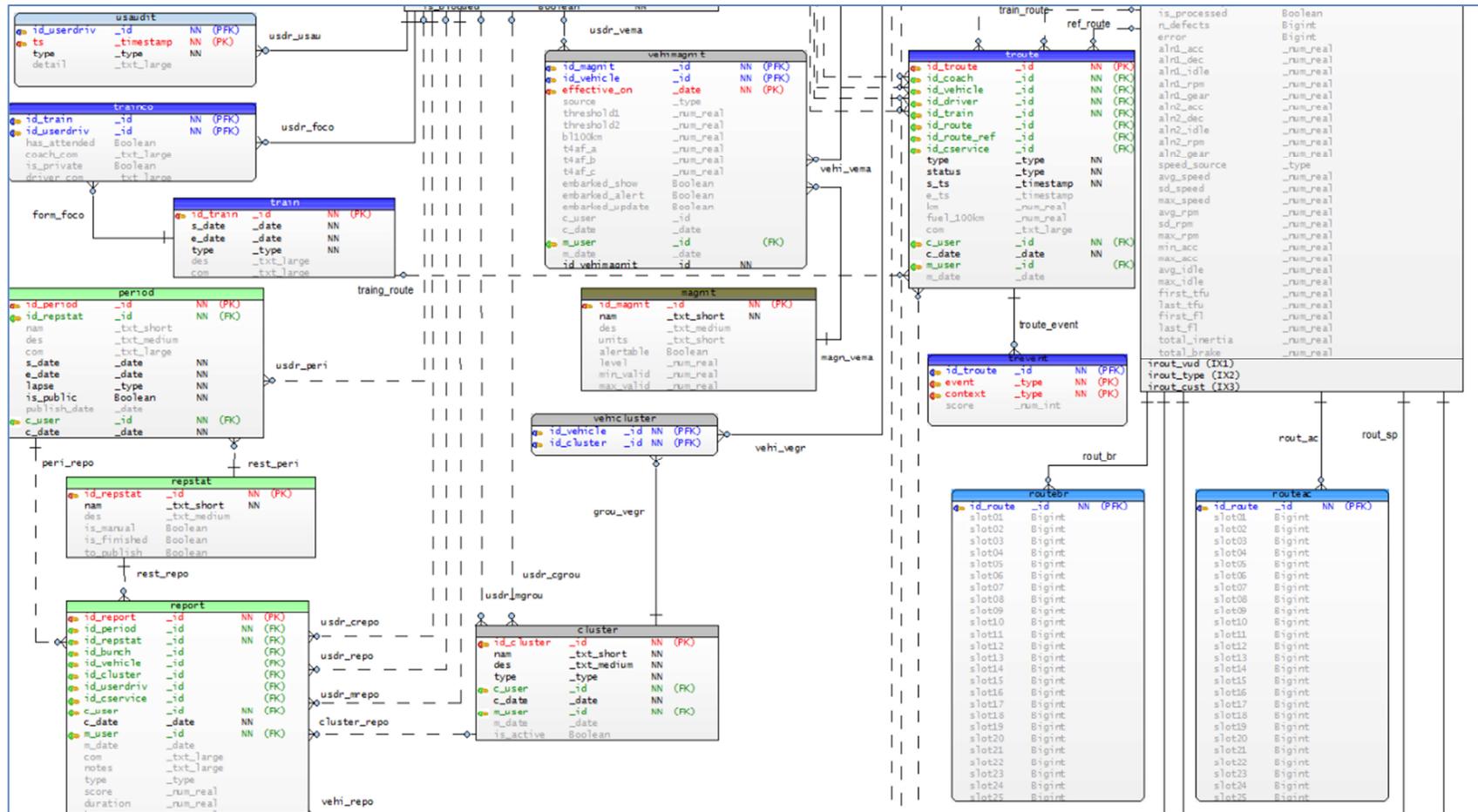


Figura 108: Esquema de diseño de base datos SQL PostgreSQL (II de III)

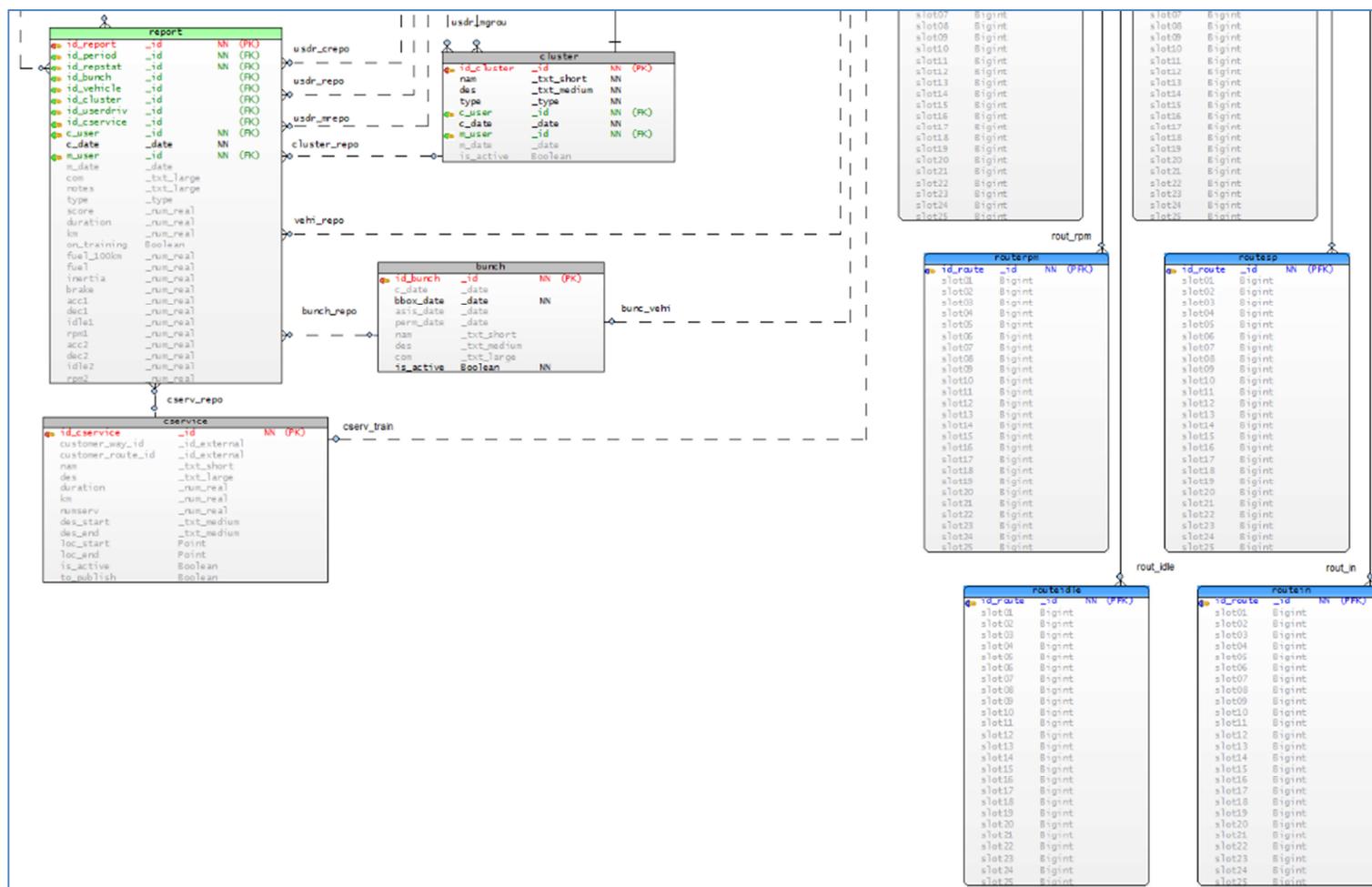


Figura 109: Esquema de diseño de base datos SQL PostgreSQL (III de III)