

TESIS DOCTORAL

2018

**Metodología y sistema analítico para la
implantación de programas de conducción
eficiente adaptativos en flotas
profesionales de transporte regular**

ALEJANDRO GARCÍA TUERO

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

**Gabriel Díaz Orueta
Xabiel García Pañeda**

Resumen

El calentamiento global es un problema grave sobre el que la mayoría de naciones están tomando medidas. Más de 160 países han firmado el acuerdo de la Conferencia de las Partes, en su vigésimo primera reunión, como conclusión de la Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático, París 2015. En ella han acordado controlar el aumento global de temperatura, de forma que no supere los 2°C respecto a la temperatura media previa a la industrialización.

Uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero a la atmósfera es el transporte por carretera. Los países firmantes en la Conferencia de la Partes aplicaron una serie de medidas que penalizan el exceso de emisiones, principalmente en forma de impuestos sobre los carburantes. Las empresas de transporte deben por ello intentar reducir el consumo de combustible, lo que pueden lograr por tres vías que no son excluyentes: la renovación de la flota, un plan de mantenimiento más exhaustivo y la formación en conducción eficiente, siendo esta última la más económica de todas.

En este contexto, esta Tesis plantea un método de evaluación y los procesos analíticos que lo soportan. Un método que permite tanto valorar al conductor profesional como detectar los puntos de mejora. Esta metodología se basa en la captura de datos reales de conducción durante la actividad profesional de los conductores, permitiendo una evaluación fiable. Se trata de un proceso de mejora continua que se adapta a las habilidades del conductor desde el primer momento y que favorece la aplicación inconsciente de las técnicas, gracias a la formación en el trabajo y el aprendizaje práctico.

Antes del inicio de la formación propiamente dicha, se establecen los métodos de análisis y evaluación. La definición de un conjunto de patrones de conducción orientados a la evaluación del comportamiento del conductor al volante es el primer paso y da pie al resto de la metodología.

Antes de la formación inicial, se realiza una clasificación temprana basada en los patrones más sencillos, que permite ubicar a cada conductor en un grupo formativo cuyos contenidos se ajusten a sus necesidades de aprendizaje.

Posteriormente, y tras un periodo suficientemente largo de captura de datos, estos se analizan mediante los modelos de madurez, que permiten determinar la mejora y el nivel alcanzado en la consecución de unas habilidades enmarcadas en un aspecto concreto de la conducción. Este proceso se repite con una cierta frecuencia, generalmente mensual, y permite evaluar el rendimiento de cada conductor, con respecto a la conducción eficiente, en su puesto de trabajo.

A partir de esta evaluación es necesario comunicar los resultados a los conductores. Esta comunicación debe servir además para corregir los errores que se hayan podido detectar y para animar y motivar al conductor a seguir mejorando. El análisis de los resultados de la evaluación debe ser realizado por un experto que genere una serie de comentarios y recomendaciones que ahonden en los puntos a mejorar y motiven a los conductores a hacerlo, lo que encarecería la aplicación de la metodología, pudiendo llegar a eliminar el beneficio generado por la reducción de consumo lograda. Por ello es necesario automatizar

la generación de los comentarios y recomendaciones. Se diseña un sistema experto de recomendaciones automáticas que analiza los resultados de los modelos de madurez, los combina con los datos de contexto (flota, servicio, clima, horarios, localización geográfica) y lanza una serie de recomendaciones basadas en los resultados de rendimiento individuales de cada conductor.

Palabras clave

Conducción eficiente; Conductores profesionales; Metodología de formación; Formación en el trabajo; Aprendizaje práctico

Abstract

Global warming is a serious problem that most nations in the world are trying to solve. More than 160 countries have signed the agreement of the 21st edition of the Conference of the Parties, as a conclusion of the United Nations Frame Climate Change Conference (UNFCCC), Paris 2015. The Parties have agreed to control the global rise of temperatures and keep it below 2°C over the global mean temperature at the beginning of the Industrial Revolution.

One of the main greenhouse gas emitting sectors is road transport. The signatory countries at the Conference of Parties are applying a battery of measures to penalize the excess of emissions, mainly by increasing the taxes on fuel. The transport companies must reduce their fuel consumption, and there three ways, non-exclusive, to achieve that: the fleet renovation, an exhaustive maintenance plan and efficient driving training, which is the cheaper option.

In this context, this Thesis suggests a set of analytic processes that aim to optimise an efficient driving training and evaluating methodology for professional drivers. This methodology is based in real driving data capture during the professional activity of drivers, allowing a trustworthy evaluation. A continuous improvement process that adapts to each driver's skills from the very first moment and favours the natural application of techniques, as it applies the on-the-job training and learning by doing principles.

Before the start of the first training session, analysis and evaluation methods have been established in advance. The definition of a set of driving patterns, oriented to driving behaviour evaluation is the first step and gives the base for the rest of the methodology.

The first contact with the drivers is made after an early classification based in the more simple driving patterns. It allows the assignation of each driver into a training group, which contents adapts to drivers' training needs.

After the first training session and a long enough period of data gathering, these data are analysed by means of the maturity models, which allow to determine the improvement and the level achieved concerning skills in the frame of specific aspects of driving. This process is repeated with certain frequency, most commonly a month, and allows the evaluation of the performance of each driver in its job.

Once the evaluation is done, it is necessary to communicate the results to the drivers. This communication should correct the mistakes that might have been detected and to encourage and motivate the driver to keep on improving its results. The analysis of these results has to be revised by an expert that generates a number of comments and recommendations deepening into the improvement points and motivate drivers to use the advices they are given. This would make the implementation of this methodology much more expensive, to the point that it could eliminate the benefits of fuel saving. For that reason, it is necessary to automatize the recommendations generation process. An automatic recommendation system is designed that analyses the results of the maturity models, combines them with contextual data (fleet, service, climate, timetables or geographic

location), and sends a set of recommendations based on each driver's personal driving performance results.

Keywords

Efficient driving; Professional driver; Training methodology; On the job training; Learning by doing

Agradecimientos

A mis tutores, por su paciencia, que la tuvieron. Y mucha.

A mi familia, por sufrir mis ausencias y, sobre todo, a mis gorditos. Todo es por ellos.

A mis compañeros en el Grupo DMMS, por su ayuda y consejos.

A la empresa *ADN Context Aware Mobile Solutions S.A.*, por la cesión de los datos para la realización del caso de estudio.

Índice general

Resumen	III
Abstract	V
Agradecimientos.....	VII
Índice general.....	IX
Índice de figuras	XIII
Índice de tablas.....	XV
1 Introducción.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos y metodología	3
1.3 Organización del documento	4
2 Estado del arte	7
2.1 ¿Qué es la conducción eficiente?.....	7
2.2 Fundamentos de la conducción eficiente	9
2.3 Influencia de la conducción eficiente en la reducción del consumo de combustible y de la emisión de gases de efecto invernadero.....	12
2.4 Evolución de la formación en conducción eficiente	21
2.5 Evaluación de la conducción eficiente	23
2.5.1 Nuevos métodos de evaluación de la conducción eficiente.....	28
2.6 Comunicación de los resultados de la evaluación.....	31
2.7 Principales Contribuciones.....	33
3 Metodología de aprendizaje adaptativo para la conducción eficiente	35
3.1. Introducción	35
3.2. Terminología	36
3.3. Método de aprendizaje adaptativo propuesto	36
3.3.1. Iniciación	38
3.3.2. Análisis periódico	39
3.4. Resumen de la metodología de aprendizaje adaptativo.....	41
4 Patrones de comportamiento	43
4.1. Introducción	43
4.2. Patrones básicos.....	44
4.2.1. Aceleración – Freno (AF)	45
4.2.2. Freno – Aceleración (FA)	47

4.2.3.	Ralentí (<i>Ra</i>)	48
4.2.4.	Inercia (<i>In</i>)	50
4.3.	Patrones complejos basados en la Inercia	53
4.3.1.	Patrón Inercia con Correcciones sin Detención (<i>PICsD</i>).....	53
4.3.2.	Patrón Inercia con Correcciones Largo (<i>PICL</i>)	56
4.3.3.	Patrón Inercia con Correcciones Corto (<i>PICC</i>).....	58
4.3.4.	Patrón Inercia Perfecta en Ruta (<i>PIPR</i>).....	60
4.3.5.	Patrón Inercia Perfecta para Detención (<i>PIPD</i>).....	61
4.3.6.	Patrón Inercia para Detención Corto (<i>PIDC</i>)	62
4.3.7.	Patrón de Inercia Ascendente (<i>PIAsc</i>)	63
4.4.	Patrón de arranque (<i>A</i>).....	65
4.4.1.	Planteamiento	65
4.4.2.	Fase 1 (<i>A1</i>).....	65
4.4.3.	Fase 2 (<i>A2</i>).....	66
4.5.	Resumen de los Patrones de Comportamiento	68
5	Clasificación temprana mediante la evaluación de las habilidades de conducción	71
5.1	Introducción	71
5.2	Proceso de clasificación temprana.....	71
5.2.1	Paso 1. Definición de grupos según el desempeño por patrones.....	71
5.2.2	Paso 2. Definición de los contenidos de las sesiones formativas.....	73
5.2.3	Paso 3. Asignación de conductores a los grupos de formación	74
5.3	Consideraciones posteriores a la asignación.....	77
5.3.1	Grupos despoblados.....	78
5.3.2	Grupos sobrepoblados	79
5.4	Resumen de Clasificación Temprana y Evaluación de las Habilidades de Conducción.	80
6	Modelos de madurez.....	81
6.1	Introducción	81
6.2	Definición de las fases de conducción.....	82
6.3	Evaluación de la Madurez	83
6.4	Método de cálculo de los modelos de madurez	85
6.4.1	Paso 1: cálculo de los patrones y sus KPIs.....	85
6.4.2	Paso 2: aplicación de la lógica difusa	85
6.4.3	Cálculo de la madurez	89
6.5	Resumen de los modelos de madurez	92

7	Recomendaciones automáticas	93
7.1	Introducción	93
7.1	Generación automática de recomendaciones	94
7.2	Tipos de comentarios y recomendaciones generales	94
7.2.1	Comentarios según la calificación global	94
7.2.2	Recomendaciones según los modelos de madurez	95
7.2.3	Recomendaciones especiales basadas en patrones que no afectan a los modelos de madurez.....	96
7.3	Recomendaciones basadas en situaciones específicas.....	97
7.3.1	Situaciones específicas posicionales	98
7.3.2	Situaciones específicas temporales.....	98
7.3.3	Situaciones específicas climáticas	99
7.4	Recomendaciones basadas en la repetición de ineficiencias	100
7.5	Comentarios de ánimo	100
7.6	Composición del informe	101
7.6.1	Parte informativa de la comunicación.	101
7.6.2	Parte formativa de la comunicación	102
7.7	Resumen de Recomendaciones Automáticas	103
8	Caso de estudio	105
8.1	Descripción del contexto del caso de estudio.....	105
8.2	Clasificación temprana	107
8.2.1	Cálculo de los KPIs de los patrones básicos	107
8.2.2	Determinación de las necesidades formativas y primera clasificación....	109
8.2.3	Formación de los grupos formativos definitivos.....	109
8.2.4	Comprobación de la idoneidad de la clasificación temprana	109
8.3	Análisis de la madurez.....	111
8.4	Análisis personalizado	112
8.4.1	Resumen general.....	112
8.4.2	Análisis posicional	113
8.4.3	Análisis temporal.....	114
8.4.4	Análisis climático	117
8.5	Recomendaciones automáticas	117
8.5.1	Recomendaciones de felicitación.....	117
8.5.2	Corrección general	118
8.5.3	Corregir de forma concreta.....	118

8.5.4	Animar	119
8.6	Resumen del caso de estudio	119
9	Conclusiones	121
10	Trabajos futuros	127
11	Publicaciones relacionadas con la Tesis	131
11.1	Publicaciones sobre las aportaciones directas de la Tesis	131
11.2	Publicaciones de estudios complementarios a la Tesis.....	135
Bibliografía		139
Anexos		147
A.	Glosario de términos	149
B.	Tablas de datos de patrones	151
C.	Tablas de recomendaciones automáticas	169
D.	Tablas del caso de estudio	177
Curriculum vitae		185

Índice de figuras

Figura 2.1 Efecto a largo plazo de la formación en conducción eficiente sobre el rendimiento de los conductores (Beusen et al. 2009)	17
Figura 2.2 Ejemplo de información proporcionada por la pantalla Dynafleet. Fuente (Rionda Rodríguez 2016)	32
Figura 2.3 Ejemplo de pantalla Eco-Drive de comunicación en tiempo real de FIAT	32
Figura 2.4 Comunicación de resultados de Conducción Eficiente. Renault Espace V	33
Figura 3.1 Metodología propuesta de aprendizaje adaptativo	37
Figura 4.1 Patrones Básicos	44
Figura 4.2 Representación de un hipotético patrón Aceleración - Freno	46
Figura 4.3 Representación de un hipotético patrón Freno - Aceleración	47
Figura 4.4 Comparación entre tramo real y simulación de aplicación ideal (sin tráfico) de inercia	51
Figura 4.5 Representación de un hipotético patrón de inercia	52
Figura 4.6 Representación de un hipotético patrón PICsD	55
Figura 4.7 Representación de un hipotético patrón PICL	57
Figura 4.8 Representación de un hipotético patrón PICC	59
Figura 4.9 Representación de un hipotético patrón PIPR	60
Figura 4.10 Representación de un hipotético patrón PIPD	61
Figura 4.11 Representación de un hipotético patrón PIDC	63
Figura 4.12 Representación de un hipotético patrón PIAsc	64
Figura 4.13 Representación de hipotético patrón de arranque perfecto en sus dos fases	67
Figura 5.1 Asignación de grupos de Nivel 4 y 5 a Grupos Formativos	76
Figura 5.2 Asignación de grupos de Nivel 0, 1 y 2 a Grupos Formativos	77
Figura 6.1 Representación esquemática de un ciclo de conducción y sus tres fases	82
Figura 6.2 Distribución de categorías	84
Figura 6.3 Capas de calificación de los modelos de madurez	84
Figura 6.4 Funciones de pertenencia para patrones con tres funciones de salida	86
Figura 6.5 Funciones de pertenencia para patrones con dos variables de salida	87
Figura 6.6 Funciones de pertenencia para un patrón con 3 salidas cuya eficiencia crece con el KPI	89
Figura 6.7 Funciones de pertenencia de la variable de salida para la fase de arranque	90
Figura 6.8 Aspecto de una función de salida del sistema de lógica difusa	90
Figura 7.1 Ejemplo situación específica por posición geográfica para el patrón AF	98
Figura 8.1 Metodología propuesta de aprendizaje adaptativo	105
Figura 8.2 Mapa de calor del patrón de ralentí. Conductor 74	112
Figura 8.3 Datos personalizados de duración de ralentí y KPI. Conductor 74	113
Figura 8.4 Análisis de ralentí por calles. Conductor 74	113
Figura 8.5 Eventos de ralentí de más de 1 minuto. Conductor 74	114
Figura 8.6 Análisis de Ralentí por turnos. Conductor 74	115
Figura 8.7 Análisis temporal por turnos del ralentí. Línea 331	115
Figura 8.8 Análisis temporal por franja horaria. Conductor 74	116
Figura 8.9 Análisis temporal por franja horaria. Línea 331	116
Figura 8.10 Imagen de punto crítico aportada en las recomendaciones automáticas. Conductor 74	119
Figura 10.1 Esquema del estado actual del nuevo dispositivo embarcado	128

Índice de tablas

Tabla 2.1 Resumen de logros de investigaciones en Conducción Eficiente referentes a ahorro de combustible y reducción de emisiones (Alam y McNabola 2014)	13
Tabla 2.2 Técnicas de evaluación del rendimiento en conducción eficiente en el trabajo. (Aggarwal y Thakur 2013).	25
Tabla 5.1 Grupos de conductores por patrones	72
Tabla 5.2 Prioridad según el Criterio de Fácil Aprendizaje	75
Tabla 5.3 Criterio de Prioridad	75
Tabla 5.4 Fusión de grupos con los patrones AF o A2 por similitud	78
Tabla 5.5 Fusiones por orden de prioridad de grupos con AF y/o A2	79
Tabla 5.6 Prioridad para el grupo sin AF ni A2	79
Tabla 6.1 Reglas difusas para el arranque	88
Tabla 6.2. Reglas difusas para la detención	88
Tabla 6.3. Reglas difusas para la marcha	88
Tabla B.1 Listado de datos capturados para el patrón Aceleración - Freno	151
Tabla B.2 Tabla de KPI para el patrón AF	152
Tabla B.3 Listado de datos capturados para el patrón Freno - Aceleración	153
Tabla B.4 Tabla de KPI para el patrón FA	154
Tabla B.5 Listado de datos capturados para el patrón Ralentí	155
Tabla B.6 Tabla de KPI para el patrón Ralentí	155
Tabla B.7 Listado de datos capturados para el patrón Inercia	156
Tabla B.8. Tabla de KPI para el patrón de inercia	157
Tabla B.9 Listado de datos para los patrones PICsD y PICL	158
Tabla B.10. Tabla de KPI para el patrón PICsD	159
Tabla B.11. Listado de datos para el patrón PIPR	160
Tabla B.12. Listado de datos capturados para el patrón PIPD	161
Tabla B.13. Listado de datos capturados para el patrón PIDC	162
Tabla B.14. Tabla de KPI para el patrón PIDC	163
Tabla B.15. Listado de datos capturados para el patrón PIAsc	164
Tabla B.16. Tabla de KPI para el patrón PIAsc	165
Tabla B.17 Parámetros que se incluyen en la tabla del Patrón de Arranque	166
Tabla B.18 Tabla de KPI del Patrón de Arranque	167
Tabla C.1 Comentarios según la calificación	169
Tabla C.2 Comentarios según la calificación comparando con el último mes	169
Tabla C.3 Comentarios según la calificación considerando la tendencia de los últimos meses	170
Tabla C.4 Recomendaciones Automáticas para el modelo de madurez de arranque	171
Tabla C.5 Recomendaciones Automáticas para el modelo de madurez de detención	171
Tabla C.6 Recomendaciones Automáticas para el modelo de madurez de marcha	172
Tabla C.7 Comentario para ineficiencias específicas en función de la posición	172
Tabla C.8 Comentarios para situaciones específicas de ineficiencia en función de la franja horaria	173
Tabla C.9 Comentarios para situaciones específicas de ineficiencia debidas al clima	174
Tabla C.10 Comentarios de ánimo	176
Tabla D.1 Tabla de KPIs	177
Tabla D.2 Estadísticas del patrón AF en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación	178
Tabla D.3 Estadísticas del patrón FA en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación	178
Tabla D.4 Estadísticas del patrón de Inercia en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación	178

<i>Tabla D.5 Estadísticas del patrón A1 en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación</i>	179
<i>Tabla D.6 Estadísticas del patrón A2 en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación</i>	179
<i>Tabla D.7 Medianas de los KPIs en cada una de las líneas</i>	179
<i>Tabla D.8 Necesidades formativas de cada conductor y distribución inicial</i>	180
<i>Tabla D.9 Composición de los grupos formativos para la sesión inicial de formación</i>	181
<i>Tabla D.10 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 1</i>	181
<i>Tabla D.11 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 2</i>	181
<i>Tabla D.12 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 3</i>	182
<i>Tabla D.13 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 4</i>	182
<i>Tabla D.14 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 5</i>	182
<i>Tabla D.15 Modelos de madurez y calificación para el primer mes de análisis</i>	183
<i>Tabla D.16 Desglose de modelos de madurez por patrones. Conductor 74</i>	184
<i>Tabla D.17 Análisis climatológico del ralenti. Conductor 74 y línea 331</i>	184
<i>Tabla D.18 Evolución del conductor 74</i>	184

1 Introducción

1.1 Motivación

El calentamiento global es uno de los principales caballos de batalla de las Naciones Unidas. Ya en 1992 se celebró la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*Naciones Unidas 1992*). En ella se sentaron las bases para el control del calentamiento global, que serían revisadas y desarrolladas en las sucesivas Conferencias de las Partes (COP). La última de ellas, la COP21 de París celebrada a finales del año 2015 (*Naciones Unidas 2016*) vería cómo las Partes (países firmantes en el anexo 1 del Manifiesto de la Convención Marco, y aquellas adheridas con el tiempo) fijaban su determinación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Pretendían limitar el aumento global de temperatura a 2°C con respecto a la temperatura media global preindustrial. Además, incluyeron el compromiso de esforzarse por mantenerlo por debajo de 1,5°C. Para ello, los países desarrollados destinarían 10.000 millones de dólares anuales hasta 2025 en un acuerdo que ya firman 184 países, y que entrará en vigor en 2020.

Tras nuevos estudios, empieza a haber varias voces que avisan de que, con las políticas actuales, será muy complicado alcanzar los objetivos marcados. (*Wigley 2018*) dice que, incluso en caso de alcanzar los objetivos, la temperatura seguirá aumentando tras 2020. Esto conllevará el deshielo de glaciares y de parte de la capa antártica, así como el aumento del nivel del mar durante un tiempo indefinido. La visión de (*Nicholls et al. 2018*) es aún más grave, ya que establece una serie de predicciones de crecimiento del nivel del mar en el caso improbable de que se lograsen estabilizar las temperaturas después de 2020. Estas predicciones alcanzarían el año 2300. Según las mismas, la estabilización de las temperaturas y el crecimiento del nivel del mar tardarían en lograrse en torno a un siglo (65 años en el supuesto de 2°C y 130 años si el aumento fuera de 1.5°C). Descartando el caso más extremo de una subida de 5 metros en el año 2300, el rango más probable estaría entre 0,9 y 1,2 metros, lo que supondría grandes cambios en los flujos migratorios y sus correspondientes consecuencias en la economía mundial.

Uno de los principales elementos de emisión de gases de efecto invernadero es el transporte por carretera (*Jochem, Rothengatter, y Schade 2016*) y, por tanto, uno de los principales contribuyentes al calentamiento global. Estudios realizados en países concretos, como el de (*Stanley et al. 2018*) para Australia, hablan de la necesidad de reducir las emisiones debidas al transporte por carretera en un 40%, respecto a los niveles registrados en 2005, para 2030.

Para lograr esta reducción tan drástica, los países desarrollados gravan los combustibles fósiles. Los autores en (*Stanley et al. 2018*) hablan de un 25%, unido a una gran reducción de los precios del transporte público. También hay subidas de impuestos para los

vehículos en base a las emisiones que generen. Esto favorece la reducción en la utilización de los vehículos particulares en favor del transporte público, pero no soluciona el problema por completo. Además, supone un gasto extra para las empresas de transporte de mercancías y una reducción en los ingresos por usuario de las empresas de transporte de personas, más allá de la percepción negativa de “contaminadores” que generan. Para liberarse de esta imagen y reducir costes, las empresas de transporte han puesto en marcha diversas iniciativas que van desde la renovación de sus flotas hasta la instauración de sistemas de mantenimiento preventivo y predictivo o la formación de sus conductores en la conducción eficiente (*OECD/ITF 2010*). Este último es un medio para la reducción del consumo y las emisiones muy económico, lo que permite a las empresas asumir la inversión al no ser demasiado importante. El bajo coste hace que la conducción eficiente sea la medida más extendida (*Barkenbus 2010; Mensing et al. 2014*) y puede ser aplicada tanto en vehículos nuevos como viejos. Esto es lo que concluye (*Barkenbus 2010*), que además indica que sería la medida más efectiva, por encima de las limitaciones o los impuestos de los gobiernos a las emisiones. El principal motivo de efectividad es que todos los conductores de un país, profesionales o no, podrían aplicarla, y tendría un efecto inmediato en toda la flota del país o región en que se pusiera en marcha. De esta manera, generaría ahorro para las personas y las empresas, tanto por la reducción del consumo de combustible como, probablemente, por las menores tasas de impuestos que tendrían que pagar.

Los procesos de formación en conducción eficiente son variados en su método y en sus logros. Hay empresas que se limitan a entregar a sus conductores una serie de pautas de aplicación de las técnicas basadas en las recomendaciones del Ministerio de Industria (*IDAE 2005a*) o de las instituciones internacionales correspondientes (*Moss 2010*). Otras llevan además un seguimiento de la evolución del consumo de sus conductores, mediante el control de tickets de gasolinera o de los surtidores propios si los tuvieran. Sin embargo, se ha demostrado que basar la conducción eficiente en la reducción de consumo de combustible es un error, ya que en este influyen muchos factores que no dependen solo del conductor (*Sivak y Schoettle 2012*). El contexto en que se conduce, tipo de servicio desarrollado, vía por la que se circula, climatología, densidad del tráfico y, por supuesto, el estado de mantenimiento del vehículo, son todos factores que afectan al consumo, pero no dependen de la pericia del conductor o de cómo aplique las técnicas de conducción eficiente. Las condiciones de conducción varían mucho de un contexto a otro. Yendo más allá, otras empresas realizan una monitorización de la conducción que les permite verificar si sus empleados aplican o no las técnicas aprendidas, como indica el trabajo de (*Rutty et al. 2013*) para la flota de la EMT de Calgary (Canadá).

La conducción eficiente es una actividad que depende de factores humanos y, como tal, precisa de una motivación adecuada (*van Loon 2017*). La forma de mantener esa motivación entre los conductores es el reconocimiento de sus avances, lo que generalmente lleva a incentivar los buenos resultados mediante recompensas de algún tipo (*Liimatainen 2011; Schall y Mohnen 2017*). Para que esto sea posible, toma importancia la evaluación de los resultados de los conductores. Todo proceso formativo conlleva una evaluación de la respuesta de los asistentes a la formación, de cómo asimilan los conocimientos adquiridos y los aplican en su contexto laboral. Los métodos de evaluación son muy variados, pero el denominador común es que deben ser acordes al tipo de monitorización que se utiliza en cada caso y al tipo de resultados que se busquen (*Aggarwal y Thakur 2013*). Esta evaluación debe permitir verificar que el rendimiento de la flota mejora y, si no fuera así, ayudar a fijar

sesiones de refuerzo, ya que a largo plazo los resultados tienden a volver a ser los del inicio (*Beusen et al. 2009*).

La comunicación de resultados en este tipo de procesos formativos es determinante en su funcionamiento, ya que es la que genera la mejora continua. Una comunicación de resultados frecuente, precisa y específica para cada conductor es la que hace que se motive, ya que se le demuestra que el seguimiento es personalizado.

Este trabajo de tesis está orientado a la implantación de un método de formación en conducción eficiente para conductores profesionales. Se pretende con él mejorar los métodos de formación existentes a través de una evaluación más justa y una comunicación de resultados más directa y personalizada en los puntos fuertes y débiles de cada conductor. Las contribuciones de esta tesis doctoral se han puesto en práctica parcialmente sobre flotas de la empresa *ADN Mobile Solutions*, que utiliza su tecnología *CATED* (*Rionda et al. 2012*) para realizar la monitorización de los vehículos, y que hasta ahora utilizaba para su implantación la metodología *BLED*, descrita en la tesis doctoral del propio Abel Rionda, (*Rionda Rodríguez 2016*). El ámbito de desarrollo del trabajo de tesis ha sido el Grupo de Investigación *DMMS*, formado por personal docente e investigador de la **Universidad de Oviedo**, la **UNED** y el **Instituto Politécnico de Viana do Castelo** (Portugal), así como personal médico del **Hospital Universitario Central de Asturias** (HUCA) y la empresa **ADN Context Aware Mobile Solutions**, a modo de socio tecnológico.

1.2 Objetivos y metodología

Este trabajo busca definir un proceso de formación adaptativa en conducción eficiente que está basado en el análisis del comportamiento de los conductores.

Para fundamentar el trabajo de Tesis se ha realizado un seguimiento del estado del arte en todos los aspectos de la conducción eficiente, la formación para conductores profesionales y la monitorización de los mismos, así como en los métodos existentes de comunicación de resultados a los interesados para este tipo de procesos formativos, si los hubiera, u otros similares. La consecución de este paso permite, a su vez, definir los eventos puntuales que tradicionalmente determinan la eficiencia en la conducción y explicar las razones por las que no sirven para evaluar el comportamiento. También da pie para introducir aquellos puntos que este trabajo mejora y para diferenciar las aportaciones de los trabajos ya existentes. Estas aportaciones están representadas en los objetivos 1 a 6.

Objetivo 1. Crear una metodología para el aprendizaje adaptativo de la conducción eficiente basada en los principios de formación continua, *on-the-job* training, personalización y *blended-learning*. Integrar el análisis del comportamiento de los conductores profesionales durante su jornada laboral con una evaluación continua, de forma que se cree una base que permita desarrollar la automatización de dichos procesos y la elaboración de unas recomendaciones de mejora.

Objetivo 2. Caracterizar el 100% del tiempo de conducción mediante la monitorización de los conductores durante su jornada laboral. Recoger eventos relevantes del proceso de conducción, como aceleraciones y frenadas, y agruparlos en una serie de patrones de comportamiento. Estos patrones comprenden sucesiones de dichos eventos en una ventana temporal, y se caracterizan mediante unas métricas específicas de cada uno.

Objetivo 3. Generar una clasificación temprana de conductores para asignarlos a grupos formativos. Partiendo de los patrones de comportamiento, y con el objetivo de lograr que el proceso formativo sea personalizado desde el primer momento, estos grupos formativos deben ser tan homogéneos como sea posible, de tal forma que un formador, sin conocer previamente a los alumnos, sea capaz de hacer hincapié en aquellos aspectos de la conducción eficiente que más necesita reforzar cada conductor.

Objetivo 4. Diseñar un método de evaluación de las capacidades de los conductores, relacionadas con la conducción eficiente. Estará basado en unos modelos de madurez (*Curtis, Hefley, y Miller 2009*) que, calculados en base a los patrones, permitan determinar la evolución de cada conductor en su contexto específico de trabajo. Una vez que el proceso formativo ya está en marcha tras la formación inicial, es necesario evaluar el desempeño y la evolución de cada conductor. Gracias a estos modelos de madurez, es posible saber en qué aspectos de la conducción mejora o empeora cada uno de ellos, y evaluarle de forma cuantitativa en una escala adaptada a su contexto laboral y de desempeño.

Objetivo 5. Crear un procedimiento para la comunicación de los resultados tanto a los responsables de la flota como al propio conductor, de forma clara y efectiva. Emitir de forma automática una serie de recomendaciones personalizadas, basadas en el desempeño de cada conductor, y que le permitan mejorar en aquellas facetas de la conducción eficiente que más dificultades le generen.

Objetivo 6. Evaluar los patrones y los modelos de madurez diseñados, así como el método de clasificación temprana, en contextos reales, para probar su utilidad práctica. Para ello se empleará el caso práctico de una EMT (Empresa Municipal de Transportes).

1.3 Organización del documento

En el *capítulo 2* se define el contexto que favorece la aparición de la conducción eficiente, así como la base de su aplicación, tanto para conductores particulares como profesionales. También se hace una revisión de la evolución desde que se empieza a tener en cuenta hasta la actualidad en todos los ámbitos de la materia que se tratan en el trabajo, como las técnicas de conducción, la formación, la monitorización, la evaluación y la comunicación de resultados.

En el *capítulo 3* se explica cómo es la metodología de aprendizaje adaptativo, basada en los principios de formación continua, *on-the-job training*, personalización y *blended learning*. Se describe en qué consiste el establecimiento del contexto de trabajo, las formaciones sucesivas, la evaluación de los diferentes estadios del aprendizaje y la comunicación de resultados.

En el *capítulo 4* se explica qué son los patrones de conducción eficiente, qué condiciones deben cumplir para ser útiles y por qué es mejor la búsqueda de patrones que la de eventos puntuales de ineficiencia. Se definen los patrones de ineficiencia, así como uno de seguridad. También se explica cómo evolucionan estos patrones desde su función inicial

de búsqueda de ineficiencias hasta el control por patrones del 100% del tiempo de conducción.

En el *capítulo 5* se describe la clasificación temprana de los asistentes a la formación, mediante el análisis de una cantidad muy pequeña de datos. Está basada en patrones de conducción eficiente y seguridad y permiten al formador personalizar los cursos desde el primer momento, adaptándolos a las necesidades de cada conductor.

En el *capítulo 6* se definen los modelos de madurez de los conductores. Se trata de un método de evaluación, basado en el grado de cumplimiento de los patrones. Determinan el nivel de complejidad de las técnicas de conducción eficiente que es capaz de aplicar cada conductor.

En el *capítulo 7* se define un método de automatización de los procesos de evaluación y de las recomendaciones de mejora. Su objetivo es aligerar el trabajo del analista, además de ofrecer al conductor una comunicación clara y fiable de sus puntos fuertes y débiles. Las recomendaciones, personalizadas en función del rendimiento de cada conductor, le ayudarán a mejorar su aplicación de las técnicas de conducción eficiente.

El *capítulo 8* es un caso de estudio que ilustra todo el método formativo, evaluando la validez de las aportaciones. Se hace una descripción de la flota sobre la que se realiza el estudio, para inmediatamente aplicar la clasificación temprana que permite asignar a cada conductor un grupo en la formación inicial. Posteriormente se analizan los datos del primer periodo de análisis para evaluar a los conductores y se reproduce el informe de uno de los conductores con sus recomendaciones automáticas personalizadas. Por último, se muestran los resultados de la evaluación de ese conductor en meses sucesivos para analizar su evolución.

Por último, las conclusiones del trabajo se explican en el *capítulo 9*, mientras que los trabajos futuros están descritos en el *capítulo 10*.

2 Estado del arte

Según se menciona en la sección 1.3 en este capítulo se define el contexto que favorece la aparición de la conducción eficiente. Se empieza por una definición de qué es la conducción eficiente, seguida de sus bases de aplicación y cómo evolucionan los diferentes aspectos que la afectan. Las últimas secciones del capítulo analizan la literatura sobre otros aspectos que afectan a la conducción eficiente y al desarrollo de esta tesis en concreto, como son la comunicación de resultados de una evaluación profesional y la captura de datos de conducción de los vehículos. Finalmente se describen brevemente las aportaciones de la tesis y cómo tratan de mejorar el estado actual del arte.

2.1 ¿Qué es la conducción eficiente?

Al revisar la literatura científica existente no es posible encontrar una definición en el sentido estricto de la palabra, sino que los distintos autores tienden a definirla mediante la enumeración de una serie de técnicas que en conjunto llevarían a obtener sus beneficios.

Son los documentos y las comunicaciones realizados por las instituciones los que se aproximan más a dar una definición. Así, el proyecto ecoDriver¹ de la Unión Europea, que se desarrolló entre 2011 y 2016, se define como un **“apoyo al conductor para que ahorre energía y reduzca las emisiones”**. Además, explica que lo hace mediante la invitación a los conductores para que adopten un comportamiento ecológico al conducir, aplicando una serie de recomendaciones adaptadas a sus vehículos. Enumera sus objetivos, entre los que están por supuesto la reducción de las emisiones mediante la aplicación de las técnicas mencionadas, pero también adecuar el interfaz hombre-máquina al estilo de conducción, las condiciones del tráfico, los nuevos tipos de combustibles y los diferentes tipos de vehículos. También busca que los navegadores, tanto los portátiles como los integrados de los coches, motiven a realizar una conducción eficiente, una mejora de la seguridad, escalar los resultados a nivel europeo y analizar el futuro de las emisiones de CO₂ desde el punto de vista político e institucional. Se puede ver cómo la conducción eficiente engloba mucho más que la simple aplicación de una serie de técnicas.

A nivel nacional el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), en el marco del proyecto europeo TREATISE, define la conducción eficiente (*IDAE 2005a*) como el conjunto de **“técnicas de conducción – y los fundamentos técnicos – que dan lugar a una conducción más eficiente, sostenible y segura”**. Es muy importante este último punto en el que se afirma que además de obtener el mejor rendimiento posible a la energía generada en el motor, hay que hacerlo de forma segura. En (*Barkenbus 2010*) el autor ve la necesidad de distinguir la conducción eficiente del *hypermiling*, que es un empeño extremo en la reducción

¹ <http://www.ecodriver-project.eu/about/overview/>

del consumo de combustible. Si bien emplea técnicas reconocidas y repetidas en la literatura para reducir el consumo y las emisiones, lleva otras al extremo y promulga otras que no tienen en cuenta la seguridad vial. Ejemplos de estas técnicas son apagar el motor cuando se circula cuesta abajo para no consumir, cosa que al menos con los vehículos europeos no sería necesario (*Silva, Ross, y Farias 2009*), y acercarse tanto al vehículo precedente que se reduzca al mínimo el rozamiento aerodinámico. No duda de la efectividad de estas técnicas a la hora de ahorrar combustible, pero sí incide en que vulneran las normas básicas de seguridad vial.

El propio IDAE emitió originalmente en 2002 un documento sobre conducción eficiente en vehículos industriales, cuya última actualización data de 2011 (*IDAE 2011*). En él se define la conducción eficiente como un **“estilo de conducción dinámico que implica saber adaptarse a las mejoras tecnológicas que incorporan los modernos vehículos industriales para su mejor aprovechamiento”**. Incorpora un nuevo elemento, que es la adaptación a las mejoras tecnológicas, lo que hace que la formación en conducción eficiente deba ser continua. Es un documento muy completo que explica el funcionamiento de los vehículos industriales y las mejores formas de aprovechar las mencionadas mejoras tecnológicas. Además, complementa la definición anterior al decir que, en el caso particular de los vehículos industriales consiste en **“una serie de técnicas que, unidas a una adecuada actitud del conductor, dan lugar a un nuevo estilo de conducción que logra importantes ahorros de carburante y reducción de emisiones al medio ambiente, así como una mejora de la seguridad”**. Se puede observar una nueva aportación al concepto de conducción eficiente, como es la actitud del conductor. Añade que depende de las instituciones y las gerencias de las empresas de transporte mostrar a los conductores cómo deben hacer las cosas para reducir el consumo y las emisiones, pero además deben motivar a los conductores para que las apliquen. Otro concepto que incluye, aunque como beneficio añadido y no como objetivo, es el confort y la reducción de estrés en la conducción.

Se puede observar que no hay unanimidad a la hora de definir qué es la conducción eficiente. Incluso un mismo organismo como el IDAE aporta varias definiciones en un mismo documento, aunque evidentemente aparecen factores comunes como el ahorro y la seguridad. En 2014 la Dirección General de Tráfico (DGT) de España publicó un documento didáctico y divulgativo orientado a presentar las claves y los beneficios de la conducción eficiente (*DGT 2014*). Es un documento orientado a adultos, pero con una estética muy amigable para los niños, lo que da muestra del intento por concienciar a los potenciales futuros usuarios de vehículos de transporte por carretera. En este documento se define la conducción eficiente como **“un nuevo modo de conducir que tiene como objetivo lograr un bajo consumo de carburante y reducir la contaminación ambiental, al tiempo que se obtiene un mayor confort en la conducción y una reducción de riesgos en la carretera”**. Para la DGT, la reducción de acelerones y frenazos, y el uso adecuado de la caja de cambios, disminuyendo el ruido del motor y evitando estados de estrés del conductor, ayudan a reducir el riesgo y la gravedad de los accidentes. Entre las recomendaciones que aporta, las hay en el ámbito del ahorro de combustible y de la seguridad vial. Resalta el mantener una buena distancia de seguridad, el uso de la inercia, la anticipación y la previsión, pero dice que lo que se debe cambiar para lograr buenos resultados es el comportamiento del conductor. En el resto del documento, aporta muchas más recomendaciones orientadas a los vehículos particulares, sobre todos los aspectos de conducción y algún caso particular como las rotondas y la conducción en caravana.

2.2 Fundamentos de la conducción eficiente

Una vez vista la dificultad de obtención de una única definición de conducción eficiente, el siguiente paso para caracterizarla será estudiar las técnicas que, según los diferentes autores, deben aplicarse para cumplir con todos los beneficios que se pueden obtener de este nuevo estilo de conducción. Hay una serie de artículos (*Staubach et al. 2014; Van Mierlo et al. 2004*), libros (*Armoush 2013; Moss 2010*), proyectos (*Van den Hoed, Harmelink, y Joosen 2006*) y las ya mencionadas guías del IDAE, que aportan reglas y recomendaciones de conducción eficiente.

Los autores en (*Van Mierlo et al. 2004*) dicen que el documento *The New Driving Force*, emitido por el gobierno holandés, llama a la conducción eficiente *The New Driving Style* (El nuevo estilo de conducción). Según este documento, la conducción eficiente consiste en realizar los **cambios de marcha** por debajo de las 2500 rpm en coches de gasolina (2000 en diésel), **acelerar vigorosamente para mantener la marcha del tráfico y no reducir marchas demasiado pronto**, circulando en marchas tan altas como sea posible. Tras realizar ciertos test sobre estas recomendaciones, concluyen que la segunda recomendación es muy confusa y una malinterpretación puede llevar a consumos mucho más elevados de los estándares. No solo eso, sino que determinan que, independientemente de las técnicas aplicadas, la menor cantidad de emisiones se consigue cuando el tráfico es más fluido. Por ello, defienden que la conducción eficiente consiste en hacer que el tráfico sea fluido, lo que afecta tanto a los conductores, que deben mantener la circulación viva, como a los gobiernos locales que deben adecuar las vías para que el tráfico sea lo más fluido posible.

En (*Staubach et al. 2014*) los autores hacen un estudio con un asistente de a bordo con el que dicen ahorrar entre un 16 y un 18% en un test realizado sobre simulador. Las recomendaciones del asistente se basan en la **utilización de la inercia** del vehículo (dejarlo rodar con la marcha engranada y sin pisar el acelerador) antes de semáforos, curvas y señales de stop. Esto les lleva a realizar **deceleraciones más prolongadas** y menos paradas en los semáforos. También incita a realizar los **cambios de marcha a más bajas revoluciones** del motor. Los resultados del estudio muestran que se obtienen mejores comportamientos en determinadas actitudes relacionadas con la seguridad, como una reducción en los excesos de velocidad y los frenazos, o una mayor fiabilidad a la hora de mantener la distancia de seguridad.

El libro de David Moss, *The efficient driver's handbook* (*Moss 2010*) hace una revisión muy completa de todos los aspectos de la conducción eficiente que resume en lo que, para él, son los seis puntos clave para ahorrar en el consumo de combustible:

- Disponer del vehículo apropiado para el uso que se le quiera dar.
- Aprender y dominar las reglas básicas para conducir de la forma más eficiente y económica.
- Darse cuenta de la importancia del mantenimiento del vehículo.
- Buscar información sobre la materia y probar a aplicarla, en lo que sería una actitud hacia la experimentación personal y el reconocimiento de aquellas reglas que mejor se ajustan a cada uno.
- Aprovechar las nuevas tecnologías de apoyo a la conducción.
- Concentrarse en la conducción mientras se está conduciendo, intentando evitar distracciones.

Estas son unas recomendaciones muy genéricas y que engloban varios aspectos de la conducción eficiente. En cuanto a las técnicas específicas de conducción, indica la necesidad de **anticipar las reacciones del tráfico** para intentar **detenerse lo menos posible, acelerar de forma progresiva** y conducir en la **marcha adecuada**. Además, **debe guardarse la distancia de seguridad** y no se deben superar los **límites de velocidad**.

Los autores de (*Van den Hoed, Harmelink, y Joosen 2006*) analizan el programa de *ecodriving* del gobierno holandés, del que, al igual que (*Moss 2010*), extraen seis puntos clave de dicho programa, que en este caso está orientado a implantar la conducción eficiente en la sociedad holandesa:

- Estimular a los conductores, especialmente los profesionales, a emplear la conducción eficiente.
- Formar a los profesores de autoescuela.
- Formar a los conductores noveles, integrando la conducción eficiente en los contenidos que se imparten en las autoescuelas.
- Utilizar dispositivos que realicen recomendaciones in situ sobre eficiencia.
- Comprar vehículos más eficientes.
- Prestar especial atención al mantenimiento, especialmente a la presión de los neumáticos en el día a día.

En cuanto a técnicas de conducción eficiente, las recomendaciones son **cambiar pronto de marcha**, antes de 2500 rpm en vehículos de gasolina y de 2000 en los diésel; **mantener la velocidad constante**, siempre en la **marcha lo más alta posible**; mirar tan adelante como sea posible para poder **anticipar los movimientos del tráfico**; y, por último, para decelerar o detenerse, dejar ir el vehículo levantando el pie del acelerador y con la marcha engranada, es decir, **usar la inercia**. Además, aporta una serie de recomendaciones adicionales, consistentes en apagar el motor en paradas superiores al minuto de duración, verificar la presión de los neumáticos una vez al mes, usar dispositivos de apoyo a la conducción, eliminar el sobre peso y evitar usar baca para transportar bultos.

Por supuesto, también las guías del IDAE hacen sus propias recomendaciones sobre las técnicas más adecuadas. En la guía (*IDAE 2005a*) se indica que se debe mantener la velocidad uniforme circulando en marchas altas (y por tanto a bajas revoluciones) y con el acelerador pisado al 75% de su recorrido. La **velocidad** debe ser **moderada**, sin alcanzar los límites marcados para cada una de las vías, y es necesario **anticipar los movimientos del tráfico**. Para las detenciones y deceleraciones propone **usar la inercia**, aunque añade la puntualización de hacerlo **en marchas lo más altas posible**. También aporta recomendaciones para afrontar las **cuestas**, tanto hacia **arriba**, donde recomienda **retrasar ligeramente el cambio de marchas**, mientras que **en bajada** recomienda **adelantar el cambio para reducir la retención del motor**. Respecto a las paradas, invita a **apagar el motor si se prevé que su duración vaya a ser mayor de un minuto**. Por último, para las curvas recomienda usar la inercia y tocar levemente el freno si fuera necesario, incluso reducir marchas, pero no frenar bruscamente.

Como conclusión a la revisión bibliográfica se podrían resumir las recomendaciones para la conducción eficiente en el siguiente listado:

1. **Arranque y puesta en marcha:** Arrancar el motor sin presionar el acelerador. En el caso de vehículos de gasolina, comenzar a moverse inmediatamente; si es

diésel esperar unos segundos. Arrancar el vehículo solo si se tiene la intención de moverse.

2. **Minimizar el tiempo al ralentí:** este es el período de tiempo cuando el vehículo tiene el motor en marcha, pero permanece parado. Durante este tiempo el vehículo está consumiendo, por lo que no debe calentarse el motor al ralentí. Los períodos de ralentí deben limitarse a las paradas de servicio, semáforos y pasos de cebra. Si la parada es superior a un minuto y la seguridad vial no se ve comprometida, la recomendación es apagar el motor.
3. **Mantener las rpm del motor dentro del rango de rendimiento recomendado de menor consumo de combustible:** (*Van Mierlo et al. 2004*) muestra que los mejores resultados en conducción eficiente, ecológica y segura se obtienen subiendo marchas tan pronto como sea posible, al alcanzar un determinado nivel de rpm, y bajándolas lo más tarde posible, de tal forma que el vehículo se mantenga en la marcha más alta posible sin desacoplar el embrague. En vehículos automáticos esto se consigue con la utilización de programaciones “eco”.
4. **Minimizar los cambios rápidos de marcha:** para evitar la subida de rpm debido a un cambio de marcha, cuando sea necesario aumentar dos marchas en muy poco tiempo, como por ejemplo en la entrada de una autopista, la recomendación es cambiar dos marchas a la vez teniendo cuidado de no hacerlo demasiado pronto, ya que se podría dificultar la aceleración. El objetivo es conducir en la marcha más alta y con bajas rpm tanto tiempo como sea posible. En un vehículo automático este efecto se podría conseguir usando una configuración “sport”, que cambia de marcha en un régimen motor mucho más alto, y subiendo las dos marchas de forma manual, volviendo entonces a la configuración “eco”.
5. **Mantener la velocidad por debajo de los valores recomendados para la carretera:** el consumo de combustible aumenta con la velocidad. Si la velocidad aumenta un 20% (por ejemplo, de 100 a 120 km / h), el consumo de combustible puede alcanzar incrementos del 44% (de 8 l / 100 km a 11.5 l / 100 km). La velocidad también se debe mantener lo más estable posible evitando el frenado repentino y los cambios de marcha innecesarios.
6. **Maximizar el uso de la inercia del motor:** el vehículo no tiene consumo de combustible mientras el automóvil está en marcha, las rpm del motor superan un valor mínimo (según el vehículo y el modelo) y el acelerador no está presionado.
7. **Evitar el frenado brusco:** excepto en casos de emergencia, se debe evitar un frenazo repentino para una conducción eficiente. La recomendación es hacer uso del motor o la inercia del vehículo y tocar el freno solo para realizar pequeñas correcciones o para la parada final.
8. **Desacelerar progresivamente:** para desacelerar, dejar que el vehículo avance sin reducir la marcha, frenar suave y gradualmente y bajar marchas tan tarde como sea posible. El modo “eco” de las cajas de cambio automáticas replica de forma bastante efectiva este funcionamiento.
9. **Acelerar inteligentemente:** la recomendación es conducir en la marcha más alta posible con el acelerador ligeramente presionado en lugar de conducir en marchas más bajas con más aceleración. Después de completar un cambio de marcha, la recomendación es acelerar. En todos los casos, siempre hay que mantener las rpm del motor dentro del rango recomendado.
10. **Conducir con anticipación y previsión:** la recomendación siempre es conducir con la distancia de seguridad adecuada y un amplio campo de visión para ver 2 o 3

vehículos por delante. Cuando se detecta un obstáculo o es necesaria una reducción de velocidad debido a las condiciones de la carretera, hay que levantar el pie del acelerador y aprovechar la inercia del motor para anticipar maniobras posteriores.

2.3 Influencia de la conducción eficiente en la reducción del consumo de combustible y de la emisión de gases de efecto invernadero.

Para intentar justificar la implantación de la conducción eficiente son muchos los autores que tratan de cuantificar su influencia en la reducción del consumo de combustible y de la emisión de gases de efecto invernadero. A modo de resumen es interesante el artículo de *(Alam y McNabola 2014)*, que aporta un estudio en el que los autores se hacen eco de todos los supuestos beneficios de la conducción eficiente, pero en el que también analizan los posibles inconvenientes que pueden afectar a los vehículos. Indican que el potencial de ahorro energético y reducción de emisiones es incontestable, pero advierten de la existencia de opiniones encontradas en cuanto el tráfico se vuelve más pesado y la circulación más lenta. Se incluye la *Tabla 2.1* de *(Alam y McNabola 2014)* como ilustración de los logros obtenidos en materia de ahorro de combustible y reducción de emisiones por muchos de los trabajos relacionados que se irán desglosando en este Estado del Arte.

En ella se muestran detalles de una serie de artículos que reflejan pruebas de conducción eficiente, así como el tipo de estudio, metodología (incluyendo evaluación) y consideraciones, y reducciones en consumos y emisiones, exponiendo de forma esquemática el contenido del artículo. Se puede ver a primera vista que no son habituales los estudios que analizan al mismo tiempo ahorro en consumo y reducción de emisiones, aunque en algunos casos como *(Rolim et al. 2014)*, *(Barth y Boriboonsomsin 2009)* y *(Barkenbus 2010)* sí se hace, si bien este último es únicamente una revisión de la literatura existente, por lo que extrae conclusiones en base a los estudios de las referencias citadas en el mismo.

Tabla 2.1 Resumen de logros de investigaciones en Conducción Eficiente referentes a ahorro de combustible y reducción de emisiones (Alam y McNabola 2014)

Autores	Tipo de estudio/objetivo	Metodología	Evaluación	Ahorro de Combustible	Reducción de emisiones de CO ₂
(Rolim et al. 2014)	Pruebas de campo. Formación en conducción eficiente con y sin feedback.	20 conductores (11 en el grupo de control); 1364 días; 8137 trayectos	Consumo Emisiones	FCE: 4,8%	6,56g/km 8% NO _x
(Boriboonsomsin, Vu, y Barth 2010)	Pruebas de campo. Feedback instantáneo con DACE. Test sin CE.	20 conductores; 2 semanas	Consumo	DACE; vía urbana 6%; autopistas 1%	-
(Zarkadoula, Zoidis, y Tritopoulou 2007)	Pruebas de campo. Formación en ruta, seguida de situaciones de conducción real.	3 conductores; formación en ruta de 15km	Consumo Tiempo	FCE: 10,2% CE: 4,5% en condiciones reales	-
(Qian, Chung, y Horiguchi 2013)	Pruebas de campo. Dos formadores en un parque móvil de 15 vehículos.	15 conductores en un tramo recto de 1km con tres intersecciones	Consumo Tiempo	CE: 2,9%-18,7%	-
(Beusen et al. 2009)	Pruebas de campo. Análisis antes y después de la formación	10 conductores, 10 meses.	Consumo Comportamiento	DACE: 5,8% global (20% de conductores sin ahorro de combustible)	-
(Ando, Nishihori, y Kachi 2011)	Pruebas de campo. Serie de trayectos en condiciones normales de tráfico.	15 vehículos circulan en sucesión durante 16 trayectos en una ruta de 6,4km durante 2 días	Otros	Mejora de 0,9km/l	-
(Strömberg y Karlsson 2013)	Pruebas de campo. Grupo 1: DACE. Grupo 2: DACE y FCE. Grupo 3: Control.	54 conductores; ruta de 16km; periodo de 6 semanas.	Consumo Distancias (frenazos y aceleraciones)	6,8% sin diferencia entre los grupos 1 y 2	-

(Rutty et al. 2013)	Pruebas de campo. Estudio en 3 fases. Curso de CE. Monitorización y feedback. Formación.	15 Conductores. Resultados como conclusión de la última fase. Un mes para cada fase.	Emisiones Tiempo de ralentí	-	1,7kg por vehículo y día
(Barth y Boriboonsomsin 2009)	Simulación* y prueba de campo limitada con DACE	Autopista. Coches	Consumo Emisiones	Simulación: 37% Prueba de campo: 13%	Simulación: 35% Prueba de campo: 12%
(Barkenbus 2010)	Revisión de literatura	Conclusión de varias investigaciones	Consumo Emisiones	CE: 10%; 42800 millones de litros a nivel nacional (EEUU)	Escenario conservador: 33 millones de toneladas
(Miller et al. 2011) (Klunder, G.A. et al. 2009)	Informe Informe	Conclusión de varias investigaciones Conclusión de varias investigaciones	Consumo Consumo	DACE/CE moderada: 15% FCE: 5-15% DACE: 10%	- -
(Sivak y Schoettle 2012)	Revisión de literatura	Análisis de datos de diversas fuentes	Consumo Estilo de conducción	EC Control de velocidad: 7-30% EC Cond. Agresiva: 20-30%	-
(Berg 2007)	Políticas nacionales (Holanda)	Conclusiones con los datos de un programa	Emisiones	-	CE: 0,3Mtoneladas directas CE: 0,6Mtoneladas indirectas
(Wilbers y Wardenaar 2007)	Informe	Conclusión de varias investigaciones	Consumo	CE: 10% ahorro	-
(Mensing, Trigni, y Bideaux 2011)	Modelo desarrollado para una ganancia potencial en consumo	Algoritmo probado en un ámbito de tráfico urbano libre	Consumo	34% de ahorro máximo	-
(Kobayashi, Tsubota, y Kawashima 2007)	Comparación de modelos entre 100%, 50% y 0% CE	Tramo recto de 1km de carretera con dos señales de tráfico	Emisiones	-	Aumento del total de CO ₂ en condiciones de tráfico pesado
(Saboochi y Farzaneh 2009)	Desarrollo de un algoritmo usando teoría micro-económica	Probado en cinco escenarios considerando el nivel de tráfico y accidentes	Consumo	1,5l/100km	-

(Qian y Chung 2011)	Modelización. Aceleración moderada/suave (con diferentes ratios de penetración de CE)	Una intersección con vías de más de un carril	Emisiones	-	Reducción de emisiones de CO ₂ de forma individual. Aumento del nivel de CO ₂ en la intersección.
---------------------	---	---	-----------	---	--

*20% de penetración de CE; CE = Conducción Eficiente en general; FCE = Formación en Conducción Eficiente; DACE: Dispositivo de Asistencia para la Conducción Eficiente.

Hay varios tipos de estudios representados en esta tabla, destacando los experimentos en carretera, que se dan en ocho de los artículos citados, nueve considerando a *(Barth y Boriboonsomsin 2009)* que también hace simulación. Las dimensiones de los estudios realizados varían desde los 3 conductores de *(Zarkadoula, Zoidis, y Tritopoulou 2007)*, que realizan una formación en ruta de 15km, y los 54 conductores de *(Strömberg y Karlsson 2013)* que realizan rutas de 16km a lo largo de 6 semanas. Además, también es destacable que varios de ellos toman sus datos de conducción real, sin preparar un escenario específico, como Zarkadoula, Beusen, Boriboonsomsin (2010), Strömberg o Alam, mientras que los demás establecen unas condiciones artificiales específicas, aunque las pruebas se desarrollen en carretera abierta, y buscan unos resultados en un aspecto concreto.

De entre los estudios realizados tras pruebas en carretera, *(Zarkadoula, Zoidis, y Tritopoulou 2007)* es el más antiguo de los aquí referenciados. Se trata de un estudio encargado por el Centro de Fuentes de Energías Renovables de Grecia en colaboración con la principal flota de autobuses de Grecia, ETHEL, y la EMT de Atenas, OASA. Consiste en un programa piloto formado por seis fases, siendo las tres primeras de planificación del programa. Entre ellas destaca la toma de datos durante mes y medio, en la que obtienen consumos, distancias recorridas y velocidades medias en dos autobuses. Luego realizan un curso a tres conductores, que deben conducir por una ruta de 15km previamente a recibir ningún tipo de indicación. Después asisten a un curso teórico para, finalmente, repetir la ruta anterior aplicando las técnicas aprendidas. Los resultados varían entre un ahorro en consumo del 17,80% (reduciendo el tiempo en un 3%) y un aumento del 1,78% (aumentando también el tiempo en un 40%). Posteriormente realizan una etapa de post-formación de dos meses, en la que recogen datos de los dos autobuses empleados previamente y finalmente analizan los resultados, con un ahorro en el consumo medio del 4,35%, además de un descenso en los niveles de ruido y una reducción de los costes de mantenimiento que no cuantifican ni justifican.

El análisis de *(Beusen et al. 2009)* es algo más meticuloso, ya que se realiza sobre diez conductores durante diez meses, aunque se utilizan coches particulares y no autobuses. Veinte de los treinta vehículos de que disponían originalmente no proporcionaban una calidad de datos suficientemente buena. Utilizan un dispositivo GPS para determinar posición y velocidad, además de extraer del vehículo otros datos como consumo instantáneo, kilometraje, rpm y posición del pedal del acelerador. Tras varios meses de monitorización, los conductores asisten a un curso teórico de cuatro horas, para después continuar con la segunda mitad del tiempo total estipulado para el proyecto. Los resultados muestran un cambio en el comportamiento de los conductores, sobre todo en un mayor uso de la inercia, y una reducción del consumo de un 6% de media. Sin embargo, lo más relevante de este estudio es que demuestra cómo, en la mayoría de los casos, el efecto del curso se va disipando con el tiempo, volviendo a los valores iniciales, como muestra la *Figura 2.1*. En ella se ven las progresiones del rendimiento de los diez conductores a lo largo de los diez meses de observación. Las gráficas muestran, en el eje horizontal, las semanas transcurridas antes y después de la formación teórica, que se imparte en el punto 0, y en el vertical el consumo medio medido en porcentaje sobre el obtenido la semana 0, justo antes de la formación. Cada uno de los puntos representa el consumo medido en la correspondiente semana. Ocho de los diez conductores muestran una mejora inmediatamente después de la formación, aunque 5 de ellos vuelven posteriormente a empeorar de forma progresiva. Por su parte los conductores 1, 8 y 9

logran mantener o mejorar sus registros de la semana 1 con el paso del tiempo. El conductor 10 no experimenta un efecto inmediato tras el curso teórico, aunque empeora sus registros según avanzan las semanas. Por último, el conductor 2 es un caso atípico, ya que tras la formación empeora sensiblemente su consumo y posteriormente lo sigue haciendo, aunque de forma más progresiva.

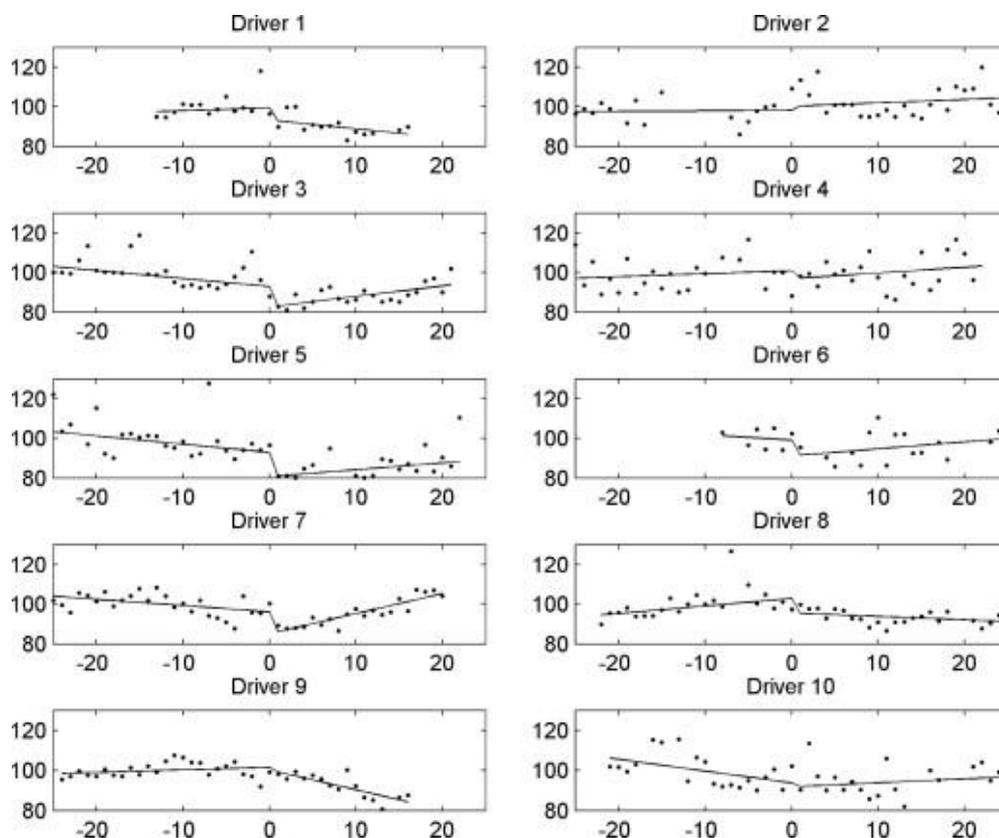


Figura 2.1 Efecto a largo plazo de la formación en conducción eficiente sobre el rendimiento de los conductores (Beusen et al. 2009)

El estudio de (Barth y Boriboonsomsin 2009) incluye un dispositivo de notificación en tiempo real, además de un sistema de análisis del tráfico que permite notificar, en tiempo real, velocidad, densidad y fluidez del tráfico. Con estos datos, el dispositivo recomienda una velocidad que el conductor debe alcanzar. En cada experimento se incluye un vehículo con este sistema de recomendación y otro sin él. Se repite la prueba en varias carreteras y con varias condiciones de congestión del tráfico. Los resultados muestran una reducción del 13% de consumo de combustible y del 12% en emisiones de CO₂.

Un año después, en (Boriboonsomsin, Vu, y Barth 2010) incluyen un nuevo dispositivo de a bordo, así como un GPS. Este dispositivo muestra la economía de combustible (en millas recorridas por galón de combustible) y emisiones de CO₂ en tiempo real, además de un resumen final de cada viaje con velocidades máximas y medias, distancia, consumo y emisiones totales, así como consumo instantáneo máximo y economía media de consumo. Partiendo de una muestra mayor, seleccionan 20 conductores con sus 20 vehículos particulares, a los que monitorizan durante 2 semanas. Finalmente reportan un ahorro de un 6% de combustible, que se reduce a un 1% en los tramos de autopista. Además, realizan un sondeo entre los participantes según el cual

estarían dispuestos a seguir empleando las técnicas de conducción eficiente (7,4 puntos sobre 10, que aumentaría a 9,5 si subiera el precio del combustible).

El análisis de *(Ando, Nishihori, y Kachi 2011)* es más novedoso, ya que pretenden ver el efecto que causan en el tráfico los vehículos que aplican técnicas de conducción eficiente. Para lograrlo, analizan el comportamiento de los vehículos que siguen a otro que hace conducción eficiente. Disponen un vehículo que conduce de manera eficiente y el vehículo del observador, que va detrás a una distancia que permite que un tercer vehículo ajeno al estudio se coloque entre ambos. El vehículo en cabeza lleva una pegatina bien visible indicando que está realizando un experimento de eco-driving. Miden sus resultados en función de tres acciones de vehículo eficiente: la aceleración suave, el mantenimiento de la velocidad constante y el uso de la inercia. Aunque consideran varias posibles acciones del coche seguidor, hacen hincapié en los adelantamientos. La prueba se realiza en un tramo urbano que dividen en tres secciones, que en realidad son 6 ya que la realizan en los dos sentidos: la primera, de 2,1 km de longitud, tiene 1 carril en sentido sur y 2 en sentido norte, con una velocidad límite de 50 km/h; la segunda 2 carriles en cada sentido a 50 km/h; y la tercera dos carriles en cada sentido a 60 km/h. La densidad de semáforos es de unos 3 por kilómetro. Se realizan 16 recorridos completos que suponen 592 minutos de observación, de los cuales un 75,8% se hace con un coche siguiendo al vehículo en cabeza. Se demuestra que el índice de adelantamientos es mayor cuanto más se ajustan los distintos vehículos en cabeza a los parámetros de conducción eficiente. Además, en una última prueba en la que repiten el experimento sin las pegatinas, se reducen notablemente los adelantamientos (de un 27 a un 18%). Por último, el tiempo medio de seguimiento fue de 2,2 minutos, mientras que los coches que terminan adelantando lo hicieron tras 1,5 minutos de media.

En *(Qian, Chung, y Horiguchi 2013)* preparan un escenario de pruebas en una pista cerrada. Consiste en circular durante un kilómetro en línea recta. Por el camino hay tres intersecciones con semáforo. Los 15 vehículos se aproximan a cada intersección en fila y entre ellos se distribuyen 0, 1 o 2 conductores expertos en conducción eficiente en diferentes posiciones. Se realizan 10 configuraciones diferentes, consistentes en colocar en diferentes posiciones de la fila a los conductores expertos, y cada una se repite tres veces. Evalúan el consumo total de combustible y la velocidad con la que se descarga la fila de 15 coches tras cada detención, es decir, el tiempo que pasa entre que se abre el semáforo hasta que se pone en marcha el decimoquinto vehículo de la fila. Partiendo de un caso base en el que no hay conductores eficientes, uno de los expertos obtiene una reducción de consumo del 18,7% respecto al conductor no experto que llevaba su coche inicialmente, y el otro del 2,9%. También concluyen que el tiempo de descarga de la cola de coches en las intersecciones aumenta cuando mejora la conducción eficiente.

Los estudios de *(Strömberg y Karlsson 2013)* se desarrollan con conductores de autobuses. Dividen a los conductores de una misma línea de autobús en tres grupos. El primero de los grupos recibe instrucciones de un tutor a bordo. El segundo, además, asiste a sesiones formativas individuales y el tercero actúa como grupo de control, con conocimiento sobre la realización de las pruebas, pero sin ningún tipo de apoyo aunque, al igual que los demás, debe registrar su ID al ponerse al volante para que el dispositivo pueda tomar datos de conducción. Previamente se realiza un periodo de monitorización para determinar la línea base (tres semanas). Se emplean 54 conductores, todos ellos trabajando en una línea de bus urbano de 16km. En el artículo se realiza un detallado

estudio del contexto de la prueba con distancia media entre paradas, velocidad media de la ruta, impacto del tráfico, nivel de ocupación del autobús y utilizando siempre el mismo tipo de vehículo. El test dura 3 semanas. Registran distancia, tiempo de conducción, tiempo de ralentí (en porcentaje sobre el tiempo total), tiempo de velocidad excesiva (en porcentaje sobre el tiempo total), frenazos (cada 100km), tiempo de inercia (en porcentaje sobre el total del tiempo) y consumo (en litros cada 100km). Solo 20 de los 54 conductores activan en algún momento del test su ID en el dispositivo de monitorización, entre ellos el 75% de aquellos que habían recibido sesiones personales y solo el 27% de los del grupo de control. La razón más repetida para no hacerlo es que les causa estrés. En cuanto a los resultados, el bajo índice de identificaciones no les permite realizar el pretendido análisis por grupos. Reportan una reducción de casi el 7% sin distinción de grupo. Lo que sí señalan es que hubo un mayor descenso del consumo durante los fines de semana con motivo de una menor afluencia de pasajeros, resultando en vehículos más ligeros.

El mismo año (*Rutty et al. 2013*) basa su estudio en el análisis de los periodos de ralentí en los vehículos municipales del departamento de mantenimiento de edificios municipales con el objetivo de calcular la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Lo hacen en tres fases: cálculo de línea base, formación y adquisición de datos post-formación. Los 15 conductores seleccionados pertenecen al servicio de mantenimiento y realizan entre 12 y 25 inspecciones diarias en la ciudad de Calgary. Añaden que estos inspectores realizan gran parte de su papeleo en el vehículo, donde disponen de portátil, impresora y unidad de GPS que funcionan con una fuente adicional de energía, por lo que el potencial de reducción del tiempo de ralentí es alto. Los dispositivos de monitorización se montan en 11 vehículos de gasolina y 4 híbridos. Capturan en la primera fase una serie de datos entre los que destacan tiempos y distancias totales y medias (por viaje), velocidad media y máxima (por viaje), número de aceleraciones y frenadas fuertes, tiempo total y relativo (porcentaje sobre el total) de ralentí y consumo y emisiones totales debidos al ralentí. En la segunda fase utilizan estos datos para dar feedback a los conductores durante una sesión teórica, con gran incidencia en reducir el tiempo al ralentí. Los resultados son una reducción de entre el 4 y el 10% del tiempo al ralentí, con descenso medio en las emisiones de 1,7kg de CO₂ por vehículo y día (aproximadamente un 31,5%).

El último de los estudios analizados por (*Alam y McNabola 2014*) en el que se realizan pruebas de campo es (*Rolim et al. 2014*). En este trabajo los autores buscan reducir consumo y emisiones de un grupo de 20 conductores, de los cuales 9 reciben formación tras una fase inicial de captura de datos de entre dos y tres meses para determinar la línea base. Este es un estudio muy amplio, el mayor de los aquí referidos, habiendo monitorizado más de 100.000km. Los 9 conductores del grupo de estudio son monitorizados otros 2-3 meses tras la formación, mientras que a los 11 restantes se les controla otros 10-15 días. Las reducciones de consumo y emisiones de NO_x son del 4,8% y del 8% respectivamente, así como de 6,56g/km de CO₂, que se justifican en la reducción de aceleraciones y deceleraciones excesivas, así como de los excesos de velocidad.

No es fácil encontrar ensayos de carretera posteriores a 2014 que aporten novedades en la formación. De hecho, se puede ver cómo muchos de los trabajos aquí expuestos usan métodos similares para obtener resultados también similares. En una de esas excepciones (*Huertas et al. 2018*) logran que un conductor experimentado mejore

un 10% adicional sobre la media de una flota que, en trayectos interurbanos, ya había reducido su consumo en un 25%. Lo consiguen aleccionándole, mediante la utilización de un tutor a bordo, para que circule en los parámetros de velocidad y rango de rpm en que lo hacen habitualmente los mejores conductores de dicha flota en términos de consumo.

También hace referencia la *Tabla 2.1* a varios artículos recopilatorios o a informes de organizaciones, que dan sus conclusiones en base a las investigaciones y estudios de otros autores. En esta tipología de artículos, es el de (*Sivak y Schoettle 2012*) el que aporta una mayor mejora en cuanto a consumo, con hasta un 30% con respecto a una conducción agresiva y utilizando control de velocidad. Por su parte el menor ahorro se da en (*Klunder, G.A. et al. 2009*) en su horquilla más baja con un 5% tras una formación, aunque podría aumentar hasta el 15% en función del conductor, y asegura un 10% si utiliza un dispositivo de asistencia en tiempo real. En lo referente a emisiones, (*Barkenbus 2010*) dice que se podrían asegurar 33 millones de toneladas menos de emisiones en EEUU si todo el mundo aplicase la conducción eficiente, en un escenario conservador. Por otro lado, según (*Berg 2007*), Holanda reduciría las suyas en 0,3 millones de toneladas de forma directa, y 0,6 de forma indirecta, si se aplicasen con normalidad las políticas nacionales que describe en su informe.

Finalmente, el último tipo de artículo que se encuentra en la literatura relacionada con la conducción eficiente es aquel en que los autores desarrollan un modelo matemático que busca calcular las reducciones en el consumo y/o emisiones de gases de efecto invernadero gracias a la conducción eficiente. Dos de ellos aplican sus algoritmos a la reducción de consumo, aunque no son comparables por utilizar diferentes métricas, y otros dos utilizan la simulación para determinar la evolución de las emisiones al aplicar la conducción eficiente. Así, (*Saboohi y Farzaneh 2009*) obtienen un ahorro de 1,5l/100km con un algoritmo basado en la teoría micro-económica y testado en 5 escenarios considerando diferentes niveles de densidad de tráfico y accidentes. Por su parte, (*Mensing, Trigui, y Bideaux 2011*) fijan unos ciclos de conducción basados en datos reales y en la disposición de las velocidades máximas permitidas en cada tipo de vía en Francia. Obtienen un ahorro máximo del 34% con un algoritmo testado en condiciones de tráfico urbano estándar. En lo referente a emisiones, tanto los resultados de (*Kobayashi, Tsubota, y Kawashima 2007*) como los de (*Qian y Chung 2011*) son mucho menos concretos, aunque ambos coinciden en que el nivel de emisiones aumenta, utilizando la conducción eficiente, en condiciones de tráfico pesado, aunque el segundo también afirma que, en el global, las emisiones son menores.

Una conclusión que se puede obtener de toda esta revisión de resultados de los diferentes estudios sobre conducción eficiente es que todos ellos emplean como principales métodos de evaluación, si no los únicos, el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero. Si bien es en cierto modo lógico, ya que el objetivo final de la conducción eficiente es la reducción de estos dos parámetros, está sobradamente demostrado que sobre ellos tienen incidencia múltiples elementos del contexto que no son controlables por el conductor, como se determina en los estudios de (*Liimatainen 2011*) y (*Lai 2015*). Es por esto que los resultados de aquellos estudios que se hacen mediante la toma de datos reales son más fiables que los que se hacen por simulación. En un test en carretera, aunque en el planteamiento no se consideren determinados aspectos del contexto, estos terminan por afectar a los resultados, que por lo general tienden a ofrecer ahorros o reducciones de emisiones más pequeños que las

simulaciones. Estas últimas, sin embargo, ven sus resultados hinchados ya que aquellos aspectos del contexto que no se consideran en el planteamiento, quedan obviados y no se reflejan en el resultado final.

2.4 Evolución de la formación en conducción eficiente

De la misma manera que con las técnicas de conducción eficiente, las metodologías de enseñanza para la conducción eficiente también evolucionan constantemente. Desde el curso tradicional que consta de una sesión presencial teórica a la incorporación de sesiones prácticas individuales, y a otras metodologías más sofisticadas que incluyen prácticas, informes personalizados a modo de feedback para el alumno y cursos de refuerzo. Para conductores particulares hay múltiples métodos como los que propone (*IDAE 2005a*). Divide las posibles acciones que se pueden tomar en este ámbito entre concienciación, difusión y distribución de la información, y la aplicación de programas de formación. En la parte de difusión habla de hacer ver a la gente el ahorro que se puede conseguir, mientras que para la difusión se centra en campañas de publicidad en prensa y tv, así como en Internet. Respecto a la formación, se puede impartir en varios formatos, como pueden ser cursos en tráfico real (autoescuelas), mediante simulador o cursos virtuales.

En (*Andrieu y Pierre 2012*) comparan los resultados de dos formaciones diferentes llevadas a cabo con conductores diferentes no profesionales. En ambos casos los conductores objeto de estudio realizan un recorrido en condiciones normales, antes de aplicárseles cualquier metodología formativa. En el primer caso, lo repiten tras recibir leves indicaciones sobre las reglas básicas de conducción eficiente, mientras que en el segundo reciben un curso completo, incluyendo una demostración práctica de monitores especializados. Sus resultados muestran mejor aplicación de las técnicas tras el curso completo, aunque no muy acusada, lo que achacan a la proximidad de la formación, inmediatamente anterior al experimento en ambos casos, y consideran necesario realizar controles periódicos para ver la duración de las enseñanzas en el quehacer de los conductores en función del método empleado. Sin embargo, para que estos programas de formación tengan éxito, antes deben darse las dos fases anteriores de concienciación y difusión de la conducción eficiente, ya que debe ser el particular quien acuda a realizar el curso.

Uno de los ámbitos de mayor interés es el proceso de enseñanza en conductores profesionales, ya que deben aplicar las nuevas técnicas y comportamientos aprendidos durante toda su jornada laboral, por lo que debería explotarse la formación en el trabajo. En este ámbito la guía (*IDAE 2005b*) hace una propuesta más concreta de formación aplicada a conductores profesionales de vehículos industriales, que además es la más extendida entre los estudios realizados al respecto. Consiste en hacer un trayecto libre, sin tener conocimiento de las técnicas conducción eficiente, y posteriormente dar un curso teórico donde se explican todas las recomendaciones. Posteriormente se repite el trayecto anterior y se comparan los resultados en una formación final en que se resuelven dudas y se aclaran conceptos que tras el primer curso teórico no hayan quedado claros.

La formación en el trabajo es un elemento fundamental a la hora de evaluar la conducción eficiente en conductores profesionales, puesto que durante una jornada laboral completa deben enfrentarse a diferentes situaciones que afectan al estilo de conducción. Es por ello que en (*Dogan, Steg, y Delhomme 2011*) proponen un

experimento basado en la simulación para evaluar cómo los conductores gestionan diferentes objetivos mientras conducen en diferentes escenarios. Concluyen que los ahorros de combustible están influenciados por otros objetivos, como los de ahorro de tiempo. Por tanto, el contexto óptimo para evaluar la conducción eficiente es durante la actividad laboral normal.

Aunque los cursos prácticos sean muy efectivos en el corto plazo, algunos autores como (*Beusen et al. 2009*) defienden que el aprendizaje se va olvidando y los resultados deteriorándose con el paso del tiempo. Analizando el consumo y el punto de cambio de marcha utilizado por cada conductor, y con una metodología de formación basada en la observación previa y posterior a un curso presencial y teórico, concluye que, si bien el curso tiene un efecto inmediato en los resultados obtenidos por la mayoría de los conductores, este efecto se disipa con el tiempo, llegando a empeorar los datos de consumo y punto de cambio de marcha inmediatamente previos al curso.

Por otro lado, las formaciones fuera del trabajo se muestran poco efectivas en el caso de los conductores profesionales. (*Wu et al. 2018*) hacen una formación teórica y un coaching sobre un simulador con 15 conductores profesionales y 15 no profesionales, con una serie de pruebas que deben superar tras la sesión teórica y tras un coaching individual. Los conductores no profesionales mejoran más tras la teoría y en el global de la prueba, mientras que los profesionales son más receptivos al coaching, pero se quedan por detrás en el global. Además, los conductores profesionales se adaptan mejor a las indicaciones cuando aceleran, mientras que a la hora de detener el vehículo usando la inercia, los no profesionales lo hacen mejor.

En (*Zarkadoula, Zoidis, y Tritopoulou 2007*), los autores describen un proceso formativo similar al de (*IDAE 2005b*) y basan sus resultados exclusivamente en la diferencia entre los consumos del trayecto libre y del trayecto con indicaciones del experto, con lo que puede saber si el conductor mejora o empeora, pero no la razón de ese cambio. Además, hace referencia al ya comentado deterioro de los resultados con el paso del tiempo, al decir que el ahorro definitivo del programa hubiera sido mayor de haber realizado formaciones periódicas, ya que los mayores ahorros de combustible se produjeron inmediatamente después de la formación.

Hay métodos formativos que combinan los elementos técnicos de monitorización y asistencia con la formación presencial con profesores especializados. Este tipo de combinación suele darse en el ámbito laboral, ya que la principal facilidad que aporta la formación en el trabajo, además de asegurarse que los conductores dedican una gran cantidad de tiempo a conducir, es la de facilitar la instalación de dispositivos de monitorización continua en los vehículos. Estos dispositivos permiten hacer el seguimiento de la evolución de los conductores sin necesidad de que haya un monitor presente. Gracias a este método, (*Duarte, Gonçalves, y Farias 2013*) capturan una serie de eventos puntuales como fuertes aceleraciones, uso del *kickdown* (técnica para vehículos automáticos consistente en pisar el acelerador a fondo, haciendo que se reduzca una marcha y proporcionando potencia extra al vehículo), encendido, exceso de frenada, etc. Por medio de una serie de fórmulas, calculan la diferencia entre la conducción realizada por los trabajadores y lo que sería óptimo en base a los umbrales que activan los mencionados eventos. Aplican este procedimiento en dos empresas, en una de ellas con tutorización a bordo. En la empresa sin tutorización a bordo la mejoría fue del 2,3% el primer año y otro 1,1% el segundo en consumo de combustible. La

empresa con tutor a bordo captura datos distintos, en base a un indicador de potencia sobre el que calculan un trayecto óptimo que comparan con el real realizado por el conductor. La diferencia (siempre a favor del trayecto ideal) es del 5,8% de energía consumida si el conductor se comporta de manera normal, y de un 16,8% si lo hace de forma agresiva.

El propuesto por (*Rionda et al. 2014*) podría ser uno de los métodos de formación para conductores profesionales más completos que existen. Utilizan un sistema embarcado, incorporado de forma permanente al vehículo monitorizado, que capta los datos de conducción (*Rionda et al. 2012*). Estos datos se capturan en un primer modo que llaman “caja negra”, idealmente sin conocimiento de los conductores, y que permite establecer las líneas base que sirven como referencia. Al finalizar el periodo de caja negra se realiza la formación, con un trayecto libre y otro dirigido por un instructor, además de un curso teórico presencial entre ambos. Luego empieza la fase de seguimiento, donde los datos de conducción capturados son almacenados por la empresa que los procesa, los analiza, entrega reportes periódicos a los conductores y a los responsables de la flota, y propone seminarios de refuerzo y actualización. Esta metodología combina las ventajas del tradicional enfoque cara a cara de los cursos teórico-prácticos, con la utilización de herramientas electrónicas que abaratan el día a día del proceso de aprendizaje y facilitan que este se produzca en el puesto de trabajo, minimizando las actividades fuera del mismo. También muestra su fuerza en el largo plazo gracias a las continuas actualizaciones de los resultados del conductor, que muestran su evaluación, y a los seminarios de refuerzo.

El sistema embarcado originalmente estaba orientado a su utilización en una aplicación móvil, si bien al llevarlo al campo de las empresas de transporte evolucionó hacia un tutor en tiempo real. Se gestiona la captación de datos a través de la conexión ODB-II. Se capturan una serie de datos como velocidad, rpm, porcentaje de carga del motor, uso del acelerador, cantidad de aire en la mezcla, etc. A partir de estos datos, obtenidos directamente de la centralita del vehículo, así como otros generados por la instrumentación propia del embarcado (posición GPS, aceleración, etc), se generan una serie de alarmas de aceleración o frenado, de velocidad, de ralentí o de exceso de rpm que advierten al conductor cuando incumple alguno de estos parámetros. Además, todos estos datos son enviados a unos servidores que los almacenan y permiten la generación de los informes periódicos y sirven para documentar los seminarios de refuerzo.

Una posterior evolución de este método viene definida en (*Pozueco et al. 2015*), donde se desarrolla una formación que se va adaptando a las necesidades del conductor según este evoluciona en la aplicación de la conducción eficiente. Para ello se identifican los problemas más acusados de cada conductor y los sitúa en el lugar geográfico en que los comete con mayor asiduidad, de forma que en los seminarios de refuerzo el formador pueda acudir a dicho punto y explicar de forma personalizada, práctica e in situ los errores que comete cada conductor. Este método de formación adaptativa es el que se toma como base de la tesis. Una explicación más detallada se expone en el *capítulo 3*.

2.5 Evaluación de la conducción eficiente

Independientemente del proceso de formación que se escoja, la necesidad de una evaluación justa de la conducción eficiente es crítica para realizar una labor de reconocimiento de la mejora continua en conducción eficiente (en aquellos casos en que

hay una evolución positiva en la evaluación de resultados) de tal manera que se mantenga la motivación de los conductores y se facilite la continuidad del comportamiento eficiente. En este sentido los autores de (*Bradler, C. et al. 2013*) defienden además que aunque también es positivo, no conviene incentivar solo al mejor de un grupo. Según este artículo, se obtienen mejores resultados si se da el reconocimiento a un pequeño grupo (en su caso de estudio los 3 mejores de 8), argumentando que de esta manera el que no es reconocido aumenta su sensación de no estar al nivel del grupo. Además, un sistema de evaluación justo también establece la base de un programa de recompensas, teniendo en cuenta que los incentivos han probado ser una buena forma de motivación para conseguir buenos hábitos de conducción eficiente en el trabajo, tal y como desarrollan en su artículo (*Schall y Mohnen 2017*). Además, su experimento plantea la diferencia de efectividad entre un incentivo monetario y otro no monetario, que puede ser tangible o con valor económico (vales de restaurante, un iPod, etc) o intangible o sin valor económico (premios simbólicos o perspectivas de promoción profesional), aunque se centran en los tangibles por la extrema amplitud de posibilidades que ofrecen los intangibles. Descubrieron que la reducción en el consumo fue mayor en el caso de las recompensas no monetarias tangibles que en el de las recompensas monetarias. Concluyen que es así porque los trabajadores tienen poca tendencia a hablar de temas económicos, mientras que un premio no monetario hace aumentar los comentarios sobre la conducción eficiente. Esto hace que los conductores estén más motivados a “competir” entre ellos por el premio.

El principal inconveniente de la evaluación de la conducción eficiente es la complejidad de los escenarios de conducción, por lo que es necesario desplegar una metodología específica para evaluar este tipo de procesos de aprendizaje. La utilización de métodos de estimación no es nueva en el mundo empresarial, puesto que conforma el modo más efectivo para medir la efectividad de sus trabajadores. Sin embargo, como ya se explicó anteriormente, el contexto de conducción impone muchísimos retos que la literatura de este estado del arte no es capaz de afrontar con una única metodología que los abarque a todos. (*Aggarwal y Thakur 2013*) exponen una recopilación de métodos para evaluar la conducción eficiente, con sus pros y sus contras, y los muestran en la Tabla 2.2, que se reproduce a continuación.

Tabla 2.2 Técnicas de evaluación del rendimiento en conducción eficiente en el trabajo. (Aggarwal y Thakur 2013).

	Técnica	Idea Clave	Ventajas	Desventajas
A	Clasificación	Realizar una clasificación de empleados, del mejor al peor, para una característica concreta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Más rápido 2. Transparente 3. Económicamente Eficiente 4. Simple y fácil de usar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menos objetivo 2. Problemas de moral entre quien no está entre los mejores 3. Válido para plantillas pequeñas 4. Difícil determinar puntos fuertes y débiles
B	Escalas gráficas	Una escala que lista una serie de características y un rango de actuación para cada una. El empleado es calificado según el resultado que mejor define su actuación para cada una de las características.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Simple 2. Fácil de construir 3. Fácil de usar 4. Resultados estandarizados que permiten una comparación entre empleados 5. Reduce la subjetividad 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La clasificación puede ser subjetiva 2. Cada característica es igualmente importante en la evaluación de la actuación del empleado.
C	Incidente Crítico	Mantener un registro de comportamientos buenos o malos del trabajador relacionados con su actividad, y revisarlos con él con una frecuencia prefijada.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil y económico de desarrollar y administrar 2. Basado en la observación directa 3. Verificación periódica que facilita el hablar de ello cara a cara 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consume tiempo y es laborioso analizar todos los datos y resumirlo 2. Es difícil convencer a la gente de compartir sus “incidentes críticos” en una encuesta. 3. Da una visión personal de cuestiones organizativas.
D	Ensayos narrativos	El evaluador escribe una explicación sobre los puntos fuertes y débiles del empleado, su posicionamiento y sugerencias para mejorar al final del tiempo de evaluación.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El informe realmente muestra la actuación del empleado. 2. Puede cubrir todos los factores 3. Se muestran ejemplos 4. Aporta feedback. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consume tiempo 2. El evaluador podría caer en la subjetividad 3. No es fácil encontrar escritores eficientes.
E	Gestión por objetivos	Los empleados son evaluados por cómo logran cumplir los objetivos que han sido definidos como críticos para el correcto desempeño de su trabajo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil de implementar y medir 2. El empleado se motiva fácilmente al estar claro cuál es su cometido. 3. Sistema de diagnóstico orientado a la actuación 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los empleados no suelen estar de acuerdo con los objetivos marcados 2. Se pierden intangibles como la honestidad, integridad, calidad...

			4. Facilita la orientación al empleado	3. La interpretación de los objetivos puede variar entre dos managers o entre dos empleados. 4. Consume tiempo, es complicado, extenso y muy caro
F	Escala anclada por comportamiento	Combina elementos del incidente crítico y de la escala gráfica. El supervisor califica al empleado según ciertos elementos en una escala numérica.	1. Los comportamientos del trabajo describen mejor la actuación del empleado. 2. Más objetivo 3. Más aceptación, por la participación de managers y empleados.	1. La independencia de la escala puede no ser válida o realizable. 2. Los comportamientos están más orientados a la actividad más que a los resultados 3. Mucho gasto de tiempo 4. Cada puesto de trabajo requiere una escala diferente.
G	Contabilidad de Recursos Humanos	Las personas son recursos muy valiosos de toda organización o empresa. La información sobre la inversión y el valor de los recursos humanos es útil para la toma de decisiones en la organización.	1. Asegura el coste que supone la realización de la actividad 2. Desarrollo de los RRHH 3. Planificación y ejecución de las políticas de personal 4. Genera inversión en RRHH 5. Mejora la eficiencia de los empleados	1. No existen líneas base o de corte claras que permitan determinar el coste y el valor de los RRHH de una organización 2. El método solo mide el coste para la organización, pero omite el valor para que cada empleado aporta dentro de la organización. 3. La duración de los RRHH es incierta y, por tanto, valorarlos bajo esta incertidumbre no parece realista.
H	Asesorías	Los empleados son evaluados durante un periodo de tiempo concreto mediante la observación de sus comportamientos en una serie de ejercicios propuestos.	1. Conceptos simples 2. Metodología muy flexible 3. Ayuda en la toma de decisiones de selección y promoción, así como para el diagnóstico de las necesidades formativas del empleado 4. Permite la medida de múltiples atributos. 5. Es difícil hacer trampas en el ejercicios	1. Caro y difícil de gestionar 2. Requiere mucho personal 3. Requiere mucho tiempo 4. Solo se puede evaluar a un número limitado de gente al mismo tiempo 5. Requiere mucha carga cognitiva o asesores externos
I	360°	Se basa en aportaciones de los superiores, compañeros y subordinados, incluso de los clientes, proveedores y familiares.	1. Excelente herramienta para el desarrollo de empleados 2. Sistema preciso, fiable y creíble 3. Más defendible legalmente. 4. Más objetivo, al ser un sistema con varias clasificaciones.	1. Consume mucho tiempo y es muy caro. 2. Sensible a la cultura de la organización y del país 3. Puede dañar la autoestima del empleado si el feedback es demasiado duro.

				<p>4. Propenso a juegos políticos y sociales jugados por la gente</p> <p>5. Difícil de implementar en equipos multifuncionales.</p> <p>6. Mantener la confidencialidad puede suponer un reto en organizaciones pequeñas.</p>
J	720°	<p>El método 360° se aplica dos veces. Después de recibir los resultados del primer test 360° se reevalúa la actividad del trabajador y, con un buen mecanismo de feedback, el jefe se sentará de nuevo con el empleado para darle las directrices que le permitirán alcanzar sus objetivos.</p>	<p>1. Feedback mejorado con más recursos.</p> <p>2. Desarrollo de equipo</p> <p>3. Desarrollo de la actuación personal y organizacional</p> <p>4. Responsabilidad en el desarrollo de la propia carrera.</p> <p>5. Bajo riesgo de discriminación</p> <p>6. Servicio de atención al cliente mejorado</p> <p>7. Asesoramiento sobre necesidades formativas</p>	<p>1. Excepcionales expectativas para el proceso</p> <p>2. Información insuficiente</p> <p>3. El diseño del proceso falla</p> <p>4. El proceso sufre desconexión entre las dos fases</p> <p>5. Formación y comprensión del proceso insuficiente</p> <p>6. Se centra en lo negativo y en las debilidades</p> <p>7. Requiere compromiso de la cúpula directiva y de RRHH (tiempo, financiación, recursos, etc...)</p> <p>8. Papeleo (trabajo para rellenar los formularios en el ordenador)</p> <p>9. Cierta inexperiencia e ineficiencia.</p>

La mayoría de trabajos relacionados con la evaluación de la conducción eficiente se concentra en las medidas de consumo de combustible, circunstancia que se expone en (*Strömberg y Karlsson 2013*), especificando que se obvian numerosos aspectos contextuales que limitan la posibilidad del conductor para aplicar las técnicas de conducción eficiente aprendidas. Un ejemplo de ello es el trabajo de (*Zarkadoula, Zoidis, y Tritopoulou 2007*), donde realizan una comparativa directa entre el consumo antes y después de asistir a una formación consistente en un curso teórico y una clase práctica con un monitor experto, pero su único seguimiento fue hecho sobre los datos de consumo y tiempo empleado, encontrándose con que aquellos conductores que bajaron su consumo también mejoraron sus tiempos para un trayecto concreto y viceversa. Este método tiene muchos defectos debido a la gran cantidad de elementos externos a la propia conducción que afectan al consumo. Además, esta aproximación podría dinamitar la motivación de los conductores, como también explica el propio artículo de (*Strömberg y Karlsson 2013*). Es por ello que es necesario aislar esos factores externos antes de realizar una evaluación de la conducción eficiente e incluirla en un programa de incentivos como el de (*Liimatainen 2011*). En él se consideran influyentes sobre el consumo factores como la línea de autobús en que se realiza la monitorización y el sentido de la misma. La hora del día en que se realiza la conducción en conjunción con la densidad del tráfico, además del tipo de bus y la carga de pasajeros (y por tanto el peso total del vehículo con su carga) serían otros parámetros a tener en cuenta. El análisis realizado por (*Lai 2015*) también concluye que el uso del consumo de combustible como indicativo de referencia de la conducción eficiente genera muchas preguntas, especialmente relacionadas con el realismo y la justicia del programa de recompensas.

2.5.1 Nuevos métodos de evaluación de la conducción eficiente

Por todo ello es necesario establecer una nueva base para realizar un proceso de evaluación justo. Algunos trabajos proponen evaluar la conducción eficiente en base a eventos específicos detectados durante el proceso de conducción. En el artículo (*Ma et al. 2015*) utilizan un mismo bloque mecánico y una misma ruta, eliminando así estos factores externos, para determinar la influencia del estilo de conducción en el consumo de combustible. El título del artículo habla de la influencia de los estilos de conducción en el consumo, aunque lo que finalmente sí relaciona con el consumo son los 26 parámetros característicos del estilo de conducción. Sin embargo, estos parámetros no están definidos, solo los nombra, y no los relaciona con ningún estilo de conducción. Por el contrario, sí relaciona esos parámetros con las diferentes fases de la conducción, determinando que el proceso de aceleración y el punto de cambio de marcha son los que más influyen sobre el consumo del vehículo.

Otros autores incluyen parámetros como las revoluciones del motor, la aceleración, los atascos, el clima o el peso del vehículo (*Boriboonsomsin, Vu, y Barth 2010; Villeta et al. 2012*). Pese a que este enfoque es una solución más completa, la falta de precisión y realismo para realizar una valoración aún está presente, debido al hecho de que los parámetros son medidas aisladas extraídas de una aglomeración de datos y sus resultados no están relacionados en términos de consumo de combustible, por lo que no se puede realizar una evaluación detallada.

Como resultado de todo esto, es necesario realizar un análisis más complejo para lograr resultados precisos que reflejen el comportamiento del conductor y que permitan realizar la evaluación. En (*Ferreira, Almeida, y Silva 2015*) proponen un sistema que

identifica las acciones que afectan al consumo. Incluyen una completa tabla de recomendaciones de conducción eficiente y monitorizan un buen set de parámetros (44) tales como aceleración, frenada y uso de embrague (eventos), rpm (% de estancia en una banda determinada), consumo medio u hora del día, además de considerar elementos como la temperatura, climatología y la altitud. En cualquier caso, su frecuencia de recogida de datos (cada 30 segundos) es demasiado espaciada como para obtener resultados precisos que permitan una evaluación de grano fino.

Otros autores (*Walnum y Simonsen 2015*) proponen variables relativas al comportamiento en la conducción y al contexto, y calculan su incidencia por medio de una regresión multivariable que determina que, aunque el contexto tiene más peso que el comportamiento del conductor, este también debe ser tomado en cuenta y es determinante a la hora de buscar reducir el consumo de la flota, sobre todo en servicios con una ruta fija e invariable como puede ser la de los autobuses urbanos. Pese a ello, estas variables son demasiado sencillas y no reflejan la totalidad de situaciones que se dan durante la conducción. Según esto, aunque estas soluciones obtienen resultados más fiables en lo relativo a la eficiencia, también el componente de seguridad debe ser caracterizado por los patrones de conducción, y todas las acciones de la conducción deberían quedar reflejadas en dichos patrones para permitir analizar detalladamente el proceso completo de conducción.

Únicamente en los últimos tiempos, algunos estudios han empezado introducir el análisis de los patrones de conducción. En (*Corcoba y Muñoz 2015*), usando la telemetría del vehículo, el sistema detecta áreas de ineficiencia en una ruta, advirtiendo al usuario para que ajuste su velocidad. Sin embargo, los resultados solo se basan en el consumo. Su sistema no está diseñado para un proceso de aprendizaje y, como consecuencia, no permite establecer una evolución en el proceso de aprendizaje de la conducción eficiente. Por tanto, un proceso claro de evaluación individual es lo que queda pendiente. Los autores del ya citado (*Ferreira, Almeida, y Silva 2015*) también basan su propuesta en información recogida de los vehículos. Por contra, una vez más, el intervalo entre adquisiciones no permite obtener la precisión requerida para que los resultados puedan formar patrones que sustituyan a las acciones puntuales como indicador.

La aportación de los patrones es clara: las acciones puntuales de ineficiencia solo indican que existe una ineficiencia. Si un conductor frena habitualmente de forma brusca y por medio de un sistema de monitorización se detecta como un hecho puntual, lo único que se puede saber es que ese conductor suele frenar de forma brusca. Pero, ¿cuál es la causa de ese frenazo? La detección de patrones que reflejan lo que sucede alrededor de esas acciones puntuales ha permitido que nuestras investigaciones (*Tuero et al. 2015*) determinen la causa del frenazo y, por tanto, permitan atacar en las fases de formación la raíz del problema.

Con este nivel de detalle en la evaluación, se puede ofrecer un conjunto de recomendaciones personalizado para cada conductor para realizar una formación adaptativa en conducción eficiente. En (*Ghaemi et al. 2010*) se propone un intento de parametrizar el comportamiento de los conductores mediante tres modelos de lógica difusa diferentes: uno para el ángulo de las ruedas respecto al eje longitudinal del vehículo, y los otros dos para la toma de decisiones del conductor (en cuanto a seleccionar el momento adecuado para los cambios de carril), con dos enfoques diferentes. Sin embargo, se centran en la modelización de la maniobra de adelantamiento, mientras que

ignoran el resto de acciones de la conducción, por lo que al final queda un análisis pobre desde el punto de vista de la conducción eficiente, aunque interesante y aprovechable en el enfoque.

Yendo más allá, la complejidad de los escenarios para evaluar la eficiencia en la conducción se completa con información externa que también influye en el comportamiento de los conductores. De hecho, datos del contexto como el recorrido o el tipo de vehículo tienen un gran impacto en la actuación global de una flota de autobuses (*de Abreu e Silva et al. 2015*), y las condiciones climáticas también imponen variaciones en el estilo de conducción, como muestra el ya citado artículo (*Ghaemi et al. 2010*) al incluir la meteorología en los parámetros que influyen en sus modelos, afectando a la consideración de la distancia con el vehículo precedente.

Aparte de la influencia del contexto, otros autores analizan otros aspectos que pueden afectar a la eficiencia en la conducción, como pueden ser los socio-demográficos. El método que se propone en (*Ishibashi et al. 2007*) define los perfiles de los conductores antes de conocer sus datos de conducción. Para ello el método se basa en una serie de encuestas en las que los conductores responden a preguntas sobre datos objetivos como su edad o sexo, y sobre sus percepciones y actitudes ante la conducción. Los autores defienden que con los resultados de dichas encuestas pueden predecir el comportamiento de cada conductor cuando se ponga al volante.

Otros autores añaden también aspectos de la personalidad e incluso el estado emocional del conductor a la hora de conducir para predecir su actuación en la carretera. (*Taubman-Ben-Ari, Mikulincer, y Gillath 2004*) realizan dos estudios para desarrollar un sistema multidimensional que determine el estilo de conducción. El primero de ellos consiste en una escala de una autoevaluación que informa sobre cuatro dominios de la conducción eficiente y representa ocho estilos específicos: disociativo, ansioso, arriesgado, enfadado, alta velocidad, reducción del peligro, paciente y cuidadoso. Además, se encontraron asociaciones entre ellos en lo relativo a género, edad e historial de accidentes, por un lado, y a rasgos de la personalidad por el otro. El segundo estudio profundiza un poco más y encuentra relación de esos estilos con ciertos rasgos de ansiedad y neurosis. Unos años más tarde, en (*Taubman - Ben-Ari y Yehiel 2012*) lograron concretar las asociaciones mencionadas de los estilos de conducción con las características sociodemográficas, motivacionales y de personalidad. Así, concluye que los estilos arriesgado y enfadado se corresponden principalmente con hombres jóvenes extrovertidos y que gustan de liberar adrenalina, además de ser poco agradables y meticulosos. Sin embargo, el estilo arriesgado es típico de quienes sufren de ansiedad al conducir y tienen un mayor grado de sensación de riesgo de entre aquellos con un nivel educativo más alto, mientras que el estilo enfadado se percibe entre aquellos fácilmente irritables. En el estilo ansioso predominan las mujeres y conductores con baja meticulosidad y alto neurosis, que además lo pueden ver como algo peligroso (personas con alto nivel educativo) o que les puede dar oportunidades de cambiar la impresión que generan en otras personas (bajo nivel educativo). El estilo cuidadoso lo personifican mujeres agradables, meticulosas y abiertas y que les gusta conducir, especialmente a las jóvenes, que no suelen buscar las emociones fuertes y que se preocupan por no dañar su autoestima. Los autores centran la discusión en la importancia de la búsqueda de los estilos de conducción y sus predictores de forma global, para así diseñar las intervenciones prácticas dirigidas a los diferentes perfiles de conductor.

Como se ha visto, la mayoría de los análisis sobre eficiencia en la conducción están centrados en una evaluación concreta y no en una metodología más completa que cubra todas las etapas del aprendizaje en conducción eficiente. En otros ámbitos laborales, se han intentado resolver estos problemas de evaluación mediante la elaboración de unos Modelos de Madurez de la Capacidad Personal (PCMM por sus siglas en inglés) (Curtis, Hefley, y Miller 2009). Los PCMM se han adoptado en diversos ámbitos, debido a la necesidad de las organizaciones de crear un ambiente de aprendizaje en el que los alumnos (trabajadores) mejoren sus competencias. En este trabajo de tesis se define un método de evaluación basado en la madurez del conductor para el ámbito de la conducción eficiente.

2.6 Comunicación de los resultados de la evaluación

Una vez realizada la evaluación del rendimiento, el siguiente paso es la comunicación de resultados. No se encuentran en la literatura referencias a este paso, quizás por ser algo muy específico y que debe definirse cuando menos de acuerdo con la gerencia en el caso de flotas profesionales. Lo que sí están empezando a presentar los vehículos de nueva generación, tanto industriales (autobuses, camiones) como particulares, son sistemas propietarios que analizan y evalúan el estilo de conducción y emiten una comunicación de resultados una vez que se apaga el motor. Algunos fabricantes como Daimler Mercedes-Benz lo hacen a través de socios tecnológicos como Fleetboard², mientras que otros los desarrollan de puertas a dentro. En el caso de Daimler y Fleetboard, controlan una serie de parámetros que posteriormente agrupan y muestran en forma de gráficos o tablas. Disponen de tres aplicaciones de comunicación para smartphones: una orientada a la comunicación con los clientes – subcontratistas, más orientada a flotas de camiones, otra de tipo motivacional para los conductores que le aporta información útil, como el tiempo de descanso y conducción y una versión simple de los servicios de gestión del portal web. Se puede ver que es básicamente un servicio orientado al control de flotas, sin ningún tipo de información educacional.

Por su parte, Scania dispone de la Scania Fleet Management³. También está orientada a la gestión de las flotas. Los indicadores ofrecidos son muy similares a los de Fleetboard y, como aquella, también controla la posición de sus vehículos por GPS. Su aplicación para smartphone no hace más que reproducir el portal web, que está orientado a las necesidades de los supervisores y gerentes de las flotas.

Otro servicio similar a estos dos es el que Volvo tiene con Dynafleet⁴. Añade a los anteriores la existencia de una pantalla a bordo específica que aporta información de resumen de rendimiento y eficiencia en la ruta. Incluso incluye un sistema de mensajería que permite comunicarse con la central. Sin embargo, tampoco tiene funciones formativas. La Figura 2.2 muestra un ejemplo de la información que ofrece dicha pantalla a la conclusión de una ruta.

² https://www.mercedes-benz.es/content/spain/mpc/mpc_spain_website/es/home_mpc/trucks_/home/driver/driver/FleetBoard.html

³ <https://www.scania.com/es/es/home/products-and-services/connected-services/fleet-management.html>

⁴ <http://www.volvotrucks.es/es-es/services/fleet-management.html>



Figura 2.2 Ejemplo de información proporcionada por la pantalla Dynafleet. Fuente (Rionda Rodríguez 2016)

También en el ámbito de los turismos empiezan a aparecer informaciones sobre la eficiencia en la conducción de los usuarios. FIAT fue el pionero con su sistema Eco-Drive⁵, que en origen constaba de un dispositivo USB que el conductor debía conectar a su ordenador en casa. Posteriormente evolucionaría hacia una aplicación para Smartphone y actualmente ya está integrada en la pantalla del vehículo, como se muestra en la Figura 2.3. En este caso sí se trata de un tutor a bordo, ya que muestra el desempeño en tiempo real en 4 parámetros como son las aceleraciones, las deceleraciones, el mantenimiento de la velocidad y el cambio de marchas.



Figura 2.3 Ejemplo de pantalla Eco-Drive de comunicación en tiempo real de FIAT

⁵ <https://www.driveuconnect.eu/es/features/detalles-eco-drive>



Figura 2.4 Comunicación de resultados de Conducción Eficiente. Renault Espace V

En la Figura 2.4 pueden verse las pantallas de comunicación de resultados de conducción eficiente de un Renault Espace V, donde se puede ver una pantalla principal que muestra una calificación global, además de los datos de la ruta o las rutas realizadas, como distancia, velocidad media y consumo medio, y hace especial hincapié en la distancia sin consumo o en inercia. También da recomendaciones muy sencillas sobre cómo acelerar o sobre anticipación y hace un resumen de los últimos 20 recorridos en un determinado contexto.

En todas las aplicaciones que se han presentado en esta sección, la comunicación se limita a un resumen de datos y, como mucho, una evaluación de tipo estrellas o sectores a modo de valoración o motivación. En ninguna de ellas existe un plan de comunicación pedagógico ni un trabajo de seguimiento para que la mejora se consolide.

2.7 Principales Contribuciones

Como se ha visto en la revisión de la literatura, los métodos más empleados combinan la formación teórica y práctica. Lo hacen mediante una observación práctica previa a la sesión teórica y otra observación posterior, que además puede estar tutorizada o no. En ningún caso esta formación está adaptada a las necesidades particulares de cada conductor. En esta tesis se propone un método cuya principal característica es la adaptabilidad a las necesidades de cada conductor. Este tipo de formación adaptativa precisa un modelo de evaluación que permita determinar cuáles son las habilidades de cada conductor. En este estado del arte se citan una mayoría de trabajos que emplean exclusiva o preferencialmente el consumo de combustible como método de evaluación, en ocasiones combinado con la detección y/o análisis de eventos puntuales de conducción. Esta tesis propone un método basado en la detección de sucesiones de eventos que se prolongan en el tiempo, denominados patrones, y que generan una serie de indicadores. Estos indicadores combinados, y en función del tiempo de monitorización, permiten generar tanto la clasificación temprana como una evaluación del rendimiento de los conductores. La clasificación temprana permite, con un tiempo de monitorización muy escaso, hacer adaptativa la formación inicial. Con un volumen de datos mucho más

elevado, será posible caracterizar el rendimiento de cada conductor en diferentes aspectos de la conducción eficiente e incluso calificar con medidas cuantitativas precisas y fáciles de entender su actuación global.

Por último, el apartado de la comunicación de resultados está un poco olvidado en la literatura en lo que se refiere a la conducción eficiente. No se encuentran métodos específicos para este paso final, si bien es cierto que determinadas marcas de coches presentan en sus vehículos más modernos sistemas que califican el rendimiento eficiente del conductor y comunican dicho resultado a través de las pantallas del habitáculo o aplicaciones web o móviles. Esta tesis propone un sistema de recomendaciones automáticas que, basándose en los resultados de la evaluación del conductor y en función de cómo desempeñe su labor en diferentes contextos (puntos geográficos concretos, franjas horarias o climatología), seleccione una serie de comentarios correctivos que mantenga la adaptabilidad de la formación de forma indefinida en el tiempo. Además, el hecho de que este sistema esté automatizado, supone un fuerte ahorro en personal y tiempo.

3 Metodología de aprendizaje adaptativo para la conducción eficiente

3.1. Introducción

Esta tesis define una metodología que se fundamenta en el aprendizaje personalizado y adaptativo, aplicado en el puesto de trabajo (*on-the-job training*) mediante una evaluación continua.

El aprendizaje adaptativo es un método de aprendizaje flexible que evoluciona con el tiempo según la mejora de la competencia del alumno (*Midgley 2014*). En el contexto de la conducción eficiente es un método cuyo desarrollo varía según las características del vehículo y del servicio, el punto de partida del aprendiz y la evolución de sus competencias durante el período de aplicación. Las acciones formativas cambian a lo largo del tiempo de acuerdo con cómo evolucionan las habilidades del conductor y cómo reacciona este a las sesiones anteriores. Uno de los puntos fuertes de la metodología es el hecho de que la evaluación del aprendizaje se realiza en base a los datos de conducción obtenidos mientras el conductor desempeña su actividad profesional. Esto hace que no esté pendiente de dicha evaluación, de tal forma que la evolución observada en sus habilidades de eficiencia sea más fiable que si estuviera exclusivamente concentrado en su rendimiento. Este elemento de la metodología, conocido como "*on-the-job training*", formación en el trabajo (*Duarte, Gonçalves, y Farias 2013; Rionda et al. 2014*), es un elemento diferenciador que proporciona evaluaciones de alta calidad y prolongadas en el tiempo. De esta manera, se favorece además la evaluación continua que a su vez posibilita una mayor adaptabilidad de las sucesivas acciones formativas que vayan produciendo de forma periódica. Debido a la gran cantidad de datos que se manejan para realizar las evaluaciones, y a los procesados y post-procesados que generan la información necesaria para respaldar la adaptación, se necesita un potente sistema analítico que lo haga posible.

En el desarrollo de este capítulo, en el que se muestra el marco general de la metodología, se empieza por definir algunos términos clave para su comprensión. Posteriormente se hace una breve descripción de los diferentes pasos que, como se describe después, sigue dicha metodología, que está dividida en dos fases principales. Una primera fase de iniciación en la que se establece el contexto general de cada flota en la que se inicia el programa de formación. En ella se hace una primera evaluación de las habilidades de partida de cada conductor y se afronta una formación inicial en base a dicha evaluación temprana. Posteriormente la segunda fase, de análisis periódico, consistirá en una

evaluación continua del aprendizaje de cada conductor, tanto en base a una observación general de la evolución de sus habilidades como a posibles situaciones específicas de ineficiencia en determinadas situaciones contextuales. El último paso de esta evaluación continua es la comunicación de las acciones correctivas, que lleva al conductor a iniciar un nuevo ciclo de evaluación.

3.2. Terminología

En esta sección se definen aquellos términos, relevantes para la metodología, que resultan necesarios para la buena comprensión de la misma.

- **Evento de conducción:** resultado de cualquier acción que ejerza un conductor sobre su vehículo mientras conduce y que genere una determinada evolución de los parámetros monitorizados.
- **Patrón de conducción eficiente o patrón de comportamiento** es una sucesión de eventos de conducción, capturados en una ventana temporal, que caracterizan una determinada acción eficiente o ineficiente. Los distintos patrones pueden estar caracterizados por uno o más KPIs.
- **KPI:** siglas que provienen del Inglés *Key Performance Indicator*, Indicador Clave de Rendimiento. Según (*Parmenter 2010*), es un término común que se utiliza para describir una medida del rendimiento. Los KPI describen de manera cuantitativa el grado de cumplimiento de un resultado de aprendizaje, mostrando la eficiencia o ineficiencia de un comportamiento de conducción particular si lo aplicamos al campo que nos ocupa.
- **Modelos de Madurez de la Capacidad Personal**, en adelante Modelos de Madurez o MM (*Curtis, Hefley, y Miller 2009*), son un conjunto de prácticas de gestión de capital humano que ofrecen una vía para la mejora continua de las capacidades de la plantilla de una organización.

3.3. Método de aprendizaje adaptativo propuesto

La Figura 3.1 muestra todo el desarrollo del método. El punto de inicio es la recopilación de información sobre tres elementos básicos del mismo, como son el tipo de servicio, el vehículo y el conductor. Esta información sirve para establecer un contexto estático para el método de aprendizaje (sección 3.3.1.1). En base a este contexto se definen unos patrones de conducción eficiente (capítulo 4) a partir de los cuales se realiza una evaluación de las habilidades iniciales del conductor y una clasificación temprana (sección 3.3.1.2 y capítulo 5). Estos serían los pasos previos a la sesión de formación inicial (sección 3.3.1.3), a la que los conductores asisten agrupados según sus necesidades formativas, determinadas en la clasificación temprana. A partir de aquí se entra en una fase de análisis periódico, en la que se evalúa el aprendizaje de los conductores (sección 3.3.2.1) mediante los modelos de madurez (capítulo 6). También se analizan situaciones específicas por posición geográfica, y en función de la climatología y la franja horaria o el turno en que trabaja el conductor (sección 3.3.2.2) para, finalmente, establecer una serie de acciones correctivas (sección 3.3.2.3) mediante un sistema de recomendaciones automáticas (capítulo 7). Además, se genera un informe sobre el análisis periódico que aporta diferente información según si va dirigido al propio conductor o a sus supervisores.

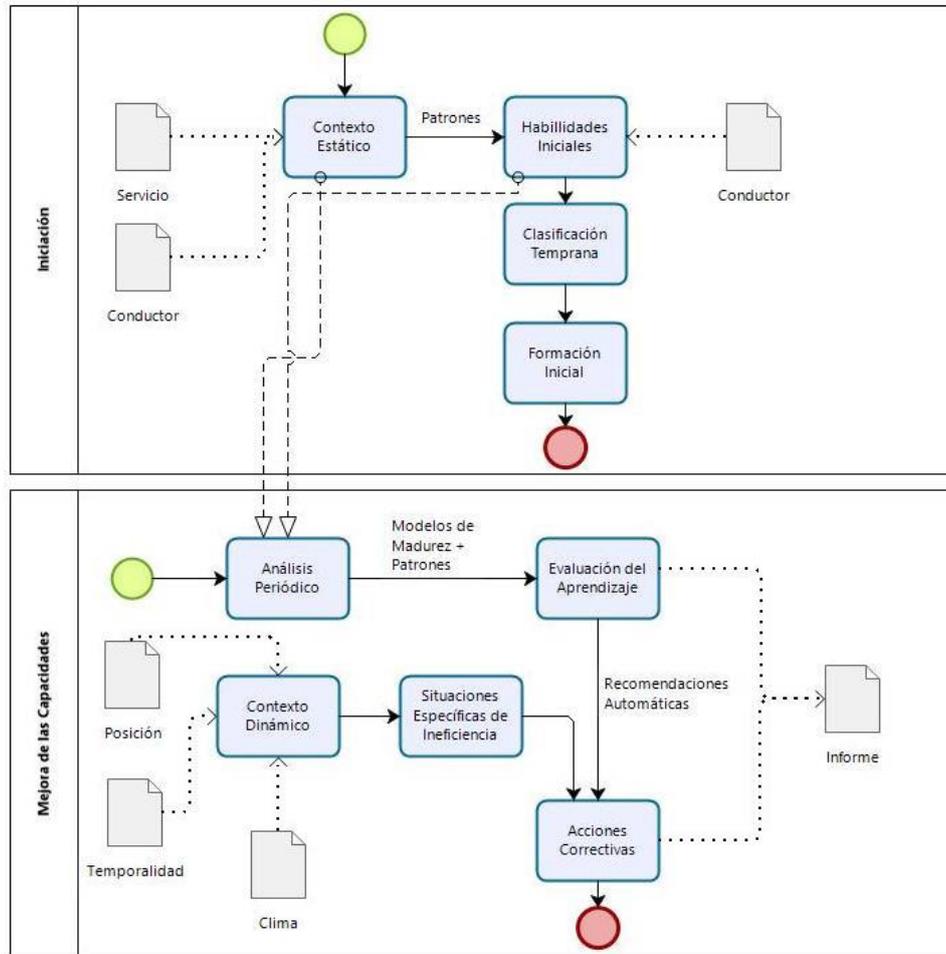


Figura 3.1 Metodología propuesta de aprendizaje adaptativo

Elemento imprescindible para este método son los datos capturados. A continuación, se incluye un listado con aquellos datos que se recogen en las tablas de muestras y que son relevantes para el cálculo de los patrones:

- **id_vehicle:** Identificador de vehículo
- **id_driver:** Identificador de conductor
- **time_stamp:** Fecha y hora de captura de la muestra
- **distance:** distancia acumulada en la ruta hasta el instante de la muestra
- **fuel_rate:** consumo instantáneo (l/h)
- **rpm:** régimen motor
- **speed/gps_speed:** velocidad
- **cated_acc:** aceleración calculada en preprocesado por el equipo de captura
- **accel_pedal_pos:** posición del acelerador (%)
- **trans_current_gear:** marcha engranada
- **trans_selected_gear:** marcha seleccionada (coincide con la anterior, aunque aparece 1 o 2 muestras antes)
- **lat:** latitud GPS
- **long:** longitud GPS
- **alt:** altitud GPS
- **brakeSwitch:** uso del freno

Estos datos se recogen con una frecuencia de entre 1,1 y 1,2 segundos y se almacenan para su posterior procesamiento. También se genera una tabla de resumen de ruta, que aporta información general de cada uno de los recorridos de un conductor:

- **id_route:** identificador de ruta
- **id_vehicle:** Identificador de vehículo
- **id_driver:** Identificador de conductor
- **s_ts:** fecha y hora de inicio
- **e_ts:** fecha y hora de fin
- **duration:** duración
- **distance:** distancia total recorrida
- **fuel_100km:** consumo medio por cada 100km recorridos

Estos datos resultan de utilidad a la hora de agrupar los datos. Se utiliza el *id_vehicle* y el *id_driver* (como verificación) para agrupar todas las muestras comprendidas entre el *s_ts* y el *e_ts* bajo un único *id_route*. Los campos de *duration*, *distance* y *fuel_100km* se utilizan para filtrar rutas cuyos datos estén corruptos o aquellas que no se producen en servicio, como pueden ser las llevadas a cabo por el personal de mantenimiento, y que podrían ofrecer datos confusos a la hora de realizar determinados análisis.

3.3.1. Iniciación

Esta parte del método comprende toda la fase de la evaluación inicial, tanto de la flota y la fijación del contexto estático mediante la determinación del tipo de servicio y vehículo, como de los conductores, a través del análisis de habilidades iniciales y la clasificación temprana. Este periodo de Iniciación también incluye la formación inicial de los conductores.

3.3.1.1. Establecimiento del contexto

La primera acción a tomar al inicio de un programa de formación en conducción eficiente es la identificación del contexto. Es necesario conocer el tipo de vehículo que se utiliza en cada ruta: autobús articulado o simple, minibus, etc. También es importante el tipo de caja de cambios (manual o automática) que tiene, los puntos de cambio de marcha característicos, cómo frenan o aceleran, la velocidad máxima que pueden alcanzar (en servicio y fuera de servicio), periodos de ralentí característicos, etc. Además, es muy importante conocer el protocolo de comunicación que funciona en cada vehículo ([SAEJ1939 2014](#)), ya que define los diferentes parámetros que se podrán obtener para realizar el análisis de las habilidades de los conductores.

El contexto dinámico es una herramienta más de análisis para la conducción eficiente. Las condiciones de tráfico, la climatología, la afluencia de pasajeros o incluso el nivel de cumplimiento con las normas de conducción eficiente del resto de conductores que trabajan en la misma línea, pueden determinar que un conductor obtenga mejores o peores resultados. Sólo es posible comparar resultados de conductores cuyo trabajo se produce en el mismo contexto, y este se puede precisar en muchos niveles.

Como ejemplo de contexto se puede pensar en una empresa de transporte urbano. En ella, la línea en que conduce cada conductor es el contexto mínimo que permite hacer un análisis fiable. El turno en que se desarrolla la actividad, de mañana o de tarde, o tramos horarios específicos, permiten analizar el desempeño en función de la densidad del tráfico y

del flujo de pasajeros, mientras que el clima (temperatura y precipitaciones), hacen posible analizar también esas variables.

3.3.1.2. *Evaluación de las Habilidades Iniciales y Clasificación Temprana*

Una vez que se ha definido el contexto e instalado los dispositivos de captura de datos, hay un breve periodo de tiempo en que los conductores continúan con su actividad habitual antes de la formación inicial. Es entonces cuando se recogen los primeros datos sobre su conducción. Para ello se utilizan los patrones de conducción eficiente (capítulo 4), que mediante la identificación de sucesiones de eventos de conducción (aceleraciones y deceleraciones principalmente, acompañadas por datos de consumo instantáneo y velocidad) permiten determinar su estilo de conducción (capítulo 5), además de verificar el correcto funcionamiento del sistema de recogida que nos proveerá de datos (sección 2.7). Este periodo sirve para analizar esos primeros datos de cada conductor, lo que permitirá asignarle un grupo de formación en el que los formadores incidirán en los principales aspectos de la conducción eficiente en los que haya demostrado tener más carencias en su estilo de conducción de base.

Este es el primer paso de evaluación y resultará útil para la adaptabilidad total del método formativo, que de esta manera podrá ofrecer una primera sesión ajustada a las necesidades de cada conductor.

3.3.1.3. *Formación inicial*

Una vez que se determinan las necesidades formativas y se le asigna un grupo formativo a cada conductor, es hora de la primera sesión de formación. Esta sesión contendrá dos partes diferentes. La primera parte se centrará en la conducción y es individual para cada conductor. El objetivo es mostrar a los conductores aquellos aspectos de la conducción en que no son eficientes, idealmente en lugares en los que habitualmente incurran en esas ineficiencias. El formador buscará fallos concretos gracias a la evaluación de habilidades iniciales, y posteriormente le dirá cómo comportarse en cada situación, repitiendo el mismo trayecto.

La segunda será una parte teórica, compartida para todos los aquellos conductores que hayan mostrado unas características similares en la Clasificación Temprana. Consiste en una explicación del programa de formación y una revisión de las técnicas de conducción eficiente (cómo acelerar, frenar, usar la inercia del vehículo, etc.) adaptadas al servicio ofrecido por la compañía y el tipo de vehículo, y con especial incidencia en las necesidades específicas de cada grupo formativo. Según esto, en una empresa de autobuses urbanos (EMT) o una empresa de recogida de residuos sólidos urbanos (RSU) habrá que hacer más hincapié en cómo acelerar y detener el vehículo, mientras que para una flota de autobuses de largo recorrido será de mayor utilidad incidir en cómo circular a velocidad constante y elevada, lo que también condicionará la clasificación temprana de los conductores de uno u otro servicio.

3.3.2. Análisis periódico

Tras la sesión de formación inicial consideraremos iniciado el proceso formativo. En este momento se inicia un primer periodo de observación y captura de datos.

Se capturan todos los eventos de conducción de cada uno de los conductores buscando patrones que indiquen cómo se comporta el conductor. Estos comportamientos están definidos por los patrones y alineados con las recomendaciones de conducción eficiente. De esta forma es posible saber cómo avanza el conductor respecto a los resultados de aprendizaje.

A lo largo de cada periodo de análisis, que típicamente dura un mes, un conductor puede desarrollar su actividad en diferentes contextos, por lo que el análisis puede ser muy variable. Poniendo el ejemplo de los autobuses urbanos, hay compañías que prefieren especializar a sus conductores, por lo que conducen siempre en una misma línea, mientras que otras prefieren hacerlos rotar, pasando por varias de forma cíclica. Cada uno de estos formatos tiene sus pros y sus contras. Mientras que un conductor especialista en una línea la conoce mejor y puede adaptar su conducción a las peculiaridades de la misma, corre el riesgo de confiarse o aburrirse, lo que repercutiría en el rendimiento de eficiencia o, incluso, en la seguridad. Por otro lado, un conductor que cambia de línea periódicamente es más difícil que termine alcanzando un nivel de conocimiento de la misma tan alto como el de un especialista, pero es más probable que mantenga un mayor nivel de atención. A parte de este elemento contextual, la línea, que es el más relevante, existen otros como el turno de trabajo o la climatología, que también pueden formar parte del análisis.

El análisis principal que se hace para cada conductor es en función del contexto posicional en que trabaja el conductor y que, según el servicio, será más o menos concreto. Este tipo de análisis permite comparar a cada participante en un mismo programa formativo con aquellos que trabajan realizando el mismo tipo de recorrido. Aporta un contexto geográfico que es suficiente por sí solo para que los rendimientos de los conductores sean comparables. Siempre va a estar presente en el análisis del rendimiento del conductor.

A parte de este análisis global de rendimiento, es posible analizar cada uno de los aspectos de la conducción eficiente por separado. Se puede analizar la anticipación, el mantenimiento de la distancia de seguridad o la gestión de las paradas para recoger pasajeros. En cada caso, es posible ver un resumen general del periodo de análisis, identificar en qué calle o punto concreto se obtienen peores resultados y visualizarlos en un mapa de la ciudad de la flota, qué franja horaria o turno es más penalizador, o si las condiciones climáticas, en concreto la lluvia, afecta de forma muy negativa al rendimiento.

3.3.2.1. *Evaluación del aprendizaje*

Una vez que finaliza la formación inicial y como culminación de la fase de análisis, se realiza una nueva evaluación. En este caso ya se habla de una evaluación mucho más completa por el volumen de datos que se maneja. Para realizar esta evaluación se han implementado los modelos de madurez, que permiten hacer una evaluación contextualizada del desempeño de cada conductor según las condiciones de trabajo que se encuentra, partiendo de los patrones de conducción eficiente. Estos modelos de madurez están definidos de forma extensa en el capítulo 6.

Como los valores de los KPIs pueden variar mucho en función del contexto en que se calculan, esta evaluación debe hacerse por comparativa entre conductores, y solo es posible comparar conductores que actúan en el mismo contexto. Sin embargo, partiendo de la premisa de que en todas las flotas habrá conductores de todos los niveles en lo relativo a la conducción eficiente, los modelos de madurez permiten asignar una calificación cuantitativa, precisa y fácil de entender a cada conductor, que puede ser considerada de forma global. Por

ejemplo, dos conductores que trabajan en dos líneas distintas de una misma EMT podrán obtener la misma nota numérica aportada por los modelos de madurez, aunque sus KPIs sean muy diferentes. Sin embargo, si trabajan en la misma línea, sus KPIs deben ser similares, o al menos complementarse, para obtener la misma nota.

Además, estos Modelos de Madurez tienen una indicación, menos precisa que la nota final numérica (Bien, Mal, Regular), de cómo se maneja cada conductor en los aspectos que evalúa cada Modelo de Madurez: el arranque, la marcha y la detención, teniendo cada una de estas fases sus patrones específicos asignados.

3.3.2.2. *Caracterización de situaciones específicas de ineficiencia*

Teniendo en cuenta que se intenta asignar a todos estos patrones su ubicación exacta (al menos la calle o el cruce) y el tipo de vía (si son rotondas, incorporaciones, cruces con o sin semáforos, pasos de cebra...), el analista puede lograr caracterizar determinadas situaciones ineficientes específicas gracias a este Contexto Dinámico (Figura 3.1), por lo que el conductor sabe dónde debe prestar más atención para solucionarlas. Esto es más efectivo en servicios donde las rutas son repetitivas, como los autobuses urbanos, ya que es muy habitual cometer la misma ineficiencia en el mismo punto de la ruta y lo será más aún en el caso de conductores especialistas en una línea concreta.

El objetivo en este caso es encontrar la razón por la que estos patrones de ineficiencia aparecen y cuáles son los conceptos de eficiencia que el conductor no maneja correctamente. También se verifica si estos conceptos han sido tratados previamente para definir los próximos pasos en el plan de formación.

3.3.2.3. *Acciones Correctivas e Informe de evolución*

En base a todos los elementos analizados durante las fases anteriores, se generará un informe de evolución personalizado con énfasis en los indicadores de progresión. La progresión será analizada respecto a los resultados previos de cada conductor y respecto al resto de compañeros cuyo desempeño se produzca en las mismas líneas.

Este informe también mostrará los puntos específicos donde las acciones ineficientes ocurren de forma repetitiva, la evolución general de los datos y los patrones de eficiencia e ineficiencia encontrados en la evaluación previa. Un conjunto de recomendaciones generado de forma automática completará el informe.

3.4. Resumen de la metodología de aprendizaje adaptativo

En este capítulo se muestran las características de la metodología de aprendizaje adaptativo de conducción eficiente propuesta. Esta nueva metodología se puede adaptar a un determinado servicio a través de la correcta definición del contexto en que se desarrolla. De esta manera, y en base al sistema de recogida de datos de conducción, se capturan todos los eventos ocurridos durante el desarrollo de la jornada laboral de los conductores participantes en el programa y se agrupan en patrones que definen su comportamiento al volante. Gracias a estos patrones es posible determinar el estilo de conducción de cada conductor y agruparlos en función de sus habilidades, de forma que en la formación inicial asistan a una sesión en la que se incida en aquellos aspectos que más necesiten mejorar.

A partir de este punto, se inicia un periodo de evaluación y formación continua. Durante esta fase de la metodología se realiza un análisis periódico de los comportamientos

en conducción eficiente de cada conductor, controlando así la evolución de su aprendizaje y facilitando la emisión de unas acciones correctivas personalizadas.

4 Patrones de comportamiento

4.1. Introducción

Como se explica en la sección 2.2, la mayor parte de los estudios sobre conducción eficiente que obtienen datos reales de conducción basan sus conclusiones en la evolución del consumo. Los que además tienen en cuenta la captura de datos reales de conducción, se limitan a la detección de eventos puntuales. Ese tipo de detección, efectivamente, muestra eventos de ineficiencia, como pueden ser frenadas o aceleraciones bruscas, o si el conductor sobrepasa el régimen motor recomendado para una determinada relación de cambio. Sin embargo, para caracterizar el comportamiento de un conductor es necesario conocer qué pasa antes y después de uno de estos eventos o si, cuando ocurre, lo hace en combinación con otros.

En este capítulo se desarrolla un conjunto de patrones de conducción eficiente que busca determinar el comportamiento del conductor ante determinadas situaciones. Según se ha definido en la sección 3.2, los patrones de conducción eficiente son sucesiones de eventos de conducción, capturados en una ventana temporal, que caracterizan una determinada acción eficiente o ineficiente. Estos patrones se subdividen, además, en patrones simples o básicos, patrones complejos basados en la inercia y el patrón de arranque.

En la sección 4.2 se explica el modo básico de obtención de los **patrones básicos** y las diferentes variables en función del tipo de datos que aporta cada vehículo. También se especifica su función dentro de la metodología de aprendizaje adaptativo que se propone. En las diferentes subsecciones se definen, uno a uno, los cuatro patrones básicos y sus respectivos KPIs (*Indicador Clave de Rendimiento*, por sus siglas en inglés).

En la sección 4.3 se explica la función de los **patrones complejos** basados en la inercia dentro de la metodología. En las subsecciones se definen, uno a uno, los 7 patrones complejos y sus respectivos KPIs.

Por último, en la sección 4.4 se describe la función del **patrón de arranque** en la metodología y el motivo de su creación. En las subsecciones se definen las dos fases de este patrón y sus respectivos KPIs.

Los patrones son el elemento fundamental con el que se va a analizar el comportamiento de los conductores. La gran mayoría de patrones presentados en este capítulo tienen un papel relevante en el desarrollo de las fases de clasificación y evaluación del método de formación adaptativa para la conducción eficiente que se presenta en esta tesis. Mientras el conjunto de los patrones es la base del cálculo de los modelos de madurez (capítulo 6) y de la calificación numérica que de ellos se deriva, los patrones básicos y el

patrón de arranque nos permiten además generar una clasificación temprana (capítulo 5) que haga que el método formativo tenga un carácter adaptativo desde el primer momento.

Por último, el conjunto de patrones tiene también un cierto protagonismo en las recomendaciones automáticas (capítulo 7) aunque secundario, ya que el mayor peso de esa parte final del método lo tendrán los modelos de madurez.

4.2. Patrones básicos

Los patrones básicos son los más sencillos de todos los diseñados para caracterizar el comportamiento eficiente de los conductores profesionales. Representan una sucesión simple de eventos o una condición específica. Así el patrón *AF* (Aceleración - Freno, *sección 4.2.1.*) representa el uso del freno inmediatamente después de una aceleración, o el patrón *In* (Inercia, *sección 4.2.4*) representa todas las situaciones en que el vehículo se desplaza sin consumir combustible. Son patrones que, por su sencillez, están presentes en todas las rutas de cualquier vehículo y responden a la necesidad de ver qué pasa antes y después de esos eventos de ineficiencia y por qué se producen. La clasificación temprana que se describe en el capítulo 5 se basa en los KPIs que cada conductor obtenga para estos patrones, y también son útiles para evaluar la madurez de los conductores. La *Figura 4.1* muestra los cuatro patrones básicos y su principal característica.



Figura 4.1 Patrones Básicos

Todos estos patrones están basados en combinaciones de aceleraciones, deceleraciones, velocidades y utilización de pedales. Como los vehículos de cualquier flota no son homogéneos en cuanto al modelo o marca utilizados, o en lo referente a su antigüedad, la activación de los patrones tiene que considerar una cierta diversidad en cuanto a la calidad o cantidad de los datos obtenidos por el sistema de captura de datos. Los vehículos más modernos, que disponen de puerto FMS, nos permiten usar datos como la utilización del pedal del freno o el porcentaje de uso del acelerador. Mientras tanto, los vehículos más antiguos tan solo nos aportan las rpm del motor, la velocidad a partir de la captura de posiciones consecutivas con el GPS, conocido el intervalo transcurrido entre dichas capturas, y la aceleración en base a datos consecutivos de velocidad. Por tanto, es

necesario establecer unos umbrales que nos indiquen si un conductor está utilizando el freno o el acelerador de forma inapropiada.

Para determinar los umbrales de aceleración y deceleración que hacen que se activen los distintos patrones, se utilizan los trabajos de (*Rionda et al. 2012, 2014a*), puesto que tienen detrás un exhaustivo trabajo de documentación empírico de profesionales del ramo. Sabiendo esto, en los siguientes apartados se definen los patrones y sus KPIs.

4.2.1. Aceleración – Freno (AF)

El patrón de aceleración seguida de freno busca detectar principalmente situaciones de falta de anticipación. Inicialmente el conductor está acelerando y de forma inmediata pasa a frenar, por lo que está desperdiciando toda esa energía que fue acumulando en forma de movimiento durante la aceleración.

Este patrón está basado en un parámetro, la aceleración, que los vehículos no dan por sí mismos, sino que está calculado en base a la variación de velocidad entre dos lecturas de datos consecutivas, y al tiempo transcurrido entre ambas, siendo la velocidad uno de los datos que se puede recoger en todos los vehículos.

$$a = \frac{\partial v}{\partial t}; a = (v_f - v_i) \cdot t$$

Se buscan pues situaciones en las que se pasa de una aceleración positiva a una aceleración negativa de forma inmediata. En este punto se debe afrontar un problema; si después de una aceleración se inicia una inercia, es decir, el conductor levanta el pie del acelerador y deja ir el vehículo, salvo que la pendiente por la que se desplaza el vehículo sea muy pronunciada hacia abajo, la aceleración va a ser negativa por efecto de los rozamientos (con el suelo, aerodinámico, entre las propias piezas móviles del motor...), por lo que se debe filtrar esa aceleración de alguna manera. Es posible encontrarse con dos situaciones: que esté disponible el parámetro de utilización del freno o que no lo esté.

Si el parámetro de utilización del pedal del freno está disponible en el vehículo analizado su aparición daría la absoluta certeza de estar detectando una ineficiencia, independientemente de la intensidad de la deceleración o de la pendiente por la que discorra la marcha del vehículo. Por ello esta es la primera opción a la hora de buscar este patrón y queda definido por la siguiente sucesión de eventos:

$$a > 0 \rightarrow freno = 1$$

Si no existiese el parámetro del pedal del freno se deben buscar opciones alternativas a su detección. En este caso se van a perder parte de las situaciones de ineficiencia de este tipo. La única forma que hay de filtrar las deceleraciones que realmente se deban a la utilización del freno es que la intensidad de la deceleración provoque lo que en (*Rionda et al. 2014*) se denomina una alarma de frenada o, lo que es lo mismo, que la aceleración sea menor de un cierto límite que los autores fijan en -0,09 G, que equivale a -0,882 m/s². Puesto que una deceleración de esta intensidad se considera de por sí ineficiente, es posible considerar que sea una utilización inapropiada del freno, que podría expresarse como:

$$a > 0 \rightarrow a \leq -0,882 \text{ m/s}^2$$

Otra opción a la hora de filtrar el patrón es considerar el retraso en la reacción del conductor. En la práctica el paso de la aceleración a la frenada no siempre va a ser inmediato, sino que puede transcurrir un tiempo mínimo entre que el conductor levanta el pie del

acelerador y pisa el freno. Es por ello que, en la práctica, se introduce un retraso de hasta 2 segundos entre la aceleración y el freno. La sucesión de eventos tendría ese retraso de dos segundos entre la aceleración positiva y la aparición del freno que se representa a continuación en esta modificación de las expresiones anteriores:

$$a > 0 \rightarrow (t \leq 2s) \rightarrow freno = 1$$

$$a > 0 \rightarrow (t \leq 2s) \rightarrow a \leq -0,882 \text{ m/s}^2$$

La *Figura 4.2* muestra una representación aproximada de lo que sería un patrón de Aceleración – Freno, tanto en la hipótesis de que se disponga del dato de presencia del pedal del freno, como si es preciso utilizar el valor de la deceleración para iniciar el patrón.

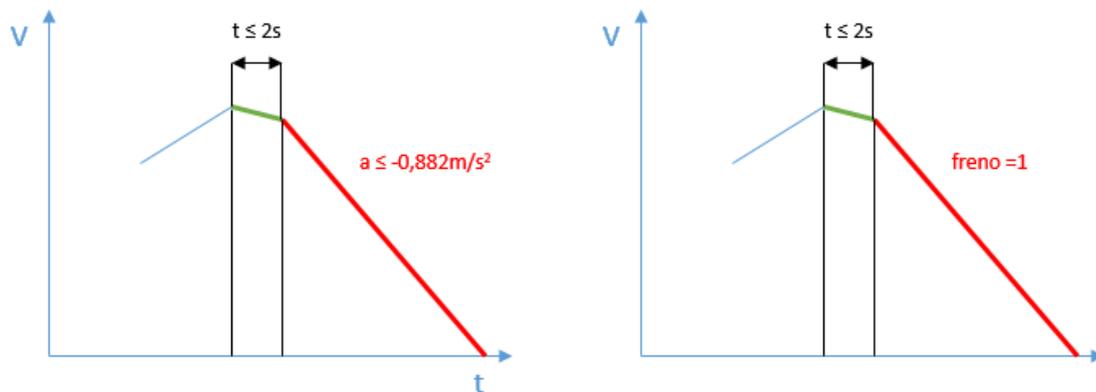


Figura 4.2 Representación de un hipotético patrón Aceleración - Freno

Este patrón penaliza, por tanto, la utilización del acelerador en demasía o, lo que es lo mismo, la no utilización de la inercia y por tanto la conducción sin anticipación. Es un patrón en el que incurren muchos conductores experimentados y a los que siempre habían dicho que debían acelerar de forma suave y luego mantener la velocidad sin oscilaciones, pero no están acostumbrados a utilizar las inercias. Esto hace que estén todo el tiempo pisando el acelerador o el freno, mientras que si realizasen inercias estarían maximizando la distancia recorrida con consumo 0.

En la *Tabla B.1*, se puede ver el listado de datos con los que se trabaja para este patrón. Por cada patrón AF que se dé a lo largo de una ruta, habrá una entrada con un número de identificación propio (*id_AF*) y otro común (*id_route*) que contendrá todos los parámetros indicados en la misma.

4.2.1.1. KPI AF

En el caso del patrón Aceleración – Freno, como KPI se considera el número de veces que aparece el patrón cada 100km recorridos por el conductor.

$$KPI_{AF}(ev. AF/100km) = \frac{n^{\circ} \text{ eventos } AF}{\text{distancia total (km)}} \cdot \frac{100(\text{km})}{1(100\text{km})}$$

Al igual que con la *Tabla B.1*, al terminar una ruta se hace recuento de los patrones que se producen de cada tipo y se obtiene una tabla en la que cada entrada representa una ruta con un número de identificación propio (*id_route*), que coincide con el identificador común de los patrones de dicha ruta, y contiene todos los parámetros explicados en la *Tabla B.2*.

Aparte del KPI definido por la ecuación del KPI_{AF} , existe la posibilidad de trabajar con otros valores, como el descenso de velocidades debido a este patrón o el valor medio de la deceleración, o incluso el consumo medio, siempre referidos al global de la ruta.

Además, siempre es posible agrupar de forma temporal las entradas de esta tabla, de forma que se podría calcular el KPI global de una semana, mes, año, o el periodo de tiempo que sea necesario.

4.2.2. Freno – Aceleración (FA)

El patrón descrito en esta sección también se ve afectado por la anticipación. La mejor forma de que un conductor pueda anticiparse al tráfico es guardar una distancia apropiada con el vehículo de delante, de forma que se pueda ver lo que hace no solo este vehículo sino también los que le preceden de forma inmediata. Esto permitirá ajustar la velocidad en función de lo que previsiblemente va a ocurrir con el tráfico, evitando principalmente frenazos bruscos en situaciones en que con una simple deceleración (preferiblemente en inercia y sin usar el freno) habría sido suficiente.

En este caso es necesario buscar la intensidad de la deceleración, ya que el no mantenimiento de la distancia de seguridad implica abusar del freno brusco, y una vez más se utiliza como referencia el valor de la alarma ($-0,882 m/s^2$) (Rionda et al. 2014), como indica la *Figura 4.3*. Sin embargo, es necesario definir algún factor más que lo convierta en un patrón, ya que si no, solamente se estaría reseñando una alarma, cosa que no supondría un cambio con lo que ya se venía haciendo previamente.

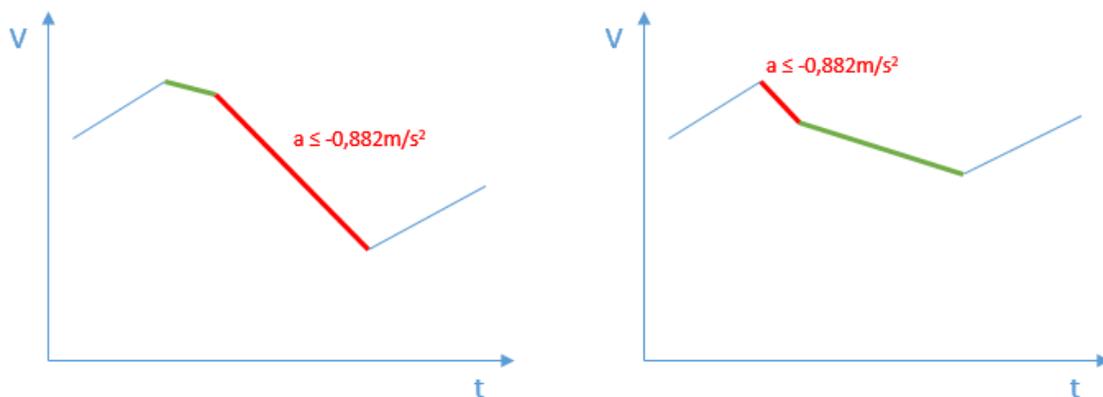


Figura 4.3 Representación de un hipotético patrón Freno - Aceleración

Es evidente que, aunque se guarde la distancia de seguridad, va a haber situaciones en que sea necesario emplear el freno de forma más o menos brusca y que no supondrán una ineficiencia propiamente dicha, puesto que al conductor no le habrá quedado más remedio que hacerlo así. Podría tratarse de vehículos que se incorporan a la vía de forma inapropiada, peatones que cruzan sin mirar, semáforos que se cierran, etc., y que van a llevar a que el conductor detenga el vehículo. Por eso, la condición que se le incluye al patrón es que la velocidad nunca llegue a ser cero, con lo que se descartaría como patrón todas estas situaciones de emergencia que no dependen del conductor. La detección del patrón se centra en eventos que lleven a continuar la marcha (no a detenerla) y que obliguen a reducir drásticamente la velocidad de una forma brusca.

El final del patrón lo marcará una nueva aceleración positiva, señal de que no se habrá frenado para detener el vehículo, sino porque este circulaba demasiado cerca del de delante, y se expresa como:

$$a \leq -0,882 \text{ m/s}^2 \rightarrow \begin{cases} a < 0 \\ v \neq 0 \end{cases} \rightarrow a > 0$$

En la mencionada *Figura 4.3* vienen representadas dos posibles configuraciones de este patrón, donde se observa que el factor común es la frenada brusca y la aceleración posterior, antes de que el vehículo llegue a detenerse.

En la *Tabla B.3*, se puede ver el listado de datos con los que se trabaja para este patrón. Por cada patrón FA que se dé a lo largo de una ruta, se obtendrá una entrada con un número de identificación propio (*id_FA*) y otro común (*id_route*) que contendrá todos los parámetros indicados en la misma.

La incidencia de este patrón suele ser menor, tanto en número como en su influencia para el consumo. Sin embargo, por ser la distancia con el vehículo precedente un elemento clave en la definición del patrón, se considera como un patrón de seguridad y se le trata igual que a los demás a efectos de su corrección, incluso se le da más importancia si cabe, puesto que la seguridad es lo primordial en el trabajo.

4.2.2.1. KPI FA

Al igual que en el caso anterior, el KPI del patrón Freno – Aceleración viene dado por la cantidad de veces que aparece dicho patrón cada 100km.

$$KPI_{FA}(ev. FA/100km) = \frac{n^{\circ} \text{ eventos FA}}{\text{distancia total (km)}} \cdot \frac{100(\text{km})}{1(100km)}$$

Al igual que con la *Tabla B.3*, al terminar una ruta se hace recuento de los patrones que se producen de cada tipo y se obtiene una tabla en la que cada entrada representa una ruta con un número de identificación propio (*id_route*), que coincide con el identificador común de los patrones de dicha ruta, y contiene todos los parámetros explicados en la *Tabla B.4*.

Se puede ver que además del KPI definido por la ecuación del KPI_{FA} existe la posibilidad de trabajar con otros valores, como el descenso de velocidades debido a este patrón o el valor medio de la deceleración, o incluso el consumo medio, siempre referidos al global de la ruta.

Además, siempre es posible agrupar de forma temporal las entradas de esta tabla, de forma que se podría buscar el KPI global de una semana, mes, año, o el periodo de tiempo que sea necesario.

4.2.3. Ralentí (*Ra*)

Este es un patrón un poco peculiar. El ralentí no es más que tener el vehículo arrancado mientras no se mueve (por ejemplo, en un semáforo). La dificultad en este caso está en discernir entre aquel ralentí que realmente es ineficiente y el que se produce por necesidades del servicio (por ejemplo, en una EMT una parada que se prolonga más de lo normal por ser una hora punta o porque tiene mucho tráfico de pasajeros). El planteamiento original de (*Rionda Rodríguez 2016*) registra paradas superiores a dos minutos, considerando que con ese tiempo ya elimina la práctica totalidad de este tipo de paradas de servicio y

porque para paradas inferiores a ese tiempo el arranque consumiría más que dejar el vehículo en marcha.

La cuestión es entonces qué parámetros se deben buscar para determinar que un vehículo está parado y consumiendo combustible por un tiempo mínimo de dos minutos. La respuesta es sencilla: simplemente será necesario que la velocidad sea igual a cero durante un tiempo igual o mayor que 120 segundos.

$$v = 0(t \geq 120s)$$

Actualmente no hay más datos disponibles que permitan asegurar si un ralentí es necesario o ineficiente, aunque se está trabajando para intentar determinarlo. Por ejemplo en algunas EMTs se plantean dos opciones: un parámetro de puertas abiertas, que daría una alta probabilidad de que el autobús estuviera cargando o descargando pasajeros (aunque no la certeza absoluta), o establecer una serie de localizaciones GPS (las paradas oficiales de la línea en la que esté trabajando) alrededor de las cuales no se consideraría una ineficiencia por ralentí, aunque esta opción es algo más difícil de implantar pero sería aplicable a todos los autobuses de EMT.

En la *Tabla B.5*, se puede ver el listado de datos con los que se trabaja para este patrón. Por cada patrón Ralentí que se da a lo largo de una ruta, existe una entrada con un número de identificación propio (*id_idle*) y otro común (*id_route*) que contiene todos los parámetros indicados en la misma.

En cuanto a otros servicios (autobuses interurbanos, camiones...) hay mucha más dispersión y dificultad a la hora de establecer las pautas. Son vehículos que no suelen tener paradas estipuladas y que, en caso de tenerlas, pueden cambiar de un día para otro, por lo que resulta aún más complejo fijarlas como punto libre de ralentí. Además, algunos servicios (camiones cisterna, por ejemplo), necesitan mantener el vehículo al ralentí durante largos periodos de tiempo, de unos 15 o 20 minutos, para realizar las cargas y descargas, por lo que habría que establecer conjuntamente con el responsable de la flota el tiempo mínimo necesario para que el ralentí se considere ineficiente o si por el contrario no se busca este patrón.

En aras de la simplificación y para mejorar y generalizar el servicio, lo mejor es hacer comparativas directas teniendo en cuenta absolutamente todo el tiempo de ralentí registrado. Si la comparativa es para un periodo de tiempo largo, digamos por ejemplo de un mes, todos los conductores que conducen en una misma línea de autobús urbano deberían tener tiempos de ralentí parecidos.

4.2.3.1. KPI Ralentí

En este caso se considera el KPI como el tiempo total que el conductor tiene su vehículo al ralentí, tomado en porcentaje respecto al tiempo total de conducción.

$$KPI_R(\%) = \frac{\text{tiempo ralentí (s)}}{\text{tiempo total (s)}} \cdot 100$$

Al igual que con los patrones anteriores, la *Tabla B.6* contiene, explicados, todos los parámetros que se obtienen al terminar una ruta, la cual dispone de un número de identificación común al que tiene en el resto de tablas de KPI de los diferentes patrones.

En este caso, además del KPI definido por la ecuación del KPI_R , solo está disponible el consumo medio de la ruta y los valores de duración de la ruta y del ralentí, que nos generan el KPI.

Además, siempre es posible agrupar de forma temporal las entradas de esta tabla, de forma que se podría buscar el KPI global de una semana, mes, año, o el periodo de tiempo que queramos.

4.2.4. Inercia (I_n)

Finalmente, aunque no por ello el menos importante, está el patrón de inercia. La razón de explicarlo al final está en que es la base de los patrones complejos, que se describen en los siguientes apartados.

El patrón de inercia está basado en un precepto básico de la conducción eficiente y del funcionamiento de los motores térmicos de explosión en la automoción. La regulación de este tipo de motores está hecha para consumir la cantidad mínima de combustible que sea necesaria para cumplir con las necesidades del conductor en cada momento. Un segundo precepto es que el motor no se apague salvo que el conductor indique lo contrario específicamente, por lo que siempre (incluso en parado) se mantendrá girando mediante la inyección automática (comandada por la centralita) de una cantidad mínima de combustible.

Según esto, si un vehículo está en marcha a una determinada velocidad, el conductor levanta el pie del acelerador (deja de pedir combustible) y desengrana la marcha, la centralita automáticamente inyectará una cantidad mínima de combustible para que el motor continúe girando, una cantidad idéntica a la que el motor consumiría si el vehículo estuviera parado en un semáforo, por ejemplo. Sin embargo, esta es una práctica nada recomendable, en tanto en cuanto se pierde el control de acción sobre la tracción y por tanto sobre el desplazamiento del vehículo, siendo una práctica insegura por encima de una cierta velocidad no muy elevada.

Pero esta acción, además de ser insegura, ni siquiera es la más eficiente pese a que la cantidad consumida es muy baja. Si en vez de desengranar la marcha se deja que el vehículo avance con una marcha engranada, el motor va a continuar ligado a las ruedas, que seguirán en movimiento impulsadas por la inercia del vehículo, por lo que el consumo necesario para mantener su giro pasará a ser nulo.

En base a esto, y teniendo en cuenta los datos que nos pueda ofrecer cada vehículo, se buscan los periodos de inercia en los que incurre un conductor como patrón positivo y que contribuyen a una conducción eficiente. Para ello hay dos caminos a seguir.

Por un lado, hay un parámetro que es posible obtener de todos los vehículos, como es la velocidad, y que según la descripción dada anteriormente debe ser distinta de cero, puesto que la inercia es la capacidad que tienen los cuerpos para mantener su estado de reposo o movimiento. Efectivamente, si a un vehículo que circula a una determinada velocidad no se le aplica ninguna fuerza (no se usa el acelerador ni el freno), este tiende a mantener su velocidad constante, lo que queda ilustrado por la ecuación fundamental de la dinámica:

$$F = m \cdot a$$

Como la masa del vehículo permanece constante, durante el desarrollo de cualquiera de estos episodios, y tiene un valor no nulo, por fuerza la aceleración del vehículo será nula

y, por tanto, su velocidad constante. Por tanto, si consideramos que la ecuación de la energía cinética es $E_{cin} = \frac{1}{2}m \cdot v^2$, al ser velocidad y masa constantes, cuando se deja que un vehículo circule en inercia, el conductor estará contribuyendo a que mantenga su energía cinética constante.

Esto sería, por supuesto, en un caso ideal en el que no hubiera rozamientos. Sin embargo, actuarán múltiples fuerzas de rozamiento: el rozamiento aerodinámico, el de las ruedas sobre la carretera o el que se genera entre los propios elementos mecánicos del vehículo son algunos de ellos. Estos elementos no dependen del conductor, por lo que lo único que puede hacer es aprovecharse de su efecto para detener el vehículo cuando así lo precise. Según esto, es posible asegurar que cuando un conductor deja que su vehículo reduzca su velocidad sin aplicar ninguna fuerza (en este caso sin frenar), lo estará haciendo de la forma más eficiente posible, puesto que la energía disipada sería la mínima en condiciones normales de funcionamiento de ese vehículo.

Este punto queda ilustrado en *(Tuero et al. 2017)*, donde se hace un estudio sobre el impacto económico que tendría la aplicación ideal de este patrón en un tramo de circulación respecto a un tramo real en que el conductor termina por detener el vehículo utilizando el freno. La *Figura 4.4*, muestra la comparación entre un tramo real, en azul, y la simulación basada en datos reales de deceleración en inercia, en caso de poder aplicarla con total anticipación (calculando el punto exacto de inicio de la inercia para llegar al punto final del tramo real a la misma velocidad) y sin impedimentos del tráfico. Por supuesto, la simulación representa la distancia (casi 800 metros) que sería posible hacer sin consumir nada de combustible.

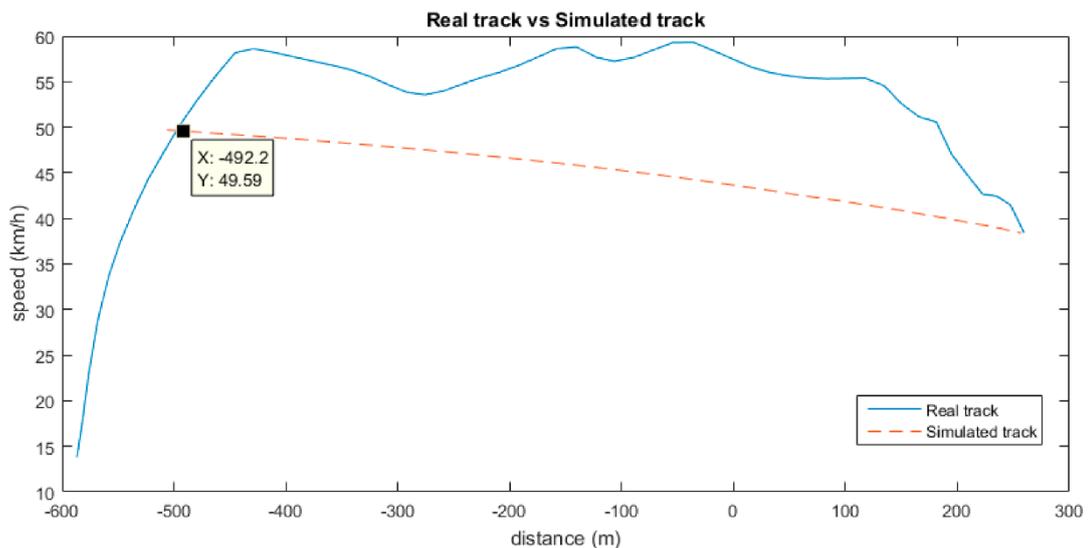


Figura 4.4 Comparación entre tramo real y simulación de aplicación ideal (sin tráfico) de inercia *(Tuero et al. 2017)*

A partir de aquí se deben buscar los parámetros que confirmen que se cumplen las condiciones de inercia. En aquellos vehículos que entreguen el consumo instantáneo no haría falta nada más ya que, si este fuera igual a cero, estaría confirmando la base del patrón, que no es otra que avanzar sin gastar combustible, como muestra la *Figura 4.5*.

$$v \neq 0 ; \text{consumo} = 0$$

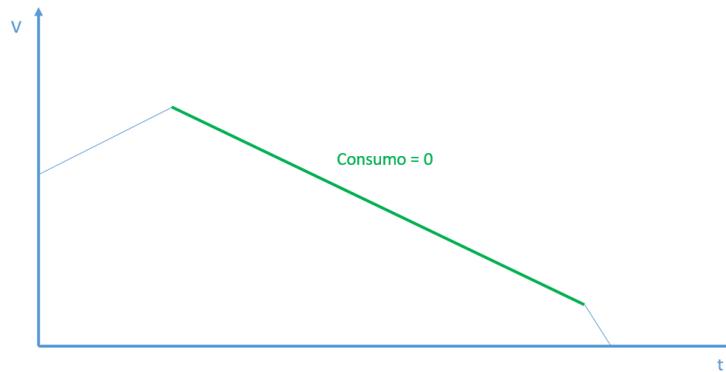


Figura 4.5 Representación de un hipotético patrón de inercia

Si no estuviera disponible este parámetro, se debería compensar con otros cuya combinación sugiriese sin lugar a dudas que el consumo es nulo pese a que el vehículo esté en movimiento. Para ello se busca la aparición de una marcha engranada, ya que es preciso que el motor siga unido al movimiento del vehículo, y la posición del pedal del acelerador, que debe estar totalmente levantado. Si se verifican estas dos condiciones, marcha engranada y acelerador al 0%, es posible afirmar que el vehículo va en inercia y, por tanto, con consumo cero.

$$v \neq 0 ; \text{marcha} \neq 0 ; \text{acelerador} = 0\%$$

Esta segunda opción, si bien es fiable, es menos común, ya que no hay muchos vehículos que ofrezcan entre los datos disponibles el porcentaje del pedal del acelerador (un verdadero/falso sería suficiente, pero no se ha encontrado hasta ahora), y ni siquiera todos los vehículos ofrecen la marcha engranada. Este método no sería aplicable a bajas velocidades, ya que la observación demuestra que, al menos en vehículos de cambio automático, por debajo de cierta velocidad la centralita manda inyectar una mínima cantidad de combustible, menor que la del ralentí, para ayudar al motor a evitar que la propia inercia lo detenga bajándole las revoluciones por debajo de las de ralentí, de forma que ya no lo pueda mantener encendido.

Otro factor importante a tener en cuenta es si el conductor está o no frenando. Siempre que el conductor utiliza el freno es posible afirmar que no está acelerando salvo que utilice técnicas no apropiadas para la conducción no deportiva y mucho menos de vehículos industriales o de transporte público. Sin embargo, no se puede decir que pisar el pedal del freno sea eficiente, puesto que se estará ofreciendo una oposición al movimiento del vehículo y, por tanto, disipando parte de esa energía cinética (en forma de calor, a través de los frenos). Es por esto que la aparición del pedal del freno durante la inercia, si no es en combinación con algún otro patrón, se utiliza únicamente como un indicador de calidad de la propia inercia.

Pero lo más habitual de los frenos es que queden englobados dentro de alguno de los patrones de ineficiencia que se han descrito, bien como desencadenante del propio patrón, o bien como consecuencia de una ineficiencia previa.

En la *Tabla B.7*, se puede ver el listado de datos con los que se trabaja para este patrón. Por cada patrón Inercia que se dé a lo largo de una ruta, existe una entrada con un número de identificación propio (*id_inertia*) y otro común (*id_route*) que contiene todos los parámetros indicados en la misma.

4.2.4.1. *KPI Inercia*

El caso de la inercia es similar al del ralentí, ya que se utiliza el porcentaje de tiempo que el conductor utiliza la inercia con respecto al tiempo total de conducción.

$$KPI_I(\%) = \frac{\text{tiempo inercia (s)}}{\text{tiempo total (s)}} \cdot 100$$

Al igual que con los patrones anteriores, la *Tabla B.8* contiene, explicados, todos los parámetros que se obtienen al terminar una ruta, la cual dispone de un número de identificación común al que tiene en el resto de tablas de KPI de los diferentes patrones.

En este caso, además del KPI definido por la ecuación del KPI_I , solo estarán disponibles otros datos como la variación de velocidad durante las inercias o, como en los casos anteriores, el consumo medio de la ruta.

Respecto a la *Tabla B.8* cabe aclarar la diferencia entre la inercia y la inercia pura. Lo que en la tabla se denomina inercia hace referencia al tiempo total que el vehículo circula con consumo nulo, sin considerar la utilización o no del freno, y se registra a modo de vestigio de las primeras versiones del patrón, pero que todavía es útil para aquellos vehículos en que no está disponible el dato de utilización del pedal del freno. Por su parte, la inercia pura resta al tiempo total de inercia el de utilización del freno. Es un dato que sube notablemente la calidad del patrón, puesto que siempre que un conductor use el freno el consumo será nulo, pero no estará cumpliendo con el patrón propiamente dicho, y siempre que esté disponible será el que se utilice.

Además, siempre es posible agrupar de forma temporal las entradas de esta tabla, de forma que se puede buscar el KPI global de una semana, mes, año, o el periodo de tiempo que sea procedente en cada caso.

4.3. Patrones complejos basados en la Inercia

Los patrones complejos basados en la inercia surgen por dos motivos diferentes. Inicialmente por la necesidad de discernir las distintas formas de parición de la inercia. En los vehículos más modernos, en que está disponible la confirmación de la utilización del pedal del freno, se catalogaba de igual manera una inercia en que el conductor simplemente dejaba ir el vehículo hasta prácticamente detenerlo que, por ejemplo, una en que pisaba levemente el freno sin llegar a superar la intensidad definida, aunque en este caso se estaría disipando parte de la energía cinética del vehículo.

El otro motivo es que, para el desarrollo de los modelos de madurez, que se explican en el capítulo 6, hace falta otro tipo de patrones cuya simple aparición permita hacer una valoración de esa acción de conducción por sí sola.

Antes de pasar a la descripción de los patrones, es necesario aclarar la condición de que los vehículos en que se apliquen deben ser lo suficientemente modernos como para incorporar entre los datos aportados el de la utilización del freno, ya que es imprescindible para definirlos.

4.3.1. Patrón Inercia con Correcciones sin Detención (*PICsD*)

Este patrón se caracteriza por ser bastante eficiente. Se dará en situaciones similares al patrón *FA*, en que haya una detención del tráfico por delante pero donde la distancia de seguridad guardada sea suficiente para permitir una reducción de velocidad progresiva

gracias a la cual no sea necesario llegar a detenerse ni frenar de forma brusca, sino simplemente regular la velocidad con leves utilizaciones del freno.

Según esto, se buscarán periodos de consumo nulo con utilizaciones más o menos breves del freno y se dará por terminado el patrón cuando aparezca una nueva aceleración.

$$\left\{ \begin{array}{l} consumo = 0 \\ freno = 0 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} consumo = 0 \\ freno = 1 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} consumo = 0 \\ freno = 0 \end{array} \right. \rightarrow \dots \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} a > 0 \\ consumo > 0 \end{array} \right.$$

En los primeros tramos no se hace referencia a la aceleración, ya que si la pendiente es hacia abajo podría ser positiva y no estar pisando el acelerador. En cambio, para el final del patrón deben darse las dos condiciones, de consumo y aceleración, puesto que, a bajas velocidades, aun sin que el conductor pise el acelerador, el consumo deja de ser cero y pasa a ser el de ralentí (por ejemplo, en autobuses urbanos de aproximadamente entre 2 y 5 litros a la hora).

La recomendación ante la aparición repetitiva de este patrón sería un leve aumento de la distancia de seguridad ya que, aunque es correcta la mantenida actualmente, aumentarla ligeramente permitiría no tener que usar el freno en estas situaciones.

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.6*, en la que los tramos finos en azul, son las aceleraciones previa y posterior al patrón, los tramos verdes representan la inercia y los tramos en rojo los periodos en que se pisa el freno:

- **PICsD1:** Velocidad a la que empieza la inercia. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy no es posible determinar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Se toma la velocidad inicial como el valor previo al inicio de la inercia.
- **PICsD2:** tiempo que se circula en inercia. Vendrá dado en la suma de varios periodos, en el caso del ejemplo *PICsD2.1* a *PICsD2.3*.
- **PICsD3:** velocidad que se pierde debido al uso del freno. Podría venir dado en la suma de varios periodos, en el ejemplo *PICsD3.1* e *PICsD3.2*. Será un indicador de la eficiencia real del patrón ya que, aunque no haya frenadas bruscas, un uso prolongado del freno nos haría acercarnos más al patrón Aceleración – Freno (aunque al final no se detenga) e implicará que estamos próximos a realizar una frenada brusca.
- **PICsD4:** tiempo de uso del freno en el patrón. Podría venir dado en la suma de varios periodos, en el ejemplo *PICsD4.1* y *PICsD4.2*. También podría influir en la modificación de las recomendaciones.
- **PICsD5:** deceleración total, o pérdida de velocidad total, a lo largo de todo el patrón. Permitirá ver qué parte de esa deceleración es debida al freno.
- **PICsD6:** tiempo total del patrón. Permitirá ver qué parte del tiempo se utiliza el freno.

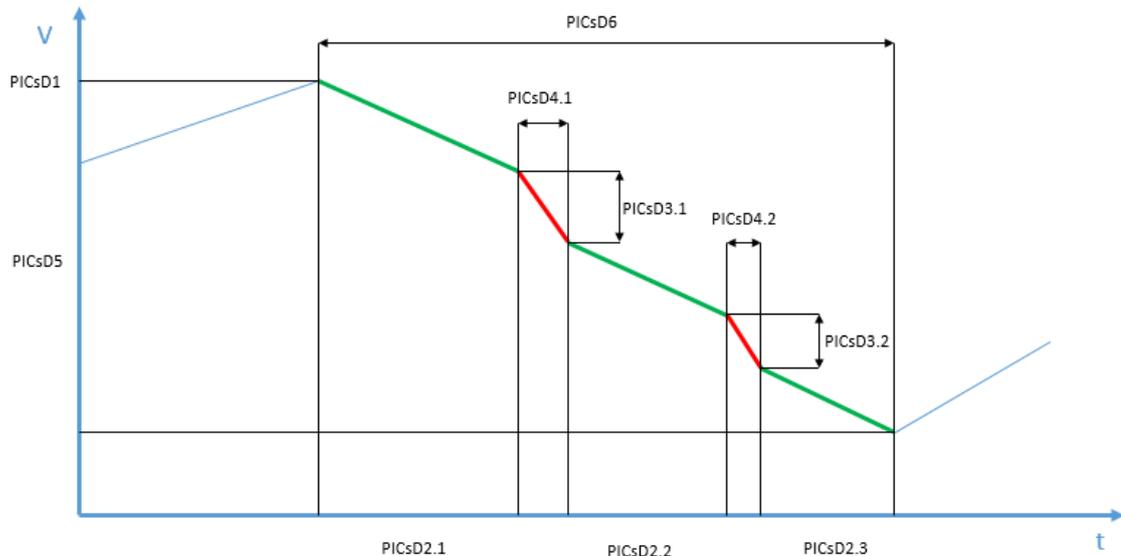


Figura 4.6 Representación de un hipotético patrón PICsD

Se divide el patrón en diferentes partes que reflejan cada uno de los tramos del patrón (inercia, freno, inercia...) empezando por la parte 1. Tras cada uno de estos tramos se analiza qué ocurre a continuación, pudiendo darse tres posibilidades, que quedarán indicadas en el campo correspondiente (*finalización*) según se indica a continuación:

- *-cont*: se vuelve a producir una inercia o se utiliza el freno sin llegar a detenerse, luego el patrón continúa
- *-acel*: se produce una aceleración, luego el patrón finaliza como un *PICsD*
- *-stop*: el vehículo se detiene, luego el patrón finaliza como *PICL* (sección 4.3.2)

Toda esta información queda recogida en la *Tabla B.9*, que es común con el patrón *PICL*, descrito en la sección 4.3.2.

4.3.1.1. KPI PICsD

Cabe destacar, a modo de introducción para los KPI de los patrones complejos basados en inercia, que estos patrones tienen un funcionamiento diferente al de los patrones básicos. Mientras que aquellos definían la eficiencia o ineficiencia de un conductor en función de si aparecían o no, en este caso, aunque están definidos en función de si representan situaciones más o menos eficientes, realmente son tan complejos que no es suficiente ver si aparecen o no, porque están diseñados, junto al patrón de arranque (sección 4.4), para completar el 100% del tiempo de conducción. Es por ello que se debe ver la diferencia no solo entre un *PICsD* y un *PICL*, por ejemplo, sino que se debe distinguir también los *PICsD* entre ellos.

Como todos estos patrones no dejan de ser versiones más complejas del patrón de inercia, al que se añade la presencia del pedal del freno, se busca esa diferencia, que no es otra cosa que la aparición del pedal del freno. Una vez llegado a esta conclusión, se ve que hay dos parámetros que afectan a la aparición de dicha complejidad, que son la duración del uso del freno (*PICsD4*) y la velocidad perdida durante ese tiempo (*PICsD3*), según se ha podido ver en la *Figura 4.6*.

Para mantener un criterio con respecto al patrón de inercia básico en cuanto a las métricas, se considera el KPI del patrón *PICsD* el porcentaje de tiempo que el freno está en uso con respecto al tiempo total del patrón activo. A efectos de resumen de rendimiento de un conductor, se promediarán estos valores entre todos los patrones *PICsD* que aparezcan.

$$KPI_{PICsD}(\%) = \left(\frac{\text{tiempo de freno (s)}}{\text{tiempo total patrón (s)}} \right) \cdot 100$$

Como en el caso de los patrones básicos, también para algunos de los complejos está disponible una tabla de KPI, que para el patrón *PICsD* recoge los datos mostrados en la *Tabla B.10*. En este caso cada entrada de la tabla se corresponde también con los valores de una ruta completa, y también como en el caso de los patrones básicos, es posible agruparlos en diferentes periodos de tiempo, según necesidad.

4.3.2. Patrón Inercia con Correcciones Largo (*PICL*)

Este patrón también es a priori eficiente. La situación es la de una inercia previa a la detención del vehículo, pero que precisa de ciertas correcciones para evitar una frenada brusca al final, por haberse iniciado demasiado tarde.

Se buscarán periodos de consumo nulo con utilizaciones más o menos breves del freno y se dará por terminado el patrón cuando aparezca el freno previamente a una detención. También podría darse la situación de que, sin llegar a tocar el freno, el vehículo bajase tanto la velocidad que la centralita se viese obligada a inyectar una cierta cantidad de combustible. En este caso la velocidad seguiría descendiendo hasta llegar a un punto en que se mantendría constante con un leve consumo de combustible, por lo que también daríamos el patrón por terminado.

$$\begin{cases} \text{consumo} = 0 \\ \text{freno} = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{consumo} = 0 \\ \text{freno} = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{consumo} = 0 \\ \text{freno} = 0 \end{cases} \rightarrow \dots \rightarrow \begin{cases} V = 0 \\ \text{freno} = 1 \end{cases} \text{ o } \begin{cases} \text{consumo} > 0 \\ a \leq 0 \rightarrow a = 0 \end{cases}$$

La recomendación ante la aparición repetitiva de este patrón sería la de intentar iniciar las inercias ligeramente antes, es decir, mejorar en la anticipación, aunque habría que hacer hincapié en que se va por el buen camino.

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.7*, en la que los tramos finos en azul, son la aceleración previa y deceleración posterior al patrón (ya con consumo), los tramos verdes representan la inercia y los tramos en rojo los periodos en que se pisa el freno:

- **PICL1:** velocidad a la que empieza la inercia. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy no es posible determinar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Se toma la velocidad inicial como el valor previo al inicio de la inercia.
- **PICL2:** tiempo que se circula en inercia. Vendrá dado en la suma de varios periodos, en el caso de ejemplo, *PICL2.1* a *PICL 2.3*.
- **PICL3:** velocidad que se pierde debido al uso del freno. Podría venir dado como suma de varios periodos, en el caso del ejemplo de la *Figura 4.7*, *PICL3.1* y *PICL3.2*. Será un indicador de la eficiencia real del patrón ya que, aunque no haya frenadas bruscas, un uso prolongado del freno nos haría acercarnos más al patrón Aceleración – Freno

e implicará que se está próximo a realizar una frenada brusca. Sería el modificador de recomendaciones junto con el tiempo de uso del freno en el patrón.

- **PICL4**: tiempo de uso del freno en el patrón. Podría venir dado como suma de varios periodos, en el caso de la *Figura 4.7*, *PICL4.1* y *PICL4.2*. También podría influir en la modificación de las recomendaciones.
- **PICL5**: deceleración total, o pérdida de velocidad total, a lo largo de todo el patrón. Permite ver qué parte de esa deceleración es debida al freno.
- **PICL6**: tiempo total del patrón. Permite ver qué parte del tiempo se utiliza el freno.
- **PICL7**: Velocidad mínima en inercia, o velocidad a que se inicia la detención al final del patrón. Debe ser mayor que la de ralentí en la marcha en la que se circule ya que, si entrásemos en ralentí, el consumo dejaría de ser cero, pero lo más próximo a ella.

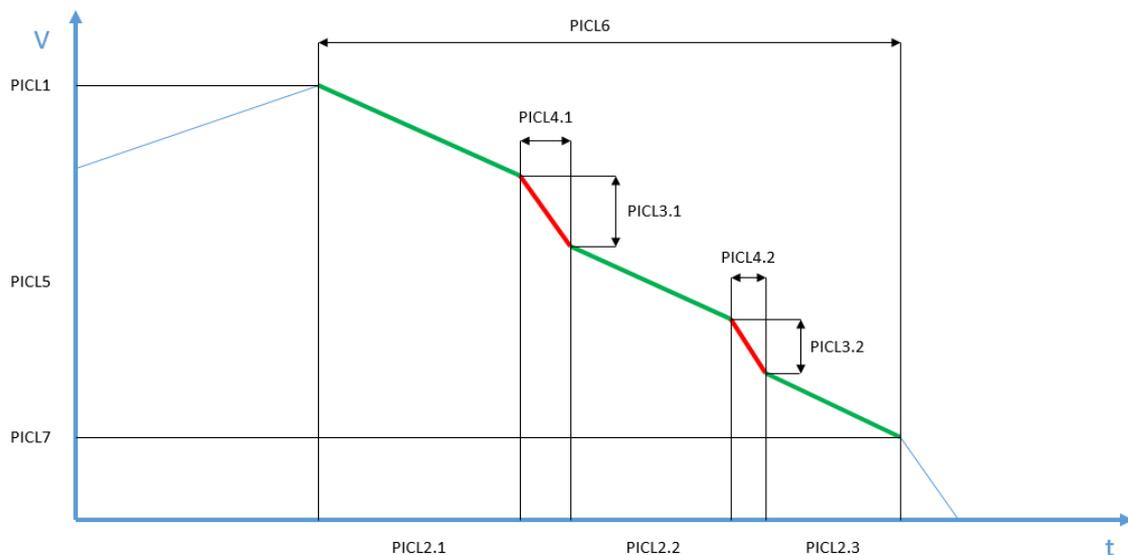


Figura 4.7 Representación de un hipotético patrón PICL

Se divide el patrón en diferentes partes que reflejan cada uno de los tramos del patrón (inercia, freno, inercia...) empezando por la parte 0. Tras cada uno de estos tramos se analiza qué ocurre a continuación, pudiendo darse tres posibilidades, que quedarán indicadas en el campo correspondiente (*finalización*) según se indica a continuación:

- *-cont*: se vuelve a producir una inercia o se utiliza el freno sin llegar a detenerse, luego el patrón continúa
- *-acel*: se produce una aceleración, luego el patrón finaliza como un *PICsD* (sección 4.3.1)
- *-stop*: el vehículo se detiene, luego el patrón finaliza como *PICL* (sección 4.3.2)

Toda esta información queda recogida en la *Tabla B.9*, que es común con el patrón *PICsD*, descrito en el *sección 4.3.1*.

4.3.2.1. KPI PICL

Para mantener un criterio con respecto al patrón de inercia básico en cuanto a las métricas, consideraremos el KPI del patrón *PICL* el porcentaje de tiempo que el freno está en uso con respecto al tiempo total del patrón activo. A efectos de resumen de rendimiento de un conductor, se promediarán estos valores entre todos patrones *PICL* que aparezcan.

$$KPI_{PICL}(\%) = \left(\frac{\text{tiempo de freno (s)}}{\text{tiempo total patrón (s)}} \right) \cdot 100$$

Pese a que comparte tabla de patrón con el patrón *PICsD* y que la tabla KPI tiene exactamente los mismos campos que la *Tabla B.10*, a la hora de almacenarla se hace por separado, a efectos de diferenciar un patrón de otro.

4.3.3. Patrón Inercia con Correcciones Corto (*PICC*)

En este caso se define un patrón similar al anterior con el matiz de que, tras hacer las correcciones, la inercia no es suficiente para llegar al punto previsto en que se debe detener el vehículo, y el conductor se ve obligado a acelerar de nuevo. En la detección del patrón, podría confundirse con el Patrón de Inercia con Correcciones sin Detención (*sección 4.3.1*), por lo que se limita el tiempo de la aceleración. Si este supera los 5 segundos, el patrón pasa a ser un *PICsD* e iniciaremos la búsqueda de otro nuevo, mientras que, si el tiempo de aceleración es menor de 5 segundos, se analiza como un *PICC*.

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{array}{l} cons. = 0 \\ freno = 0 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} cons. = 0 \\ freno = 1 \end{array} \right. \\ & \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} cons. = 0 \\ freno = 0 \end{array} \right. \rightarrow \dots \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} a > 0 \\ cons. > 0 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} cons. = 0 \\ freno = 1 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V = 0 \\ freno = 1 \end{array} \right. \end{aligned}$$

Aquí no es posible evaluar si la inercia comienza demasiado pronto o demasiado tarde. Aquí lo que se observa es que el conductor piensa que va a incurrir en el caso anterior (irse largo, teniendo que frenar al final) y lo que ocurre es que, por culpa de las correcciones, se ve obligado a realizar una aceleración al final para alcanzar el punto de detención. Es la opción más ineficiente de las que se pueden dar de entre los patrones complejos basados en la inercia.

La recomendación sería que, en caso de duda, no se realicen correcciones. Es preferible una frenada final más larga que necesitar acelerar al final. Si finalmente fuera necesario acelerar, quizás pudiera evitarse circulando al ralenti los metros necesarios, con marcha engranada, ya que el vehículo genera un empuje que podría ser suficiente sin necesidad de acelerar.

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.8*, en la que los tramos finos en azul son la aceleración previa al patrón y las deceleraciones posteriores al final del mismo, los tramos verdes representan la inercia y los tramos en rojo los periodos en que se pisa el freno:

- **PICC1:** velocidad a la que empieza la inercia. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy no es posible verificar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Únicamente se toma la velocidad inicial como el valor previo al inicio de la inercia.
- **PICC2:** tiempo que se circula en inercia. Viene dado como suma de varios periodos, en el caso de la *Figura 4.8*, *PICC2.1* a *PICC2.3*.
- **PICC3:** velocidad que se pierde debido al uso del freno. Podría venir dado como suma de varios periodos, en el caso de la *Figura 4.8*, *PICC3.1* y *PICC3.2*. Es un indicador de la eficiencia real del patrón ya que, aunque no haya frenadas bruscas, un uso prolongado del freno hace que el conductor se acerque más al patrón Aceleración – Freno e implica que está próximo a realizar una frenada brusca. Sería el modificador

de recomendaciones junto con el tiempo de uso del freno en el patrón y los parámetros referentes a la aceleración final.

- **PICC4:** tiempo de uso del freno en el patrón. Podría venir dado como suma de varios periodos. También podría influir en la modificación de las recomendaciones.
- **PICC5:** deceleración total, o pérdida de velocidad total, a lo largo de todo el patrón. Permite ver qué parte de esa deceleración es debida al freno.
- **PICC6:** tiempo total de la deceleración del patrón. Permite ver qué parte del tiempo se utiliza el freno.
- **PICC7:** velocidad mínima en inercia, o velocidad a que se inicia la aceleración al final del patrón.
- **PICC8:** velocidad que se gana al final del patrón con la aceleración de corrección. Indica cuánto de más se frenó en las correcciones previas. Base para modificar las recomendaciones.
- **PICC9:** tiempo durante el que se acelera para corregir el exceso de frenada de las correcciones previas. Base para poder modificar las recomendaciones y para definir si se está ante un patrón de este tipo o un *PICsD*.

Este patrón se superpone con otros dos: el *PICsD* (o *PICL*) explicado en la *sección 4.3.1* (o *4.3.2*) en la parte inicial, y el *PIDC* que se explica más adelante en la *sección 4.3.6* para la parte final. Sin embargo, por el componente de ineficiencia que supone es necesario mantenerlo, aunque sea separado en dos tablas diferentes. Se harán coincidir las partes comunes de ambos patrones generados para identificarlo. Así, el último tramo de inercia que vemos en la *Figura 4.8*, correspondiente al parámetro *PICC2.3*, será a la vez final del correspondiente *PICsD* e inicio del correspondiente *PIDC*.

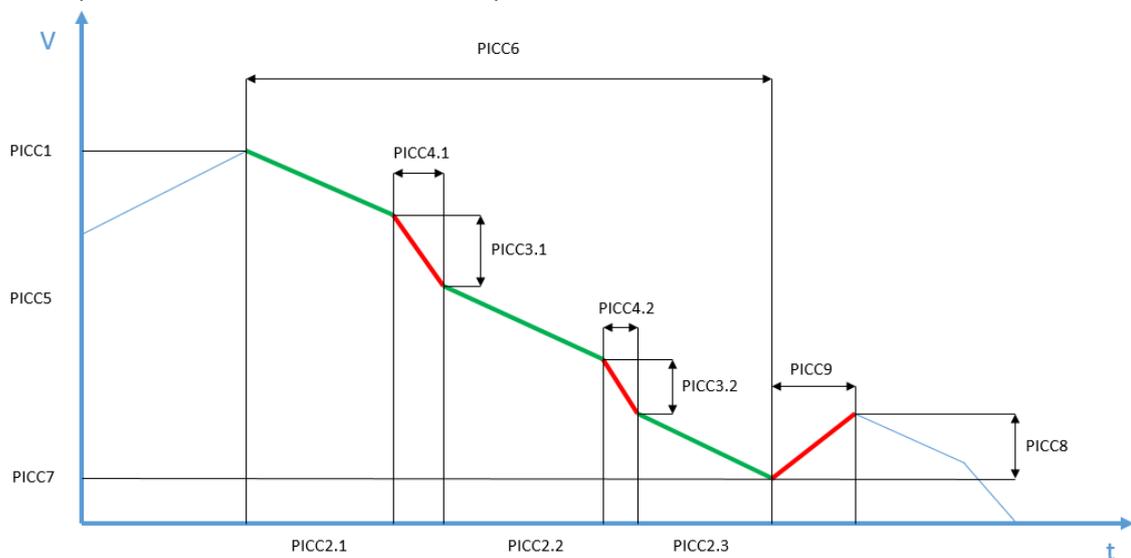


Figura 4.8 Representación de un hipotético patrón PICC

4.3.3.1. KPI PICC

Al ser un patrón compuesto por otros dos, se tendrán dos KPI diferentes, uno para la parte equivalente al *PICsD*, que será el porcentaje de tiempo de freno respecto al total de la parte correspondiente del patrón, y otro para la parte equivalente al *PIDC*, que viene definida en la *sección 4.3.6* y que será el aumento de velocidad durante la aceleración.

4.3.4. Patrón Inercia Perfecta en Ruta (*PIPR*)

Este patrón es muy sencillo y muestra como el vehículo circula con una sucesión de aceleraciones y deceleraciones sin consumo y sin uso de freno. Sería el paradigma de cómo se debería de circular. Aun así, se podría matizar dicha actuación en base a la duración de las aceleraciones y las inercias.

$$\begin{cases} cons. = 0 \\ freno = 0 \end{cases} \rightarrow a > 0 \rightarrow \begin{cases} cons. = 0 \\ freno = 0 \end{cases}$$

Según los preceptos teóricos, las aceleraciones deben ser enérgicas (no bruscas), por lo que el tiempo de aceleración debería ser menor que el de deceleración. Se podría hacer un patrón independiente que evaluara cada conjunto decel+acel. Se toma en este orden (decel+acel) para asegurar que la variación de velocidad sea la misma en sentido positivo que negativo, dando por hecho que la circulación se realizará siempre a la máxima velocidad permitida.

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.9*, en la que los tramos finos en azul son la aceleración previa al patrón y la deceleración posterior al final del mismo y los tramos verdes representan la inercia y las aceleraciones pertenecientes al patrón:

- **PIPR1:** Velocidad a la que empieza la inercia. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy no es posible comprobar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Únicamente se toma la velocidad inicial como el valor previo al inicio de la inercia.
- **PIPR2:** Velocidad a la que empieza la aceleración y que debería ser en torno a un 10% más baja que la velocidad máxima alcanzada en el patrón.
- **PIPR3:** tiempo de deceleración (inercia).
- **PIPR4:** tiempo de aceleración, debe ser menor que el de deceleración (inercia).

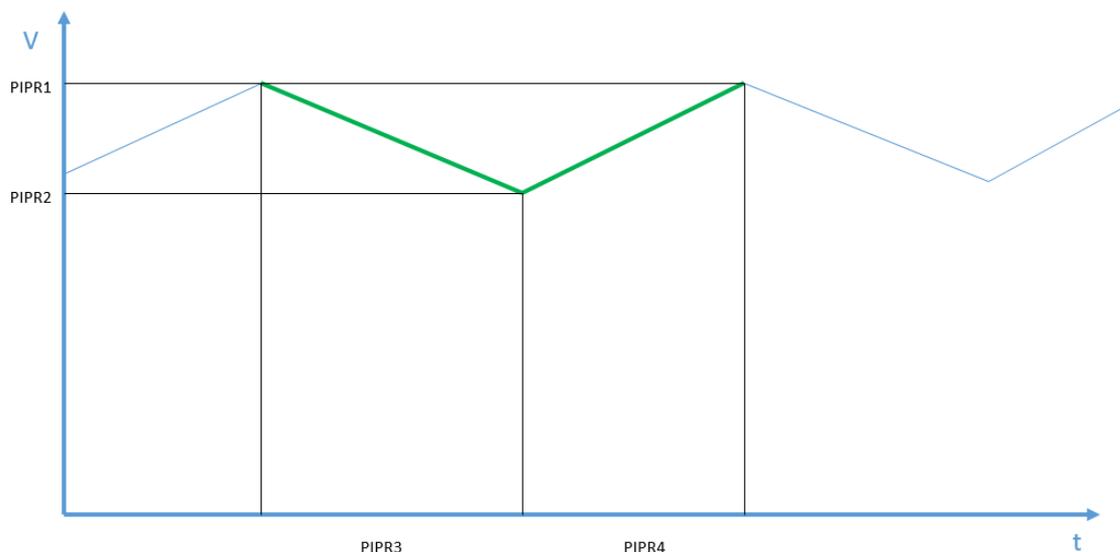


Figura 4.9 Representación de un hipotético patrón *PIPR*

Los parámetros recogidos para representar este patrón están incluidos en la *Tabla B.11*. Al igual que en anteriores patrones, cada entrada representa un tramo de patrón

numerado en el campo *parte* a partir de la parte 1 además de que cada uno tiene un identificador único (*id*), otro común a cada patrón (*id_PIPR*) y otro común a la ruta (*id_route*).

4.3.4.1. KPI PIPR

Este patrón no dispone de tabla de KPI propia, sino que va a parar directamente a la del patrón de inercia (*Tabla B.8*). La razón es su simplicidad, ya que no es más que una sucesión de aceleraciones e inercias. Sin embargo, sí es importante que figure su aparición, aunque sea a modo de reseña ya que es un patrón muy difícil de desarrollar y muy poco común, que determina una gran pericia a la hora de conducir de forma eficiente. Irá de la mano del patrón de inercia y su KPI vendrá definido por la siguiente ecuación:

$$KPI_{PIPR}(\%) = \frac{\text{tiempo inercia PIPR (s)}}{\text{tiempo total ruta (s)}} \cdot 100$$

4.3.5. Patrón Inercia Perfecta para Detención (PIPD)

Este patrón es muy sencillo y muestra como el vehículo disminuye su velocidad hasta acercarse a la de ralentí, para finalmente usar el freno y detenerse.

$$\begin{cases} cons. = 0 \\ freno = 0 \end{cases} \rightarrow freno = 1 \rightarrow \begin{cases} freno = 1 \\ V = 0 \end{cases}$$

Es el patrón más eficiente para la detención de un vehículo, ya que no precisaría de correcciones mediante freno o acelerador para aproximarse al punto de detención. Los matices deben hacerse en el momento de apretar el freno, porque puede hacerse de forma óptima o a una velocidad demasiado alta, lo que indicaría que se trata más bien de una situación de *PICL* en el que se hubieran obviado las correcciones, es decir, el inicio de la inercia se produce demasiado tarde, pero ante la duda, y para evitar un *PICC*, se evitan las correcciones y se realiza toda la frenada al final.

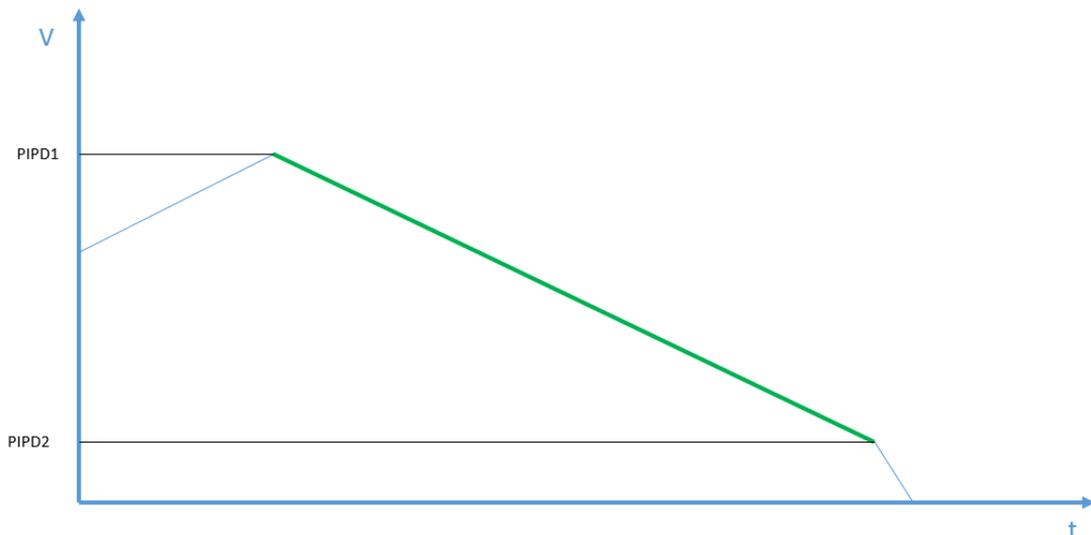


Figura 4.10 Representación de un hipotético patrón PIPD

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.10*, en la que los tramos finos en azul son la aceleración previa al patrón y la deceleración posterior al final del mismo y los tramos verdes representan la inercia:

- **PIPD1:** Velocidad a la que empieza la inercia. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy no es posible confirmar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Únicamente se toma la velocidad inicial como el valor previo al inicio de la inercia.
- **PIPD2:** Velocidad a la que se inicia la utilización del freno. Lo óptimo sería que fuese lo más próxima posible al punto en que el consumo deja de ser nulo.

Los parámetros recogidos para representar este patrón están incluidos en la *Tabla B.12*. En este caso el patrón no está formado por partes, por lo que cada uno tiene un identificador único (*id_PIPD*) y otro común a la ruta (*id_route*).

4.3.5.1. KPI PIPD

Al igual que el caso del patrón *PIPR*, no hay una tabla específica de KPI para el patrón *PIPD* por su simplicidad, por lo que queda incluido en las tablas de KPI del patrón básico de inercia (*Tabla B.8*). Sin embargo, es importante contabilizarlo como patrón por representar el patrón más eficiente a la hora de detener el vehículo, ya que supone un cálculo perfecto del momento y velocidad de inicio de la inercia para alcanzar el punto requerido. Irá de la mano con el patrón de inercia y su KPI se calculará según la siguiente ecuación:

$$KPI_{PIPD}(\%) = \frac{\text{tiempo inercia PIPD (s)}}{\text{tiempo total ruta (s)}} \cdot 100$$

4.3.6. Patrón Inercia para Detención Corto (*PIDC*)

Es una modificación del patrón anterior en el que la inercia se inicia demasiado pronto. Es sólo ligeramente menos eficiente que el *PIPD* debido a que la aceleración final pide cambiar la tendencia de la deceleración. En realidad, lo que hay es un déficit de aceleración inicial que se corrige con una aceleración final, por lo que se acelera prácticamente lo mismo.

$$\begin{cases} cons. = 0 \\ freno = 0 \end{cases} \rightarrow a > 0 \rightarrow a < 0 \rightarrow \begin{cases} freno = 1 \\ V = 0 \end{cases}$$

Es la versión eficiente del *PICC*, que provoca la aceleración final por las correcciones efectuadas con el freno sin necesidad. El matiz se hace viendo cuánto necesita acelerar al final.

Quizás pudiera evitarse circulando al ralentí los metros necesarios, con marcha engranada, ya que el vehículo genera un empuje que podría ser suficiente sin necesidad de acelerar.

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.11*, en la que los tramos finos en azul son la aceleración previa al patrón y la deceleración posterior al final del mismo y los tramos verdes representan la inercia:

- **PIDC1:** velocidad a la que empieza la inercia. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy no es posible confirmar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Únicamente se toma la velocidad inicial como el valor previo al inicio de la inercia.

- **PIDC2**: velocidad a la que se inicia la aceleración de corrección. Debe estar lo más cercana posible a la velocidad de ralenti en base a la caracterización del ralenti del vehículo y su relación de marchas.
- **PIDC3**: tiempo que dura la aceleración final. Indica lo cerca o lejos que se estuvo de la inercia óptima.
- **PIDC4**: velocidad ganada en la aceleración final. Junto al anterior, indican el nivel de ineficiencia del patrón.

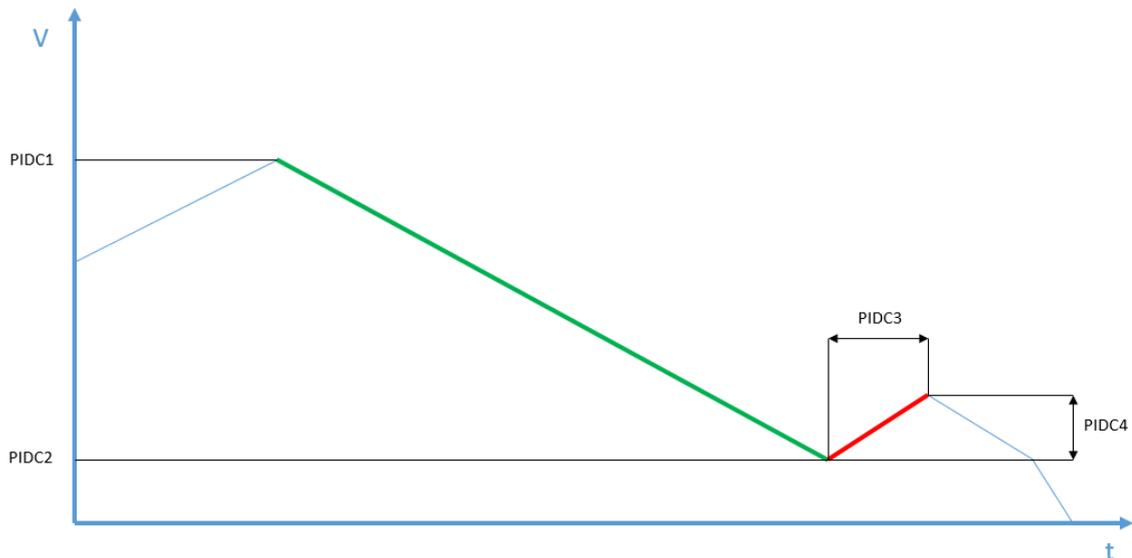


Figura 4.11 Representación de un hipotético patrón PIDC

Este patrón se corresponde con la parte final del patrón *PICC*, tal y como se explica en la *sección 4.3.3*. La *Tabla B.13* es la que explica todos los campos que aparecen en cada entrada de este patrón. Cada una de estas entradas representa una parte del patrón, al estar dividido en tramos, y se distingue por el índice del campo *parte* (0, 1 o 2). Además, cada parte tiene un indicador único (*id_PIDC*), otro común al patrón (*id*) y otro común a la ruta (*id_route*).

4.3.6.1. KPI PIDC

En este caso, el patrón dispone de tabla de KPI propia, que se corresponde con la *Tabla B.14*, y que para cada entrada registra el resumen de ruta para este patrón con los campos que figuran en la misma. El KPI viene dado por el porcentaje de duración de la parte 1, que se corresponde con el tramo de aceleración del final del patrón y que viene a ser una significación de cómo de pronto se inició la inercia, o cuánto faltó para alcanzar el punto de detención deseado. Para la tabla de KPI, donde se resume la ruta completa, se tomará el promedio de este dato.

$$KPI_{PIDC}(\%) = \frac{\text{tiempo acel. PIDC (s)}}{\text{tiempo total PIDC (s)}} \cdot 100$$

4.3.7. Patrón de Inercia Ascendente (*PIAsc*)

Este patrón surge fruto de la necesidad. La intención, como ya se explicó previamente, era conseguir que el 100% del tiempo de conducción estuviera monitorizado por patrones. Sin embargo, tras la implementación del patrón de arranque, en determinadas rutas y de forma muy poco frecuente, quedaban unos pocos segundos que no se

correspondían con ningún patrón. Revisando las muestras capturadas por el sistema embarcado en crudo (sin ningún tipo de post-procesado), se ve que corresponden con periodos de inercia en que la velocidad era ascendente. Por tanto, se define el patrón de inercia ascendente como aquella sucesión de muestras en que el consumo es nulo y la velocidad ascendente.

$$\begin{cases} a > 0 \\ consumo = 0 \end{cases}$$

El final del patrón puede venir marcado por una aceleración, lo que eliminaría la condición de consumo nulo, o por una reducción de la velocidad, bien sea debido al uso del freno, o bien por un cambio en la pendiente de la vía por la que circula el vehículo.

A continuación, se enumeran y definen los parámetros a controlar según la *Figura 4.12*, en la que los tramos finos en azul son la aceleración previa y posterior al patrón al final del mismo y el tramo verde representa la inercia ascendente propiamente dicha:

- **PIAsc1:** tiempo que dura la inercia ascendente.
- **PIAsc2:** velocidad a la que se inicia la inercia ascendente. Debería ser bastante menor que la velocidad máxima permitida para la vía, ya que de lo contrario no permitiría aprovechar la pendiente para aumentar la velocidad.
- **PIAsc3:** velocidad a la que termina la inercia ascendente. Siempre debe ser menor a la velocidad máxima permitida en la vía por la que se circula. A día de hoy, no es posible confirmar la velocidad máxima permitida en cada instante, ya que por lo general son trayectos mixtos en este sentido. Nos limitaremos a tomar la velocidad final como el valor alcanzado tras la inercia.

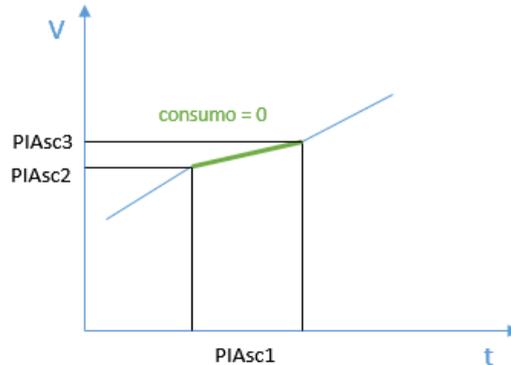


Figura 4.12 Representación de un hipotético patrón PIAsc

La *Tabla B.15* incluye todos los campos que aparecen en cada entrada de este patrón. Cada una de estas entradas representa un patrón y se distingue por un identificador único (*id_PIAsc*) y otro común a la ruta (*id_route*).

4.3.7.1. KPI PIAsc

En este caso, el patrón dispone de tabla de KPI propia, que se corresponde con la *Tabla B.16*, y que para cada entrada registra el resumen de ruta para este patrón con los campos que figuran en la misma. El KPI viene dado por el porcentaje de duración del patrón con respecto al tiempo total de la ruta. Para la tabla de KPI, donde se resume la ruta completa, se toma el promedio de este dato.

$$KPI_{PIAsc}(\%) = \frac{\text{tiempo } PIAsc \text{ (s)}}{\text{tiempo total ruta (s)}} \cdot 100$$

Se puede observar que, pese a tratarse de inercia con velocidad ascendente, se tiene en consideración el uso del freno. Puede darse la situación de que una pendiente demasiado pronunciada haga que el conductor use el freno para regular el aumento de velocidad. No es una acción ineficiente en sí, pero quizás con previsión se hubiera podido llegar con menos velocidad al inicio de la pendiente, favoreciendo un menor uso del freno.

4.4. Patrón de arranque (A)

4.4.1. Planteamiento

En este caso se busca el desarrollo más apropiado para los arranques desde parado, cubriendo todas las posibilidades que se puedan dar. El objeto principal de este patrón es caracterizar las fases de aceleración que hasta ahora estaban un poco obviadas, salvo por la existencia en el dispositivo embarcado de una alarma que advierte al conductor de que está acelerando de forma demasiado brusca, pero en sí misma la forma de acelerar no formaba parte de ningún otro patrón.

El patrón tiene 2 fases, y en ambas fases se categoriza la acción del conductor en base a si se cumple con los requisitos previstos o no. Estos requisitos están puestos en base a los límites de aceleración fijados en el sistema embarcado y a las reglas de conducción eficiente.

4.4.2. Fase 1 (A1)

La fase 1 es la de aceleración propiamente dicha. Se busca una aceleración enérgica, aunque no brusca. Se fija el valor de un umbral inferior, muy bajo, que cumpla la función de detener esta primera fase. Es una forma de eliminar las pequeñas aceleraciones que se producen cuando un vehículo inicia el movimiento para incorporarse al tráfico y se desplaza escasos metros, pero debe esperar a que pasen otros vehículos.

- Inicio de la fase
 - $V = 0 \rightarrow a > 0 \ \&\& \ V > 0$
- Desarrollo de la fase
 - $V > 0 \ \&\& \ a \geq a_1$
 - $a \rightarrow$ aceleración real
 - $a_1 \rightarrow$ umbral inferior ($0,5 \text{ m/s}^2$)
- Fin da la fase
 - $a < a_1$

Según esta descripción, en cuanto la aceleración sea positiva se inicia el patrón. El patrón entra en el desarrollo de la primera fase cuando la aceleración supera el umbral inferior, momento a partir del cual se empiezan a registrar los datos que posteriormente permitirán calcular el KPI. La primera fase del patrón se detiene cuando la aceleración cae por debajo del umbral inferior nuevamente.

Se puede dar el caso de que la aceleración no alcance el umbral inferior en ningún momento. Si después del arranque transcurriesen 4 segundos sin hacerlo, se dará el patrón por terminado. El conductor estaría realizando una aceleración excesivamente suave y supondría un error de concepto, ya que impediría la generación de inercias.

- Inicio de la fase
 - $V = 0 \rightarrow a > 0 \ \&\& \ V > 0$
- Desarrollo de la fase
 - $V > 0 \ \&\& \ a \leq a_1 \ (t \geq 4s) \rightarrow$ fin de la fase
 - $a \rightarrow$ aceleración real
 - $a_1 \rightarrow$ umbral inferior ($0,5 \text{ m/s}^2$)

4.4.2.1. KPI A1

La fase 1 del Patrón de Arranque analiza las aceleraciones de los conductores. Estas aceleraciones deben ser enérgicas sin llegar a ser bruscas o agresivas. Para determinar este punto es necesario establecer un valor que delimite ese nivel de brusquedad. En la literatura es posible encontrar referencias a este nivel de aceleración, que se establece en alcanzar los 20 km/h en 5s, lo que equivale a una aceleración de $1,11 \text{ m/s}^2$ (Qian, Chung, y Horiguchi 2013; Ando y Nishihori 2011).

Este KPI tiene una tabla que comparte con el KPI de la Fase 2 del Patrón de Arranque, y que para cada entrada registra el resumen de ruta para este patrón con los campos que figuran en la misma y que se corresponden con los que aparecen en la *Tabla B.17*. El KPI viene dado por el porcentaje de desviación de la aceleración media de arranque de cada conductor con respecto al mencionado umbral, que se llamará a_2 para diferenciarlo del umbral inferior. Para la tabla de KPI, donde se resume la ruta completa, se toma el promedio de este dato.

$$KPI_{A1}(\%) = \frac{a_2 - a \text{ (m/s}^2\text{)}}{a_2 \text{ (m/s}^2\text{)}} \cdot 100$$

De esta manera, el resultado será negativo si la media de aceleración resultante supera el umbral, mientras que será positivo si no lo alcanza. A efectos prácticos se empleará el valor absoluto del KPI, penalizando igualmente la aceleración excesiva y la escasa, siendo el objetivo aproximarse lo más posible al 0% de desviación.

4.4.3. Fase 2 (A2)

La fase 2 muestra lo que ocurre después de la aceleración inicial. Se trata de la transición desde la aceleración hacia la inercia en el caso ideal. Se plantean tres opciones. La primera sería el caso ideal, en que el conductor levanta el pie del acelerador e inicia una inercia.

- Inicio de la fase
 - $V > 0 \ \&\& \ a < a_1 \ || \ a < a_1 \ (t = 2s)$
- Desarrollo de la fase
 - Inercia
- Fin de la fase
 - Fin de la inercia

El segundo caso sería aquel en que el conductor pasa inmediatamente de la aceleración a usar el freno, en cuyo caso daríamos por terminada la fase y el patrón automáticamente. Sería un caso de *AF* (sección 4.2.1) en la arrancada. Si no estuviera disponible el dato del pedal del freno, se utiliza un umbral de deceleración marcado por la alarma de frenado de (Rionda et al. 2014), como en el caso del mencionado patrón *AF*.

- Inicio de la fase
 - $V > 0 \ \&\& \ a < a_1 \ || \ a < a_1 \ (t = 2s)$
- Desarrollo de la fase
 - $freno = 1 \ || \ a < -0,882 \ m/s^2 \ \rightarrow \text{fin de la fase}$

En el último caso, tras la aceleración inicial el conductor no soltaría el pedal, es decir, mantendría la velocidad constante, ligeramente ascendente o ligeramente descendente, usando el acelerador

- Inicio de la fase
 - $V > 0 \ \&\& \ a < a_1 \ || \ a < a_1 \ (t=3s)$
- Desarrollo de la fase
 - $a \sim 0 \ \&\& \ acelerador > 0\%$
- Fin de la fase
 - $t = 5s$

La *Figura 4.13* muestra un patrón de arranque con una aceleración superior al umbral inferior en su primera fase, y una transición posterior a inercia.

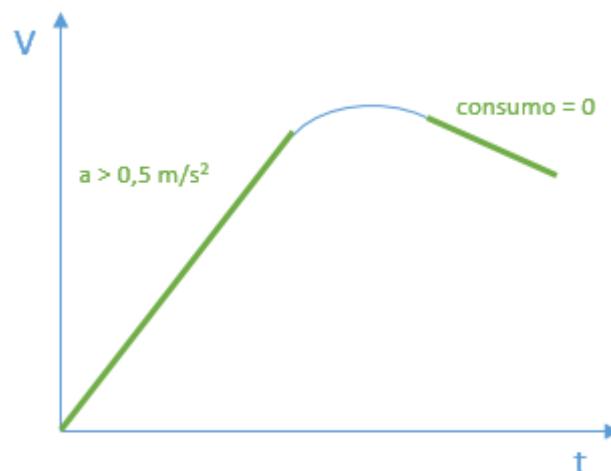


Figura 4.13 Representación de hipotético patrón de arranque perfecto en sus dos fases

La *Tabla B.17* incluye todos los campos que aparecen en cada entrada de este patrón. Cada una de estas entradas representa una parte del patrón (0 para el inicio, 1 para la Fase 1 y 2 para la Fase 2) y se distingue por un identificador único de cada parte (*id_Arranque*), otro común del patrón (*id*) y otro común a la ruta (*id_route*).

4.4.3.1. KPI A2

Este KPI tiene una tabla que comparte con el KPI de la Fase 1 del Patrón de Arranque, y que para cada entrada registra el resumen de ruta para este patrón con los campos que figuran en la misma y que se corresponden con los que aparecen en la *Tabla B.18*. El KPI de la fase 2 del Patrón de Arranque mostrará el porcentaje de veces que un conductor ejecuta de forma apropiada la transición entre aceleración e inercia. Para la tabla de KPI, donde se resume la ruta completa, se toma el promedio de este dato.

$$KPI_{A2}(\%) = \frac{trans. \text{ inercia}}{total \ P. \ Arranque} \cdot 100$$

4.5. Resumen de los Patrones de Comportamiento

A lo largo de este capítulo se ha explicado lo que es la piedra angular del trabajo de esta tesis, los patrones de comportamiento relativos a la conducción eficiente. Permiten determinar de una forma bastante fiable los fallos que cometen los conductores a la hora de aplicar la conducción eficiente, pero además buscan indicar el porqué de esos fallos con la finalidad de hacerlos útiles en una formación en la materia. También es reseñable que caracterizan el 100% del tiempo de conducción en función del comportamiento del conductor.

Los patrones básicos son la evolución natural de los eventos de ineficiencia: una combinación de acciones básicas, aceleraciones, frenadas y consumos, que permiten determinar en qué condiciones se producen las acciones de conducción. Dentro de ellos se incluyen los patrones de *Aceleración – Freno* y *Freno – Aceleración*, cuya incidencia medimos en apariciones cada 100km, y los patrones de *Ralentí e Inercia* que vienen dados por el porcentaje de tiempo con respecto al tiempo total conducido en el periodo analizado (ruta, día, semana, mes...).

El patrón *Aceleración – Freno* es el principal indicador de la falta de anticipación en la conducción. Cuando el conductor acelera durante todo el tiempo, independientemente de la intensidad, hasta que no le queda más remedio que emplear el freno, está falto de anticipación, lo que provoca aceleraciones, y por tanto consumos, excesivamente prolongadas. Un exceso de este patrón evita la aparición de inercias.

El patrón de *Freno – Aceleración* es un poco diferente al resto, en tanto en cuanto tiene más incidencia en la seguridad que en la eficiencia propiamente dicha, puesto que busca identificar situaciones en que la distancia de seguridad no es la adecuada. Sin embargo, también limita el rendimiento del conductor en los demás patrones, ya que una distancia insuficiente con el vehículo precedente limite las posibilidades de reacción.

El patrón *Ralentí* aparece cuando el vehículo está parado con el motor en marcha. Por ejemplo, en una EMT no es algo demasiado controlable, ya que depende de demasiados factores como semáforos, tráfico o afluencia de viajeros. En cualquier caso, es un dato de eficiencia relevante y también podría aportar datos valiosos en situaciones puntuales, como cabeceras de línea o ciertos puntos conflictivos.

Los patrones complejos basados en la inercia buscan diferenciar un poco todo lo que inicialmente se consideraba como inercia. No es lo mismo una inercia perfecta para detener el vehículo, que una inercia en la que se corrige la velocidad con el freno para finalmente no alcanzar el punto en que debería detenerse y se ve obligado a acelerar nuevamente, por mencionar los extremos. Además, se ha definido el patrón de inercia ascendente que nos permite terminar de definir mediante patrones el 100% del tiempo de conducción.

Finalmente, se explica el funcionamiento del patrón de arranque que, como su propio nombre indica, define el modo correcto de iniciar la marcha y su transición hacia la utilización de la inercia. Se definen las diferentes categorizaciones de los arranques que tendrán su utilidad a la hora de desarrollar los modelos de madurez en el *capítulo 6*.

Todos estos patrones, aunque son capaces de caracterizar las acciones y el comportamiento de los conductores, no permiten evaluar directamente sus habilidades. La razón es que no consideran el efecto del contexto, por lo que dos conductores con idénticos

resultados en cuanto a los KPIs de los patrones, pueden obtener evaluaciones muy distintas si, por ejemplo, conducen en líneas diferentes. En función de la cantidad de datos disponibles, que nos marcará principalmente el tiempo de conducción de cada conductor, se realizará una evaluación más o menos exhaustiva. Por un lado, se pueden evaluar las habilidades iniciales del conductor, cosa que permite además realizar una clasificación temprana previa a la formación inicial. Por otro, con una cantidad de datos mayor, es posible evaluar la madurez del conductor y obtener incluso una calificación numérica que, aunque es aplicada al contexto en que desarrolla, podría ser utilizada en un sistema de recompensas como una evaluación objetiva y justa.

5 Clasificación temprana mediante la evaluación de las habilidades de conducción

5.1 Introducción

La clasificación temprana permite tener un conocimiento de las habilidades de conducción de los conductores cuando la disponibilidad de datos sobre su estilo de conducción es muy reducida. De esta forma, pese a la escasez de datos, es posible trabajar en la evaluación y la formación personalizadas desde el inicio de la metodología formativa.

El objetivo es definir los grupos de conductores más simples posibles para poder organizar una sesión de formación inicial enfocada y adaptada a las necesidades de cada uno. La forma en que los conductores se dividen en grupos está relacionada con su desempeño en los cinco patrones que se van a tener en cuenta. Para evaluar este rendimiento, es necesario tener una referencia. Esta referencia dependerá del contexto de conducción y, en este caso, el contexto está estrictamente definido por la línea en la que cada conductor desarrolla su actividad profesional.

En este capítulo se explican los pasos a seguir en el proceso de clasificación temprana, la definición de los grupos (*sección 5.2.1*) y los contenidos de las diferentes sesiones formativas (*sección 5.2.2*), así como la asignación de los conductores a dichos grupos (*sección 5.2.3*) y los criterios utilizados para ello. Finalmente, se exponen algunas modificaciones que podrían ser necesarias en función del tamaño de la flota y la disponibilidad de las instalaciones.

5.2 Proceso de clasificación temprana

5.2.1 Paso 1. Definición de grupos según el desempeño por patrones

En primer lugar, se obtienen los KPI para cada patrón, conductor por conductor y línea por línea, con los datos disponibles para la flota en que se realiza la sesión de entrenamiento inicial. Una vez conocidos los resultados del rendimiento, patrón a patrón, de cada conductor, es necesario comparar resultados.

Para la captura de datos se dispone de un tiempo que será variable en cada caso, ya que se deberá convenir con el cliente tanto el momento de la instalación de los dispositivos embarcados como el de la formación. Este proceso debe ser válido para la posibilidad más restrictiva dentro de que exista un periodo mínimo para la captura de datos, que sería la consecución de un turno para cada conductor asistente al programa de formación. Sería

incluso posible obtener resultados desde la finalización de la primera ruta, aunque lógicamente serían menos precisos.

Es debido a esta necesidad de aprovechar el mínimo bloque de datos disponible por lo que la clasificación temprana no utiliza todos los patrones de conducción eficiente, sino tan solo aquellos más básicos y que están presentes en todas las rutas:

- Aceleración – Freno (*AF – sección 4.2.1*): anticipación.
- Freno – Aceleración (*FA – sección 4.2.2*): distancia de seguridad.
- Inercia (*In – sección 4.2.4*): aprovechamiento energético.
- Arranque
 - Fase 1 (*A1 – sección 4.4.2*): precisión al acelerar.
 - Fase 2 (*A2 – sección 4.4.3*): transición aceleración – inercia.

Se excluye de esta relación el patrón de ralentí debido a que se busca definir las habilidades del conductor. El mejor o peor desempeño en el patrón de ralentí no está basado en la aplicación de unas técnicas, sino en la regulación de un comportamiento, cuyas pautas estarán presentes en todas las sesiones formativas iniciales.

Considerando que los resultados de los KPI son altamente dependientes del contexto en que se miden los patrones, se deben comparar los resultados de aquellos conductores cuyo contexto de trabajo sea el mismo. La evaluación no va a ser muy precisa debido al escaso tiempo disponible para su monitorización, pero es una herramienta que ayudará a clasificar a los conductores en grupos homogéneos, tanto en lo referente a su nivel en conducción eficiente como en el número de conductores que asistan a cada sesión formativa. Para ello, se considera que un conductor tiene buenos resultados en un patrón específico si el KPI de ese patrón del conductor es mejor que la mediana de los KPIs de ese patrón de todos los conductores que trabajan en la misma línea. Así, la mitad del personal se encuentra entre los que mejor rendimiento obtienen en cada patrón, y la otra mitad necesita mejorar, ya que al menos la mitad de sus compañeros es capaz de hacerlo mejor en el aspecto tratado.

Inicialmente, cada conductor se incluye en un grupo nombrado por las iniciales de los patrones en que necesita mejorar. Por supuesto, habrá conductores que necesitan mejorar en todos los patrones, y habrá conductores que rindan mejor que la mitad de sus compañeros en todos los patrones. Con cinco patrones se pueden formar hasta 32 grupos diferentes en los que incluir a un conductor, que son todas las combinaciones posibles de patrones. Cada grupo representa una combinación diferente de patrones en que los conductores incluidos van a ser formados, como muestra la *Tabla 5.1*.

Tabla 5.1 Grupos de conductores por patrones

Nivel	Grupos
Nivel 0	Todo OK
Nivel 1	AF, FA, In, A1, A2
Nivel 2	AFFA, AFIn, AFAl, AFA2, FAIn, FAA1, FAA2, InA1, InA2, A1A2
Nivel 3	AFFAIn, AFFAA1, AFFAA2, AFInA1, AFInA2, AFA1A2, FAInA1, FAInA2, FAA1A2, InA1A2
Nivel 4	AFFAInA1, AFFAInA2, AFFAA1A2, AFInA1A2, FAInA1A2
Nivel 5	AFFAInA1A2

La columna de *Grupos* indica precisamente los grupos en que serán clasificados los conductores en función de los patrones en que, según la evaluación de habilidades, necesiten mejorar su rendimiento. Así, un conductor que acabe clasificado dentro del grupo *AFInA1*, por ejemplo, necesitará mejorar en los patrones *AF*, *In* y *A1*. Por su parte, el *Nivel* indica en cuantos patrones el rendimiento de un conductor debe ser mejorado. Un conductor clasificado en un grupo de nivel 0 lo hará mejor que la mitad de sus compañeros en todos los patrones, mientras que uno de nivel 5 debe esforzarse para mejorar en todos.

5.2.2 Paso 2. Definición de los contenidos de las sesiones formativas

En (*Cranton 2006*), la autora defiende que el educador que es consciente de las diferencias individuales se dará cuenta de cómo estas se maximizan cuando hablamos de educación y formación para adultos, mientras que (*Dirkx 1998*) dice que la transformación en el entrenamiento de adultos llega cuando se alcanza la individualización. Por lo tanto, un buen método para lograr esta diferenciación podría ser crear grupos de entrenamiento en los que enseñar diferentes contenidos de acuerdo a las necesidades de cada conductor, o grupo de conductores, o aquellos contenidos que se prioricen si un conductor tiene un buen nivel de rendimiento en la mayoría de los patrones.

Se debe buscar la diferenciación de los contenidos de los distintos grupos formativos, de forma que los contenidos de la sesión inicial no sean demasiado escuetos para aquellos conductores con un mejor rendimiento ni demasiado densos para aquellos con más problemas. Estos grupos de formación deben aportar información útil para buenos y malos conductores. En el caso de los peores conductores, aquellos que según la *Tabla 5.1* estarían en los niveles 4 y 5, todos los contenidos deberían mejorar su conocimiento y ayudarlos a obtener mejores resultados. En el caso de aquellos conductores con mejores actuaciones, en los niveles 0 a 2, los contenidos deben influir en sus defectos y reforzar aquellos aspectos que se consideren prioritarios. Para ello, se decide utilizar los grupos de nivel 3. La razón para seleccionar este número es de tipo logístico y organizativo, de forma que la distribución de los conductores se pueda hacer de forma equitativa independientemente del tamaño de la flota.

Sin embargo, aún quedan consideraciones que hacer antes de decir que los grupos sean definitivos. Primero, se puede ver en la *Tabla 5.1* que hay 10 posibles grupos de conductores en el nivel 3. Este podría ser un número demasiado elevado de grupos si la metodología se estuviera aplicando en una flota pequeña, entendiendo por flota pequeña aquella que no tenga conductores suficientes como para obtener un mínimo de asistencia a cada grupo. Si bien una formación diferenciada y específica es positiva, se deben tener en cuenta también los aspectos organizativos. Varios de los grupos podrían quedar desiertos o con baja asignación de conductores, por lo que no resultaría rentable asignarles un formador específico. Por tanto, se debe especificar un protocolo de reducción de grupos que permita reubicar a aquellos conductores cuya clasificación les sitúe en un grupo poco poblado, en otro con un número suficiente de asistentes. Este número debe ser negociado con el cliente, ya que implicará cambios en el coste de la formación, el tiempo empleado y las instalaciones necesarias.

Considerando las distintas vías por las que un conductor puede ser asignado a cada uno de los grupos formativos de tres patrones, en la siguiente sección se analizan esas distintas posibilidades, distinguiendo si los conductores tienen carencias en más o menos de

tres patrones. Posteriormente, en la *sección 5.3* se estudia la mejor manera de fusionar esos grupos en caso de que sea necesario.

5.2.3 Paso 3. Asignación de conductores a los grupos de formación

En esta sección se determina el grupo formativo en que estará encuadrado cada conductor. Para ello se deben establecer unos criterios que permitan situar a un conductor en un grupo formativo de forma inequívoca, independientemente del número de patrones en los que precise mejorar su rendimiento. Se definen una serie de similitudes entre patrones, así como unas prioridades de formación, de tal forma que sea posible pasar de cinco o de cero patrones a tres, afrontando indicaciones de mejora que resulten de la mayor utilidad tanto a unos como a otros. Estos criterios deben facilitar, además, la fusión entre los grupos formativos en caso de que a alguno de estos no le correspondan un número suficiente de conductores.

5.2.3.1 Criterios para la fusión entre grupos de diferente nivel

5.2.3.1.1 Criterio de similitud

La segunda fase del patrón de arranque (*A2*) es, como ya se ha explicado en la *sección 4.4.*, muy similar en su aplicación al patrón *AF*. Ambos muestran malas transiciones entre aceleración e inercia, solo que en el caso de *A2* va orientado a ser un complemento al *A1*, caracterizando lo que pasa justo después de un período de inactividad (velocidad = 0 km / h), y en el caso de *AF* muestra una falta de anticipación (después de cada período de aceleración). Por tanto, cuando un grupo hace referencia a *A2*, podemos sustituirlo por *AF* sin que varíen sustancialmente las indicaciones que se van a dar en el mismo. La razón es que, aunque *A2* y *AF* sean indicativos de comportamientos diferentes, como se puede ver más adelante en el *capítulo 6*, las técnicas empleadas para obtener buen rendimiento en ambos son muy similares.

Este criterio de similitud resulta de aplicación a la hora de asignar conductores provenientes de los niveles 4 y 5, además de en caso de que sea necesaria la fusión entre grupos de nivel 3, una vez terminada la distribución inicial. De igual manera, lo usaremos al asignar conductores de los niveles 0, 1 y 2, ya que a los grupos que tengan *AB* o *A2* se les añadirá el que no tengan (*A2* o *AB* respectivamente) a modo de refuerzo.

5.2.3.1.2 Criterios de prioridad

Lo que se debe priorizar es la importancia y la facilidad de aprendizaje de cada patrón, para que se pueda agregar a un grupo con menos patrones (dos, uno o ninguno), o descartarlo de un grupo con más patrones (cuatro o cinco), y convertirlos así en grupos de nivel tres.

Al estar en el contexto de una primera sesión de formación (se presupone que es la primera vez que los asistentes están presentes en una sesión de formación de conducción eficiente), el primer criterio aplicable sería la facilidad para aprender las técnicas que permitan obtener buenos resultados en un patrón dado.

- Facilidad de aprendizaje

In, *AF* y *FA* son patrones en los que los resultados de los conductores se podrían mejorar solo con explicarles en qué consisten. Estos patrones muestran básicamente cómo usar la inercia, si el conductor anticipa lo que va a pasar por delante de su vehículo y si

mantiene la distancia de seguridad respectivamente (*sección 4.2*). Así que, simplemente asimilando estos conceptos, el rendimiento mejorará enormemente. También la fase 2 del patrón de arranque (*A2*) resulta sencilla de comprender, por su similitud con el patrón *AF*. Por otro lado, la fase 1 del patrón de arranque (*A1*) es mucho más ambigua, ya que se debe acelerar con intensidad pero no agresivamente. La intensidad de aceleración debe aproximarse a un valor dado, pero es difícil y es una cuestión de sensibilidad con el acelerador para ser preciso en este punto, por lo que su aprendizaje es más complicado. Por lo tanto, se formarán dos grupos en función de la facilidad para aprender cada tipo patrón: los patrones conceptuales y el patrón cuantitativo, teniendo prioridad los primeros en este caso. La *Tabla 5.2* muestra los patrones prioritarios y no prioritarios según este criterio.

Tabla 5.2 Prioridad según el Criterio de Fácil Aprendizaje

Prioritarios	No prioritarios
AF	A1
FA	
In	
A2	

Como el criterio de facilidad de aprendizaje es el primero en aplicarse, hace que *A1* sea el último patrón según el criterio de asignación por prioridad.

- Eficiencia y seguridad

El siguiente paso es decidir si el siguiente criterio debe ser la eficiencia o la seguridad. Los patrones *AF*, *A2* e *In*, sobre todo este último, afectan a la eficiencia. El patrón *FA* también lo hace, pero en menor medida. Por el contrario, la seguridad solo se ve afectada por el patrón *FA*, que indica el buen o mal uso de la distancia de seguridad. Por lo tanto, en este caso se prioriza el componente de seguridad, puesto que el patrón implicado cubre ambos aspectos: la seguridad y la eficiencia. En consecuencia, el patrón *FA* recibirá la más alta prioridad en el proceso de asignación de patrones de entrenamiento.

Finalmente, se aplica el criterio de eficiencia. En este proceso el patrón de Inercia es primordial, ya que los ahorros potenciales son enormes en caso de una aplicación ideal de este patrón (*Tuero et al. 2017*), luego el patrón *In* tendrá prioridad sobre *AF* y *A2* en términos de eficiencia. Además, *AF* y *A2* tienen una incidencia similar en la eficiencia, pero *AF* está sujeto a aparecer en más situaciones que *A2*. Por lo tanto, el criterio final de prioridad para la asignación del patrón de formación será como se muestra en la *Tabla 5.3*.

Tabla 5.3 Criterio de Prioridad

Mayor Prioridad				Menor Prioridad
FA	In	AF	A2	A1

Completada la definición de este criterio, ya están disponibles las herramientas necesarias para realizar la asignación de conductores en grupos de nivel 3, y su posterior fusión en caso de necesidad.

5.2.3.2 Conductores con bajo desempeño en tres patrones

Una vez que se han definido los grupos en que se van a clasificar a los conductores, hay que hacer converger los 32 grupos originales en los diez grupos de formación. Se comienza con el caso más simple, los grupos de tres patrones, y en las siguientes secciones se explican los casos, un poco más complejos, con más o menos de tres patrones por grupo.

Es muy simple en el caso de estos grupos porque todos ellos tienen una relación directa. Simplemente se incluye a cada conductor en el grupo que le corresponda.

5.2.3.3 Conductores con bajo desempeño en más de tres patrones

Para todos los grupos de conductores con bajo desempeño en más de tres patrones, seguiremos los mismos criterios: en primer lugar, el criterio de similitud y en segundo lugar el de prioridad. De esta manera, podremos fusionar los grupos que incluyen a conductores con necesidades formativas en cuatro o cinco patrones tal y como se muestra en la *Figura 5.1*.

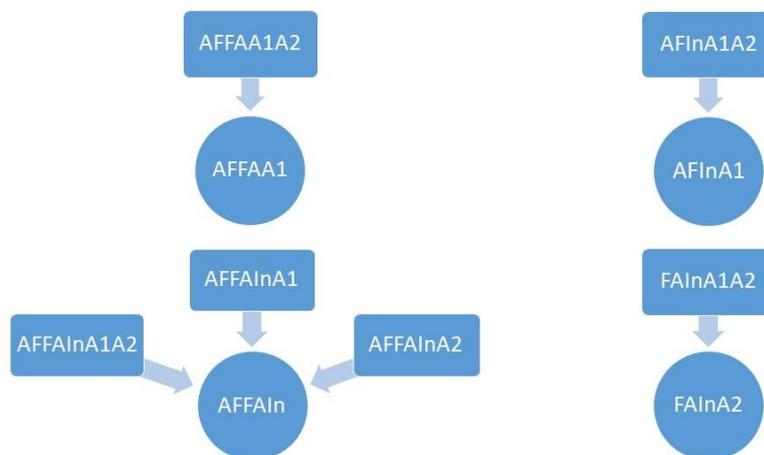


Figura 5.1 Asignación de grupos de Nivel 4 y 5 a Grupos Formativos

En este caso, y lo mismo sucederá cuando se asignen los grupos de conductores de nivel 2 o menos, se envía a los conductores de los grupos originales a los de formación. Si se observa la figura con detenimiento, es posible ver cómo se descarta este último al aplicar similitud. Tal es el caso de los grupos *AFFAA1A2* (que se incluye en *AFFAA1*), *AFInA1A2* (en *AFInA1*), o *AFFAInA2* y *AFFAInA1A2* (en *AFFAIn*). Al grupo de nivel 5, además, debe aplicarse el criterio de prioridad, ya que de otra manera seguiría teniendo 4 patrones. De esta manera, se descarta el patrón menos prioritario de los que le queda una vez descartado *A2* por similitud, por lo que sus conductores se encuadran en *AFFAIn*. De igual manera se le aplica el criterio de prioridad a *FAInA1A2*, al que no se puede aplicar similitud, de tal manera que se descarta el patrón *A1*, el menos prioritario de todos, y sus conductores quedan encuadrados en el grupo de nivel 3 *FAInA2*.

5.2.3.4 Conductores con bajo desempeño en menos de tres patrones

Los conductores con mejores rendimientos serán incluidos en estos grupos. Los criterios de asignación nuevamente siguen el mismo orden: similitud y prioridad, como se muestra en *Figura 5.2*.

Esto pondría fin al proceso de asignación de grupos de formación. En este punto, todos los conductores habrían sido incluidos en un grupo de formación acorde a sus necesidades, por lo que el objetivo estaría conseguido. Cabe reseñar que no todos los grupos de nivel 3 son objetivo de otros grupos de niveles superiores o inferiores. Según estos criterios de asignación, los grupos *FAA1A2* e *InA1A2* no reciben más conductores que los que les sean asignados inicialmente.

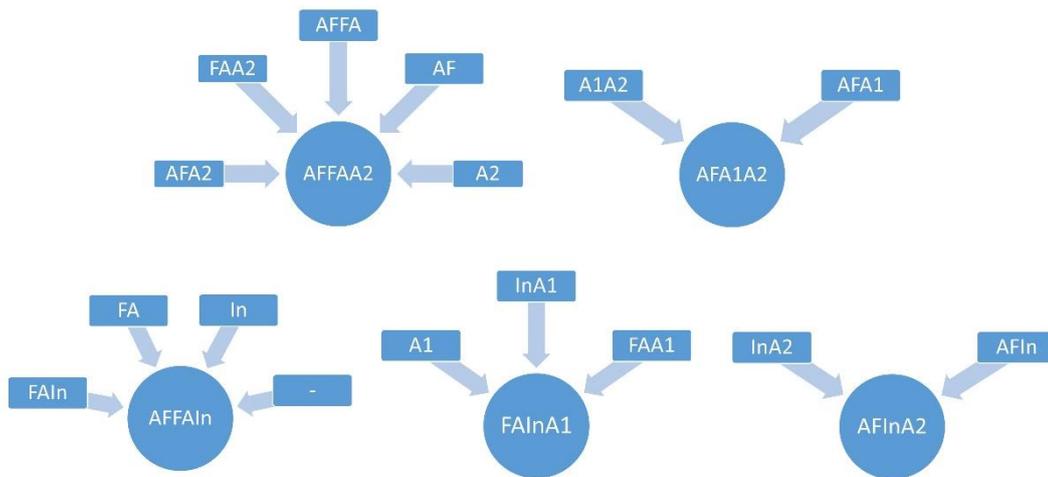


Figura 5.2 Asignación de grupos de Nivel 0, 1 y 2 a Grupos Formativos

5.3 Consideraciones posteriores a la asignación

Con el proceso de asignación de grupos finalizado, se debe observar la distribución que finalmente se obtenga de los conductores en los diferentes grupos. Pocas veces la distribución será perfecta, donde los diez grupos de formación tengan la misma cantidad de conductores. Al usar un sistema de prioridades es lógico que unos grupos resulten mucho más concurridos que otros. Además, esos grupos más concurridos también van a ser los que presenten mayor diversidad en cuanto al nivel de los conductores.

Si observamos la *Figura 5.1*, se puede ver como el grupo formativo *AFFAIn*, cuyos contenidos son los 3 patrones más prioritarios, incluye al grupo de nivel 5, cuyos conductores tienen necesidades formativas en todos los patrones. Esto es lógico, ya que aquel conductor que tenga tantos déficits deberá empezar su formación por lo más básico. No tiene sentido intentar enseñarle a acelerar correctamente si después no utiliza el movimiento del vehículo de forma adecuada.

Por otro lado, la *Figura 5.2* muestra que este mismo grupo formativo incluye también a aquellos conductores excelentes que lo hacen todo mejor que la mayoría de sus compañeros, es decir, al grupo de nivel 0. Aunque parezca contradictorio, esto también es lógico, ya que el patrón *A2* se afronta de forma más genérica con el *AF* y salvo que existan carencias específicas no es necesario reforzarlo. Por otro lado, el *A1* no aplica un concepto claro, sino que es una cuestión de sensaciones a la hora de acelerar. Si se intenta corregir o

animar a que lo haga bien a un conductor que ya lo hace bien, es fácil que el resultado sea el contrario al buscado. Sin embargo, los patrones prioritarios sí son conceptuales: guardar distancia de seguridad, observar varios vehículos por delante del precedente para poder anticipar lo que pasa en la circulación y utilizar la inercia. No está de más repasarlo, independientemente del nivel del conductor.

Otra circunstancia que podría darse es una distribución desigual de los grupos. Por un lado, en flotas pequeñas, habrá grupos poco numerosos. Por el contrario, flotas mucho más grandes pueden generar problemas de espacio en las aulas disponibles. Se debe marcar un criterio en ambos casos, que permita fusionar o desdoblar grupos de forma que estos tengan una asistencia dentro de unos márgenes estipulados. Lógicamente, una sesión formativa con menos asistentes resultará menos económica que otra masificada. La empresa que aplique la metodología debe tener esto en cuenta en sus tarifas, y su cliente decidir asesorado por los expertos en conducción eficiente, pero esto no es parte de los objetivos de la Tesis, sino una cuestión comercial ajena a la misma.

5.3.1 Grupos despoblados

Este será un caso que fácilmente se podría dar en flotas pequeñas o en programas piloto para una pequeña parte de la plantilla de una flota de conductores profesionales. Se van a ver las opciones de fusión disponibles considerando los diez grupos formativos y los criterios de similitud y prioridad.

Se estudian primero los grupos que contienen los patrones *AF* y/o *A2*, porque son los que están involucrados en el criterio de **similitud**. Aplicando este criterio, la *Tabla 5.4* muestra las fusiones directas de todos aquellos grupos formativos que incluyan el patrón *A2* o el *AF*, siempre que estos se encuentren despoblados.

Tabla 5.4 Fusión de grupos con los patrones AF o A2 por similitud

Grupo con A2	Grupo con AF
FAInA2	AFFAIn
FAA1A2	AFFAA1
InA1A2	AFInA1

Esta fusión es bidireccional, es decir, si los grupos despoblados fueran *AFFAIn*, *AFFAA1* o *AFInA1*, los conductores que les hubieran sido asignados pasarían a los grupos *FAInA2*, *FAA1A2* e *InA1A2* respectivamente. Este tipo de unión solo se realizará en caso de que el grupo resultante tenga el número mínimo de asistentes que se haya pactado con los responsables de la flota. En caso contrario se omitirá el paso ya que en la posterior fase de fusión por prioridad quedaría desvirtuada.

Sin embargo, no todos los grupos se pueden fusionar por el criterio de similitud, ya que hay varios que además incluyen el patrón *AF*. Estos grupos se incluyen en la *Tabla 5.5* y se fusionan por **prioridad**. También se incluyen en esa tabla las fusiones por prioridad de aquellos grupos que al fusionarse por similitud sigan sin alcanzar el número mínimo de asistentes estipulados. El criterio para esta priorización es sustituir el patrón menos prioritario del grupo por el más prioritario de los que no estaban originalmente en el mismo. Por ejemplo, en el *AFFAIn* se sustituye *AF* (el menos prioritario original) por *A2* (más prioritario de los no originalmente en el grupo) y en un segundo grado de prioridad por *A1* (el menos prioritario de los no originalmente en el grupo). Luego se sustituiría *In* (segundo

menos prioritario de los originales) de la misma forma, y por último se hace igual con *FA* (el más prioritario). De esta forma se alcanzan 6 niveles de prioridad, aunque no es probable que sea necesario llegar a ese nivel.

De esta manera quedan explicadas las opciones de fusión de los grupos que incluyen al patrón *A2*, sujeto al criterio de similitud. También quedan vistos aquellos grupos con el patrón *AF* para su fusión por similitud en la relación bidireccional establecida en la *Tabla 5.4*. Sin embargo, podría darse el caso de que, una vez realizada esta fusión, los grupos objetivo sigan sin tener la cantidad mínima de asistentes que se haya fijado entre las empresas. Este caso es muy poco probable en el caso del grupo *AFFAIn*, puesto que es el grupo de máxima priorización y por tanto tendrá tendencia a ser el más concurrido. De producirse llevaría a reubicar a los conductores en el grupo de mayor **prioridad** que contenga dos de los patrones de su grupo original, tal y como muestra la *Tabla 5.6*.

Tabla 5.5 Fusiones por orden de prioridad de grupos con AF y/o A2

Grupo con AF y/o A2	Orden de prioridad					
AFFAIn	FAlnA2	FAlnA1	AFFAA2	AFFAA1	AFInA2	AFInA1
AFFAA1	AFFAIn	AFFAA2	FAlnA1	FAAIA2	AFInA1	AFAIA2
AFFAA2	AFFAIn	AFFAA1	FAlnA2	FAAIA2	AFInA2	AFAIA2
AFInA1	AFFAIn	AFInA2	FAlnA1	InA1A2	AFFAA1	AFAIA2
AFInA2	AFFAIn	AFInA1	FAlnA2	InA1A2	AFFAA2	AFAIA2
AFAIA2	AFFAA1	AFInA1	AFFAA2	AFInA2	FAAIA2	InA1A2
FAlnA2	AFFAIn	FAlnA1	AFFAA2	FAAIA2	AFInA2	InA1A2
FAAIA2	FAlnA2	AFFAA2	FAlnA1	AFFAA1	InA1A2	AFAIA2
InA1A2	FAlnA2	AFInA2	FAlnA1	AFInA1	FAAIA2	AFAIA2

Aquellos grupos que aparecen tachados y en rojo no serían una opción puesto que serían la misma fusión que si se empleara el criterio de similitud y para llegar a este punto ya habrían quedado descartados previamente. El grupo *AFAIA2* es una excepción. *A1* es menos prioritario que *A2*, pero será este último el que se sustituirá en primera instancia por su similitud con *AF*.

Quedaría por último el único grupo de los diez de nivel 3 que no incluye ni al patrón *AF* ni al *A2*. Su fusión tendría que producirse por **prioridad**, ya que no hay opción de aplicar similitud. Esta relación de prioridad se muestra en la *Tabla 5.6*.

Tabla 5.6 Prioridad para el grupo sin AF ni A2

Grupo sin AF ni A2	Orden de prioridad					
FAlnA1	AFFAIn	FAlnA2	AFFAA1	FAAIA2	AFInA1	InA1A2

Con esta última relación quedarían especificadas todas las opciones de reubicación de conductores desde sus grupos de asignación originales por motivos de despoblación de los mismos.

5.3.2 Grupos sobrepoblados

Podría darse la circunstancia, principalmente en las flotas más numerosas, de que los grupos estén sobrepoblados. Para estos casos, la condición de sobrepoblación de un grupo

se podrá fijar bien por un problema de aforo de las aulas disponibles para la formación, o bien por acuerdo de unos números límite entre empresas.

A la hora de desdoblar los grupos, se podrá realizar tres formas distintas. Por un lado, se podría hacer un desdoble directo, a dos grupos iguales, con los mismos contenidos formativos que el original. Esta sería una opción perfectamente válida, pero se estaría perdiendo la posibilidad de aumentar el grado de personalización de la formación que nos ofrece la posibilidad del desdoble. Así pues, una opción intermedia sería hacer el desdoble de forma que los nuevos grupos se formen en función del nivel, aunque esto solo se podrá realizar en grupos como el *AFFAIn*, que incluye grupos de los seis niveles (desde el 0 hasta el 5) o el *AFFAA1* (ver *Figura 5.1* y *Figura 5.2*). Por último, una tercera opción sería ajustar los contenidos de los grupos desdoblados. Sin embargo, viendo las composiciones de los grupos formativos en las *Figura 5.1* y *Figura 5.2*, esta opción tiene varios inconvenientes. Por un lado, habría que considerar la proveniencia de cada uno de los integrantes del grupo a desdoblar y realizar una segunda agrupación en función de esa proveniencia, por lo que, al buscar los tres contenidos a impartir, acabarían siendo los mismos que los del grupo original, como es lógico. Por tanto, se optará por una división por niveles en aquellos grupos en los que se pueda, y en los que no, un desdoble directo.

5.4 Resumen de Clasificación Temprana y Evaluación de las Habilidades de Conducción

Este capítulo describe un método de clasificación temprana de las habilidades de conducción, basado en la asignación de conductores profesionales a grupos de entrenamiento que aglutinan los principales aspectos que es necesario aprender en conducción eficiente. Esta clasificación temprana permite hacer el método adaptativo e individualizado desde el principio. Se emplea una cantidad muy pequeña de datos de desempeño de los conductores según los patrones básicos y el patrón de arranque, definidos en el *capítulo 4*, y se evalúan las capacidades de los conductores antes de tener ningún contacto con la formación en conducción eficiente. En base a estas capacidades se definen los contenidos de las sesiones formativas iniciales.

Se establecen los criterios de similitud entre patrones y de prioridad formativa que permiten flexibilizar el número de grupos en función del tamaño de la flota y de las instalaciones disponibles. Estos criterios establecen reglas de dos vías. Esto significa que es posible usarlas para minimizar la cantidad total de grupos para que sean manejables por una compañía pequeña, pero ayudan al mismo tiempo a aumentar la flexibilidad en el caso de grandes flotas o de que las empresas solo dispongan de aulas de espacio reducido.

6 Modelos de madurez

6.1 Introducción

Hasta ahora, se ha hecho una evaluación preliminar de las habilidades de los conductores, por medio del análisis de una serie de patrones obtenidos de una cantidad muy reducida de datos. Esto resulta muy útil a la hora de determinar el punto de inicio de la formación personalizada de cada individuo. Sin embargo, en periodos de tiempo más largos se debe realizar una evaluación más exhaustiva, específica y, sobre todo, objetiva, que permita recompensar y motivar a cada conductor en función de su desempeño en el puesto de trabajo (*Ghergulescu, Flynn, y O'Sullivan 2016*)

Los beneficios de esta metodología de evaluación son diversos: por un lado, el método evalúa la eficiencia de la conducción como resultado del comportamiento al volante de cada profesional. Por otra parte, la evaluación no se realiza fuera de la actividad laboral, sino sobre su propio desempeño. Se obtienen, por lo tanto, resultados realistas, puesto que el proceso de evaluación se lleva a cabo durante la actividad normal de trabajo y refleja con precisión el comportamiento del conductor.

Por otra parte, la metodología debe facilitar la evaluación de la eficiencia del conductor en diferentes contextos de conducción, permitiendo así saber en qué ámbito un conductor es más eficiente y tiene un mejor rendimiento global. En este sentido, el contexto de conducción no sólo debe referirse a las características del servicio, al tipo de vehículo o a la ruta, sino también a las condiciones climáticas, la ubicación geoespacial o la distribución horaria, entre otros, pudiendo así identificar una lista detallada de las acciones que los conductores deben cambiar o mejorar con el fin de alcanzar un mayor nivel de eficiencia, por lo que permite dar un trato personalizado y consejos detallados para mantener la motivación del conductor en el proceso de aprendizaje de conducción.

Para realizar esta evaluación se emplea el concepto de madurez, o el nivel de madurez. Este es un concepto que aparece como consecuencia del desarrollo de los modelos de madurez de la capacidad personal, PCMM por sus siglas en inglés (*Curtis, Hefley, y Miller 2009*). Representa las distintas etapas que debe ir superando el conductor en un proceso de mejora continua. La superación de esas etapas estará determinada por la consecución de unos objetivos en forma de KPI. En el caso de la metodología expuesta en esta tesis, los modelos de madurez están adaptados al caso particular de una flota de conductores profesionales en que los KPI objetivo no pueden ser fijos, sino que se adaptan a un contexto cambiante en cada periodo de evaluación (*Pozueco et al. 2017*).

Si se analiza cualquier proceso de conducción y, en paralelo, los patrones, es fácil distinguir diferentes tipos de acciones según el objetivo que se busque en cada momento.

Algunas de estas acciones van orientadas a poner el vehículo en marcha, otras a mantener el ritmo del tráfico y otras a detenerse. Por ello, para evaluar las habilidades de los conductores se divide la conducción en tres fases. El acto de conducir, desde el punto de vista de los parámetros que son monitorizados, siempre sigue un mismo ciclo. El vehículo está parado y empieza a acelerar hasta alcanzar la velocidad de circulación. A partir de ahí se sucede una serie de acciones que llevan a mantener el vehículo en marcha hasta que, por último, se inicia una deceleración cuya finalidad es acabar deteniendo el vehículo. En una misma ruta, este ciclo se llevará a cabo de forma repetitiva en un número variable de ocasiones y la duración proporcional de cada una de esas fases variará en función del tipo de servicio prestado y de la vía recorrida, pero siempre siguiendo la misma estructura.

Cada uno de los patrones de conducción eficiente, por sus características, quedarán encuadrados en alguna de esas fases. Sus KPIs, combinados con unos cálculos que emplean la metodología de la lógica difusa, permiten determinar el grado de madurez del conductor a la hora de aplicar la conducción eficiente en cada fase, así como una calificación global, numérica e inequívoca, representativa del rendimiento.

El resto del capítulo explica la definición de las fases de conducción (*sección 6.2*), en qué consiste la evaluación de la madurez (*sección 6.3*) y desarrolla el método de cálculo de los Modelos de Madurez (*sección 6.4*).

6.2 Definición de las fases de conducción

Las fases de la conducción tienen diferentes características. La “fase de arranque” es básicamente una aceleración cuyo objetivo es ponerse a la velocidad de marcha. La “fase de marcha” es una sucesión de aceleraciones y deceleraciones cuyo objetivo es mantener el vehículo a una velocidad tal circule de forma fluida dentro de las condiciones del tráfico que le rodea. Por último, la “fase de detención” está formada por una única deceleración, aunque en algunas circunstancias especialmente ineficientes podrían ser dos, con la finalidad de detener el vehículo, como se muestra en la *Figura 6.1*. La búsqueda del desempeño del conductor en distintos ámbitos y situaciones es la que hace necesario que estas fases se analicen de forma separada.

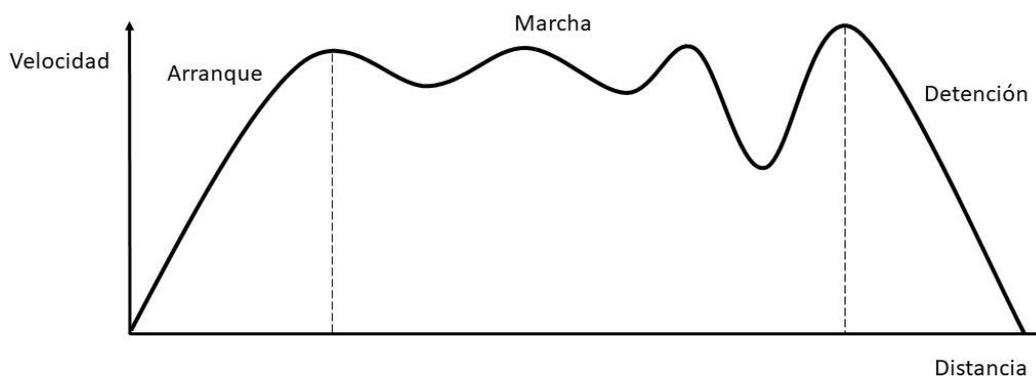


Figura 6.1 Representación esquemática de un ciclo de conducción y sus tres fases

- Fase de arranque

La fase de arranque se inicia con el vehículo parado. Está compuesta, como se acaba de indicar, por una única aceleración, y se acaba al iniciarse la primera deceleración.

Se busca analizar el modo que tiene el conductor de incorporarse al tráfico desde una situación de detención, en relación a sus otros compañeros que actúan en un contexto similar. Tendrá mayor importancia en servicios urbanos, como autobuses municipales o servicios de recogida de residuos sólidos urbanos, mientras que su incidencia en la eficiencia será más residual en autobuses interurbanos o transportes de mercancías de largo recorrido.

- Fase de marcha

Comprende desde la primera deceleración del ciclo hasta que se inicia la última, que lleva a la detención del vehículo.

Se analiza la forma en que el conductor anticipa las fluctuaciones del tráfico para mantener la marcha, como guarda la distancia de seguridad y como maneja la inercia de su vehículo en estas circunstancias. Es la fase que más varía de un servicio a otro, o de un tipo de vía a otro. Puede pasar de ser prácticamente inexistente en un servicio de recogida de residuos sólidos urbanos, a representar más del 90% del tiempo de conducción en servicios de autobuses de recorridos largos nacionales o internacionales.

- Fase de detención

Esta última fase se inicia cuando el conductor empieza a decelerar para detener el vehículo y termina al detenerse por completo. Al igual que la fase de marcha, la de detención se ve afectada por la anticipación y el mantenimiento de la distancia de seguridad, pero, además, también se fija en la gestión que hace el conductor de los momentos en que el vehículo está parado. Al igual que en el caso del arranque, tendrá más incidencia en servicios urbanos.

6.3 Evaluación de la Madurez

Tras la evaluación de habilidades iniciales y la clasificación temprana que nos da pie a la organización de los distintos grupos que logran que la formación se adapte a las necesidades del conductor desde la sesión inicial (*capítulo 5*), entramos en una fase que ya disponemos de un volumen de datos suficiente como para hacer un análisis más exhaustivo y preciso, por lo que pasaremos a evaluar la madurez que demuestran los conductores en las diferentes fases de la conducción.

La práctica de la conducción es un proceso humano y, como consecuencia, es impreciso y es difícil categorizar sus resultados de forma estricta en términos de eficiencia y seguridad. Por lo tanto, para evaluar la eficiencia de la conducción es necesario recurrir a un enfoque más sofisticado que los basados únicamente en resúmenes de resultados y datos sesgados. Esta solución se basa en una adaptación del enfoque de modelo de madurez, en la que se evalúa al personal de una organización.

El modelo de madurez para evaluar la eficiencia de conducción se compone de tres dimensiones asociadas con las tres fases principales del proceso de conducción: arranque, marcha y detención. Cada una de estas tres dimensiones se caracteriza por un nivel de rendimiento que se define como una variable lingüística: "muy alta eficiencia", "alta eficiencia", "eficiencia media" y "baja eficiencia". La *Figura 6.2* muestra el diseño del modelo de madurez. Una escala de grises indica el nivel de madurez alcanzado por un conductor en función de los resultados obtenidos en cada dimensión. Esto se puede observar mejor en la *Figura 6.3*, que muestra cada una de las capas separada de las demás y la calificación que le corresponde.

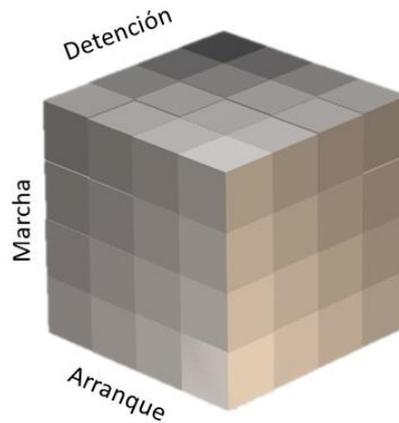


Figura 6.2 Distribución de categorías

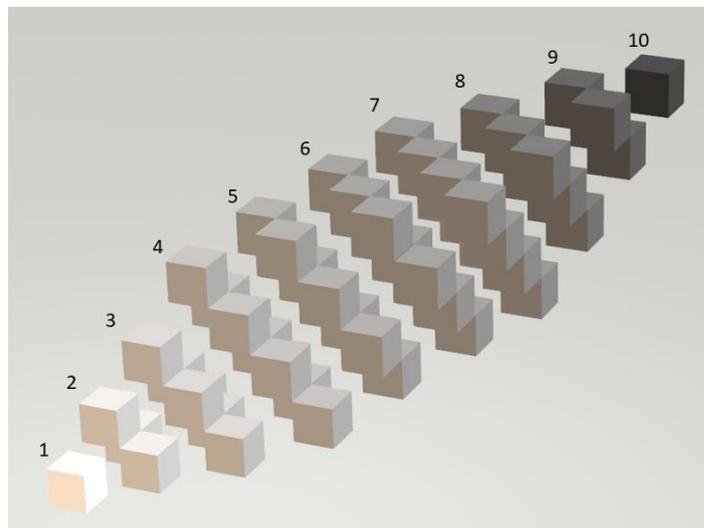


Figura 6.3 Capas de calificación de los modelos de madurez

Además, los patrones de comportamiento (*capítulo 4*) están estrechamente relacionados con el contexto de la conducción. Por lo tanto, existe una relación entre la evaluación de la madurez y el contexto de la conducción. Esta conexión nos permite realizar una evaluación detallada teniendo en cuenta la influencia del contexto en el nivel de rendimiento de los conductores. El contexto de la conducción está definido por un conjunto de diferentes variables, como la hora del día, ubicaciones geográficas o condiciones climáticas. Más específicamente para empresas de transporte público, la línea por la que circula o el tipo de vehículo son otros factores que caracterizan el contexto de la conducción.

El método de evaluación basado en los modelos de madurez es un proceso continuo. Periódicamente, los conductores reciben un informe sobre su evolución en el programa de aprendizaje de conducción eficiente, en el que se incluirán una serie de recomendaciones detalladas, de acuerdo con los resultados de la evaluación de madurez. Los sucesivos informes incluirán la evolución (positiva o negativa) en el modelo de madurez.

El objetivo de la evaluación de la madurez en la conducción eficiente es la determinación de un nivel de rendimiento detallado en los tres aspectos principales durante la conducción. El hecho de que se utilicen los patrones para caracterizar el comportamiento

del conductor es a su vez una de las principales ventajas que muestra la evaluación de la madurez. Esta característica hace que la metodología de evaluación sea ventajosa en varios aspectos: por un lado, el proceso de evaluación se puede adaptar al contexto de conducción, por lo que nuestra evaluación es una de las propuestas más rigurosas e imparciales. Por otra parte, la información detallada obtenida del proceso de evaluación también contribuye a la mejora continua en la conducción eficiente. Esta última característica también se relaciona con el mantenimiento de la motivación del conductor, ya que el informe completo de evaluación es específico y personalizado para cada conductor.

6.4 Método de cálculo de los modelos de madurez

Como se indica en la introducción de este capítulo el método para calcular los modelos de madurez combina el cálculo propiamente dicho de los KPIs de los patrones de conducción eficiente, con la aplicación de la lógica difusa según el proceso diseñado por David Meyer⁶. Se siguen una serie de pasos:

- Paso 1: Cálculo de los patrones y sus KPIs
- Paso 2: Aplicar la lógica difusa
- Paso 3: Cálculo de la madurez
- Paso 4: Calificación global

6.4.1 Paso 1: cálculo de los patrones y sus KPIs

Tras la sesión de formación inicial, se inicia el primer periodo de análisis del rendimiento propiamente dicho. Estos periodos seguirán una base de tiempo regular, aunque es posible aplicar el análisis con la frecuencia que se desee. Se observa la telemetría del vehículo con el objetivo de obtener los KPIs de los patrones, según se indica en el *capítulo 4*.

Pese a que los patrones de comportamiento se evalúan con valores numéricos en base a su KPI, el rendimiento del conductor como entrada para los modelos de madurez debe ser expresado en términos categóricos de "madurez alta", "madurez media" y "madurez baja" para facilitar que un modelo de lógica difusa acerque los resultados de la evaluación a la percepción humana de la eficacia.

6.4.2 Paso 2: aplicación de la lógica difusa

La lógica difusa (*Mendel 1995, 2001*) es una técnica que permite modelar el conocimiento humano procedimental (*Ghaemi et al. 2010*) a la hora de realizar ciertas tareas. En este trabajo, la lógica difusa se utiliza para evaluar el nivel de eficiencia de acuerdo con el comportamiento de conducción (expresada como un conjunto de patrones de conducción), por lo que debemos asignar una variable lingüística al nivel de rendimiento de cada uno de los patrones de conducción. Hemos establecido tres tipos de variables lingüísticas: "madurez alta", "madurez media" y "madurez baja". Sin embargo, no en todos los patrones se incluyen los tres términos, ya que algunos de ellos reducen los resultados de rendimiento a "madurez alta" y "madurez baja" rendimiento.

Una de las características de la lógica difusa es la asignación de valores lingüísticos cuya función de pertenencia no tiene por qué ser del mismo tipo (pueden convivir funciones triangulares y trapezoidales) y sus límites pueden solaparse. Por lo tanto, en los puntos

⁶ <https://cran.r-project.org/package=sets>

solapados la consideración de pertenecer a un intervalo o a otro debe ser evaluada. Todos los modelos se han hecho con funciones triangular o trapezoidal de pertenencia, como podemos ver en la *Figura 6.3* y en la *Figura 6.4*. Los puntos superpuestos se establecen de acuerdo a los valores estadísticos de los KPI. Los valores estadísticos utilizados son el percentil 25, la mediana y el percentil 75.

En el grupo DMMS se emplea, como ya se indicó previamente, el método desarrollado por David Meyer⁶. Para hacer uso del mismo es necesario definir el caso de estudio, para lo que se empieza por las funciones de pertenencia, se sigue con el contexto y finalmente se define el conductor que se quiere analizar y las reglas difusas.

6.4.2.1 Funciones de pertenencia

Las funciones de pertenencia, en este caso, tienen dos formas básicas, en función de si el patrón tiene dos o tres variables de salida. En el caso de disponer de tres variables, dichas funciones tendrían un aspecto como el que se indica en la *Figura 6.4*.

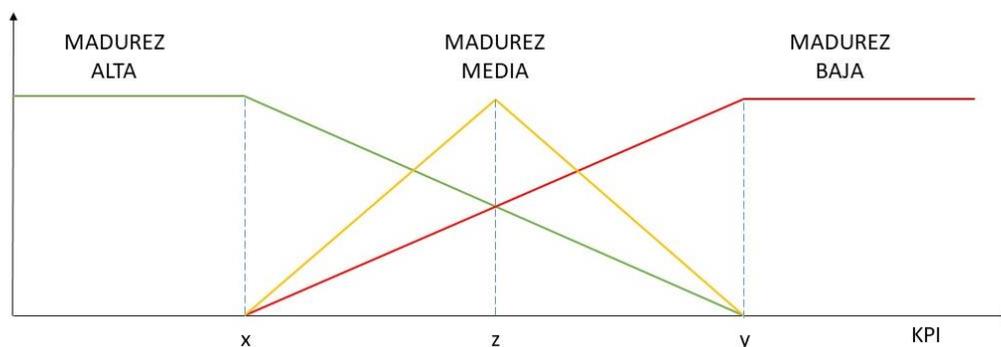


Figura 6.4 Funciones de pertenencia para patrones con tres funciones de salida

Los puntos x , z e y , representan en este caso los percentiles 25, 50 (mediana) y 75 de los valores de KPI obtenidos en el contexto y periodo estudiados. La explicación de la figura es que con KPI por debajo de “ x ”, el conductor tendrá salida “madurez alta” en el patrón referido. Entre los puntos “ x ” y “ z ”, tendrá argumentos para obtener una “madurez alta” y una “madurez media”, prevaleciendo la función de pertenencia con un valor más alto, al igual que ocurrirá entre “ z ” e “ y ” para “madurez media” y “madurez baja”. Por encima de “ y ” será definitivamente baja. Los patrones que se ajustan a este modelo son:

- Arranque
 - Patrón de arranque
- Marcha
 - PICsD
 - AF
- Detención
 - PICL

La segunda forma básica de las funciones de pertenencia la tendremos cuando solo haya dos variables de salida, en cuyo caso quedarían como no indica la *Figura 6.5*:

En este caso los valores “ x ” e “ y ” se corresponden con los percentiles 25 y 75 respectivamente. Las funciones de pertenencia funcionan igual que cuando tenemos tres

variables de salida, solo que sin el paso intermedio de la “madurez media”. Los patrones que se ajustan a este modelo son:

- Marcha
 - AF
- Detención
 - PIDC
 - Ralentí

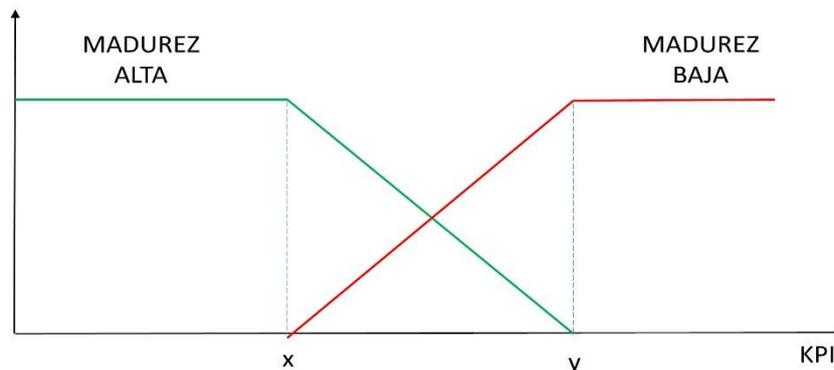


Figura 6.5 Funciones de pertenencia para patrones con dos variables de salida

El método de evaluación permite analizar el rendimiento de los conductores bajo diferentes contextos. Por lo tanto, el KPI de cada patrón debe reflejar el nivel de rendimiento asociado con el contexto establecido. Por ejemplo, los KPI se pueden calcular según el trayecto realizado, la hora del día, las condiciones meteorológicas, etc. Por lo tanto, una vez que tenemos definidas las funciones de pertenencia, nos quedará definir el contexto del análisis. Por un lado, incluiremos el periodo de tiempo a analizar, la flota, el trayecto, el tipo de vehículo, las condiciones meteorológicas y todas las variables contextuales de que dispongamos o que queramos analizar. Finalmente, indicaremos el conductor que queremos evaluar y el programa de lógica difusa nos indicará el grado de madurez del conductor en cada uno de los aspectos de la conducción indicados (arranque, marcha y detención).

Pero para ello, aún queda un paso intermedio que se explica a continuación y que no es otro que la definición de las reglas difusas.

6.4.2.2 Reglas difusas

Se trabaja con un método de lógica difusa que, como es habitual en estos casos, es generalista. Para darle la utilización que se pretende en este capítulo, es necesario definir a conciencia el ámbito en que debe desarrollar su cálculo.

Se ha definido un conjunto de reglas difusas con el fin de representar el comportamiento de conducción y la eficiencia de conducción resultante en cada dimensión en el modelo de madurez. En base a los resultados obtenidos respecto a las variables categóricas para cada patrón y en cada uno de los ámbitos de la conducción. El programa de lógica difusa trabajará con estas reglas, además de con el resto de la definición del escenario del análisis y ofrecerá el resultado de madurez que buscamos. Así pues, las *Tabla 6.1*, *Tabla 6.2* y *Tabla 6.3* muestran las reglas para las fases de arranque, marcha y detención respectivamente, en función del rendimiento en los patrones correspondientes.

Tabla 6.1 Reglas difusas para el arranque

ANTECEDENTES		CONSECUENCIA
Fase 1	Fase 2	ARRANQUE
Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Medio	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA
Rendimiento Medio	Rendimiento Alto	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Medio	Rendimiento Medio	MADUREZ BAJA
Rendimiento Medio	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Medio	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA

Tabla 6.2. Reglas difusas para la detención

ANTECEDENTES			CONSECUENCIA
PIDC	PICL	Ralentí	DETENCIÓN
Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ MUY ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	MADUREZ ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Medio	Rendimiento Alto	MADUREZ ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Medio	Rendimiento Bajo	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Medio	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	MADUREZ MUY BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	MADUREZ MUY BAJA

Tabla 6.3. Reglas difusas para la marcha

ANTECEDENTES			CONSECUENCIA
AF	FA	PICsD	MARCHA
Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ MUY ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	Rendimiento Medio	MADUREZ ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	MADUREZ ALTA
Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Medio	Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Medio	Rendimiento Alto	Rendimiento Medio	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Medio	Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA
Rendimiento Medio	Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	Rendimiento Alto	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	Rendimiento Medio	MADUREZ BAJA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Alto	Rendimiento Bajo	MADUREZ MEDIA
Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	Rendimiento Bajo	MADUREZ BAJA

6.4.3 Cálculo de la madurez

Una vez determinado el tipo de funciones de pertenencia que afectan a cada patrón y las reglas difusas de cada modelo, se llevan a un programa que calcula la madurez en cada una de las fases definidas en la *sección 6.2*.

6.4.3.1 Modelo de madurez de arranque

Tras cargar la librería de lógica difusa y las tablas de resultados globales y del conductor que está siendo evaluado, se definen los puntos x , y , z , para las dos fases del patrón de arranque (*Figura 6.4*) con los datos que se acaban de cargar. Tal y como se explica en la *sección 6.4.2.1*, estos puntos vienen dados por los percentiles 25, 50 y 75 respectivamente del KPI afectado, y limitan las funciones de pertenencia, que se definen acto seguido. Para ello es necesario especificar la forma (trapezoidal o triangular) y darle un nombre, además de aplicarle los límites ya mencionados. Así queda definido el sistema de entrada de datos. El caso de la fase 1 del patrón es idéntico al de la *Figura 6.4*, mientras que la fase 2 es inversa, aumentando la eficiencia conforme lo hace el valor del KPI, tal y como muestra la *Figura 6.6*.

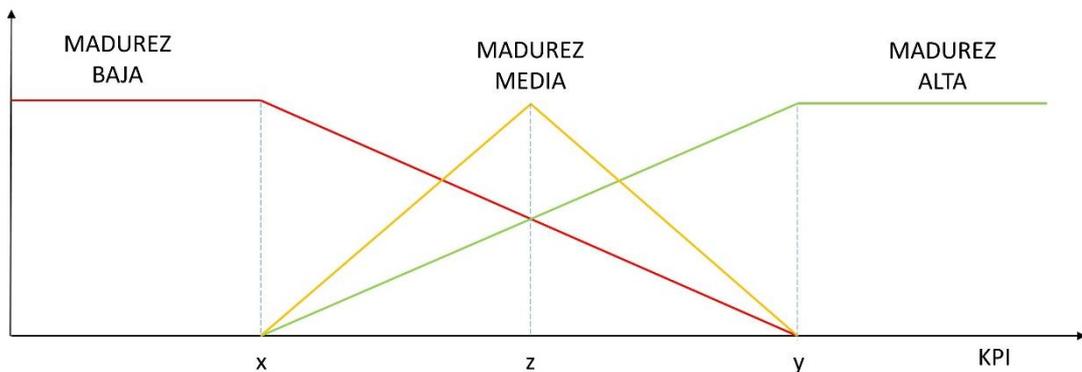


Figura 6.6 Funciones de pertenencia para un patrón con 3 salidas cuya eficiencia crece con el KPI

El valor del KPI determinará con qué función de pertenencia se corresponde. Así, según la figura 6.5, un valor de KPI entre x e y , excluidos, pertenecerían en cierta medida a las tres funciones. El grado de pertenencia vendría determinado por la altura a la que corta a la función una vertical trazada desde el eje horizontal en el punto correspondiente, y tomará valores entre 0 y 1. Por ejemplo, KPI de valor z pertenecerá a las tres funciones, con un grado de pertenencia de 0,5 para “madurez alta” y “madurez baja”, y de 1 para “madurez media”.

Se debe a continuación definir la salida de los resultados de las reglas difusas, de la misma manera en que se definió la entrada. Para ello se crea una nueva variable, *eficiencia*, que en este caso tendrá cuatro niveles de salida (eficiencia “baja”, “media”, “alta” y “muy alta”) que vendrán definidos por sus respectivas funciones de pertenencia. Estas tendrán unos límites fijos, tal y como se indica en la *Figura 6.7*.

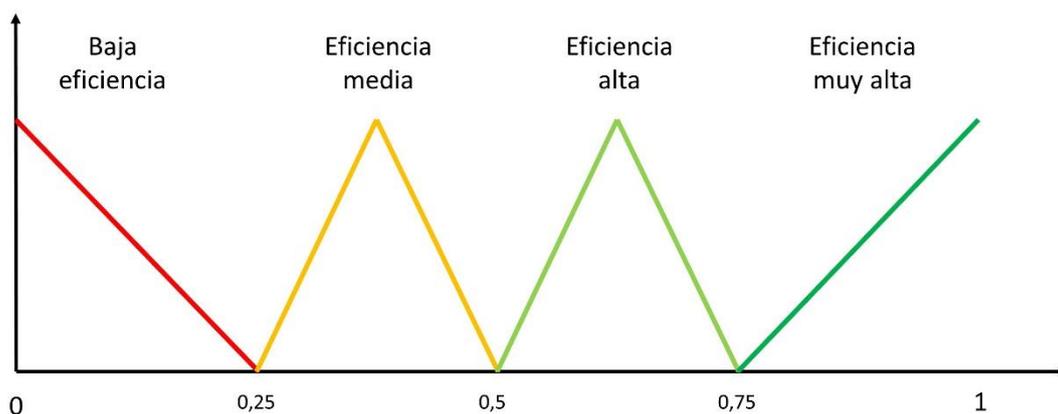


Figura 6.7 Funciones de pertenencia de la variable de salida para la fase de arranque

El único elemento que queda por definir en el sistema difuso son las reglas difusas. Se introducen dichas reglas de lógica difusa, según se indican en la *Tabla 6.1*. Para ello aporta uno o varios antecedentes a cada regla (funciones de pertenencia de cada patrón, en este caso las fases del patrón de arranque) y una consecuencia (la función de pertenencia que resultaría para el modelo en cada caso).

A continuación, se combinan los elementos definidos en el sistema difuso propiamente dicho. Se genera un vector con los datos (KPI de las fases 1 y 2 del patrón de arranque) del conductor y se lanza el sistema. El resultado del sistema será una función de pertenencia que será una composición de aquellas que se determinen mediante las salidas de reglas difusas, y con el grado de pertenencia que corresponda. Un posible aspecto de esta función sería el que muestra la *Figura 6.8*.

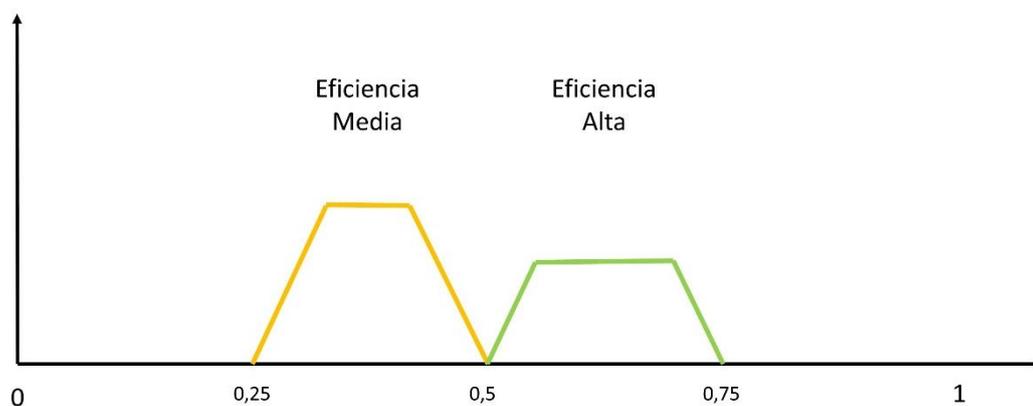


Figura 6.8 Aspecto de una función de salida del sistema de lógica difusa

En el caso de este ejemplo, los valores de los KPIs de las fases 1 y 2 del conductor analizado indican que tienen componentes de las funciones de pertenencia de salida “eficiencia media” y “eficiencia alta”, cada una de ellas con un grado de pertenencia. Este grado de pertenencia vendrá determinado por el grado de pertenencia más alto de los valores de los KPIs a su respectiva función de pertenencia de entrada al sistema, y que genera la salida obtenida. Es decir: el grado de pertenencia de la parte que indica “eficiencia media” de esta función de salida será igual al grado de pertenencia más alto de uno de los dos KPIs a su respectiva función de pertenencia en la entrada de la regla difusa que la genera.

Por ejemplo, la combinación de entrada “Madurez alta” para la fase 1 y “Madurez media” para la fase 2, nos da una salida “Eficiencia media”. Si el grado de pertenencia de la “Madurez alta” de entrada es mayor que el de la “Madurez media” correspondiente a la fase 2, la “Eficiencia media” de salida tendrá un grado de pertenencia igual al de la “Madurez alta”. Si en función de los KPI de entrada fuese de aplicación otra regla cuyo resultado fuese una “Eficiencia media” con un grado de pertenencia más pequeño que el anterior, no se tendría en consideración para el resultado final.

El último paso en la resolución del sistema de lógica difusa sería la determinación de un valor numérico que represente a la función resultante. Para ello se debe indicar la función a defuzzificar, que es la de salida, y el método que se va a utilizar. De los cuatro métodos disponibles, se utiliza el que determina el centroide del área delimitada por la función. El resultado del sistema sería la abscisa de dicho centroide. Los otros métodos de resolución solo consideran la componente con mayor grado de pertenencia, y dan como resultado el mínimo, la media o el máximo de dicha componente, lo que elimina un cierto grado de precisión.

Este resultado que, como se observa en la *Figura 6.7*, tendrá un valor entre 0 y 1, se corresponderá con una única función de pertenencia, tal y como se indica en dicha figura. Esa función de pertenencia será el resultado del Modelo de Madurez de Arranque (MMA).

6.4.3.2 Modelo de madurez de marcha

El cálculo del Modelo de Madurez de Marcha (MMM) se hace de forma similar. En este caso se emplean los patrones *AF*, *FA* y *PICsD*, y sus reglas difusas son las especificadas en la *Tabla 6.3*. Las funciones de pertenencia de los patrones *AF* y *PICsD* son del tipo que se muestra en la *Figura 6.4*, mientras que el patrón *FA* se correspondería con las de la *Figura 6.5*. El proceso de cálculo sería el mismo que en el caso del MMA, salvo por el hecho de que en este caso hay 3 valores de entrada, pero por lo demás no cambia nada en la forma de proceder.

El resultado será igualmente un valor numérico entre 0 y 1, que a su vez se corresponderá con una de las funciones de pertenencia de salida, al igual que en el caso anterior.

6.4.3.3 Modelo de madurez de detención

El cálculo del tercero de los modelos de madurez, el de detención (MMD), no difiere de los anteriores en nada salvo por los patrones que le afectan, que en este caso son el *Ral*, el *PICL* y el *PIDC*. En este caso, dos de ellos se corresponden con el formato de entrada de la *Figura 6.5* (*PIDC* y *Ral*), y el *PICL* lo hace con el de la *Figura 6.4*.

El resultado será de nuevo un valor numérico entre 0 y 1, que a su vez se corresponderá con una de las funciones de pertenencia de salida, al igual que en los casos anteriores.

Quedaría en este punto, para concluir la evaluación de la madurez, calcular la calificación final de la misma.

6.4.3.4 Cálculo de la calificación de la madurez del conductor

Para este cálculo se parte de los resultados parciales de los tres modelos de madurez. A cada posible resultado de cada modelo de madurez se le asigna un valor (0 – “Madurez

baja”, 1 – “Madurez media”, 2 – “Madurez alta”, 3 – “Madurez muy alta”). Se genera un vector (MMA, MMM, MMD) cuyas coordenadas se llevan el sistema de la *Figura 6.2*, de forma que en cada dimensión avanzaremos lo que indique la componente correspondiente del vector, siendo el 0 el cubo más próximo al origen de coordenadas y el 3 el más alejado. Dicho sistema está formado a su vez por una serie de cubos más pequeños (4 en cada dimensión) y muestra una escala de grises. Cada color de esa escala de grises indica una calificación diferente, como indica la *Figura 6.3*. Así, el color más oscuro representa la nota máxima, un 10, y el más claro la mínima, un 1.

6.5 Resumen de los modelos de madurez

A lo largo de este capítulo se ha definido el funcionamiento de los modelos de madurez como método de evaluación, aplicado al ámbito de la conducción eficiente.

Se marca la diferencia de los modelos de madurez con la clasificación temprana, cuyo interés radica de forma más acusada en la periodicidad con que se calculan y su versatilidad a la hora de aplicarlos al análisis que sea preciso en cada momento.

Finalmente, se explica la obtención de la valoración del rendimiento del conductor objeto. Se explica la definición del entorno necesario para la aplicación de la lógica difusa, así como las funciones de pertenencia, sus límites y las reglas que finalmente nos aportan el resultado de la evaluación que veníamos buscando. Se hace además una explicación del cálculo cuyo resultado final es la calificación global del conductor en el periodo analizado.

7 Recomendaciones automáticas

7.1 Introducción

El cálculo de los modelos de madurez supone la última etapa de evaluación del ciclo de análisis periódico. Hasta ahora se han analizado todos los patrones de comportamiento dentro de sus respectivas fases de conducción, para dar lugar a los modelos de madurez que informan sobre el rendimiento de cada conductor en cada uno de los aspectos de la conducción eficiente, además de generar una calificación numérica transversal a todos los contextos de la flota analizada. Se iniciará a partir de aquí un nuevo ciclo de análisis, pero antes se debe extraer un beneficio formativo de los resultados obtenidos.

La comunicación de resultados es tan importante como la formación y la evaluación. De cómo se presente toda la información disponible, o al menos la relevante (*Wlodkowski and Gingsberg 2008*), puede depender que un conductor ponga más o menos interés en aplicar las recomendaciones que se le hagan. Con toda la información generada en las etapas anteriores de evaluación y análisis, es necesario informar al conductor de los resultados obtenidos. Para que los resultados obtenidos mediante los modelos de madurez puedan transmitirse, deben ser analizados por un experto que los interprete y los convierta en comentarios, lo que resultaría extremadamente costoso si el método se aplica a un número elevado de conductores, eliminando así el beneficio económico potencial que aporta la aplicación de la conducción eficiente. Por esta cuestión de escalabilidad, la composición de esos informes debe automatizarse mediante un sistema experto, siendo lo más complicado e importante que sean comprensibles, motivantes y didácticos. El sistema que se expone en este capítulo aún estos requisitos.

La comunicación a los conductores supone un punto importante de la metodología de aprendizaje adaptativo, ya que debe cumplir varias funciones. Por un lado, debe informar sobre los resultados del último periodo de análisis y sobre la evolución que sigue el conductor. Por otro debe intentar exponer los posibles defectos que haya mostrado el conductor de forma que resulte lo más sencillo para él corregirlos. Además, deberá felicitarle por aquellos logros que haya alcanzado y motivarle a seguir mejorando de forma continua.

No toda la información disponible será de interés para los conductores, y no toda la información de interés para los conductores tendrá carácter formativo. Así pues, en la *sección 7.6* se hace una breve descripción de la composición del informe resultante de todo el proceso analítico como parte de la comunicación con el conductor. Otro motivo para implementar la automatización de la generación de este informe es el de hacer escalable una futura aplicación móvil que ofrezca toda esta información a requerimiento del interesado, lo que cambiaría radicalmente los tiempos de análisis y generación de informes.

En este capítulo se analiza la información obtenida como resultado del análisis periódico para determinar la mejor manera de presentarla a los interesados. Se diseña un sistema experto que, en base al análisis de datos, realiza una toma de decisiones y genera unas conclusiones sobre dicho análisis. Se realiza una breve exposición de los contenidos que debería tener un informe que, además de informar, sobre todo apoya la formación continua mediante una serie de recomendaciones basadas en los resultados individuales del análisis periódico. Se propone un método automático para la generación de estas recomendaciones que facilite la realización del informe de forma totalmente individualizada.

7.1 Generación automática de recomendaciones

Para implementar la generación automática de recomendaciones de conducción eficiente, se ha diseñado la base de conocimiento necesaria para crear un sistema experto que utiliza un motor de reglas de producción de código abierto. El sistema está basado en el algoritmo RETE (*Forgy 1989*), creado por Charles Forgy en los años 70 y desarrollado por Sergiy Nikolayev. Está disponible bajo licencia MIT. Se trata de un algoritmo de reconocimiento de patrones que hoy en día es base de muchos sistemas expertos como CLIPS⁷, Jess⁸ o Drools⁹, entre otros.

Los sistemas expertos son sistemas de información basados en el conocimiento de un área de aplicación compleja y específica con el fin de actuar como consultor para los usuarios finales. Se ha adaptado la base de conocimiento desarrollada a lo largo de esta Tesis a un sistema experto en el que no hay un orden predefinido para la ejecución de las reglas. Combina los parámetros con que se alimenta (resultados de los modelos de madurez y KPIs de los patrones), y determina todas las reglas que se pueden aplicar en base a dichos parámetros. Posteriormente resuelve el conflicto eligiendo una sola de esas reglas posibles y finalmente dispara la regla, ejecutando las acciones que esta le indique. Es lo que viene a ser un ciclo coincidencia / resolución / acción.

7.2 Tipos de comentarios y recomendaciones generales

Las recomendaciones automáticas pueden analizar varios elementos del rendimiento de cada conductor. El origen de la recomendación puede ser múltiple. Así pues, en las siguientes sub-secciones se analizarán los diferentes tipos de comentarios que se pueden dar en función del elemento de la evaluación del rendimiento del que provengan.

7.2.1 Comentarios según la calificación global

El comentario de calificación global está orientado a presentarle al conductor su evaluación como conductor eficiente. En cualquier caso, e independientemente de la calificación obtenida, se busca impulsar al conductor a continuar con la evolución de su aprendizaje, bien mediante ánimos para mejorar sus resultados, bien mediante felicitaciones por su mejoría o sus altas calificaciones.

En este caso existe una fuente clara. Gracias a los modelos de madurez es posible obtener una calificación numérica global que da una idea inequívoca del nivel global del conductor. En base a esta nota, se podrán definir una serie de comentarios genéricos como

⁷ <http://clipsrules.sourceforge.net/>

⁸ <http://www.jessrules.com/>

⁹ <https://www.drools.org/>

los que aparecen en la *Tabla C.1*, siempre haciendo referencia al aspecto positivo que se pueda derivar del mismo buscando motivar al conductor.

Este comentario podría reforzarse mediante la comparación con el mes anterior. No es lo mismo obtener un 5 si la calificación anterior era un 6 que si era un 4, por lo que una propuesta más completa podría ser la de la *Tabla C.2*.

Si se aumenta la retrospectiva a varios meses atrás, se puede buscar una inflexión en la tendencia (Mejor-Peor o Peor-Mejor). Se puede considerar tanto el tipo de inflexión como la duración de la tendencia rota (si la rotura se produce en el mes analizado) o de la tendencia actual. También se puede considerar la calificación global actual. En caso de repetición de la calificación (Igual-I) no se tendría como una interrupción de la tendencia si luego continúa (...MMIM... sería igual a efectos de comentario que ...MMM...), pero sí lo haremos notar cuando la "I" corresponda al mes analizado (...MMMI o ...MMMIII). Estas recomendaciones, hechas en base a más información que las anteriores, se muestran en la *Tabla C.3*.

De esta manera se puede complementar la información relativa a la calificación global con el histórico de la misma en un solo comentario. En una sola línea se aporta suficiente información como para que el conductor conozca de forma somera su rendimiento.

Estaríamos principalmente ante comentarios informativos, aunque aquellos que indican buenos resultados se podrían utilizar también como comentarios de felicitación.

7.2.2 Recomendaciones según los modelos de madurez

En esta sección se muestran el grupo principal de recomendaciones propiamente dichas. Basadas en los modelos de madurez se obtendrá, a priori, una recomendación por cada uno de los modelos de madurez. Así pues, tendremos una recomendación relativa a cómo el conductor realiza los arranques, otra relativa a cómo detiene el vehículo y otra sobre cómo lo mantiene en marcha. Pese a esta sectorización de las recomendaciones, el comentario propiamente dicho estará basado en los KPIs de los patrones que afectan a cada uno de estos aspectos.

La función principal de estos comentarios es indicar los aspectos de conducción eficiente en los que se falla y recomendar acciones que incidan en una mejora del rendimiento relacionado con ese aspecto. Si bien son comentarios sujetos a los modelos de madurez, están compuestos de forma que hacen referencia a cada uno de los patrones que conforman el modelo de madurez correspondiente, corrigiendo o alabando la actitud del conductor según sea procedente, o haciendo ambas cosas si el rendimiento en los distintos patrones de un mismo modelo de madurez es irregular.

Como ya se vio en la *sección 6.4.3.1*, el modelo de madurez de arranque se obtiene de los KPIs de las dos fases del patrón de arranque: la Fase 1, que indica la forma en que el conductor acelera, y la Fase 2 que determina cómo realiza la transición entre aceleración e inercia, tal y como se explica en la *sección 4.4*. En la *Tabla C.4* se reflejan las recomendaciones automáticas para el modelo de madurez de arranque, en función de las dos fases del patrón de arranque.

El modelo de madurez de detención está explicado en la *sección 6.4.3.3*. Se obtiene a partir de los KPIs de dos de los patrones complejos basados en inercia que implican detención: el *PIDC* (*sección 4.3.6*) y el *PICL* (*sección 4.3.2*), además del KPI del patrón de

Ralentí (sección 4.2.3). En la *Tabla C.5* se reflejan las recomendaciones automáticas para el modelo de madurez de detención en función de los patrones *PIDC*, *PICL* y Ralentí.

Por último, el modelo de madurez de marcha (sección 6.4.3.2) se ve afectado por los KPIs de los patrones básicos *AF* y *FA* (secciones 4.2.1. y 4.2.2) y por el del complejo *PICSD* (sección 4.3.1). En la *Tabla C.6* se reflejan las recomendaciones automáticas para el modelo de madurez de marcha en función de los patrones *AF*, *FA* y *PICSD*.

El grueso de los comentarios que aparecen en esta sección se pueden encuadrar entre las recomendaciones correctivas, aunque alguna de ellas también podría encajar entre las de felicitación.

7.2.3 Recomendaciones especiales basadas en patrones que no afectan a los modelos de madurez

En el *capítulo 4* se reportan ciertos patrones que, bien por su escaso índice de aparición o por ser combinación de otros patrones, no tienen aplicación en los modelos de madurez. Sin embargo, ante la aparición de forma repetitiva de estos patrones, habría que hacer unas recomendaciones específicas, puesto que indican ciertos comportamientos muy específicos. Estos patrones son el *PICC* y el *PIPD* para la fase de detención, y el *PIPR* y el *PIAsc* para la fase de marcha, si bien este último es aplicable también a la detención.

- *PICC*

El *PICC*, Patrón de Inercia con Correcciones Corto, es **uno de los patrones más ineficientes** que hay, como se indica en la *sección 4.3.3*. El conductor inicia una inercia y, como cree que se va a pasar del punto de detención, va haciendo correcciones leves (o no tan leves) con el freno. Sin embargo, lo que provocan estas correcciones es que no llegue al punto de detención y se vea obligado a volver a acelerar para alcanzarlo. Es un patrón que no tiene incidencia en los modelos de madurez al aparecer en muy contadas ocasiones. Sin embargo, si se ve que el patrón aparece con una cierta asiduidad, lo que se determinará en comparación con sus compañeros, se añadirá un comentario como el siguiente, de tipo correctivo:

“Tienes tendencia a no calcular bien lo lejos que puede llegar tu vehículo en inercia y muchas veces te quedas corto por utilizar el freno, lo que te obliga a volver a acelerar. Si no tienes claro si vas a llegar o no, es preferible que uses el freno solo al final, al menos hasta que controles mejor este aspecto”.

- *PIPD*

El otro patrón especial, en lo referente a las recomendaciones automáticas, para la fase de marcha, es el *PIPD*, Patrón de Inercia Perfecta para Detención. En este caso estamos ante el **patrón ideal para la detención**, con una inercia que termina en el uso del freno a una velocidad muy cercana a la de ralentí (cuando la centralita inyecta combustible para evitar que el motor se pare). El comentario, de felicitación en este caso, sería:

“En alguna ocasión has logrado aplicar la inercia de forma muy eficiente, sin usar el freno hasta el último momento. ¡Sigue así!”.

Este es un patrón, al igual que el anterior, muy poco frecuente. A efectos de KPI van a ser números muy bajos, seguramente por debajo del 1% cuando aparezca, por eso es conveniente resaltar su existencia siempre que tengamos un caso.

- PIPR

El caso del patrón *PIPR*, Patrón de Inercia Perfecta en Ruta, es similar. Es un patrón de comportamiento **muy eficiente** que se debería dar a la hora de mantener la velocidad, es decir, en tramos relativamente largos si hablamos, por ejemplo, de transportes urbanos, por lo que su aparición tampoco será muy habitual. Sin embargo, en el Grupo DMMS se han llegado a contabilizar patrones *PIPR* con hasta 12 partes, lo que supone 12 alternancias inercia – aceleración consecutivas, sin freno de por medio. Por ello, en este caso se deben emplear 3 frases diferentes.

Si el patrón no aparece en el periodo analizado:

“Debes recordar usar la inercia cuando alcances la máxima velocidad permitida para la vía por la que circulas. La forma de mantener la velocidad es mediante la inercia y aceleraciones breves y enérgicas”.

Si el patrón aparece, pero no enlaza un número mínimo de partes que se fijará en función de la línea estudiada:

“Logras usar la inercia a máxima velocidad, pero debes intentar enlazar las inercias con aceleraciones cuando te desplaces en tramos largos y sin interrupciones”.

Finalmente, si el conductor tiene situaciones de este patrón con numerosas partes:

“Utilizas muy bien la inercia en situaciones de marcha prolongada. ¡Sigue así!”

- PIAsc

El caso del Patrón de Inercia Ascendente es un poco particular. Debería ir asociado al estudio del contexto de la ruta el tenerlo en cuenta a efectos de las Recomendaciones Automáticas. Si en una línea en concreto no existen pendientes suficientemente pronunciadas como para aumentar la velocidad, por lo que hasta que el conocimiento del entorno esté implementado más adelante, se podría dejar esta frase en un mero recordatorio:

“Recuerda usar la inercia cuando vayas cuesta abajo, además de aumentar la distancia de seguridad y frenar unos metros antes de lo que lo harías en llano”.

Con estas recomendaciones especiales se complementan las que se pueden considerar generales, tanto correctivas como de felicitación, cubriendo todos los aspectos controlados por el sistema de monitorización y los métodos de aprendizaje y evaluación. Estas recomendaciones deben complementarse con el análisis de las situaciones específicas, que nos podrán ofrecer nuevas recomendaciones en función de la ubicación, el turno y/o la franja horaria y la climatología. En la siguiente sección se analizan estas nuevas posibilidades.

7.3 Recomendaciones basadas en situaciones específicas

Existen varias posibilidades de realizar recomendaciones basadas en situaciones específicas de ineficiencia. Para ello se parte de un modelo de madurez en el que el conductor haya obtenido resultados especialmente perjudiciales para su rendimiento, y se buscan situaciones específicas en un determinado contexto en que el conductor sea menos eficiente. Este contexto puede incluir situaciones geográficas concretas, temporales (horas de mayor o menor tráfico, primeras o últimas horas del turno...) o climatológicas.

7.3.1 Situaciones específicas posicionales

Las situaciones específicas posicionales son quizás las más específicas de las que se plantean en este capítulo. Al conductor se le dice en qué localización tiene problemas concretos. Se buscan repeticiones de aquellos patrones en que, según la *Tabla C.4*, la *Tabla C.5* y la *Tabla C.6*, tiene un rendimiento bajo, y se le aconseja sobre cómo mejorar en el punto de su recorrido habitual que más influencia tiene en dicho rendimiento.

El sistema analítico tiene la capacidad de reconocer el nombre de la vía por la que circula el vehículo en cada momento. Esto resulta de utilidad en calles cortas con un único punto conflictivo (parada, cruce, semáforo, paso de cebra, paso a nivel, curva cerrada...). Sin embargo, en vías con varios de estos puntos se pierde concreción, ya que el sistema sigue dando únicamente el nombre de la misma. Lo que sí es capaz de hacer el sistema analítico es agrupar las incidencias por proximidad geográfica y enmarcarlas en un sector de un mapa con una precisión lo suficientemente alta como para que no queden dudas de cuál es el punto de conflicto. Esto simplifica el diseño de la recomendación, ya que se puede basar en un comentario genérico y hacer referencia a la imagen del mapa, que sería similar a la *Figura 7.1*.



Figura 7.1 Ejemplo situación específica por posición geográfica para el patrón AF

Además, este tipo de recomendaciones específicas pueden aplicarse incluso a los mejores conductores de la flota, suponiendo que tengan buen rendimiento en todos los patrones según las tablas indicadas como referencia, ya que siempre va a haber un punto de sus recorridos en que tengan más problemas para aplicar la conducción eficiente.

La *Tabla C.7* muestra los comentarios que se realizan para las situaciones específicas de ineficiencia en función de la posición. Tienen en cuenta el patrón que deben corregir, diferenciando los casos concretos de A1 y A2, con los dos tipos posibles de ineficiencia, y hacen la indicación de que la ubicación la marca la imagen del mapa.

7.3.2 Situaciones específicas temporales

En el caso de las situaciones específicas de ineficiencia en función del contexto temporal, se busca el tramo horario en que el rendimiento del conductor es peor con respecto al del resto de la línea, y se analiza si la diferencia de rendimiento entre ese tramo horario y el de la jornada completa es relevante. Esta relevancia la determina la variación del rendimiento calculada para el conjunto de los conductores de la línea en esa franja horaria y en el periodo analizado. También, como en el caso anterior, esta comparativa se realiza sobre aquellos patrones en que el conductor obtiene mal rendimiento según la *Tabla C.4*, la *Tabla C.5* y la *Tabla C.6*. Este tipo de análisis solo es aplicable a servicios en que los conductores realizan algún tipo de ruta que se repite varias veces a lo largo del día o, al menos, desarrollan

toda su jornada en un entorno similar que se puede suponer que cambia de forma proporcional, cuando menos. De lo contrario, no se estaría analizando una única variación del contexto (la temporal), sino que tampoco podríamos asegurar la repetitividad del contexto posicional, lo que quita rigor a la comparación.

El cálculo se hace comparando el KPI de aquellos patrones en que el conductor tenga bajo rendimiento (KC) en su contexto de trabajo, con el del resto de conductores que trabajan en el mismo contexto (Kc). De entre todos los tramos horarios de dos horas se elige aquel que resulta ser más diferente del KPI del conjunto en el mismo tramo horario, y se ve si supone una diferencia significativa con su media del día completo.

$$\max\left(\frac{KC_{2h}}{KC_{2h}}\right) > 1 \rightarrow \frac{KC_{2h}}{KC_{24h}} > \frac{KC_{2h}}{KC_{24h}} \rightarrow \text{Comentario T1}$$

Según esta expresión, si no existe ninguna franja horaria en que el rendimiento individual sea peor que el del conjunto de conductores, se pasa a comprobar cuál es su peor KPI y si es relevante respecto a su propio resultado general. En este caso se realiza un segundo tipo de comentario en el que se ensalza al conductor por ser mejor que la media en todos los tramos horarios de la jornada y se le anima a poner más atención en aquel en el que tiene peor resultado, siempre que sea relevante. En este caso la relevancia se determina mediante la desviación típica de los rendimientos del grupo en las distintas franjas horarias.

$$\max\left(\frac{KC_{2h}}{KC_{2h}}\right) < 1 \rightarrow KC_{2h} \gg KC_{24h} \rightarrow \frac{KC_{2h}}{KC_{24h}} - 1 > dev(KC_{2h}) \rightarrow \text{Comentario T2}$$

En cualquier caso, se buscan situaciones temporales en que el rendimiento del conductor varíe de forma significativa respecto a su propio rendimiento a lo largo de toda la jornada laboral. El hecho de que esa variación sea a su vez relevante respecto a aquellos compañeros que trabajen en su mismo contexto, hace que varíe el tipo de comentario.

7.3.3 Situaciones específicas climáticas

En el caso de las situaciones específicas de ineficiencia por motivos climáticos, se analiza la diferencia de rendimiento entre días de lluvia y días secos. También como en los casos anteriores, esta comparativa se realiza sobre aquellos patrones en que el conductor obtiene mal rendimiento según la *Tabla C.4*, la *Tabla C.5* y la *Tabla C.6*.

El cálculo se hace comparando el KPI del conductor (KC) para cada uno de esos patrones, con lluvia y en seco, en su contexto de trabajo. A su vez se compara con la misma relación de los KPI de cada patrón de dicho contexto (Kc).

$$\left\{ \begin{array}{l} KC = \frac{KC_{Lluvia}}{KC_{Seco}} \\ Kc = \frac{Kc_{Lluvia}}{Kc_{Seco}} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} KC > 1 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K = \frac{KC}{Kc} > 1 \rightarrow \text{Comentario T1} \\ K = \frac{KC}{Kc} < 1 \rightarrow \text{Comentario T2} \end{array} \right. \\ KC < 1 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K = \frac{KC}{Kc} > 1 \rightarrow \text{Comentario T3} \\ K = \frac{KC}{Kc} < 1 \rightarrow \text{Comentario T4} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

En este caso se consideran dos grupos de comentarios. Un primer grupo se deriva de un conductor que en condiciones de lluvia empeora su rendimiento. En este caso comprobaremos si empeora más que sus compañeros o si, pese a empeorar, lo hace en

menor cuantía. El segundo grupo de comentarios es para aquellos conductores que mejoren sus KPIs en condiciones de lluvia. Esto puede darse en conductores que extremen las precauciones habituales en caso de que el piso esté mojado, como son el aumento de la distancia de seguridad (menos *FA*, más inercias) y la moderación de la velocidad (menos *AF*, más transiciones aceleración inercia, luego mejor *A2*). En este caso, se debe animar al conductor a replicar ese comportamiento en condiciones de seco. También tendrá una variación en el comentario en función de si, además, mejora respecto al rendimiento del grupo o no lo hace.

Por último, hay que tener en cuenta la naturaleza de cada uno de los KPIs afectados en este caso. No todos ellos crecen de la misma manera. En el caso del patrón *A2*, un aumento del KPI indica una mejora del rendimiento. Otros como el *AF*, *FA* y los complejos basados en inercia, cuyo KPI es el porcentaje de freno respecto al tiempo total de patrón (o el porcentaje de aceleración en el caso del *PIDC*), indican mayor rendimiento cuanto más bajo es el KPI. El patrón *A1* es un caso un poco especial, ya que su valor objetivo es el cero, pero crece tanto en valores positivos como negativos (ver capítulo 4). Así pues, para este cálculo se toma el valor absoluto de su KPI y se consigna si la ineficiencia es por exceso (valores negativos, *M1* en la *Tabla C.8*) o por defecto en la aceleración (valores positivos, *M2*), ya que al conductor se le debe indicar si lo que necesita es acelerar más o menos.

La *Tabla C.8* muestra el tipo de comentarios para las situaciones específicas de ineficiencia debidas a la climatología en función del patrón. La circunstancia especial del patrón de arranque, con dos posibles malas terminaciones en cada una de sus fases (*A1* y *A2*), se recoge distinguiendo entre las mismas. El mensaje se inicia con una frase común, y continúa con una segunda parte, que es la que aparece en la tabla. La parte común del comentario será de dos tipos, según si mejora o empeora el rendimiento:

- Empeora: *“En concreto, los días de lluvia...”*
- Mejora: *“Sin embargo, los días de lluvia...”*

7.4 Recomendaciones basadas en la repetición de ineficiencias

Estas recomendaciones se aplican cuando alguno de los comentarios correctivos, de cualquiera de las categorías anteriores, se repite varios meses. Esto sería indicativo de que la recomendación no está siendo efectiva, bien porque el conductor no la sabe interpretar o porque no la sabe aplicar. En cualquier caso, debe hacersele ver que no está siendo capaz de revertir cierta situación de ineficiencia que se repite de forma habitual y que debe hacer algo al respecto. El comentario a añadir sería del tipo:

“Esta situación se repite ya varios meses. Concéntrate en solucionar este problema en las circunstancias específicas que se te comentan en el informe: la calle de mayor incidencia, si te ocurre a una hora concreta o en días de lluvia. Si tienes alguna duda, habla con tu supervisor para que él te ponga en contacto con un formador experimentado.”

7.5 Comentarios de ánimo

Los comentarios de ánimo son de tipo genérico y están predefinidos. Se basan en los resultados de la calificación, puesto que no es lo mismo animar en casos de buen o mal rendimiento. La *Tabla C.10* incluye los distintos comentarios de ánimo.

7.6 Composición del informe

Los autores en (*Wlodkowski and Gingsberg 2008*) defienden que en una comunicación que busque generar competencias en adultos, debe cumplir una serie de requisitos. Obviando aquellos propios de una sesión presencial que no serían aplicables a este caso, debe existir una información y se deben generar unas consecuencias del aprendizaje que hagan que los alumnos (en este caso los conductores) lo pongan en valor. Además, debe existir diversidad de competencias, que en el caso de esta metodología se justifican en las técnicas de los distintos patrones, y deben poder identificar sus logros individuales. Por último, es necesario que existan conexiones explícitas entre los contenidos de la formación y sus conocimientos previos. Respecto a la motivación, se da en la citada publicación una indicación clave. Cuanto más larga sea la secuencia de instrucciones o más complicados los factores humanos que incluye, más fácil es que disminuya la motivación. Por tanto, la comunicación formativa debe ajustarse a aquellos conceptos que resuelvan los principales problemas de cada conductor.

En el informe que se deriva de los análisis de esta Tesis debe generar esas competencias de las que hablan los autores de la mencionada publicación. Para ello existe una primera parte meramente expositiva en la que se les informa sobre sus resultados. Esa información tiene muy poco contenido comparativo, ya que solo se busca orientar sobre la actuación personal. Únicamente la indicación del puesto que ocupa el conductor en el ranking de conducción eficiente le da una pista sobre cómo fue su desempeño respecto a sus compañeros de flota. Lo que sí puede ver es cómo evoluciona respecto a sus resultados en el periodo de análisis anterior. Se dan más detalles en la *sección 7.6.1*.

La parte formativa es el grueso del informe, y donde se incluyen las recomendaciones automáticas. En todo momento hay que mantener la motivación del conductor, por lo que se inicia con un comentario sobre algún concepto que sea susceptible de felicitación. Una vez que se han sentado las bases positivas del informe, se pasa a la parte correctiva propiamente dicha. Se empieza con los conceptos generales que proporcionan los modelos de madurez. En principio se incluyen únicamente aquellas recomendaciones que corrijan aspectos de conducción en que la madurez del conductor sea más baja. Para fijar los conceptos y ayudar al conductor a visualizar sus fallos y corregirlos, se añaden las recomendaciones sobre situaciones específicas. Por último, se incluye alguna recomendación especial, si la hubiera, únicamente en el caso de que las generales no incluyesen todos los modelos de madurez, ya que el conductor podría perder la motivación y el interés por un exceso de información. El informe termina con un comentario motivador, bien sacado de entre los específicos, bien de alguna recomendación especial (*PIPD, PIPR*). Para esta parte del informe se especifican los detalles en la *sección 7.6.2*.

7.6.1 Parte informativa de la comunicación.

La comunicación a los conductores en su parte informativa debe mostrarles únicamente datos propios, es decir, no se les aporta resultados de los compañeros. Además, para ellos determinados datos, como el consumo, no son relevantes. Sin embargo, sí les gusta conocer su posición en el ranking, ya que puede servir de estímulo para mejorar. Así mismo, sus KPIs comparados con los del periodo previo, por línea (si procede según el servicio), vehículo y periodo (franja horaria o turnos), les ayudará a tener una visión global de su desempeño en el periodo reportado. Así, la parte informativa del informe de conductores incluiría los siguientes puntos:

- Resumen de KPI del conductor para cada patrón
 - Por línea, tipo de vehículo y periodo (por horas o turnos)
 - Ranking que ocupa (sin indicar el resto de conductores)
 - Comparativa con el periodo (mes) anterior.
- Grado de madurez del conductor
 - Por línea, tipo de vehículo y periodo
 - Evolución desde la formación

7.6.2 Parte formativa de la comunicación

El informe de conductor debe tener, como indican los autores de (*Wlodkowski and Gingsberg 2008*), una parte correctiva que le ayude y le motive a mejorar su rendimiento en los diferentes aspectos de la conducción eficiente. Estas recomendaciones deben seguir una estructura que ayude a mantener el interés del conductor. Así pues, los comentarios en esta parte del informe seguirán el siguiente guion:

- **Felicitar:** en un primer comentario, dispondremos un comentario positivo sobre aquel o aquellos aspectos que mejor domine cada uno. Podría ser el comentario de calificación global (Tabla C.1) si tienen un buen resultado, o el de su evolución (Tabla C.2) si observamos una mejora o un cambio positivo de tendencia (Tabla C.3) en el caso de que la nota no sea tan positiva, o una valoración positiva en alguno de los modelos de madurez (*Tabla C.4, Tabla C.5, Tabla C.6*). También se podría incluir alguna de las recomendaciones especiales (*sección 7.2.3*) como las de los patrones *PIPD* o *PIPR* (en su versión positiva).
- **Corregir de forma general:** se busca hacer indicaciones generales sobre el rendimiento del conductor. Señalar los problemas principales en cada fase de conducción y según sea el rendimiento en cada KPI. En principio se utilizarán aquellos comentarios que aporten medidas de mejora generales en alguno de los modelos de madurez. Podrían emplearse hasta tres comentarios, uno por cada uno de los modelos de madurez (*Tabla C.4, Tabla C.5, Tabla C.6*), si hubiera acciones a corregir en todos ellos.
 - **Corregir de forma concreta:** basándose en la corrección general, se busca concretar sobre alguna de las correcciones generales que indique los problemas más graves. Se emplean los comentarios basados en situaciones específicas, con el fin de que el conductor identifique las situaciones en que las que debe aplicar las correcciones indicadas previamente. Comentarios del tipo:
 - Alta concurrencia de patrones con resultados negativos en una cierta localización (*sección 7.3.1*)
 - Bajada de rendimiento en una cierta franja horaria, con respecto al resto de compañeros (*sección 7.3.2*)
 - Gran diferencia entre su rendimiento con o sin lluvia, y respecto al resto de compañeros en las mismas circunstancias (*sección 7.3.3*)
- **Animar:** terminar con algún mensaje de ánimo, especialmente en aquellos conductores cuyos resultados sean menos buenos. Pueden ser comentarios como los específicos motivacionales de la *sección 7.5* o alguno de los de tendencia positiva, que ya pudo haber sido empleado en la felicitación inicial.

7.7 Resumen de Recomendaciones Automáticas

En este capítulo se describe el sistema de generación de las recomendaciones automáticas. Toda vez que en los capítulos anteriores ya se habían definido tanto la obtención de datos como el proceso de aprendizaje y el de evaluación, ya solo quedaba pendiente la comunicación de resultados para cerrar el círculo del proceso formativo. En esta comunicación de resultados es muy importante decidir qué información se incluye en el informe a modo informativo, y qué se incluye en el informe a modo formativo.

La parte informativa le ofrece una visión global sobre el rendimiento del periodo analizado. Se le muestra su evaluación sin compararle con sus compañeros. Solo la indicación de la nota global y su puesto del ranking le da una indicación sobre cómo fue su desempeño respecto al resto de conductores

Sin embargo, el caso de la parte formativa es diferente. El conductor debe saber dónde acierta y dónde falla, dónde comete errores y qué técnicas emplea bien y en qué técnicas necesita mejorar. Las recomendaciones automáticas le indican las pautas para madurar su rendimiento eficiente. También puede visualizar los puntos donde comete el mismo error de forma repetida, para que intente ponerle solución. Si no lo logra con el tiempo, se le hace llegar unas recomendaciones específicas o, en un extremo, lo intentaría el formador en el siguiente seminario de refuerzo.

En el siguiente capítulo se expone un caso de estudio general que ilustra todo el método formativo expuesto en la tesis, y en el *capítulo 9* se indicarán las conclusiones y los trabajos futuros.

8 Caso de estudio

En este capítulo se presenta un caso de estudio que incluye todos los aspectos explicados en esta tesis y que están resumidos en la *Figura 8.1*, reproducción de la *Figura 3.1*.

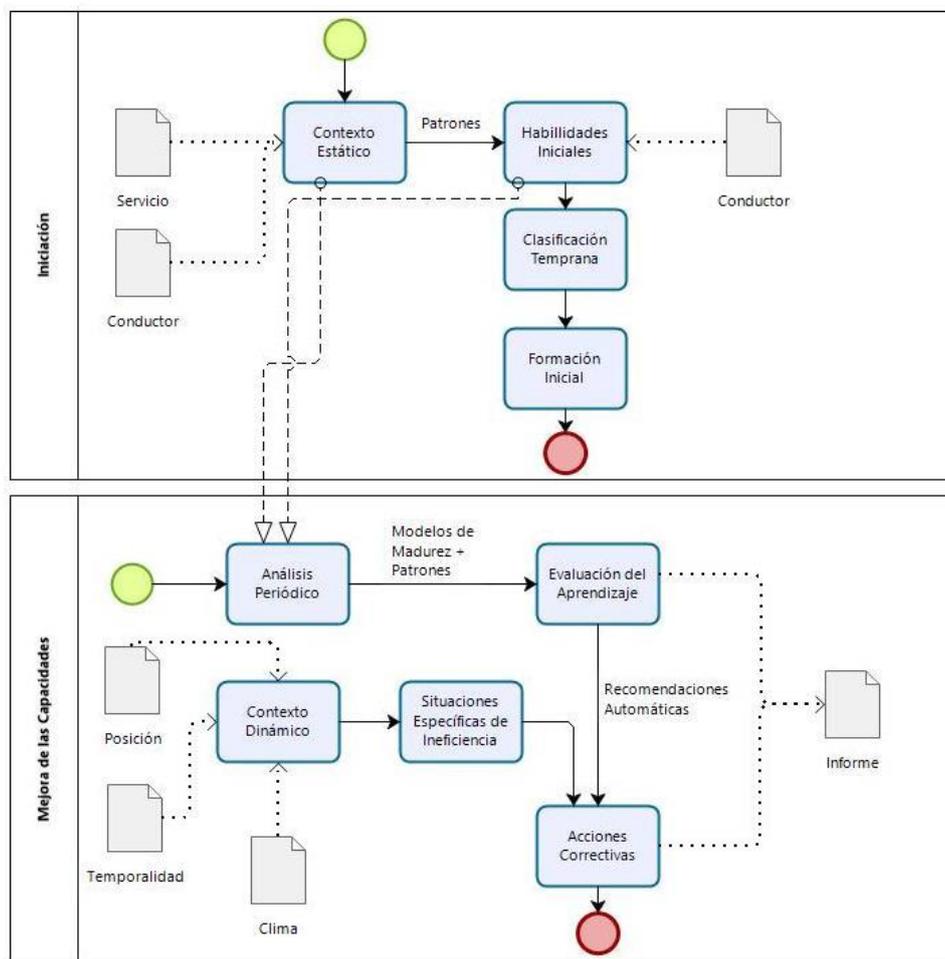


Figura 8.1 Metodología propuesta de aprendizaje adaptativo

8.1 Descripción del contexto del caso de estudio

La parte más importante en la definición del caso de estudio es explicar que no se trata de un experimento, sino de un caso real, con datos de los conductores de una empresa mientras dan servicio a usuarios. Esta tesis es un ejemplo de transferencia de tecnología entre la investigación académica y la empresa.

Aunque en el caso de estudio se explican todos los elementos de la metodología, en la práctica la empresa *ADN Mobile Solutions* aún no aplica algunas de ellas, como la formación inicial, aunque sí se le envía al formador para que tenga una referencia de los conductores asistentes a las formaciones, o las propias recomendaciones automáticas, que tienen en fase de prueba. El motivo es que la relación comercial entre *ADN* y sus clientes actuales, es previa al inicio de esta tesis, y por tanto se va introduciendo de forma progresiva, sin interrumpir su propio proceso formativo. Las partes más analíticas de los patrones de comportamiento y los modelos de madurez sí tienen una aplicación, incluso se realizaron pruebas satisfactorias de caracterización del estilo de conducción mediante la clasificación temprana, con el fin de verificar su buen funcionamiento. También se trabaja en la adecuación de la versión completa de las recomendaciones automáticas, presentada en esta tesis (*capítulo 7*), a periodos de tiempo más cortos.

El ejemplo del caso de estudio se desarrolla a través de la relación comercial de *ADN* con *CTEA (Compañía del Tranvía Eléctrico de Avilés)*, la flota de autobuses urbanos perteneciente al *Grupo ALSA* que da servicio a la ciudad de Avilés, en Asturias, de alrededor de 80,000 habitantes en un clima húmedo y templado. La actividad profesional analizada se desarrolla en el mes de abril, periodo en el cual las temperaturas mínimas pueden rondar los 10°C durante las noches, y las máximas serán de unos 16°C. Los conductores trabajan en dos turnos de 8 horas, con refuerzos en horas punta, y la mayoría de ellos lo hace siempre en la misma línea, si bien hay algunos que se van cambiando para cubrir las bajas de sus compañeros.

La razón de analizar únicamente la actividad de un mes es que es el periodo mínimo de tiempo en que se puede aplicar el conjunto de la metodología. De esta forma se simplifica y se limita el tamaño del caso de estudio que, de extenderse más en el tiempo, únicamente entraría en una repetición cíclica de los mismos pasos, a excepción de la clasificación temprana. Además, esta repetición de la aplicación de la metodología en el tiempo revelaría datos de la dinámica de la compañía que no procede hacer públicos.

Durante el mes analizado, se obtienen datos de 39 conductores, que realizan sus 5191 rutas válidas en 15 autobuses, de los cuales diez son de 12 metros (simples) y cinco de 18 metros (articulados). La edad de los conductores va desde los 39 del más joven a los 61 del mayor, mientras que la antigüedad en la empresa varía entre los 2 y los 45 años. De entre los datos analizados, se extraen resultados de 7 líneas distintas, aunque algunas de ellas no son la línea predominante de ningún conductor en ningún caso. Todas ellas tienen al menos un tramo urbano, aunque algunas lo alternan con otros tramos interurbanos, ya que dan servicio a pequeñas poblaciones de los alrededores.

La captura de datos se realiza por medio de la tecnología *CATED*, descrita en la tesis de (*Rionda Rodríguez 2016*), y que los obtiene del CAN-bus del vehículo mediante un dispositivo embarcado que los transmite a los servidores para su procesado al final de cada ruta.

Con la captura de datos de una semana de trabajo y tras calcular los KPIs de los patrones básicos (*capítulo 4*), se realiza una clasificación temprana (*capítulo 5*) de todos aquellos conductores que hayan tenido actividad en esos días, y se les distribuye en unos grupos para una hipotética formación inicial. La razón de tomar los datos de una semana es disponer de un número mayor de conductores que muestren todas las opciones que ofrece la clasificación temprana, en concreto la subdivisión de grupos con exceso de población

(sección 5.3.2). Posteriormente, se realiza un análisis del resto del mes para evaluar la madurez de los conductores (*capítulo 6*) y emitir una calificación global y un ranking de eficiencia. Además, se realiza una nueva formación inicial para aquellos conductores que no habían tenido actividad en la semana de la clasificación temprana pero sí en otro momento del periodo analizado. Esta formación variará en función de varios factores. Si el conductor tiene suficientes datos como para recibir su calificación global, se le generará un set de recomendaciones automáticas y hará las rutas prácticas de formación con el instructor. Si no fuera posible generar los modelos de madurez, se realizaría una clasificación temprana para los conductores implicados según se explica en el *capítulo 5*. Una vez terminado el análisis, se realiza un informe de conductor que incluye toda la información que se le comunica, así como las recomendaciones automáticas (*capítulo 7*) que forman parte de su formación continua.

Cabe incidir en que algunos de estos pasos fueron implementados para solucionar situaciones surgidas en la aplicación de anteriores metodologías en empresas cliente. La clasificación temprana surge de la necesidad de minimizar el tiempo transcurrido entre la instalación de dispositivos embarcados y la formación inicial. La evaluación mediante modelos de madurez aparece ante la imposibilidad de implementar un sistema de incentivos en base únicamente al consumo de combustible, habiéndose demostrado que este depende en gran medida de factores ajenos al rendimiento del conductor. Por último, las recomendaciones automáticas resuelven el problema de escalabilidad en el análisis de resultados y su comunicación a los conductores, que afecta a la empresa encargada de aplicar la metodología (en nuestro caso ADN), al tiempo que permite espaciar o, incluso, eliminar las sesiones presenciales de refuerzo, con lo que ello conlleva en cuanto a tiempo y costes para la empresa cliente.

8.2 Clasificación temprana

El primer paso dentro del caso de estudio es realizar la clasificación temprana que nos dé pie a organizar una formación inicial. Para ello se toman datos de una semana de conducción, lo que permite tener una muestra razonablemente grande de conductores. Esta duración de la fase previa a la formación responde a la solicitud de las empresas cliente de acortarlo en lo posible, reduciendo así el tiempo de implantación de la metodología y adelantando el inicio de la mejora en el rendimiento de los conductores.

8.2.1 Cálculo de los KPIs de los patrones básicos

El primer paso es componer una tabla con todas las apariciones de cada uno de los patrones, en este caso de los básicos. De esa tabla de patrones, que para cada evento de patrón recoge tanto datos identificativos como pueden ser el número identificativo del conductor, el vehículo o la ruta en la que sucede, como datos cuantitativos entre los que se encuentran los valores de los datos de telemetría que afectan al patrón y sirven para calcular los KPIs. Este cálculo se realiza de forma diaria, siempre que la carga de datos se realice de forma puntual.

A partir de esta tabla, y también de forma automática, se realiza el cálculo de los diferentes KPIs. Este cálculo se realiza ruta a ruta, de tal forma que cada ruta o recorrido con un inicio y un fin tendrá su propio KPI. En este caso de estudio en que se utiliza una flota de autobuses urbanos, una ruta se corresponde con cada trayecto entre cabeceras de línea y para la clasificación temprana se utilizarán los KPIs de las rutas correspondientes a 7 días. El resultado es, por tanto, otra tabla en que cada fila recoge los datos del KPI correspondiente

para una ruta. El cálculo del KPI para un periodo de tiempo concreto se realiza promediando los KPIs de todas las rutas incluidas en ese periodo y que afectan a un mismo conductor.

De esta manera, se obtienen los KPIs de todos los conductores que, en la semana previa a la formación inicial, hayan tenido actividad, y se muestran en la *Tabla D.1*. En ella se pueden ver los números de identificación de los conductores, así como la línea predominante de cada uno y sus KPIs en los patrones básicos.

Para analizar estos datos estadísticamente, es necesario saber que no es posible hacerlo en conjunto, sino que debe hacerse línea por línea. Si bien la *Tabla D.1* muestra los KPIs de cada conductor únicamente en su línea predominante, para el análisis estadístico se emplean también las rutas que éstos hagan en sus líneas secundarias, lo que contribuirá a caracterizar el servicio sobre todo en las líneas menos concurridas.

Lo primero que se observa es que la línea 331 es la de mayor tráfico de toda la flota. De los 39 conductores analizados en la *Tabla D.1*, 22 la tienen como línea predominante. El resto son muy minoritarias, siendo predominante la 333 para cuatro conductores, la 334, la 380 y la 381 para tres conductores cada una y la 332 y la 338 para dos conductores cada una.

La *Tabla D.2* muestra un análisis descriptivo del rendimiento de los conductores de las 7 líneas para el patrón *AF*. La línea 331 muestra el mayor rango de resultados, siendo la diferencia entre el máximo y el mínimo de 603 patrones cada 100km. Sin embargo, su desviación estándar muestra que hay una gran concentración de resultados cercanos a la media, ya que es más baja que la de otras líneas con menor rango, como la 332 (rango 506) o la 333 (rango 552 y desviación estándar 127). En cuanto al rendimiento relativo a cada línea, se puede observar cómo las líneas 338 y 380 tienen las medias más bajas por lo que beneficiarán el rendimiento de los conductores de nivel intermedio, mientras que la línea 332 les perjudica. Los conductores con un mayor dominio de la anticipación parece que lo tienen más fácil en la línea 331, al tener el mínimo más bajo, mientras que los que tengan más problemas, no deberían conducir en la 380, con el máximo más alto.

La *Tabla D.3* muestra el mismo análisis para el patrón *FA*. En este caso, la mayor diferencia entre el máximo y el mínimo se da en la línea 333, mientras que la mínima sigue correspondiendo a la 338. De nuevo la línea 331 demuestra tener bastante poca dispersión, ya que su desviación estándar es la segunda más pequeña pese a ser una de las tres líneas cuyo rango supera los 400 patrones cada 100km. La media más baja corresponde a la línea 331, que tiene también el mínimo más bajo, mientras que la más alta es la de la línea 381, que sin embargo tiene mínimo y máximo intermedios. Igual que en el caso del patrón *AF*, el mínimo más bajo es el de la línea 331 y el máximo más alto el de la 380.

La *Tabla D.4* ofrece el análisis estadístico para el patrón *In*. Se puede ver como este patrón para la línea 331 es muy disperso. Combina el mayor rango con la mayor desviación estándar, además de tener el menor mínimo y el mayor máximo. La línea 333 es la que ofrece resultados más parejos, con el menor máximo, el mayor mínimo y la menor desviación estándar. Ésta parece ser la línea que ofrece más facilidades a los conductores con problemas para aplicar la inercia, mientras que los que lo hacen bien deberían concentrarse en la 331, que parece que permite registros más altos. Los de rendimiento intermedio deberían conducir en la 332 o 381 para optimizar sus cualidades en cuanto a la inercia.

En el caso de la primera fase del patrón de aceleración, que se muestra en la *Tabla D.5*, algunos valores máximos parecen residuales, ya que serían aceleraciones próximas a

0m/s^2 (los KPIs positivos representan aceleraciones por debajo del objetivo). El dato más llamativo es la bajísima media que tiene la línea 334, que implica una aceleración media un 31% más alta que el objetivo. Eso, unido a una desviación estándar de las más bajas de entre todas las líneas implica que muchos de los conductores que trabajan en ella tienen registros similares. Sin embargo, tiene el máximo más bajo, por lo que parece un buen destino para aquellos conductores con tendencia a acelerar con demasiada suavidad. Las líneas 331 y 333 parecen las mejores para aquellos que mejor aceleren, ya que tienen un KPI próximo a 0, mientras que la 380 estaría contraindicada para los más agresivos, que podrían trabajar en la 338. Sin embargo, la reubicación de conductores en unas u otras líneas no es uno de los objetivos de la metodología, ya que son cuestiones muy particulares de la gestión de flota y que varían mucho dependiendo de la política interna de cada compañía, pero un análisis estadístico puede ofrecer un punto de visto externo a los supervisores de la misma.

Por último, la *Tabla D.6* muestra las estadísticas de la segunda fase del arranque. En este caso se observa que en todas las líneas es posible alcanzar el máximo rendimiento, de la misma forma que en 4 de las 7 también aparecen resultados mínimos. Pese a esos ceros, la media más baja es del 65,38% en la línea 381, que también tiene la mayor dispersión a la vista de su desviación estándar. La recomendación sería concentrar a los conductores con más problemas en este patrón en las líneas 333, 334 y 338, mientras que los mejores deberían ir a la 380 y 381, dejando así para los conductores intermedios la 331 y la 332.

8.2.2 Determinación de las necesidades formativas y primera clasificación

A partir de los KPIs de la *Tabla D.1*, que están calculados para la línea predominante de cada conductor, se halla la mediana de los KPIs para cada una de las líneas, Este dato se expone en la *Tabla D.7*. En ella se puede comprobar cómo afecta el entorno a los KPIs de los patrones. Por ejemplo, es posible aprovechar la inercia del vehículo más del doble de tiempo en las líneas 332 y 381 que en la 338.

Con los datos de las dos tablas anteriores se procede a determinar los patrones en que cada uno de los conductores tiene necesidades formativas, lo que queda indicado en la *Tabla D.8*, así como los grupos formativos iniciales.

8.2.3 Formación de los grupos formativos definitivos

Siguiendo el procedimiento expuesto en el *capítulo 5*, el último paso de la clasificación temprana es la reunión de los conductores en los grupos formativos definitivos, aplicando los criterios de similitud y prioridad. Para la ocupación de los grupos, se toma en cuenta lo que hayan acordado la empresa de formación y los gestores de la flota. Para este caso de estudio, se establecen unos límites de asistencia de entre 5 y 10 conductores por sesión, y los resultados se exponen en la *Tabla D.9*. El grupo *AFFAA1* recibe 11 conductores, por lo que debe dividirse en 2 grupos en función del nivel de los conductores. El *AFFAA1_1* queda integrado por los conductores de nivel 2 y 3, mientras que los de nivel 4 pasan a formar parte del *AFFAA1_2*.

8.2.4 Comprobación de la idoneidad de la clasificación temprana

Para ampliar el análisis, se puede verificar si con esta distribución quedan cubiertas las necesidades formativas de los conductores. Para facilitar la comprobación, las tablas 8.5 a 8.9 muestran la comparativa entre las necesidades, el grupo formativo inicial y el definitivo, divididos por niveles.

La *Tabla D.10* muestra el análisis para los conductores de nivel 1, aquellos con mejores rendimientos en la semana analizada para la clasificación temprana. Se puede observar cómo los tres conductores ven cubierta su necesidad formativa, resaltada en negrita en el grupo final. Es cierto, no obstante, que en este nivel es sencillo de conseguir, ya que solo tienen que cumplir una condición, pero se puede comprobar que los criterios de la clasificación temprana funcionan. Además, se da el caso de que en los tres casos coinciden los grupos iniciales con los finales, cosa que era bastante probable al asignarse dos de los tres patrones por similitud y/o prioridad.

La *Tabla D.11* muestra el mismo análisis para los conductores de nivel 2, cuyo rendimiento evidencia problemas en dos patrones. Su colocación en los grupos formativos también da algún problema más para los conductores 8, 19 y 74, ya que sus grupos iniciales no tenían suficiente población. Sin embargo, en ambos casos terminan asignados por similitud a grupos cuyos contenidos formativos son prácticamente idénticos a los de sus necesidades, ya que cambian la segunda fase del arranque, *A2*, por el patrón *AF* que detecta los fallos de anticipación. Como se explica en los *capítulos 4 y 5*, tanto *A2* como *AF* detectan el uso del freno después de una aceleración, sólo que *A2* lo hace después de una parada y posterior arranque, y *AF* en cualquier situación de conducción. Así pues, se puede decir que las necesidades formativas quedan cubiertas nuevamente.

La *Tabla D.12* se podría decir que es la de la asignación directa, la del nivel 3. Los conductores caen inicialmente en el grupo que incluye sus necesidades formativas, y sólo si dicho grupo resulta despoblado son reubicados. En este caso de estudio, los conductores 17, 25 y 34 deben ser movidos a otro grupo con suficiente número de conductores, de entre todos los de nivel 3. Por similitud, lo hacen del *AFInA1* al *InA1A2* el 25 y el 34, mientras que el 17 pasa, también por similitud, del *FAInA2* al *AFFAIn*, por lo que sus necesidades quedan perfectamente cubiertas de nuevo.

La *Tabla D.13* es la de los conductores de nivel 4. En este caso, tienen más necesidades de las que van a ser abordadas en la formación inicial. Observando los resultados que los conductores 10, 30, 42, 48 y 78 se ve que son asignados al grupo *AFFAA1_2* tras la supresión por similitud del patrón *A2* como primera opción de entre sus necesidades formativas. Sin embargo, los números 7 y 40 van a parar al grupo *AFFAIn* por prioridad, al descartar de entre los patrones en que tiene mal rendimiento el menos prioritario, *A1*. Por su parte, el número 75 queda inicialmente enmarcado en el grupo *FAInA2* y, al no tener éste suficientes conductores, finalmente ocupa una plaza en el grupo formativo *AFFAIn* por prioridad.

La *Tabla D.14* muestra aquellos conductores con el peor rendimiento de entre todos los analizados. En este caso no hay discusión, ya que todos ellos van a parar al grupo más prioritario, que por supuesto incluye sus principales necesidades.

Terminado el proceso de clasificación temprana se procedería a realizar la formación inicial, en la que se aplicaría la distribución aquí obtenida y se incidiría directamente en las principales necesidades formativas de cada conductor, como se acaba de ver. Además, en la parte práctica e individual de la formación, el formador sabrá gracias al resultado de las “necesidades” de cada conductor que situaciones debe forzar y/o buscar para poder mostrar a cada uno la forma de mejorar su rendimiento.

Una vez terminada la formación se entra en el primer periodo de análisis del rendimiento, al final del cual se calcula la madurez de los conductores, se les da una

calificación global y se realiza un ranking general en base a su rendimiento. Se negocia además con la dirección de la flota la posibilidad de una nueva formación inicial para aquellos conductores que no hayan entrado en el análisis de la clasificación temprana pero sí lo hagan en el del periodo posterior, aunque esta se hace en base a la madurez siempre que el conductor disponga de datos suficientes. Si no fuera así, se aplicaría de nuevo la clasificación temprana dentro de las limitaciones que supondría un número mucho más reducido de conductores.

8.3 Análisis de la madurez

El inicio del análisis periódico es igual que el de la clasificación temprana. Se realiza la captura de datos durante el tiempo estipulado y se calculan los KPIs de todos los patrones, básicos y complejos, según se vaya realizando la carga en la base de datos. Una vez finalizado el periodo de análisis se lanza el cálculo de los modelos de madurez de forma análoga a los KPIs. La condición para que un conductor tenga modelos de madurez es que disponga de un KPI válido para todos los patrones que les afectan. Si hubiera algún conductor que no hubiera asistido a la formación, se podría plantear una nueva formación inicial al inicio de un nuevo ciclo de análisis.

En este caso de estudio, no hay conductores durante el primer periodo que no hayan asistido a la formación inicial. La *Tabla D.15* muestra los resultados de los modelos de madurez y la calificación global. En ella se pueden ver las calificaciones de los tres modelos de madurez, en la línea predominante, según está explicado en el *capítulo 6*, y la calificación con la que el conductor entra en el ranking general de la flota.

Se puede observar cómo hay predominancia de calificaciones intermedias en los modelos de madurez. Aquel que obtiene una calificación “*Madurez baja*” es porque realmente tiene problemas en esa fase de la conducción, mientras que los que tengan “*Madurez muy alta*” también escasean por la misma razón: sólo los conductores excelentes en esa fase pueden obtener esta calificación. Estas consideraciones hacen que las calificaciones globales tengan un nivel bastante intermedio, por lo general entre el 4 y el 7, que representan, entre otras combinaciones, tres “*Madurez media*” o tres “*Madurez alta*”. Se debe recordar, como ya se explicó en el *capítulo 6*, que la calificación global va desde 1 hasta 10. Siendo el 1 la nota de partida, equivalente a tres “*Madurez baja*”, y por cada categoría de mejora en cualquiera de las tres fases de conducción supone un punto a sumar en la calificación global. Por ejemplo, el conductor 74 suma al punto inicial, 0 puntos por su “*Madurez baja*” en *Arranque*, 3 por su “*Madurez muy alta*” en *Marcha*, y 1 por su “*Madurez media*” en *Parada*, lo que hace un total de 5 puntos en la calificación global.

Esta sería una presentación básica de los resultados que podría ser utilizada por el cliente para aplicar un sistema de recompensas o incentivos, siendo este un aspecto muy reclamado por los gestores de las flotas. En la sección siguiente se hace un análisis personalizado para este mismo conductor, como ejemplo de las posibilidades de análisis que ofrece el método de formación y evaluación que se presenta en esta tesis.

8.4 Análisis personalizado

Se dispone de muchas posibilidades de análisis, para lo que se utiliza una herramienta de visualización, de uso interno, denominada VAT-ED¹⁰. En concreto el conductor 74 que se tomó como ejemplo en la sección anterior, es un conductor que a lo largo del mes analizado tiene rutas únicamente en la línea 331, donde hace los 2038 km que supusieron las 150 rutas completadas en dicho mes.

Como una primera indicación, los modelos de madurez pueden desglosarse en los diferentes patrones que los componen. Para un examen general no es necesario, pero sí lo es si se pretende hacer un análisis más exhaustivo y posteriormente para las recomendaciones automáticas. La *Tabla D.16* nos muestra los modelos de madurez detallados para el conductor 74.

8.4.1 Resumen general

Al análisis por modelos de madurez, se le puede añadir el análisis patrón a patrón. En cada uno de los patrones básicos y de aquellos que afectan a los modelos de madurez, es posible obtener una serie de datos numéricos y visuales que permiten detectar distintos comportamientos del conductor. Poniendo como ejemplo el patrón de ralentí, lo primero que se puede visualizar es un mapa de calor que indica las principales zonas en que se reproduce el patrón, en este caso el ralentí, tal y como se muestra en la *Figura 8.2*. En ella se puede distinguir el recorrido de la línea 331 por la que conduce el conductor 74. En rojo se distinguen las zonas en que se producen los ralentíes de mayor duración, mientras que en azul se indican las zonas en que más escasean estos sucesos.

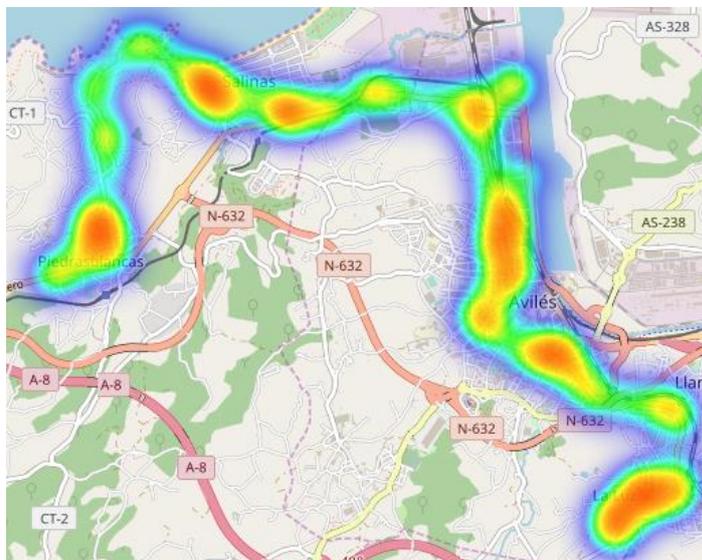


Figura 8.2 Mapa de calor del patrón de ralentí. Conductor 74

También es posible obtener una serie de datos numéricos y de evolución del conductor, como puede ser su KPI y su evolución respecto al periodo de análisis anterior, o la duración media del patrón por cada ruta realizada (*Figura 8.3*). De esta forma, si el tiempo total de ralentí en este ejemplo aumenta un 11,34% en el último mes, pero el KPI solo lo hace en un 4,11%, es posible deducir que la duración media de la ruta aumentó en una proporción

¹⁰ Nº de registro 08/2017/182 en el registro territorial de la propiedad intelectual del Principado de Asturias

mayor, de ahí esa diferencia en las variaciones de los valores absolutos y relativos, y por tanto que la circulación durante el mes analizado fue más lenta que el anterior.

Duración Media del Ralentí por Ruta (Mes Anterior): 7 min, 56 seg
 Duración Media del Ralentí por Ruta (Mes Actual): 8 min, 50 seg
Evolución: 11,34 %

KPI Medio (Mes Anterior): 18,25 %
 KPI Medio (Mes Actual): 19 %
Evolución: 4,11 %

Figura 8.3 Datos personalizados de duración de ralentí y KPI. Conductor 74

Otras informaciones complementarias como la longitud o duración media de la ruta, que pueden variar en función de varios factores como obras y desvíos, tráfico y el desplazamiento hacia el punto de descanso entre rutas que haga el conductor, completan el resumen general de rendimiento del conductor para el mes analizado, junto al consumo medio del mes.

8.4.2 Análisis posicional

También es posible realizar análisis más específicos. Por ejemplo, el sistema es capaz de detectar las calles en que mayor incidencia tiene un patrón. Este análisis posicional inicial que se muestra en la Figura 8.4, y que se complementa con un listado en el que se indican el número de detecciones del patrón en el periodo analizado y la duración media del mismo en la calle indicada, tiene la limitación de que la localización es muy genérica.



Figura 8.4 Análisis de ralentí por calles. Conductor 74

Así, una calle con varias paradas para recoger pasajeros saldría muy perjudicada en este análisis, ya que las cifras muestran el ralentí medio por ruta. Esto se soluciona mediante un análisis más preciso que permite analizar este dato de forma dinámica y localizar con total precisión los puntos conflictivos, como muestra la Figura 8.5.

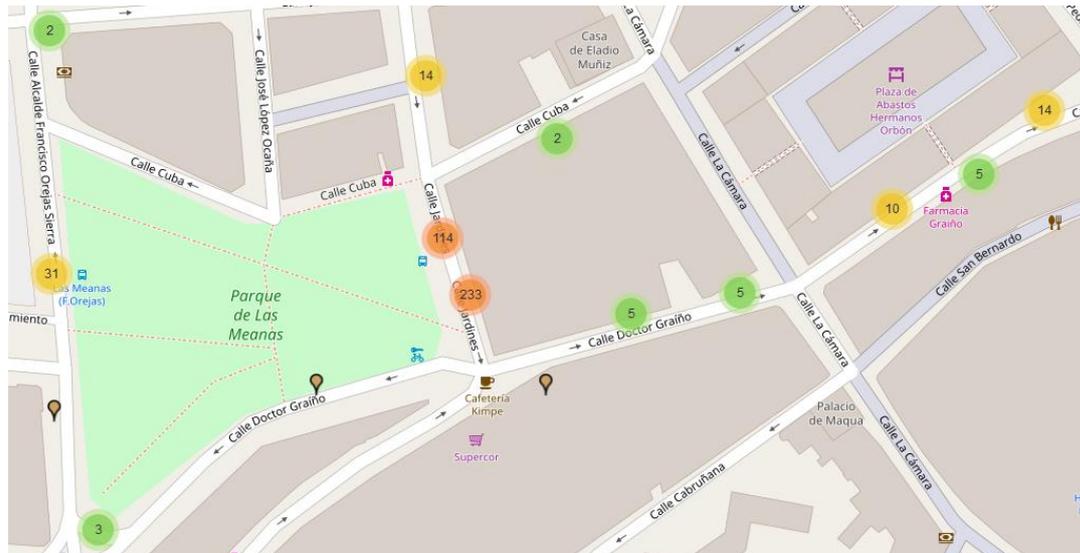


Figura 8.5 Eventos de ralentí de más de 1 minuto. Conductor 74

En este caso la imagen muestra los eventos de ralentí de más de 1 minuto de duración que se dieron durante el periodo analizado. Se puede observar como el punto de máxima concentración de ralentíes es en la Calle Jardines, justo al lado de una parada en la que se intuye una importante afluencia de pasajeros. El hecho de que haya dos puntos de máxima concentración da a entender que se trata de una parada en la que suelen coincidir autobuses de varias líneas, lo que hace que unas veces la detención del vehículo se realice un poco antes. Los puntos de menor concentración se corresponden con otro tipo de detenciones, como cruces, semáforos, pasos de cebra o calles estrechas donde se pueda producir un bloqueo, cosa que es relativamente habitual en esa zona del casco antiguo de Avilés. Por otro lado, el tercer punto en que más se repiten los ralentíes de más de 1 minuto de duración también se corresponde con una parada en la que se existe menos afluencia de pasajeros.

8.4.3 Análisis temporal

En este caso también es posible realizar diferentes análisis. La aproximación más genérica al enfoque temporal se hace al delimitar los periodos de análisis, que suelen ser mensuales. Un estudio más preciso delimitaría los turnos de mañana y tarde como condicionantes del contexto temporal (*Figura 8.6*), viéndose diferencias importantes en el rendimiento de los conductores. Respecto al conductor 74, se observa cómo trabaja más a menudo en el turno de tarde, en el que además tiene un mejor KPI.

Mañana (De 7.00 a 15.00)	Tarde (De 15.00 a 23.00)
Número de Rutas: 57	Número de Rutas: 74
Duración Media Ruta: 0 Horas, 49 min, 12 seg	Duración Media Ruta: 0 Horas, 48 min, 56 seg
Duración Media Ralentí (por ruta): 9 min, 59 seg	Duración Media Ralentí (por ruta): 8 min, 56 seg
KPI Medio: 20,32	KPI Medio: 18,02



Figura 8.6 Análisis de Ralentí por turnos. Conductor 74

En este caso se puede complementar el análisis individual con el mismo análisis para la línea completa, que permite determinar si la mejora del KPI en el turno de la tarde se debe a que el conductor se maneja mejor en esas condiciones, o si estas son mejores para todos los conductores en lo relativo a este patrón. La *Figura 8.7* muestra que hay una diferencia de 1 punto entre los KPI de mañana y tarde tomados para todos los conductores de esta línea, con lo que las condiciones de tráfico y afluencia de pasajeros parecen mejorar después de las 15h. Sin embargo, el conductor 74 mejora en más de 2 puntos. Según esta comparación se verifican dos cosas: primero, que el conductor 74 tiene un rendimiento relativo al patrón de ralentí mejor que la media de la línea; y segundo, que su diferencia de rendimiento entre el turno de mañana y el de tarde es mayor que la diferencia media de todos los conductores que trabajan en la misma línea, lo que indica que las características del conductor se ajustan mejor al tipo de contexto que se puede encontrar durante la tarde que al de la mañana en su forma de gestionar el ralentí.

Mañana (De 7.00 a 15.00)	Tarde (De 15.00 a 23.00)
Número de Rutas: 1200	Número de Rutas: 1170
Duración Media Ruta: 0 Horas, 46 min, 8 seg	Duración Media Ruta: 0 Horas, 46 min, 39 seg
Duración Media Ralentí (por ruta): 10 min, 1 seg	Duración Media Ralentí (por ruta): 9 min, 35 seg
KPI Medio: 21,45	KPI Medio: 20,39

Figura 8.7 Análisis temporal por turnos del ralentí. Línea 331

Aún es posible ahondar más en el análisis si lo hacemos por franjas horarias. Es posible determinar por horas la variación en el rendimiento para cada patrón mediante la obtención de sus KPIs en cada franja horaria. De esta manera se puede identificar también la hora punta para una determinada línea. La *Figura 8.8* muestra ese dato.

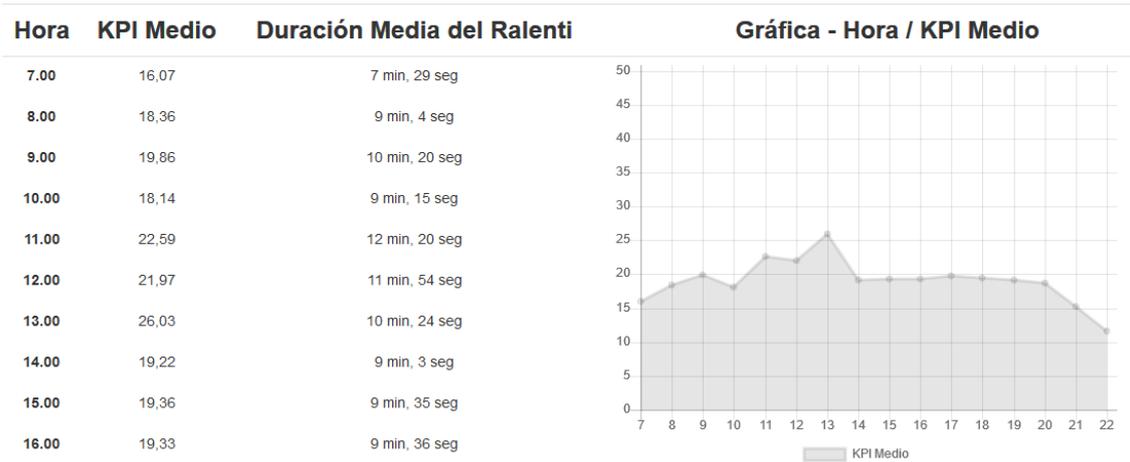


Figura 8.8 Análisis temporal por franja horaria. Conductor 74

De igual forma que para el análisis por turnos, es posible realizar el mismo análisis para la línea, de forma que se puedan poner en contexto los resultados del conductor. En la *Figura 8.9* se puede ver cómo la hora punta es el tramo entre las 13 y las 14 horas (representado por el punto que marca el 13, y que va de las 13:00 a las 13:59), ya que coincide como el KPI más alto tanto para el conductor como para el conjunto de la línea.

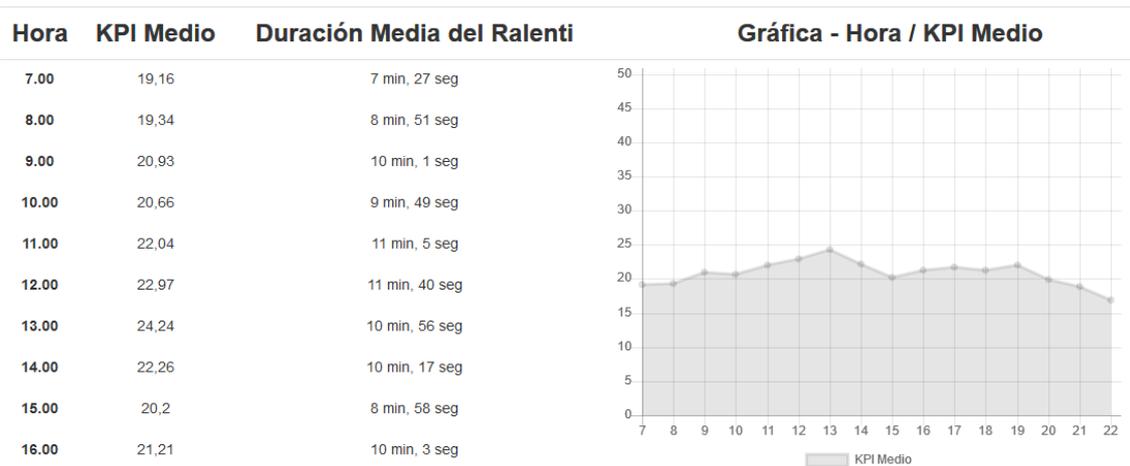


Figura 8.9 Análisis temporal por franja horaria. Línea 331

En esa franja horaria, así como en la de las 11 horas, aunque más levemente, el rendimiento del conductor, que en general es mejor que la media de su línea, obtendría un KPI más alto que el del resto de sus compañeros en conjunto. Coinciden ambos puntos, si nos atenemos a los datos de ambas figuras, en los momentos más exigentes del día en lo relativo a este patrón. Por tanto, se puede observar como el conductor 74 es capaz de gestionar el ralentí mejor que la mayoría sus compañeros en condiciones de confort, mientras que cuando aumenta la exigencia, ese rendimiento baja de forma importante, siempre tomando como referencia al resto de compañeros. Las razones podrían ser múltiples, como por ejemplo una falta de decisión a la hora de incorporarse al tráfico cuando éste es más denso. Esta hipótesis se puede contrastar en la *Tabla D.15*, donde se observa que el arranque es la fase en que su madurez es más baja, y en la *Tabla D.16*, que indica que su rendimiento en el patrón A1 también es asimismo bajo.

Sin embargo, fuera de esas hora de máxima afluencia de pasajeros y tráfico, sus registros son mejores, haciendo que su resultado global sea mejor que la media.

8.4.4 Análisis climático

El último tipo de análisis disponible es una comparativa del rendimiento entre los días de lluvia y los días secos. Si bien en la herramienta de visualización este análisis solo está disponible en valores absolutos de repetición de patrones, de forma similar a la *Figura 8.4*, para la generación de las recomendaciones automáticas sí que se calculan los KPIs en seco y en mojado. Los resultados de estos KPIs, junto a los equivalentes de la línea, permiten saber cuándo un conductor empeora su rendimiento con el piso mojado, o si por el contrario mejora sus prestaciones en esas condiciones con respecto a sus compañeros. En el caso del conductor 74, los resultados de este cálculo en el periodo analizado se muestran en la *Tabla D.17*.

El ralentí es un patrón cuyo KPI se ve afectado sobre todo por la afluencia de pasajeros y por la densidad del tráfico cuando hablamos de comparar rendimientos de un mismo conductor. En el caso del conductor 74 y de la línea 331, vemos que al llover parecen reducirse tanto el tráfico como el número de pasajeros, ya que el KPI mejora en ambos casos.

Los análisis realizados en toda la *sección 8.4* podrían ayudar a los gestores de las flotas a asignar a los conductores aquellas líneas que se ajusten mejor a sus habilidades al volante a tenor de los resultados, si bien la variabilidad en las políticas de asignación de las empresas hace que esto no sea aplicable a todas las flotas. Por ello, un estudio de este tipo solo se realizaría bajo petición expresa y no está incluido expresamente en la metodología.

8.5 Recomendaciones automáticas

Todos los análisis que se describen en la *sección 8.4* pueden realizarse de forma manual cuando se busca alguna situación en concreto, tal y como se acaba de mostrar. Sin embargo, el planteamiento de las recomendaciones automáticas es el de ser capaz de analizar el rendimiento de cada conductor de forma automatizada y obtener una serie de comentarios que permitan al conductor mejorar mes a mes. Dicho análisis no sería viable económicamente de hacerse de forma manual, por lo que el ahorro logrado tanto en tiempo como en dinero, más acusado cuanto mayor sea la flota estudiada, hace mucho más utilizable la metodología para los clientes dentro de unos parámetros económicos que les permitan obtener rédito inmediato.

En el caso del conductor número 74, se obtienen una serie de recomendaciones que se reflejan a continuación. Tal y como se explica en la *sección 7.6.2*, a la hora de aportar recomendaciones hay que hacerlo siguiendo un patrón.

8.5.1 Recomendaciones de felicitación

En este caso se podrían dar varios tipos de comentario, tal y como se indica en la citada *sección*. Para el conductor 74 las opciones serían ensalzar su gran rendimiento con el vehículo en marcha, donde obtiene la calificación de “*Madurez muy alta*” (*Tabla D.15*),

“Trabajas bien en marcha”

Podría darse el caso de que hubiera más de un posible comentario de ánimo, en cuyo caso deberían incluirse todos. Suelen ser más cortos y ayudarán a que el conductor afronte con más ganas la parte correctiva.

8.5.2 Corrección general

En este caso deben afrontarse las correcciones que sean necesarias respecto a la eficiencia en los modelos de madurez. El conductor 74 necesita dos correcciones, una sobre su madurez en arranque y otra al detener el vehículo, que se obtienen de la *Tabla C.4* y de la *Tabla C.5* respectivamente.

“Acelera con más brío y recuerda aprovechar la inercia de tu vehículo.”

“Dejar de acelerar un poco antes te permitiría utilizar menos el freno cuando vas a detener tu vehículo.”

La primera de las frases hace referencia a las dos calificaciones de “Poor” que recibe en las dos fases del patrón de arranque, mientras que la segunda incide en el excesivo uso del freno que el conductor hace al ir a detener el vehículo, reduciendo así el aprovechamiento de la inercia, lo que hace que obtenga un “Regular” en el patrón *PICL*.

En este caso se podrían dar hasta tres correcciones, una por modelo de madurez. En principio se pondrían las tres, a la espera de ver los resultados de las correcciones específicas.

8.5.3 Corregir de forma concreta

En este caso se analiza la incidencia posicional, temporal y climática de aquellos patrones que hayan recibido una corrección general previamente. Los comentarios resultantes se obtienen de la *Tabla C.7* para la corrección por posición, de la *Tabla C.8* para la corrección por franja horaria y de la *Tabla C.9* si la corrección debe hacerse en función de si el día está lluvioso.

En este sentido, al conductor 74 se le hacen las siguientes recomendaciones:

“Sin embargo, los días de lluvia realizas deceleraciones más progresivas que cuando el piso está seco, incluso lo haces mejor que tus compañeros. Cuando el piso esté seco, debes actuar de la misma manera.”

“Sin embargo, los días de lluvia aceleras mucho mejor de lo habitual, incluso mejoras a tus compañeros. En seco debes hacerlo igual.”

“Sin embargo, tras la aceleración inicial mejoras en la aplicación de inercia. Debes actuar de igual forma cuando el piso esté seco.”

“Cuando pasas por la zona de la imagen, sueles acelerar con demasiada suavidad. Hazlo algo más fuerte.”

“En la zona de la imagen, una vez que alcanzas la velocidad máxima, debes aprovechar la inercia del vehículo”

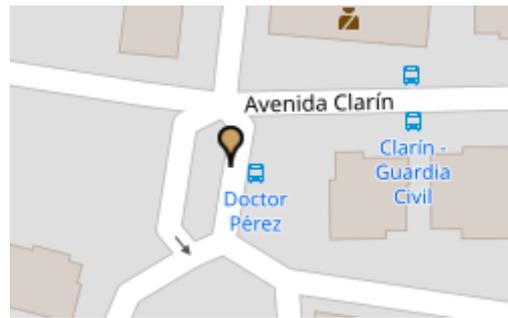


Figura 8.10 Imagen de punto crítico aportada en las recomendaciones automáticas. Conductor 74

En la *Figura 8.10* se puede ver el punto al que hacen referencia las recomendaciones específicas de localización. Cabe destacar que en este caso da la casualidad de que coincide el punto para las dos recomendaciones de este tipo. El conductor llega a la parada con demasiada velocidad, lo que le obliga a utilizar el freno sin aprovechar la inercia, y al arrancar lo hace acelerando de forma excesivamente suave, cosa que analizando la imagen puede ser comprensible ya que inmediatamente llega a un cruce en el que debe incorporarse a otra vía.

No sale ninguna recomendación según franja horaria. Se añadirán a las correcciones generales, a modo de complemento, las específicas de posición en primer lugar. Posteriormente se utilizarían las de franja horaria y, por último, si fuera necesario, las climáticas. En el caso del conductor 74, el resultado final sería:

“Acelera con más brío y recuerda aprovechar la inercia de tu vehículo. Cuando pasas por la zona de la imagen, sueles acelerar con demasiada suavidad. Hazlo algo más fuerte.” Se añadiría la *Figura 8.10*.

“Dejar de acelerar un poco antes te permitiría utilizar menos el freno cuando vas a detener tu vehículo. En la zona de la imagen, una vez que alcanzas la velocidad máxima, debes aprovechar la inercia del vehículo.” De nuevo, habría que añadir la *Figura 8.10*.

Se utiliza la posición en ambos casos porque es mucho más concreto que hacer referencia al clima. Es más fácil que el conductor se centre en corregir sus fallos cada vez que pase por el punto indicado, que no que lo haga durante todo un día de lluvia.

8.5.4 Animar

Finalmente, hechas todas las recomendaciones necesarias para mejorar el rendimiento del conductor durante el próximo mes, se debe dejar un último mensaje de ánimo para afrontar el cambio de actitud que se le está solicitando, según lo indicado en la *sección 7.5*. En este caso, para una calificación global de 5, sería el siguiente:

“Con un mínimo esfuerzo obtendrás una buena nota. ¡Ánimo!”

8.6 Resumen del caso de estudio

De esta forma concluye el caso de estudio, en el que se han analizado todas las fases de la formación de conductores profesionales, aplicado de forma concreta a una flota de autobuses urbanos y, más específicamente, a uno de sus conductores.

Se ha realizado el cálculo de patrones y sus KPIs: inicialmente de los patrones básicos para poder utilizarlos en la clasificación temprana y posteriormente también de los complejos para su uso en los modelos de madurez. Además, se ha generado un conjunto de

recomendaciones automáticas para el conductor utilizado como ejemplo. A partir de este punto se reiniciaría el ciclo, obviando la clasificación temprana, y se podría considerar la evolución de los diferentes conductores. A modo de conclusión, la *Tabla D.18* muestra la evolución para los meses sucesivos.

En esta tabla se puede observar como la evolución del conductor es correcta, pasando de un 5 en abril (mes analizado en el caso de estudio) a un 7 en agosto. Por fases, parece que se estabilizan el arranque (que sigue siendo su punto más débil) y la detención, mientras que la marcha tiene un nivel muy alto, puesto que al final recupera la máxima calificación, que es especialmente complicada de obtener y más aún de mantener.

Mención especial para el mes de septiembre, en el que se produce una caída alarmante del rendimiento que no tiene nada que ver con la tendencia previa. Se puede observar que mantiene registros excepcionalmente buenos durante la marcha, pero falla estrepitosamente en la detención. Esto parece que podría ser achacable al cambio de su línea predominante. En ese sentido poco se puede hacer desde el punto de vista formativo, más que indicarle mediante todas las herramientas y los análisis contenidos en esta tesis cómo afrontar este nuevo contexto. Este tipo de inconvenientes forman parte de la política de la flota, y quizás se pudiera considerar desde su dirección un cambio en la misma a raíz de estos resultados.

Todo este proceso, descrito en la metodología y aplicado de forma práctica en el caso de estudio, es el que desde el punto de vista de esta tesis se considera apropiado para cualquier empresa de transporte que se disponga a afrontar la conducción eficiente mediante un proceso formativo y analítico sostenido en el tiempo. ADN Mobile Solutions, colaboradora en este trabajo mediante la obtención y aportación de los datos necesarios para llevarlo a cabo, utiliza la metodología de forma parcial. La razón es que sus clientes son anteriores al inicio de la tesis, por lo que ciertas partes, como la clasificación temprana o la formación inicial, no eran de aplicación.

Sí se ha utilizado, no obstante, la clasificación temprana, previamente a una sesión de refuerzo. En este caso el objetivo no era asignar a los conductores grupos formativos, puesto que tenían una cantidad suficiente de datos como para analizar sus características de forma más precisa, sino que se buscaba ver si realmente los resultados de la misma resultaban fiables para poder aplicarla en caso de captación de nuevos clientes. El resultado fue satisfactorio, en opinión del formador, tanto por el conocimiento previo que tenía de los conductores implicados, como por las sensaciones que se llevó durante el taller de refuerzo mencionado, principalmente por lo observado durante las sesiones prácticas individuales.

Otros apartados de la Tesis, como los modelos de madurez, han tenido aplicaciones puntuales a la hora de desentrañar casos que con su propia metodología, basada en eventos puntuales, no mostraban resultados lógicos a la hora de explicar el consumo de combustible de uno u otro conductor. Si bien todos los elementos de la metodología están centrados en el análisis del comportamiento del conductor y descartan la relación directa con el consumo de combustible por depender este de muchos más factores ajenos al rendimiento del conductor, la correcta aplicación de las técnicas que favorecen la obtención de una buena calificación redundan en una reducción en el consumo de combustible y una conducción más segura.

9 Conclusiones

La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero viene potenciada desde las instituciones internacionales debido al calentamiento global y a las consecuencias que podría acarrear a medio y largo plazo. En ese sentido, el sector del transporte por carretera, siendo uno de los principales emisores, se ve afectado por las medidas penalizadoras que imponen los gobiernos, a través de las subidas de impuestos sobre los combustibles fósiles, y en concreto sobre el gasóleo.

Existen varios métodos por los que las compañías pueden reducir su consumo. La renovación de la flota de vehículos es el más inmediato, pero requiere una inversión que hace que no sea rentable a corto y medio plazo y que sea imposible de realizar de forma masiva. Solo una sustitución progresiva de los vehículos más antiguos por otros de última generación podría ser viable, pero solo afectaría de forma inmediata a una pequeña parte de los vehículos de la flota. El segundo método sería la implantación de un plan de mantenimiento preventivo. No es una solución tan cara como la renovación de la flota, pero no supone una aplicación inmediata. El tercer método sería la formación en conducción eficiente de los conductores de la flota. Sería la opción más económica, de rendimiento inmediato y aplicable a toda la flota en un tiempo muy reducido. Sin embargo, no está exento de inconvenientes, ya que depende de forma decisiva de la actitud y motivación del conductor para llevarlo a cabo, siendo este aspecto algo que es necesario trabajar mediante la comunicación de resultados.

Como se ha detallado previamente en este documento, el trabajo desarrollado en esta tesis se enmarca en esa tercera opción. Tal como se expresa en la introducción, ha intentado definir un proceso de formación adaptativa en conducción eficiente que se base en la monitorización del comportamiento al volante de los conductores.

Con respecto a los objetivos concretos planteados al inicio de la tesis se puede afirmar que:

- 1- Se ha creado una metodología de aprendizaje adaptativo que emplea la formación continua aplicada en el trabajo y el *blended learning*. Se ha logrado integrar la monitorización del comportamiento de conductores profesionales durante su jornada laboral (*on-the-job training*) con la evaluación continua.

Este trabajo de tesis ha desarrollado una metodología completa de formación en conducción eficiente que supone un avance respecto a la presentada en la tesis de [\(Rionda Rodríguez 2016\)](#) que sirve como punto de partida. Concretamente, se han aportado una serie de elementos en pos de la inmediatez, de la personalización y de la automatización, que no estaban presentes en ella. En esta tesis se personaliza la formación desde el primer momento con la clasificación temprana, pasando por la evaluación individual, que era inexistente y

terminando por las recomendaciones automáticas, que son únicas para cada conductor y periodo analizado. Se obtiene inmediatez en la fase de clasificación, al pasar el periodo pre-formación de captura de datos de un mes aproximadamente a unos pocos días. Por último, la automatización está presente en todos los ámbitos de la metodología, pero donde se hace más palpable es en la elaboración de informes, que anteriormente era manual y ahora permite escalar la metodología y aplicarla a flotas de más de mil conductores sin perder inmediatez ni tener que contratar gente específicamente para este cometido. El principal avance es la creación de un verdadero sistema de evaluación, objetivo y centrado en el rendimiento del conductor, que en la metodología anterior no estaba presente, a través del análisis de los patrones y su implicación en los modelos de madurez.

La combinación de los conceptos de *learning by doing* y *on the job training* logra que el conductor interiorice las enseñanzas y modifique su comportamiento hasta llegar a realizar una conducción eficiente de forma natural en el medio y largo plazo.

- 2- Se ha caracterizado el 100% del tiempo de conducción, recogiendo eventos relevantes como aceleraciones y frenadas, agrupándolos en una serie de patrones de comportamiento que comprenden sucesiones de dichos eventos en una ventana temporal, y que se caracterizan mediante unas métricas específicas de cada una.

La base de la metodología son los patrones de comportamiento que vienen dados por la sucesión de eventos en una ventana temporal. Estos patrones se logran desarrollar de forma fiable gracias a que la obtención de datos se realiza con una frecuencia muy alta, con una captura cada 1,5 segundos. Pese a que tienen distinto origen, tanto en su concepción como en su función, todos ellos cumplen una función común, que es lograr una evaluación objetiva de las características de conducción eficiente de cada conductor, con el fin de personalizar su formación desde el primer momento. Por un lado, están los patrones básicos, cuyo diseño se centra en las diferentes combinaciones de los parámetros de aceleración, freno, velocidad y consumo, y tienen su utilidad básica en la elaboración de la clasificación temprana y también participan en las reglas difusas que generan los modelos de madurez. Por otro lado, están los patrones complejos basados en inercia. En este caso se utilizan para discernir lo que pasa cuando el consumo es nulo, ya que la inercia básica solo distingue si se usa con o sin freno (siempre y cuando este dato esté disponible). Son parte fundamental del cálculo de los modelos de madurez, pero carecen de utilidad en la clasificación temprana debido a su complejidad. Finalmente, el patrón de arranque viene a cubrir las aceleraciones y la transición hacia la inercia, y se utiliza tanto en el cálculo de los modelos de madurez como en la clasificación temprana. La combinación de todos ellos logra cumplir el objetivo de analizar el 100% del tiempo de conducción.

El principal avance que ofrecen los patrones de comportamiento frente a la captura de eventos aislados, más habitual en otros métodos de análisis y evaluación para la conducción eficiente, es el análisis de ventanas temporales. Al trabajar sobre combinaciones de acciones del conductor, es posible determinar si se producen situaciones más específicas, como puede ser que no se aplique la distancia de seguridad, o si se aprovecha la inercia del vehículo una vez que este alcanza la velocidad máxima de la vía. El cálculo de los KPIs de los patrones permite, además, realizar un análisis cuantitativo que dota de dimensión a los diferentes comportamientos detectados mediante los patrones y los hace comparables dentro, eso sí, de un mismo contexto de conducción.

- 3- Se ha creado un sistema de clasificación temprana de los conductores en grupos formativos adaptados a sus necesidades, haciendo el proceso adaptativo desde el primer momento, logrando formar grupos de conductores de características homogéneas que facilitan al formador la labor a la hora de reforzar aquellos aspectos que sea necesario mejorar en cada grupo.

El método de clasificación temprana organiza los grupos de conductores mediante la detección de las necesidades formativas de cada conductor según su estilo de conducción previo a la formación inicial. Gracias a este método se logra reducir el periodo entre la instalación del dispositivo embarcado y la formación tanto como la gerencia de la flota contratante considere oportuno, ya que el método permite identificar las principales debilidades de los conductores en conducción eficiente con una mínima cantidad de datos obtenidos durante el desarrollo de su actividad laboral. Además, el hecho de que esta clasificación se realice en condiciones de trabajo, la hace más fiable que si se realizase mediante una o varias rutas específicas para esta finalidad, con la consecuente inhibición que esto podría causar en el conductor a la hora de mostrarse de forma natural. También se logran reducir las sesiones presenciales de la primera formación de tres a dos, con la supresión de la mencionada ruta libre, y permite que la sesión teórica vaya enfocada a las necesidades de cada grupo de conductores, lo que es especialmente útil en flotas cuya plantilla de conductores sea muy numerosa.

- 4- Se ha diseñado un método de evaluación basado en los modelos de madurez que, calculados en base a los patrones de comportamiento, permiten determinar la evolución de cada conductor en su contexto específico de trabajo. Gracias a ellos es posible conocer aquellos aspectos en que cada conductor mejora o empeora y evaluarle de forma cuantitativa en una escala adaptada a su contexto laboral.

La evaluación del progreso del aprendizaje se realiza mediante los modelos de madurez, que utilizan los KPIs de los patrones de comportamiento agrupados en las tres fases de conducción: arranque, marcha y detención. Estos modelos se elaboran por medio de técnicas de lógica difusa, para lo que se definen las funciones de pertenencia de los patrones a las variables categóricas de salida del rendimiento de los conductores. También se definen las reglas de lógica difusa, que junto a las ya referidas funciones de pertenencia y a las condiciones del contexto, devuelven los grados de madurez de cada conductor en las condiciones definidas para el estudio y en las tres fases de la conducción referidas. Los modelos de madurez, aparte de ofrecer una buena herramienta, basada en el análisis exhaustivo del estilo individual de conducción, para evaluar las fases de conducción por separado, pudiendo así centrarse en lo que más necesita cada conductor, permiten elaborar un ranking de todos los conductores de una flota basado en una calificación global, numérica y sencilla de entender. Esta clasificación da pie a la implantación de un sistema de recompensas basado en el comportamiento al volante, que contribuya a mejorar la implicación de los conductores de una flota. Un sistema de incentivos de estas características sería mucho más justo que otro basado exclusivamente en el consumo, ya que está sobradamente demostrado en la literatura que en él influyen una serie de factores ajenos al control del conductor, como el vehículo utilizado o el trayecto realizado, que podrían beneficiar a conductores menos aplicados sobre otros cuyo comportamiento estaría más ajustado a un estándar eficiente y seguro.

- 5- Se ha diseñado un procedimiento para comunicar los resultados tanto a los responsables de la flota como al propio conductor de forma clara y efectiva, emitiendo de forma automática una serie de recomendaciones personalizadas basadas en el desempeño de cada conductor, y que le permite mejorar en aquellas facetas de la conducción eficiente que más dificultades le generen.

Una vez evaluados el comportamiento, la pericia y la evolución de los conductores, queda comunicar los resultados a los conductores. Se ha desarrollado también para ello un sistema de recomendaciones automáticas que busca no solo corregir los comportamientos ineficientes de los conductores en base a sus evaluaciones individuales, sino además motivarles a mejorar, resaltando aquellas fases de la conducción en que mejor lo hacen o donde pueden evolucionar de forma más sencilla. Desde el punto de vista de la empresa que ofrece la metodología formativa, supone una mejora sustancial en la gestión de sus recursos, ya que permite la elaboración de informes personalizados e individuales para todos los conductores de todas las flotas gestionadas sin la dedicación exclusiva de personal, con el ahorro que eso supone.

- 6- Finalmente, se ha evaluado toda la metodología en un contexto real para probar su utilidad práctica, empleando el caso de una empresa municipal de transporte urbano.

Se ha realizado un caso de estudio a modo de ejemplo, con datos reales de aplicación directa en una empresa de transporte. Este caso, que solo es uno más de todos los analizados a lo largo del desarrollo de la investigación que ha dado pie a esta tesis, abarca todos los apartados recogidos en este documento, y muestra su utilidad y su buen funcionamiento. En él se aplica la clasificación temprana a un grupo de 39 conductores, logrando que todos los conductores vean satisfechas sus necesidades formativas iniciales. Se realiza la evaluación, mediante los modelos de madurez, del rendimiento de los conductores en el primer periodo de análisis, demostrando que permiten analizar las fortalezas y debilidades de cada conductor en las tres fases de la conducción. Se realiza un análisis personalizado exhaustivo para uno de los conductores, mostrando la versatilidad del sistema analítico y la profundidad que permite a la hora de caracterizar a un conductor o a una flota. Se comprueba, también para un conductor, que las recomendaciones automáticas cubren sus necesidades formativas, atendiendo a los principales puntos de mejora en base a su rendimiento durante el periodo analizado, además de buscar la motivación para que siga mejorando. Finalmente se observa la evolución de las evaluaciones de ese mismo conductor durante los meses siguientes, viendo su progresión y cómo un cambio del contexto puede afectar a la misma.

En conjunto, la metodología que conforma esta tesis doctoral supone una forma económica, sostenible e inmediata de reducir el consumo de combustible en empresas de transporte, y como consecuencia las emisiones de gases de efecto invernadero. Se trata de un método de mejora continua. Es muy difícil que un conductor sea mejor que todos sus compañeros en todas las facetas de la conducción, por lo que incluso el conductor con la calificación más alta de una flota tendrá margen de mejora en alguna de las fases de la conducción. Por ello es posible mantener la metodología en el tiempo, integrando la evolución en el comportamiento de los conductores con las mejoras que la dirección de la flota sea capaz de afrontar de forma progresiva en el mantenimiento y la renovación de vehículos más antiguos.

La capacidad de analizar el rendimiento de los conductores desde puntos de vista tan diversos como la posición geográfica, la franja horaria o el turno y la climatología, ofrece una gran versatilidad no solo a la hora de buscar la mejora en el rendimiento de los conductores desde el punto de vista formativo, sino también desde el punto de vista de la gestión de la flota, cuya dirección podría proponer cambios de turno o trayecto según las condiciones de cada trabajador, contribuyendo así a la mejora en la eficiencia. Incluso podría buscar la eliminación de puntos conflictivos en sus rutas en caso de que se produjese una gran acumulación de patrones en el conjunto de los conductores.

10 Trabajos futuros

El trabajo de base que deja esta tesis abre varias opciones de estudios a realizar en un futuro inmediato, incluso algunas sobre las que ya se está evolucionando en el presente. En cualquier caso, se avanza en dos vertientes. Por un lado, partiendo de las aportaciones de esta tesis, se busca la **transferencia tecnológica** al mundo de la empresa, para lo que se busca reforzar las características de **inmediatez y automatización**. Por otro lado, se busca continuar en un ámbito de mayor **investigación** orientada al análisis de la **interacción hombre-máquina**.

Respecto a la transferencia tecnológica, se trabaja en una readaptación de las recomendaciones automáticas para que se puedan generar en periodos de tiempo más cortos. En estos momentos se trabaja en una nueva versión que ofrezca soluciones a las ineficiencias de forma quincenal. La inmediatez que ofrece en la sociedad actual el mundo de las aplicaciones móviles, hace que el objetivo a largo plazo sea que cada conductor pueda obtener sus propias recomendaciones nada más terminar su turno de trabajo. Esto no sería posible con las recomendaciones basadas principalmente en los modelos de madurez, sino que habría que trabajar en una versión más simplificada basada, por ejemplo, en los patrones básicos y la clasificación temprana. Se trabaja también en el diseño de nuevos patrones de seguridad y confort, así como en la obtención de datos complementarios que actualmente no están presentes como la componente “z” en las trazas del GPS, que permitiría precisar mucho más en el análisis de los patrones de inercia, principalmente, al poder conocer la inclinación de la vía por la que circulan los vehículos.

Otra vía de investigación en flotas profesionales sería centrar la aplicación de la metodología en flotas de transporte no regular. Esto permitiría analizar en mayor profundidad su funcionamiento en flotas sin trayectos preestablecidos.

En el ámbito de la investigación más específica, se están abriendo otras líneas de investigación que buscan ahondar más en el diseño de sistemas informáticos cognitivos, que basándose en tecnología de internet de las cosas y la inteligencia artificial, sean capaces de hacer modificaciones más profundas en el comportamiento, generando aprendizajes a largo plazo, y que además reduzcan el estrés y la tensión de los conductores. Esta interacción se determinará por la toma de datos telemétricos de forma similar a lo expuesto en esta tesis, combinada con la toma de datos biométricos obtenidos por medio de pulseras de actividad y/o bandas de medición de frecuencia cardíaca, así como la medición de variables contextuales como la cantidad de luz, humedad, presión atmosférica, temperatura, ruido, etc., que se obtienen mediante la colocación de sensores en el habitáculo de vehículo. En este sentido se trabaja en varios frentes:

- Diseño del dispositivo que contiene los sensores y transmite sus detecciones, en combinación con los datos telemétricos obtenidos a través del puerto OBD-II del vehículo. En este sentido, ya existen varios prototipos y se ha iniciado la toma de datos para buscar las primeras conclusiones. La figura 10.1 muestra un esquema del estado actual.



Figura 10.1 Esquema del estado actual del nuevo dispositivo embarcado

- Desarrollo de patrones de seguridad. Se busca determinar en qué condiciones se producen las situaciones de riesgo mediante la combinación de telemetría, los patrones descritos en este documento y las variables biométricas como la frecuencia cardíaca y la regularidad de los latidos principalmente.
- Desarrollo de un módulo de interacción con el conductor por medio de un dispositivo HUD y audio que le hagan indicaciones sobre su estado físico y correcciones sobre su estilo de conducción.
- Diseño e interacción de los sistemas de interacción con el vehículo, conectando a través del BUS-CAN con las centralitas del vehículo. Habrá interacciones no críticas que actúen sobre elementos auxiliares como la activación de las luces de emergencia ante una reducción brusca de la velocidad, o la activación de la radio para una comunicación puntual. También se analiza la posibilidad de realizar interacciones críticas, que tomen el control parcial o total del vehículo. En este sentido, se trabaja en la interacción con elementos específicos como pueden ser marcapasos o DAI (Desfibrilador Automático Implantable), para aquellos enfermos cardíacos que usen uno de estos aparatos, que enviarían una señal y el sistema buscaría un lugar seguro para detener el vehículo de forma paulatina, señalizando la maniobra de forma adecuada.
- Todo este sistema debe probarse, por lo que se utilizarán conductores voluntarios para poner en marcha el estudio piloto. Se realizará un seguimiento y se resolverán las incidencias. Se realizarán pruebas de toma de control del vehículo en parque cerrado. Finalmente se analizarán los

resultados para verificar el cumplimiento de los objetivos y buscar nuevas opciones de desarrollo en base a los logros obtenidos.

11 Publicaciones relacionadas con la Tesis

11.1 Publicaciones sobre las aportaciones directas de la Tesis

Fruto del trabajo de investigación realizado se desarrollan una serie de publicaciones científicas, tanto en revistas recogidas en índices internacionales de publicaciones científicas, como el Journal Citation Report (JCR) o Scimago (SJR), así como en diversos congresos nacionales e internacionales.

En el congreso **CITS 2015** (*International Conference on Computer, Information, and Telecommunication Systems*) celebrado en Gijón, se presentó una primera aproximación al aprendizaje adaptativo llevado al ámbito de la conducción eficiente, en concreto en el transporte público urbano. Se pusieron las bases del análisis del contexto y una primera versión de los patrones básicos.

Pozueco, L., **Alejandro G. Tuero**, X.G. Paneda, D. Melendi, R. Garcia, A.G. Paneda, A. Rionda, G. Diaz, y M. Mitre. 2015. «Adaptive learning for efficient driving in urban public transport». En 2015 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS), 1-5. doi:10.1109/CITS.2015.7297724.

Abstract: Concerns about global warming and energy costs have induced transport companies to take measures to reduce fuel consumption. Among the different available options, efficient driving is widely used, allowing a reduction in fuel consumption of around 10%. However, changing the driver's behaviour is not exempt of problems. The success of efficient driving techniques in the long term is related to the motivation of the driver and, for that reason, an adaptive training system according to the driver's needs can prove much more successful than giving general instructions that do not solve their inefficiencies. Therefore, a properly description of the driver's behaviour and the adaptation of the evaluation analysis to the context is a key factor for the learning process in efficient driving. In this paper we propose an adaptive learning system for efficient driving, which allows the evaluation of professional drivers of urban public transport in their work environment. With the proposed system, we can identify failure points relating to the context, making a focused evaluation. The first evaluation results show that the set of patterns designed to evaluate the application of efficient driving techniques can identify the incorrect actions of the drivers. Based on the results, it is possible to make personalized recommendations to improve driver performance.

Poco después, en el **SIIE 2015** (*Simpósio Internacional de Informática Educativa*) que tendría lugar en Setúbal (Portugal), se mostró una primera pincelada de la evaluación del comportamiento de los conductores en materia de conducción eficiente, mediante los patrones básicos de conducción eficiente.

Tuero, Alejandro G., Laura Pozueco, Alejandro G. Pañeda, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Gabriel Díaz, Abel Rionda, y María Mitre. 2015. «Evaluación de trabajadores mediante patrones de comportamiento en el campo de la conducción eficiente». En *Atas do XVII Simpósio Internacional de Informática Educativa, SIIE'15*, 61-68. Setúbal, Portugal: Instituto Politécnico de Setúbal.

Abstract: La correcta evaluación de trabajadores en su puesto de trabajo es un problema complejo pero fundamental si se pretenden instaurar planes de recompensa. La evaluación ha de ser justa y basada en indicadores claros que no generen resultados ambiguos o poco ajustados a la realidad Del rendimiento individual. En el campo de la conducción eficiente, la evaluación del conductor en entornos profesionales se ha venido realizando tradicionalmente a través del análisis del consumo de combustible. Sin embargo, existen muchos factores que influyen en el gasto de fuel, pero no dependen del conductor. En este artículo se propone una fórmula alternativa de evaluación del rendimiento profesional, mediante la detección de patrones complejos de comportamiento del conductor. Tales patrones se obtienen mediante técnicas de análisis de datos masivos aplicadas a la información obtenida en tiempo real del comportamiento del conductor durante su trabajo. Los resultados de su utilización en un sistema con conductores y vehículos reales permiten evaluar mucho mejor su rendimiento, eliminando la mayor parte de las dependencias externas, e impulsando la creación de planes de recompensa más justos y efectivos.

Ese mismo año, un artículo sobre la arquitectura del sistema de captura de datos presentado en el congreso **CITA 2015** (*Congreso Iberoamericano de Telemática*) en Popayán (Colombia) resultaría seleccionado para su publicación en la revista **IEEE-RITA** (*Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*).

Pañeda, A. G., L. Pozueco, D. Melendi, X. G. Pañeda, R. García, **Alejandro G. Tuero**, A. Rionda, G. Díaz Orueta, and J. L. Arciniegas. 2016. 'An Architecture for a Learning Analytics System Applied to Efficient Driving'. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje* 11 (3): 137–45. doi:10.1109/RITA.2016.2589480 [**SJR 2017 Q3 – 0,195**]

Abstract: Transport companies are probably one of the greatest sources of pollution nowadays. Perhaps because these companies would like to improve this situation, or perhaps because they simply would like to reduce the petrol they consume, they are more than ever deploying plans in order to increase the efficiency of their fleets. One of the easiest and cheapest ways to achieve this is to teach their drivers how to be more efficient. Nevertheless, traditional learning approaches were only successful in the short term according to previous work. In order to achieve long term results, new learning paradigms must be taken into account. Furthermore, if we combine these paradigms with a learning analytics system, we optimal results may be reached for both the company and the drivers. In this paper we present a learning analytics system applied to the efficient driving context. This learning analytics system is used as

a fundamental piece in the deployment of the blended learning methodology for efficient professional driving designed by our research group. We describe the design and the integration of this system with a real product currently being used in many transport fleets. With a technical approach, we also describe the main problems found during the deployment of this system and the solutions designed to cope with these problems.

A finales de 2016, la revista **Transportation Research Part A: Policy and practice**, publicaría un artículo sobre la caracterización formal del proceso de evaluación en conducción eficiente para conductores profesionales. En él se muestra una versión más técnica y fundamentada de los patrones básicos de comportamiento. [**JCR 2016 Q2 – JIF 2,609**] [**SJR 2016 Q1 – 1,737**].

Pañeda, Xabiel G., Roberto Garcia, Gabriel Diaz, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, Maria Mitre, David Melendi, y Alejandro G. Pañeda. 2016. «Formal Characterization of an Efficient Driving Evaluation Process for Companies of the Transport Sector». *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 94 (December): 431-45. <https://doi.org/10.1016/j.tr.2016.10.004>.

Abstract: Public institutions and private companies all around the world agree that road transport is one of the main sectors responsible for global warming. With this in mind, all of them have designed actions to increase efficiency and reduce fuel consumption and emissions. A favourite for the companies is eco-driving because it can improve the fleet performance without a great investment. However, although these programs have achieved promising results in the majority of the experiences, the figures are not so encouraging in the long term. In many cases this decrease is produced by fuzzy reward programs or the total lack of them. Nevertheless, any coherent reward program, in order to be effective, must be associated with a complete and fair evaluation process which takes into account all the different aspects and complexities related with driving. In this paper, we propose a formal characterization of an efficient driving evaluation process which starts with a review of many different driving recommendation systems. These recommendations are used as seeds to build a set of formal competences that any eco driver must have, as well as the learning outcomes associated with each competence. A set of patterns of driving behaviours are defined, that allow confirming any of the learning outcomes. The definition also comprises a set of Key Performance Indicators (KPIs) for each learning outcome. These KPIs allow measuring the progress associated with each competence. Finally, we also propose some relevant differences that must be taken into account for the goals associated with each KPI, depending on the domain of application: type and road geometry, vehicle type (automatic or manual, passengers, cargo or not, public or private), amount of traffic, weather. Some examples of this driver characterization have been included to demonstrate the process.

En Julio de 2017 se publica en la revista **MDPI Energies** un estudio sobre el impacto económico potencial que tendría en una empresa municipal de autobuses urbanos la aplicación ideal de las técnicas que permiten aprovechar la inercia del vehículo [**JCR 2017 Q2 – JIF 2,676**] [**SJR 2017 Q1 – 0,67**].

Tuero, Alejandro G., Laura Pozueco, Roberto García, Gabriel Díaz, Xabiel G. Pañeda, David Melendi, Abel Rionda, y David Martínez. 2017. «Economic Impact of the Use of Inertia in an Urban Bus Company». *Energies* 10 (7): 1029. <https://doi.org/10.3390/en10071029>.

Abstract: Public transport companies face great expenses. In order to be profitable companies, they need to reduce costs in all aspects. In addition, many countries have increased taxes to force transport companies to reduce their fuel consumption and, thus, greenhouse effect emissions. Efficient driving is the cheapest way to achieve this goal. In this paper, we analyse the economic impact of one of the most influential efficient driving techniques in an urban bus company. We calculate the difference of consumption between a well-performed deceleration using the inertia of the vehicle and a loss of speed obtained by using the brakes. For this purpose, we compare a real track performed by any driver in a precise vehicle with a simulated ideal track. To obtain the deceleration of the simulation, we develop a linear regression model on over 170,000 samples captured from the same vehicle over a period of one month. The results show that the costs of the vehicle under test in one month may be reduced by more than 2500 € by using this technique. With these results, we can see that it is worth trying to anticipate different situations while driving only by applying inertia adequately.

El desarrollo de los modelos de madurez se publica en septiembre de 2017 en la revista **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**. En este artículo, además de los propios modelos de madurez, se presentan los patrones complejos basados en la inercia y una versión inicial del patrón de arranque [**JCR 2017 Q1 – JIF 3,968**] [**SJR 2017 Q1 – 2,293**].

Pozueco, Laura, Xabiel G. Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, Gabriel Díaz, Roberto García, David Melendi, Alejandro G. Pañeda, y José A. Sánchez. 2017. «A Methodology to Evaluate Driving Efficiency for Professional Drivers Based on a Maturity Model». *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 85 (December): 148-67. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.017>.

Abstract: Over the last decade, transport companies have tried to reduce fuel consumption using efficient driving programs. In them, motorists have to apply different specific techniques while driving. Thus, to succeed in this learning process there are two key elements: the knowledge of efficient driving techniques and the drivers' motivation. The latter is a human factor which companies usually bring about by using reward systems. In this case, having a fair evaluation mechanism is the keystone to determine goal fulfilment. This paper presents a complete methodology to evaluate driving efficiency of drivers in professional fleets. The evaluation methodology is based on a continuous process which determines the maturity of the motorist in different aspects, such as the efficiency during the start of the vehicle movement, during motion or in stop events. In addition, the evaluation methodology includes an early-classification method to establish the initial efficiency level of the individual drivers which permits an adaptation of the learning process from the beginning. A dashboard has also been developed to support the evaluation methodology. 880 professional drivers have been evaluated with this methodology. Results

show that the evaluation methodology identifies drivers' weaknesses, to be improved in successive iterations of the learning process.

Por último, en Mayo de 2018 resulta aprobado para su publicación en **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, un artículo sobre el funcionamiento del sistema analítico que hace posible la realización de una evaluación justa del rendimiento de los conductores [**JCR 2017 Q1 – JIF 4,051**] [**SJR 2017 Q1 – 1,175**].

Pozueco, L., **Alejandro G. Tuero**, A. G. Pañeda, X. G. Pañeda, D. Melendi, R. García, G. Díaz Orueta, and A. Rionda. 2018. 'Analytic System to Evaluate Efficient Driving Programs in Professional Fleets'. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2840344>.

Abstract: Interest in energy cost saving and in global warming have persuaded transport companies to apply measures to reduce fuel consumption. Efficient driving is one of the most employed solutions as it allows savings in fuel consumption of around 10% with a minimal investment. The drawback is that efficient driving is a learning process, and it greatly depends on the drivers' behaviour, which in turn is closely related to their motivation. If drivers are not really involved or after some time their interest decreases, efficiency improvements would disappear. Thus, an efficient driving program should make drivers' motivation one of the main targets. One option could be the implementation of reward programs. However, these should be based on a clear individual evaluation process, as an unfair system could lead to discomfort, complaints, and repudiation. In this paper, we propose an analytic system, based on the detection of efficient and inefficient behavioural patterns, to evaluate the individual driver's progression in efficient driving with the aim of being the basis of a reward program. The system receives relevant, driving related, vehicle information every 1.5 s, allowing a precise searching of patterns. It has been tested successfully in 16 bus companies, analysing the performance of 880 professional drivers. To accurately illustrate the analytic process, three detailed driver analyses have been included as a case study. Results of this applied research on the eco-driving field show that the proposed system identifies efficient and inefficient actions that are used to fairly evaluate the drivers' performance.

11.2 Publicaciones de estudios complementarios a la Tesis

Además de las publicaciones sobre aportaciones directas de la Tesis, se realizaron una serie de estudios complementarios que, si bien no tienen una contribución directa, si están hechos en el ámbito de la conducción eficiente y de la metodología blended learning. La primera de estas publicaciones es un estudio sobre el impacto de los dispositivos HUD en varios ámbitos dentro del vehículo, incluyendo la conducción eficiente, que se presentaría en el congreso **Interacción 2016** celebrado en Salamanca.

José A. Sánchez, Laura Pozueco, Xabiel G. Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, David Melendi and Roberto García. 'Incorporación de Dispositivos Head-Up Display En Entornos Vehiculares Reales Para La Mejora de La Eficiencia En La Conducción'. En **INTERACCIÓN 2016**, Salamanca, España. pp. 121 - 128. ISBN 978-84-9012-629-5

Abstract: Uno de los factores más importantes cuando hablamos de entornos vehiculares es la seguridad. En los últimos años el número de prestaciones que proporcionan información sobre la conducción en los vehículos ha aumentado, dando lugar a posibles distracciones que pueden mermar la seguridad al volante. El objetivo que se persigue es que esa información adicional no perjudique la atención que el conductor presta a la vía. Los dispositivos Head-Up Display (HUD) se postulan como interfaces de presentación adecuados al incorporar una pantalla transparente en el campo de visión del conductor, que permite la visualización de la información sin desviar la mirada de la carretera. En este artículo se ha llevado a cabo la evaluación de la incorporación de un dispositivo HUD en un entorno real de conducción. Los hitos que se analizan son la visualización de información referente a la conducción eficiente, la navegación GPS y una comparativa con dispositivos, equiparables desde un punto de vista funcional, provistos de pantallas opacas. Un total de 20 conductores particulares participaron en el estudio mediante un proceso de conducción guiada en vehículos equipados con un dispositivo HUD. Las opiniones de los usuarios se evaluaron a través de una encuesta que analiza tanto la usabilidad del sistema como la aceptación del mismo. Los resultados obtenidos vislumbran una alta aprobación del uso de este tipo de dispositivos de presentación de información a nivel de conducción, así como una mayor percepción de seguridad en carretera.

Se realizó otro estudio relacionado con el impacto de dispositivos de tutorización a bordo, en este caso aplicado a conductores no profesionales. El artículo sobre dicho estudio se publicó en la revista **IET-ITS** (*The Institution of Engineering and Technology – Intelligent Transport Systems*) en enero de 2017 [**JCR 2017 Q3 – JIF 1,387**] [**SJR 2017 Q2 – 0,436**]

Pozueco, Laura, Abel Rionda, Alejandro G. Pañeda, José A. Sánchez, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, y **Alejandro G. Tuero**. 2017. «Impact of on-board tutoring systems to improve driving efficiency of non-professional drivers». *IET Intelligent Transport Systems*, enero. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2016.0079>.

Abstract: Efficient driving has been positioned as the most popular alternative to reduce air pollution and obtain fuel savings. However, efficient driving requires a continuous learning process in order to prevent users reverting to their original habits. To facilitate the learning process, on-board tutoring systems have appeared. In this study, the authors analyse in detail the impact of two types of such eco-feedback devices on driver's behaviour. The evaluated tutoring systems include information related to the optimal engaged gear, but also related to other safety and comfort parameters. Their analysis is based on one of the largest and heterogeneous population groups of non-professional drivers who have participated in experiments with feedback devices specifically designed to achieve more efficient driving. A total number of 158 volunteers participated in the experiments covering periods of time between 3 and 11 months and using the feedback devices during their daily routine. Results show that, in general, users evolve positively following the eco-driving recommendations throughout the duration of the experiments. In addition, there are significant differences in the use of the tutoring system depending on the type of route, the time of day and other factors such as age or gender.

En el congreso del **JITEL 2017** (Jornadas de la Ingeniería Telemática) celebrado en septiembre en Valencia, se presenta un trabajo cuyo logro es el cálculo, mediante un modelo de regresión, de la forma más eficiente posible de realizar un trayecto en un tiempo estipulado. Para ello se consideran una serie de limitaciones de velocidad y aceleración que hacen que dicha ruta sea viable desde el punto de vista práctico.

García, Roberto, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, Xabiel G. Pañeda, Víctor Corcoba, José A. Sanchez, David Melendi, y Abel Rionda. 2017. «Optimización de rutas para mejora de la eficiencia en la conducción». En *XIII Jornadas de Ingeniería telemática (JITEL 2017)*. Libro de actas, 124-31. Valencia: Universitat Politècnica València. <https://doi.org/10.4995/JITEL2017.2017.6554>.

Abstract: The transport sector is one of the main causes of the emission of pollutants to the environment. Among the different alternatives for reducing consumption and emission of harmful particles the most attractive for professional transport companies is the use of efficient driving techniques as it allows to take advantage of the existing fleet without the need to invest in new vehicles and technology . In this work we determine the optimal driving technique to minimize fuel consumption in a route. The results can be applied in training courses in efficient driving. For the calculations we use real data of a professional bus fleet. Then, we develop a consumption model and, using route optimization, we determine the driving technique that minimizes the consumption in the analysed route. The results indicate that efficient driving has a very significant influence on fuel consumption. With optimum driving, reductions in consumption of up to 15 liters/100km (28% of reduction) could be achieved in the analysed route. For the whole company, this is a significant reduction of consumption, considering the large distances covered by the professionals of the transport sector.

Utilizando un modelo de regresión similar al anterior, pero con la inclusión de gran variedad de datos de contexto, en diciembre de 2017 se publica en **MDPI Energies** un artículo en el que se analiza el impacto de la conducción eficiente en flotas profesionales de autobuses [**JCR 2017 Q2 – JIF 2,676**] [**SJR 2017 Q1 – 0,67**].

García, Roberto, Gabriel Díaz, Xabiel G. Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, David Melendi, Jose A. Sanchez, Víctor Corcoba, y Alejandro G. Pañeda. 2017. «Impact of Efficient Driving in Professional Bus Fleets». *Energies* 10 (12): 2060. <https://doi.org/10.3390/en10122060>.

Abstract: Diesel engines of the vehicles in the transport sector are responsible for most of the CO₂ emissions into the environment. An alternative to reduce fuel consumption is to promote efficient driving techniques. The aim of this paper is to assess the impact of efficient driving on fuel consumption in professional fleets. Data captured from the engine control unit (ECU) of the vehicles are complemented with external information from weather stations and context data from the transport companies. The paper proposes linear and quadratic models in order to quantify the impact of all the terms influencing energy consumption. The analysis was made from the traces captured from a passenger transport company in Spain with more than 50 bus routes. 20 vehicles of five different models were monitored and 58 drivers participated in the study.

The results indicate that efficient driving has significant influence on fuel consumption, which confirms efficient driving as a valid and economical option for reducing consumption and therefore emissions of harmful particles into the atmosphere. According to the proposed model, in average external conditions, a driver that increases efficiency from 25% to 75% can reach savings in fuel consumption of up to 16 L/100 km in the analysed bus fleet, which is a significant improvement considering the long distances covered by professionals of the transport sector.

Finalmente, la publicación más reciente hace uso de un algoritmo DEA para evaluar el comportamiento de los conductores. Además, su utilización permite identificar la anticipación, mediante el uso de inercia, como el comportamiento que más potencia el ahorro de combustible. Al término de la redacción de este trabajo de tesis, el mencionado artículo se encuentra aceptado para su publicación en la revista **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**. [JCR 2017 Q1 (EEE), Q2 (Transportation), – JIF 3,019] [SJR 2017 Q1 – 0,816].

Abstract: Evaluating driving from the point of view of efficiency is a complex task. The environment is continuously changing and there is no direct relationship between all the factors that affect fuel consumption. In this paper, we propose a method to evaluate driving that can fit any scenario. It is based on Data Envelopment Analysis (DEA). This technique allows us to measure the efficiency of the drivers and to ascertain which behaviors they should improve. There are many solutions to evaluate driving in the literature. However, these solutions have difficulties adapting to changes in the driving environment and the result of the evaluation could be inaccurate. A driver could be classified as less efficient when in fact the driving could be affected by factors beyond his or her control. In addition, they do not provide the sources of inefficiency. With our method, we can analyze and quantify the cause of inefficiency. This proposal has been used to evaluate drivers of a bus fleet in Spain. The results show that drivers who were rated as efficient achieve lower fuel consumption. They can save up to 9.21% in comparison with the least efficient drivers. It is also observed that anticipation is a skill that saves a large amount of fuel and that it is an aspect that most bus drivers have a lot of room for improvement.

Víctor Corcoba Magaña, Xabiel García Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, Roberto García, David Melendi, Abel Rionda. 2018. 'A method for making a fair evaluation of driving styles in different scenarios with recommendations for their improvement'. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*.

Bibliografía

- Abreu e Silva, João de, Filipe Moura, Bernardo Garcia, y Rodrigo Vargas. 2015. «Influential Vectors in Fuel Consumption by an Urban Bus Operator: Bus Route, Driver Behavior or Vehicle Type?» *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 38 (julio): 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.003>.
- Aggarwal, Ashima, y Gour Sundar Mitra Thakur. 2013. «Techniques of performance appraisal-a review». *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN, 2249–8958*.
- Alam, Md. Saniul, y Aonghus McNabola. 2014. «A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations». *Transport Policy* 35 (septiembre): 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.016>.
- Ando, Ryosuke, y Yasuhide Nishihori. 2011. «How does driving behavior change when following an eco-driving car? » *Procedia - Social and Behavioral Sciences, The State of the Art in the European Quantitative Oriented Transportation and Logistics Research – 14th Euro Working Group on Transportation & 26th Mini Euro Conference & 1st European Scientific Conference on Air Transport*, 20 (enero): 577-87. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.08.064>.
- Ando, Ryosuke, Yasuhide Nishihori, y Noriyasu Kachi. 2011. «Can Eco-Driving Techniques Make Driving More Economically and Ecologically? » En. <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1253096>.
- Andrieu, Cindie, y Guillaume Saint Pierre. 2012. «Comparing Effects of Eco-driving Training and Simple Advices on Driving Behavior». *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Proceedings of EWGT2012 - 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, September 2012, Paris*, 54 (October): 211-20. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.740>.
- Armoush, Hilmi. 2013. *The 12 driving rules to increase fuel efficiency and reduce emissions*. Fuel Economy Solutions.
- Barkenbus, Jack N. 2010. «Eco-driving: An overlooked climate change initiative». *Energy Policy* 38 (2): 762-69. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.021>.
- Barth, Matthew, y Kanok Boriboonsomsin. 2009. «Energy and Emissions Impacts of a Freeway-Based Dynamic Eco-Driving System». *Transportation Research PartD: Transport and Environment*, Agosto de 2009. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.01.004>.
- Berg, J.V.D. 2007. «Ecodriving as a Policy». En. The Netherlands. http://www.fiaregion1.com/download/projects/ecodriven/english_brochure_august_2007.pdf.
- Beusen, Bart, Steven Broekx, Tobias Denys, Carolien Beckx, Bart Degraeuwe, Maarten Gijssbers, Kristof Scheepers, Leen Govaerts, Rudi Torfs, y Luc Int Panis. 2009. «Using on-board logging devices to study the longer-term impact of an eco-driving course». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14 (7): 514-20. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.05.009>.

- Boriboonsomsin, Kanok, Alexander Vu, y Matthew Barth. 2010. «Eco-Driving: Pilot Evaluation of Driving Behavior Changes among U.S. Drivers». *UCTC Research Paper*, agosto. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=1090479>.
- Bradler, C., Dur, R., Neckermann, S., Non, J.A., General Economics 2 (Macro), y RS: GSBE DUHR. 2013. «Employee Recognition and Performance: A Field Experiment». Research Centre for Education and the Labour Market. <https://cris.maastrichtuniversity.nl/portal/en/publications/employee-recognition-and-performance-a-field-experiment> (ab582113-5f02-4c17-b14d-85545e4853be).html.
- Corcoba, V., y M. Muñoz. 2015. «Discovering Regions Where Users Drive Inefficiently on Regular Journeys». *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16 (1): 221-34. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2328517>.
- Cranton, Patricia. 2006. *Understanding and Promoting Transformative Learning: A Guide for Educators of Adults*. 2ª ed. Wiley. <https://www.wiley.com/en-es/Understanding+and+Promoting+Transformative+Learning%3A+A+Guide+for+Educators+of+Adults%2C+2nd+Edition-p-9780787976682>.
- Curtis, Bill, Bill Hefley, y Sally Miller. 2009. «People Capability Maturity Model (P-CMM) Version 2.0, Second Edition».
- DGT. 2014. «Conducción Eficiente». DGT. http://www.dgt.es/PEVI/documentos/catalogo_recursos/didacticos/did_adultas/Conduccion_eficiente.pdf.
- Dirkx, John M. 1998. «Transformative Learning in the Practice of Adult Education: an Overview». *PAACE Journal of Lifelong Learning* 7: 1-14.
- Dogan, Ebru, Linda Steg, y Patricia Delhomme. 2011. «The influence of multiple goals on driving behavior: The case of safety, time saving, and fuel saving». *Accident Analysis & Prevention* 43 (5): 1635-43. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.002>.
- Driel, C. J. G. van, M. Hoedemaeker, y B. van Arem. 2007. «Impacts of a Congestion Assistant on driving behaviour and acceptance using a driving simulator». *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 10 (2): 139-52. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2006.08.003>.
- Duarte, G. O., G. A. Gonçalves, y T. L. Farias. 2013. «Vehicle monitoring for driver training in bus companies – Application in two case studies in Portugal». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 18 (January): 103-9. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.10.001>.
- Ferreira, J. C., J. de Almeida, y A. R. da Silva. 2015. «The Impact of Driving Styles on Fuel Consumption: A Data-Warehouse-and-Data-Mining-Based Discovery Process». *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16 (5): 2653-62. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2414663>.
- Ghaemi, Sehraneh, Sohrab Khanmohammadi, Mohammadali Tinati, Sehraneh Ghaemi, Sohrab Khanmohammadi, y Mohammadali Tinati. 2010. «Behavior Modeling Using Fuzzy Logic». *Mathematical Problems in Engineering*, *Mathematical Problems in Engineering* 2010, 2010 (September): e172878. <https://doi.org/10.1155/2010/172878>, [10.1155/2010/172878](https://doi.org/10.1155/2010/172878).
- Ghergulescu, Ioana, Conor Flynn, y Conor O'Sullivan. 2016. «Learning Effectiveness of Adaptive Learning in Real World Context». 2016:1385-90. <https://www.learntechlib.org/p/173137/>.

- Huertas, J. I., J. Díaz, M. Giraldo, D. Cordero, y L. M. Tabares. 2018. «Eco-driving by replicating best driving practices». *International Journal of Sustainable Transportation* 12 (2): 107-16. <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1334107>.
- IDAE. 2005a. «La conducción eficiente». <http://www.idae.es/publicaciones/la-conduccion-eficiente-un-nuevo-estilo-de-conduccion-que-logra-importantes-ahorros-de-carburante>.
- . 2005b. «Manual de Conducción Eficiente para conductores de vehículos industriales». http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10297_TREATISE_ConduccionEficienteVehIndustriales_A2005_2ad0233c.pdf.
- . 2011. «Guías Conducción eficiente de vehículos industriales. Guías IDAE 001 | IDAE». <http://www.idae.es/publicaciones/guias-conduccion-eficiente-de-vehiculos-industriales-guias-idae-001>.
- Ishibashi, Motonori, Masayuki Okuwa, Shun'ichi Doi, y Motoyuki Akamatsu. 2007. «Indices for characterizing driving style and their relevance to car following behavior». En *SICE, 2007 Annual Conference*, 1132-37. <https://doi.org/10.1109/SICE.2007.4421155>.
- Jochem, Patrick, Werner Rothengatter, y Wolfgang Schade. 2016. «Climate change and transport». *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Special Issue on Climate Change and Transport, 45 (junio): 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.001>.
- Klunder, G.A., Malone, K., Mak, J., Wilink, I.R., Schirokoff, A., Sihvola, N., Holmén, C., et al. 2009. «Impact of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency in Road Transport - Final Report». TNO. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:2a2c6c59-0ddd-4a93-91b2-0ca7d363918c>.
- Kobayashi, I., Y. Tsubota, y H. Kawashima. 2007. «Eco-Driving Simulation: Evaluation of Eco-Driving within a Network Using Traffic Simulation». En 1:741-50. WIT Press. <https://doi.org/10.2495/UT070701>.
- Lai, Wen-Tai. 2015. «The Effects of Eco-Driving Motivation, Knowledge and Reward Intervention on Fuel Efficiency». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 34 (enero): 155-60. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.003>.
- Limatainen, H. 2011. «Utilization of Fuel Consumption Data in an Ecodriving Incentive System for Heavy-Duty Vehicle Drivers». *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 12 (4): 1087-95. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2142182>.
- Loon, Nina Mari van. 2017. «Does Context Matter for the Type of Performance-Related Behavior of Public Service Motivated Employees?» *Review of Public Personnel Administration* 37 (4): 405-29. <https://doi.org/10.1177/0734371X15591036>.
- Ma, Hongjie, Hui Xie, Denggao Huang, y Shuo Xiong. 2015. «Effects of driving style on the fuel consumption of city buses under different road conditions and vehicle masses». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 41 (diciembre): 205-16. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.003>.
- Mendel, J.M. 1995. «Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial». *Proceedings of the IEEE* 83 (3): 345-77. <https://doi.org/10.1109/5.364485>.

- . 2001. *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=450491>.
- Mensing, F., E. Bideaux, R. Trigui, J. Ribet, y B. Jeanneret. 2014. «Eco-driving: An economic or ecologic driving style? » *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 38 (enero): 110-21. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.10.013>.
- Mensing, F., R. Trigui, y E. Bideaux. 2011. «Vehicle trajectory optimization for application in ECO-driving». En *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2011.6042993>.
- Midgley, Carol. 2014. *Goals, Goal Structures, and Patterns of Adaptive Learning*. Routledge.
- Miller, K, L.G. Drumwright, A. Kostreba, A. Lam, M. Mercer, T. Ryan, J.D. Schneeberger, y D. Wesolek. 2011. «Microsoft Word - AERIS Applications SOP Report - FINAL 081211 - REV 9-13-11.Docx - FHWA-JPO-11-139_AERIS_Applications_SOP_Report-FINAL_081211-REV_9-13-11.Pdf». U.S. Department of Transportation. http://ntl.bts.gov/lib/44000/44600/44661/FHWA-JPO-11-139_AERIS_Applications_SOP_Report-FINAL_081211-REV_9-13-11.pdf.
- Moss, D. 2010. *The Efficient Driver's Handbook – Your Guide to Fuel Efficient Driving Techniques and Car Choice*. Veloce Publishing Ltd.
- Naciones Unidas. 1992. «Climate Change Convention». Nueva York: Naciones Unidas. http://unfccc.int/files/essential_background/convention/background/application/pdf/convention_text_with_annexes_spanish_for_posting.pdf.
- . 2016. «Report of the Conference of the Parties on Its Twenty-First Session, Held in Paris from 30 November to 11 December 2015. Addendum. Part Two: Action Taken by the Conference of the Parties at Its Twenty-First Session. - 10a01.Pdf». Paris: United Nations. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>.
- Nicholls, Robert J., Sally Brown, Philip Goodwin, Thomas Wahl, Jason Lowe, Martin Solan, Jasmin A. Godbold, et al. 2018. «Stabilization of Global Temperature at 1.5°C and 2.0°C: Implications for Coastal Areas». *Phil. Trans. R. Soc. A* 376 (2119): 20160448. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0448>.
- OECD/ITF. 2010. «Reducing transport greenhouse gas emissions: trends and data.» International transport forum on transport and innovation: unleashing the potential.
- Parmenter, D. 2010. *Key performance indicators (KPI): developing, implementing, and using winning KPIs. 2010*. John Wiley & Sons.
- Pozueco, L., A.G. Tuero, X.G. Paneda, D. Melendi, R. Garcia, A.G. Paneda, A. Rionda, G. Diaz, y M. Mitre. 2015. «Adaptive learning for efficient driving in urban public transport». En *2015 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/CITS.2015.7297724>.
- Pozueco, Laura, Xabiel G. Pañeda, Alejandro G. Tuero, Gabriel Díaz, Roberto García, David Melendi, Alejandro G. Pañeda, y José A. Sánchez. 2017. «A Methodology to Evaluate Driving Efficiency for Professional Drivers Based on a Maturity Model». *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 85 (diciembre): 148-67. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.017>.

- Qian, Gongbin, y Edward Chung. 2011. «Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation». En *Australasian Transport Research Forum 2011*, editado por Peter Tisato, Lindsay Oxlad, y Michael Taylor, 1-11. Adelaide Hilton Hotel, Adelaide, South Australia, Australia: PATREC. <http://www.atrf11.unisa.edu.au/>.
- Qian, Gongbin, Edward Chung, y R Horiguchi. 2013. «Assessing eco-driving performance of a traffic platoon at urban intersections: an experimental study. » En *Optimum 2013 - International Symposium on Recent Advances in Transport Modelling*.
- Rionda, Abel, David Martínez, Xabiel Pañeda, David Arbesú, Emilio Jimenez, y F. Linera. 2012. «Cated Box, una tecnología para hacer estudios de movilidad 2.0». *Iberian Journal of Information Systems and Technologies* 0 (10): 97-110. <https://doi.org/10.4304/risti.10.97-110>.
- Rionda, Abel, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, Gabriel Díaz, David Martínez, María Mitre, David Arbesú, y Ignacio Marín. 2014. «Blended learning system for efficient professional driving». *Computers & Education* 78: 124–139.
- Rionda Rodríguez, Abel. 2016. «Metodología y sistema de apoyo para el aprendizaje activo de la conducción eficiente en vehículos de combustión». <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:IngInd-Arionda>.
- Rolim, Catarina C., Patricia C. Baptista, Gonçalo O. Duarte, y Tiago L. Farias. 2014. «Impacts of On-board Devices and Training on Light Duty Vehicle Driving Behavior». *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Transportation: Can we do more with less resources? – 16th Meeting of the Euro Working Group on Transportation – Porto 2013, 111 (febrero): 711-20. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.105>.
- Rutty, Michelle, Lindsay Matthews, Jean Andrey, y Tania Del Matto. 2013. «Eco-driver training within the City of Calgary's municipal fleet: Monitoring the impact». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 24 (octubre): 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.05.006>.
- Saboochi, Y., y H. Farzaneh. 2009. «Model for developing an eco-driving strategy of a passenger vehicle based on the least fuel consumption». *Applied Energy* 86 (10): 1925-32. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.017>.
- SAEJ1939. 2014. «Serial Control and Communications Heavy Duty Vehicle Network - Top Level Document J1939_201308». *SAE International*. https://doi.org/10.4271/j1939_201308.
- Schall, Dominik L., y Alwine Mohnen. 2017. «Incentivizing energy-efficient behavior at work: An empirical investigation using a natural field experiment on eco-driving». *Applied Energy, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future*, 185, Part 2 (enero): 1757-68. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.163>.
- Silva, Carla, Marc Ross, y Tiago Farias. 2009. «Analysis and simulation of “low-cost” strategies to reduce fuel consumption and emissions in conventional gasoline light-duty vehicles». *Energy Conversion and Management* 50 (2): 215-22. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.046>.
- Sivak, Michael, y Brandon Schoettle. 2012. «Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy».

- Transport Policy* 22 (julio): 96-99.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.010>.
- Stanley, John, Richard Ellison, Chris Loader, y David Hensher. 2018. «Reducing Australian motor vehicle greenhouse gas emissions». *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 109 (marzo): 76-88.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.002>.
- Staubach, Maria, Norbert Schebitz, Frank Köster, y Detlef Kuck. 2014. «Evaluation of an eco-driving support system». *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 27, Part A (noviembre): 11-21.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.006>.
- Strömberg, Helena K., y I. C. MariAnne Karlsson. 2013. «Comparative effects of eco-driving initiatives aimed at urban bus drivers – Results from a field trial». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 22 (julio): 28-33.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.02.011>.
- Taubman - Ben-Ari, Orit, y Dalia Yehiel. 2012. «Driving styles and their associations with personality and motivation». *Accident Analysis & Prevention* 45 (marzo): 416-22. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.08.007>.
- Taubman-Ben-Ari, Orit, Mario Mikulincer, y Omri Gillath. 2004. «The multidimensional driving style inventory—scale construct and validation». *Accident Analysis & Prevention* 36 (3): 323-32.
[https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00010-1).
- Tuero, Alejandro G., Laura Pozueco, Roberto García, Gabriel Díaz, Xabiel G. Pañeda, David Melendi, Abel Rionda, y David Martínez. 2017. «Economic Impact of the Use of Inertia in an Urban Bus Company». *Energies* 10 (7): 1029.
<https://doi.org/10.3390/en10071029>.
- Tuero, Alejandro G., Laura Pozueco, Alejandro G. Pañeda, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Gabriel Díaz, Abel Rionda, y María Mitre. 2015. «Evaluación de trabajadores mediante patrones de comportamiento en el campo de la conducción eficiente». En *Atas do XVII Simpósio Internacional de Informática Educativa, SIIE'15*, 61-68. Setúbal, Portugal: Instituto Politécnico de Setúbal.
- Van den Hoed, R., M. Harmelink, y S. Joosen. 2006. «Evaluation of the Dutch Ecodrive Programme». *AID-EE Project*, 37.
- Van Mierlo, J, G Maggetto, E Van de Burgwal, y R Gense. 2004. «Driving Style and Traffic Measures-Influence on Vehicle Emissions and Fuel Consumption». *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 218 (1): 43-50.
<https://doi.org/10.1243/095440704322829155>.
- Villeta, Miguel, Tamara Lahera, Silvia Merino, José G. Zato, José E. Naranjo, y Felipe Jiménez. 2012. «Modelo para la Conducción Eficiente y Sostenible basado en Lógica Borrosa». *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* 9 (3): 259-66. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2012.05.009>.
- Walnum, Hans Jakob, y Morten Simonsen. 2015. «Does Driving Behavior Matter? An Analysis of Fuel Consumption Data from Heavy-Duty Trucks». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 36 (mayo): 107-20.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.016>.

- Wigley, T. M. L. 2018. «The Paris Warming Targets: Emissions Requirements and Sea Level Consequences». *Climatic Change* 147 (1-2): 31-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2119-5>.
- Wilbers, Peter, y Henk Wardenaar. 2007. «The Dutch National Ecodriving Programme Het Nieuwe Rijden: A Success Story». http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2007/Panel_8/8.111/paper.
- Wu, Yiping, Xiaohua Zhao, Jian Rong, y Yunlong Zhang. 2018. «The effectiveness of eco-driving training for male professional and non-professional drivers». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 59 (marzo): 121-33. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.002>.
- Zarkadoula, Maria, Grigoris Zoidis, y Efthymia Tritopoulou. 2007. «Training urban bus drivers to promote smart driving: A note on a Greek eco-driving pilot program». *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 12 (6): 449-51. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.05.002>.

Anexos

A. Glosario de términos

AF	Patrón Aceleración – Freno. Grupo de conductores que necesitan mejorar en la aplicación del patrón <i>AF</i>
AFA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> y <i>A1</i>
AFA1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>A1</i> y <i>A2</i> . Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
AFA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> y <i>A2</i>
AFFA	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> y <i>FA</i>
AFFAA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>FA</i> y <i>A1</i> . Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
AFFAA1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>FA</i> , <i>A1</i> y <i>A2</i>
AFFAA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>FA</i> y <i>A2</i> . Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
AFFAIn	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>FA</i> e <i>In</i> . Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
AFFAInA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>FA</i> , <i>In</i> y <i>A1</i>
AFFAInA1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de todos los patrones
AFFAInA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>FA</i> , <i>In</i> y <i>A2</i>
AFIn	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> e <i>In</i>
AFInA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>In</i> y <i>A1</i> . Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
AFInA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>AF</i> , <i>In</i> y <i>A2</i> . Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
A1	Primera fase del patrón de Arranque. Grupo de conductores que necesitan mejorar en la aplicación del patrón <i>A1</i>
A1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones <i>A1</i> y <i>A2</i>

A2	Segunda fase del patrón de Arranque. Grupo de conductores que necesitan mejorar en la aplicación del patrón A2
EMT	Empresa Municipal de Transportes
FA	Patrón Freno – Aceleración. Grupo de conductores que necesitan mejorar en la aplicación del patrón FA
FAA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA y A1
FAA1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA, A1 y A2. Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
FAA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA y A2
FAIn	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA e In
FAInA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA, In y A1. Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
FAInA1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA, In, A1 y A2
FAInA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones FA, In y A2. Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
FMS	Fleet Management System
GPS	Global Positioning System
In	Patrón Inercia. Grupo de conductores que necesitan mejorar en la aplicación del patrón In
InA1	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones In y A1
InA1A2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones In, A1 y A2. Grupo formativo cuyos contenidos son las técnicas de los citados patrones
InA2	Grupo de conductores que necesita mejorar en las técnicas de los patrones In y A2
KPI	Key Performance Indicator
PCMM	Personal Capacity Maturity Model
PIAsc	Patrón de Inercia Ascendente
PICC	Patrón de Inercia con Correcciones Corto
PICL	Patrón de Inercia con Correcciones Largo
PICsD	Patrón de Inercia con Correcciones sin Detención
PIPD	Patrón de Inercia Perfecta para Detención
PIPR	Patrón de Inercia Perfecta en Ruta
RSU	Residuos Sólidos Urbanos

B. Tablas de datos de patrones

Tabla B.1 Listado de datos capturados para el patrón Aceleración - Freno

Parámetro	Descripción
id_AF	Identificador del patrón AF
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones de deceleración
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones de deceleración
duration	Duración total del proceso de deceleración en segundos
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio de la deceleración
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de la alarma de freno
start_lat	Coordenada de latitud al inicio de la deceleración
start_long	Coordenada de longitud al inicio de la deceleración
start_alt	Coordenada de altitud al inicio de la deceleración
end_lat	Coordenada de latitud al momento de la alarma de freno
end_long	Coordenada de longitud al momento de la alarma de freno
end_alt	Coordenada de altitud al momento de la alarma de freno
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.2 Tabla de KPI para el patrón AF

Parámetro	Descripción
id_KPI_AF	Identificador del KPI para la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
Km_route	Distancia recorrida total de la ruta en Km
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
kpi	Valor del KPI de AF para la ruta
number_events	Número de eventos de AF durante la ruta
duration_AF	Duración total de AF en la ruta, en segundos
speed_variation_avg	Variación media de la velocidad, para cada ruta, durante la frenada (Km/h)
speed_variation_var	Varianza de la variación de la velocidad, para cada ruta, durante la frenada
speed_Variation_stdev	Desviación estándar de la variación de la velocidad, para cada ruta, durante la frenada
accel	Valor medio de la aceleración, para cada ruta, durante la frenada (m/s ²)
percent_speed_variation	Porcentaje de variación de la velocidad, para cada ruta, durante la frenada (%)
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.3 Listado de datos capturados para el patrón Freno - Aceleración

Parámetro	Descripción
id_FA	Identificador del patrón FA
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones de FA
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones de FA
duration	Duración del patrón en segundos
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio del patrón
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de finalización del patrón
start_lat	Coordenada de latitud al inicio del patrón
start_long	Coordenada de longitud al inicio del patrón
start_alt	Coordenada de altitud al inicio del patrón
end_lat	Coordenada de latitud al finalizar el patrón
end_long	Coordenada de longitud al finalizar el patrón
end_alt	Coordenada de altitud al finalizar el patrón
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.4 Tabla de KPI para el patrón FA

Parámetro	Descripción
id_KPI_FA	Identificador del KPI para la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
Km_route	Distancia recorrida total de la ruta en Km
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
kpi	Valor del kpi de FA para la ruta
number_events	Número de eventos de FA durante la ruta
duration	Duración total de FA en la ruta, en segundos
speed_variation_avg_avg	Variación media de la velocidad, para cada ruta (Km/h)
speed_variation_var	Varianza de la variación de la velocidad, para cada ruta
speed_variation_stdev	Desviación estándar de la variación de la velocidad, para cada ruta
accel	Valor medio de la aceleración, para cada ruta (m/s ²)
percent_speed_variation	Porcentaje de variación de la velocidad, para cada ruta (%)
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.5 Listado de datos capturados para el patrón Ralentí

Parámetros	Descripción
id_ralenti	Identificador del patrón de ralentí
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones de ralentí
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones de ralentí
duration	Duración total del patrón en segundos
duration_minutes	Minutos de duración del patrón
duration_seconds	Segundos de duración del patrón
gear	Marcha engranada durante el ralentí
lat	Coordenada de latitud del patrón
long	Coordenada de longitud del patrón
alt	Coordenada de altitud del patrón
id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.6 Tabla de KPI para el patrón Ralentí

Parámetros	Descripción
id_KPI_ralenti	Identificador del KPI para la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
duration_route	Duración total de la ruta en segundos
kpi	Valor del kpi del ralentí para la ruta
duration	Duración total del ralentí durante la ruta, en segundos
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.7 Listado de datos capturados para el patrón Inercia

Parámetros	Descripción
id_inercia	Identificador del patrón de inercia
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones de inercia
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones de inercia
duration_minutes	Minutos de duración del patrón
duration_seconds	Segundos de duración del patrón
brake	Presencia del freno durante el patrón de inercia (0: no presente; 1: presente)
brake_duration	Tiempo en segundos en los que el freno está pisado durante el patrón
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio del patrón
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante final del patrón
gear	Marcha engranada durante la inercia
start_lat	Coordenada de latitud al inicio del patrón
start_long	Coordenada de longitud al inicio del patrón
start_alt	Valor de la altitud al inicio del patrón (si disponible)
latitudFinal	Coordenada de latitud al final del patrón
longitudFinal	Coordenada de longitud al final del patrón
altitudFinal	Valor de la altitud al final del patrón (si disponible)
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.8. Tabla de KPI para el patrón de inercia

Parámetros	Descripción
id_KPI_inercia	Identificador del KPI en la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
duration_route	Duración total de la ruta en segundos
kpi	Valor del kpi de la inercia para la ruta
kpi_pure_inertia	Valor del kpi de la inercia pura para la ruta
duration_inertia	Duración total de la inercia durante la ruta, en segundos
duration_brake	Duración total del uso del freno durante la inercia de la ruta, en segundos
duration_pure_inertia	Duración total de la inercia pura en la ruta, en segundos
speed_variation_avg	Media de la variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta(Km/h)
speed_variation_var	Varianza de la variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta
speed_variation_stdev	Desviación estándar de la variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta
accel	Valor de la aceleración durante la inercia para cada ruta (m/s ²)
percent_speed_variation	Porcentaje de variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta (%)
percent_pure_inertia	Porcentaje de la duración de la inercia pura frente a la duración total del patrón, para cada ruta (%)
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.9 Listado de datos para los patrones PICsD y PICL

Parámetros	Descripción
id_PICSD	Identificador único del sub-patrón
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
id	Identificador general del patrón
part	Identificador de las diferentes partes del patrón [0, 1, ... N]
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones del sub-patrón
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones del sub-patrón
duration	Duración del sub-patrón en segundos
brake	Presencia del freno en esta parte del patrón (0 o 1)
finalization	indicador del estado: <ul style="list-style-type: none"> -cont: el patrón continúa -acel: el patrón finaliza porque el vehículo acelera (se convierte en un patrón PICsD) -stop: el patrón finaliza porque el vehículo se detiene finalmente (se convierte en un patrón PICL)
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio del sub-patrón
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de finalización del sub-patrón
start_lat	Coordenada de latitud al inicio del sub-patrón
start_long	Coordenada de longitud al inicio del sub-patrón
start_alt	Coordenada de altitud al inicio del sub-patrón
end_lat	Coordenada de latitud al finalizar el sub-patrón
end_long	Coordenada de longitud al finalizar el sub-patrón
end_alt	Coordenada de altitud al finalizar el sub-patrón
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.10. Tabla de KPI para el patrón PICSD

Parámetros	Descripción
id_KPI_PICSD	Identificador del KPI para la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
duration_route	Duración total de la ruta en segundos
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
duration_total	Duración total de PICSD durante la ruta, en segundos
duration_brake	Duración total del uso del freno durante ICSD de la ruta, en segundos
duration_pure_inertia	Duración total de la inercia pura en la ruta, en segundos
percent_brake_duration	Porcentaje de la duración del freno frente a la duración total del patrón, para cada ruta (%)
accel_brake	Aceleración durante los segmentos de uso del freno, para cada ruta (m/s ²)
accel_pure_inertia	Aceleración durante los segmentos de inercia pura, para cada ruta (m/s ²)
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.11. Listado de datos para el patrón PIPR

Parámetros	Descripción
id_PIPR	Identificador único de la parte correspondiente
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
id	Identificador general del patrón PIPR
part	Identificador de las diferentes partes del patrón [0, 1, ... N]
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones de la parte correspondiente
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones de la parte correspondiente
duration	Duración del de la parte correspondiente en segundos
trend	indica si de la parte correspondiente es ascendente o descendente (“asc” o “desc”)
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio de la parte correspondiente PIPR
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de finalización de la parte correspondiente
start_lat	Coordenada de latitud al inicio de la parte correspondiente
start_long	Coordenada de longitud al inicio de la parte correspondiente
start_alt	Coordenada de altitud al inicio de la parte correspondiente
end_lat	Coordenada de latitud al finalizar la parte correspondiente
end_long	Coordenada de longitud al finalizar la parte correspondiente
end_alt	Coordenada de altitud al finalizar la parte correspondiente
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio de la parte correspondiente
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar la parte correspondiente
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.12. Listado de datos capturados para el patrón PIPD

Parámetros	Descripción
id_PIPD	Identificador único de patrón
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
id	Identificador general del patrón
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones del patrón
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones del sub-patrón
duration	Duración del sub-patrón en segundos
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio del sub-patrón
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de finalización del sub-patrón
start_lat	Coordenada de latitud al inicio del sub-patrón
start_long	Coordenada de longitud al inicio del sub-patrón
start_alt	Coordenada de altitud al inicio del sub-patrón
end_lat	Coordenada de latitud al finalizar el sub-patrón
end_long	Coordenada de longitud al finalizar el sub-patrón
end_alt	Coordenada de altitud al finalizar el sub-patrón
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.13. Listado de datos capturados para el patrón PIDC

Parámetros	Descripción
id_PIDC	Identificador único de la parte correspondiente
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
id	Identificador general del patrón PIDC
part	Identificador de las diferentes partes del patrón [0, 1 y 2]
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones de la parte correspondiente
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones de la parte correspondiente
duration	Duración de la parte correspondiente en segundos
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio de la parte correspondiente
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de finalización de la parte correspondiente
start_lat	Coordenada de latitud al inicio de la parte correspondiente
start_long	Coordenada de longitud al inicio de la parte correspondiente
start_alt	Coordenada de altitud al inicio de la parte correspondiente
end_lat	Coordenada de latitud al finalizar la parte correspondiente
end_long	Coordenada de longitud al finalizar la parte correspondiente
end_alt	Coordenada de altitud al finalizar la parte correspondiente
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio de la parte correspondiente
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar la parte correspondiente
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.14. Tabla de KPI para el patrón PIDC

Parámetros	Descripción
id_KPI_PIDC	Identificador del KPI en la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
duration_route	Duración total de la ruta en segundos
consumo_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
duration_total	Duración total de PIDC durante la ruta, en segundos
duration_part0	Duración de la parte 0 del patrón PIDC para cada ruta, en segundos
duration_part1	Duración de la parte 1 del patrón PIDC para cada ruta, en segundos
duration_part2	Duración de la parte 2 del patrón PIDC para cada ruta, en segundos
percent_duration_part0	Porcentaje de duración de la parte 0 del patrón PIDC frente a la duración total del patrón, para cada ruta, en segundos
percent_duration_part1	Porcentaje de duración de la parte 1 del patrón PIDC frente a la duración total del patrón, para cada ruta, en segundos
accel_part0	Aceleración durante la parte 0 del patrón PIDC, para cada ruta (m/s ²)
accel_part1	Aceleración durante la parte 1 del patrón PIDC, para cada ruta (m/s ²)
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.15. Listado de datos capturados para el patrón PIAsc

Parámetros	Descripción
id_PIAsc	Identificador del patrón de PIAsc
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
start_time	Instante de tiempo en el que se inician las condiciones del patrón
end_time	Instante de tiempo en el que finalizan las condiciones del patrón
duration	Duración de la parte correspondiente en segundos
brake	Presencia de freno (0, 1)
brake_duration	duración de la presencia del freno en segundos
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio del patrón
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de finalización del patrón
start_lat	Coordenada de latitud al inicio del patrón
start_long	Coordenada de longitud al inicio del patrón
start_alt	Coordenada de altitud al inicio del patrón
end_lat	Coordenada de latitud al finalizar el patrón
end_long	Coordenada de longitud al finalizar el patrón
end_alt	Coordenada de altitud al finalizar el patrón
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.16. Tabla de KPI para el patrón PIAsc

Parámetros	Descripción
id_KPI_PIAsc	Identificador del KPI en la ruta activa
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
duration_route	Duración total de la ruta en segundos
kpi	Valor del kpi de la inercia para la ruta
kpi_pure_inertia	Valor del kpi de la inercia pura para la ruta
duration_inertia	Duración total de la inercia durante la ruta, en segundos
duration_brake	Duración total del uso del freno durante la inercia de la ruta, en segundos
duration_pure_inertia	Duración total de la inercia pura en la ruta, en segundos
speed_variation_avg	Media de la variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta(Km/h)
speed_variation_var	Varianza de la variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta
speed_variation_stdev	Desviación estándar de la variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta
accel	Valor de la aceleración durante la inercia para cada ruta (m/s ²)
percent_speed_variation	Porcentaje de variación de la velocidad durante la inercia, para cada ruta (%)
percent_pure_inertia	Porcentaje de la duración de la inercia pura frente a la duración total del patrón, para cada ruta (%)
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar el patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.17 Parámetros que se incluyen en la tabla del Patrón de Arranque

Parámetros	Descripción
id_arranque	Identificador de cada parte del Patrón de Arranque
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta en la que se genera el patrón
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
id	Identificador común del patrón para las tres partes
part	Parte del patrón (0, 1 o 2)
start_time	Instante de tiempo en el que se inicia la parte correspondiente del Arranque
end_time	Instante de tiempo en el que finaliza la parte correspondiente del Arranque
duration	Duración (en segundos) la parte correspondiente del patrón
brake	Aparición del freno en la parte 2 (0 o 1)
finalization	Modo de terminación de la parte correspondiente del patrón
start_speed	Velocidad (Km/h) en el instante de inicio del Arranque
end_speed	Velocidad (Km/h) en el instante final del Arranque
avg_accel	Aceleración media de la parte correspondiente del patrón
start_lat	Coordenada de latitud al inicio de la parte correspondiente del Arranque
start_long	Coordenada de longitud al inicio de la parte correspondiente del Arranque
start_alt	Coordenada de altitud al inicio de la parte correspondiente del Arranque
end_lat	Coordenada de latitud al final de la parte correspondiente Arranque
end_long	Coordenada de longitud al final de la parte correspondiente Arranque
end_alt	Coordenada de altitud final de la fase correspondiente del Arranque
start_id_sample	Valor del identificador de la captura al inicio de la parte correspondiente del patrón
end_id_sample	Valor del identificador de la captura al finalizar la parte correspondiente del patrón
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

Tabla B.18 Tabla de KPI del Patrón de Arranque

Parámetros	Descripción
id_KPI_arranque	Identificador del KPI (por ruta)
id_driver	Identificador del conductor
id_route	Identificador de la ruta
id_vehicle	Identificador del vehículo
year_	Valor numérico del año en el que ocurre el patrón
month_	Valor numérico del mes en el que ocurre el patrón
day_	Valor numérico del día en el que ocurre el patrón
hour_	Valor numérico de la hora en la que ocurre el patrón
quarter_	Valor numérico del trimestre en el que ocurre el patrón
week_	Valor numérico de la semana en que ocurre el patrón
weekday_	Valor numérico del día de la semana en el que ocurre el patrón
Km_route	Distancia recorrida en la ruta
fuel_100Km	Consumo medio durante la ruta, en litros/100Km
kpi_f1	Valor del kpi de la fase 1 del patrón para la ruta activa
kpi_f2	Valor del kpi de la fase 2 para la ruta activa
accel_f1	Aceleración media durante la fase 1 del patrón para la ruta activa
number_events	Número total de patrones de arranque para la ruta activa
number_events_inertia	Número de patrones cuya fase 2 es una inercia
customer_nam	Identificador de la línea en que desarrolla la ruta a la que pertenece el patrón

C. Tablas de recomendaciones automáticas

Tabla C.1 Comentarios según la calificación

CALIFICACIÓN	COMENTARIO
> 6	Has obtenido una calificación muy buena. Sigue así.
$4 \leq X \leq 6$	Estás en el límite del aprobado. Debes mejorar.
< 4	Tienes mucho margen para mejorar. Debes hacer un esfuerzo.

Tabla C.2 Comentarios según la calificación comparando con el último mes

VARIACIÓN	CALIFICACIÓN	COMENTARIO
IGUAL	<5	No has logrado mejorar tu actuación. Tienes mucho trabajo por delante.
	5	Sigues aprobando por los pelos. Un pequeño esfuerzo te hará mejorar.
	>5	Mantienes tu nivel del mes pasado. No bajes los brazos.
MEJOR (+1)	<5	Progresas ligeramente pero tienes mucho trabajo por delante.
	5	Ya vas alcanzando un nivel aceptable, sigue así.
	>5	Buena progresión, sigue así.
MEJOR ($\geq+2$)	<5	Gran progresión. Si sigues así en breve lograrás aprobar.
	5	Gran progresión. Mantén esa progresión y obtendrás muy buenos resultados.
	>5	Gran progresión, ese es el camino. Sigue así.
PEOR (-1)	<5	Paso atrás. Debes concentrarte más. Tienes mucho margen de mejora.
	5	Paso atrás, debes recuperar tu nivel anterior.
	>5	No te descuides o perderás todo el trabajo realizado estos últimos meses.
PEOR (≤-2)	<5	Tu progresión es muy mala. Debes recuperar tu nivel anterior.
	5	Has bajado notablemente tus prestaciones. Puedes dar mucho más nivel.
	>5	Debes recuperar la concentración en tu conducción

Tabla C.3 Comentarios según la calificación considerando la tendencia de los últimos meses

TENDENCIA	CALIFICACIÓN	COMENTARIO
M (X MESES)	<5	Llevas x meses de mejora, pero aún no has alcanzado el aprobado. Si sigues así lo lograrás.
	5	Gracias a tu constancia has logrado aprobar, pero si sigues así mejorarás aún más
	>5	Llevas una gran progresión. ¡¡¡Sigue así!!!
...PMMM	<5	Llevas x meses de mejora, pero aún no has alcanzado el aprobado. Si sigues así lo lograrás.
	5	Gracias a tu constancia has logrado aprobar, pero si sigues así mejorarás aún más
	>5	Llevas una gran progresión. ¡¡¡Sigue así!!!
...MMMI	<5	Has detenido tu gran progresión. Debes seguir mejorando, ánimo.
	5	No te conformes con el 5, debes seguir mejorando.
	>5	Ahora es cuando cuesta seguir mejorando. Debes intentarlo.
...PPPM	<5	Has logrado invertir la mala tendencia, pero no basta. Aún te queda por mejorar.
	5	Has logrado invertir la mala tendencia y volver a aprobar. Debes recuperar tu nivel anterior.
	>5	Has logrado invertir la mala tendencia y mantener el aprobado. Debes recuperar tu nivel anterior.
...PMI	<5	Habías logrado invertir la tendencia. No te conformes y busca el aprobado.
	5	Habías logrado invertir la tendencia y recuperar el aprobado. No te conformes, sigue mejorando.
	>5	Ya estás a buen nivel, pero debes intentar seguir mejorando.
MPM (PM)	<5	Has logrado volver a mejorar, pero aún tienes mucho margen.
	5	Has logrado volver a mejorar, pero debes seguir así.
	>5	Has logrado volver a mejorar y estás a buen nivel. ¡Sigue así!
PMP (MP)	<5	Has vuelto a empeorar. Debes aplicarte mucho para lograr el aprobado.
	5	Has vuelto a empeorar y apruebas por los pelos. Tienes que volver a mejorar.
	>5	Has vuelto a empeorar, aunque tu rendimiento es bueno. Tienes que volver a mejorar.
...MPI	<5	Debes volver a mejorar para alcanzar el aprobado.
	5	Debes volver a mejorar para poder aprobar con más holgura.
	>5	Debes volver a mejorar para mantener recuperar tu mejor rendimiento.
...MMMP	<5	Has tenido un despiste este mes. Debes volver a tu tendencia anterior para aprobar
	5	Has tenido un despiste este mes. Debes volver a tu tendencia anterior para aprobar con más holgura.
	>5	Has tenido un despiste este mes. Debes volver a tu tendencia anterior para recuperar tu mejor nivel.
MPPP...	<5	Llevas una mala dinámica que tienes que revertir. Tienes mucho margen de mejora.
	5	Llevas una mala dinámica que tienes que revertir. Debes volver a mejorar.
	>5	Llevas una mala dinámica que tienes que revertir. Debes recuperar tu nivel anterior.
P (X MESES)	<5	No haces más que empeorar. Tienes concentrarte y poner interés.
	5	No haces más que empeorar. Empezaste a buen nivel y ya rozas el suspenso. Concéntrate.
	>5	Llevas una mala dinámica que tienes que revertir. Debes recuperar tu mejor nivel.

Tabla C.4 Recomendaciones Automáticas para el modelo de madurez de arranque

FASE 1	FASE 2	RECOMENDACIÓN	ARRANQUE
Bien	Bien	Tus arranques son buenos	Bien
	Mal 1	Aunque aceleras bien en tus arrancadas, debes fijarte en lo que llevas por delante para poder usar la inercia ante una eventual detención rápida	Regular
	Mal 2	Realizas una buena aceleración desde 0, pero debes recordar utilizar la inercia de tu vehículo cuando alcances la velocidad máxima.	Mal
Mal 1	Bien	Manejas bien el concepto, pero debes ser un poco más cuidadoso con la aceleración inicial	Regular
	Mal 1	Eres demasiado impulsivo con la aceleración inicial y debes estar pendiente del tráfico que llevas delante para poder usar la inercia.	Mal
	Mal 2	Debes acelerar de forma algo más suave desde 0 y recordar utilizar la inercia de tu vehículo una vez alcanzada la velocidad máxima	Mal
Mal 2	Bien	Si aceleras de forma más impulsiva desde 0, podrás empezar a aplicar la inercia mucho antes.	Regular
	Mal 1	Debes acelerar de forma más vigorosa y luego dejarlo ir en inercia. Si el espacio es muy corto, déjalo ir al ralentí.	Mal
	Mal 2	Acelera con más brío y recuerda aprovechar la inercia de tu vehículo.	Mal

Tabla C.5 Recomendaciones Automáticas para el modelo de madurez de detención

PIDC	PICL	RALENTÍ	RECOMENDACIÓN	DETENCIÓN
Bien	Bien	Bien	Gestionas bien tus paradas	Muy Bien
		Mal	Debes tener cuidado en tus paradas largas. Recuerda apagar el motor en las cabeceras	Bien
	Regular	Bien	Dejar de acelerar un poco antes te permitiría utilizar menos el freno cuando vas a detener tu vehículo.	Bien
Mal	Mal	Mal	Dejar de acelerar un poco antes te permitiría utilizar menos el freno cuando vas a detener tu vehículo. Recuerda apagar el motor en las cabeceras.	Regular
		Mal	Debes dejar de acelerar mucho antes cuando prevés que vas a detenerte o te acercas a una parada para aprovechar la inercia. Es necesario que utilices la inercia de tu vehículo antes de una detención. Recuerda apagar el motor en las cabeceras de línea.	Regular
	Bien	Bien	Utiliza el freno sólo al final de la inercia, de forma continuada, para evitar desaprovechar la inercia de tu vehículo.	Regular
Mal	Regular	Mal	Has de estar atento para no frenar demasiado durante tus inercias. Mejor hazlo al final. Recuerda apagar el motor en las cabeceras	Mal
		Mal	Comienza tus inercias un poco antes, y si ves que necesitas frenar, hazlo siempre al final de la inercia.	Mal
	Mal	Mal	Comienza tus inercias un poco antes, y si ves que necesitas frenar, hazlo siempre al final de la inercia. Recuerda apagar el motor en las cabeceras.	Mal
Mal	Mal	Bien	Debes iniciar tus inercias mucho antes y si aun así necesitas frenar, hazlo siempre al final.	Muy Mal
		Mal	Debes iniciar tus inercias mucho antes y si aun así necesitas frenar, hazlo siempre al final. Recuerda apagar el motor en las cabeceras	Muy Mal

Tabla C.6 Recomendaciones Automáticas para el modelo de madurez de marcha

AF	FA	PICSD	RECOMENDACIÓN	MARCHA
Bien		Bien	Trabajas bien en marcha	Muy Bien
	Bien	Regular	Necesitas aumentar un poco la distancia de seguridad	Bien
		Mal	Debes guardar una distancia de seguridad bastante más amplia	Bien
	Mal	Mal	¡Ojo! Es imprescindible que dejes mucha más distancia con los vehículos que te preceden.	Regular
Regular		Bien	Intenta usar un poco más la inercia en cuanto alcances la velocidad máxima.	Regular
	Bien	Regular	Intenta usar un poco más la inercia en cuanto alcances la velocidad máxima. Aumentar un poco la distancia de seguridad te ayudará.	Regular
		Mal	Para poder usar la inercia de tu vehículo, deberás separarte más del que te precede.	Mal
	Mal	Mal	Es imprescindible que aumentes bastante tu distancia con el vehículo precedente. Así podrás aprovechar la inercia del tuyo.	Mal
Mal		Bien	Debes utilizar más la inercia de tu vehículo cuando circulas a máxima velocidad.	Regular
	Bien	Regular	Debes utilizar más la inercia de tu vehículo cuando circulas a máxima velocidad, y separarte un poco más del vehículo de delante.	Regular
		Mal	Debes utilizar más la inercia de tu vehículo cuando circulas a máxima velocidad y aumentar la distancia de seguridad.	Mal
	Mal	Mal	Debes utilizar más la inercia de tu vehículo cuando circulas a máxima velocidad, además de aumentar bastante la distancia de seguridad.	Mal

Tabla C.7 Comentario para ineficiencias específicas en función de la posición

Patrón	Recomendación
A1 (M1)	Cuando pasas por la zona de la imagen, aceleras de forma demasiado brusca. Debes ser más suave.
A1 (M2)	Cuando pasas por la zona de la imagen, sueles acelerar con demasiada suavidad. Hazlo algo más fuerte.
A2 (M1)	En la zona de la imagen, debes dejar de acelerar antes para poder aprovechar la inercia del vehículo
A2 (M2)	En la zona de la imagen, una vez que alcanzas la velocidad máxima, debes aprovechar la inercia del vehículo
PIDC	Cuando pases por la zona de la imagen, podrías empezar a usar la inercia un poco más tarde
PICL	Cuando pases por la zona de la imagen, podrías empezar a usar la inercia un poco antes
AF	Cuando pasas por la zona de la imagen, no sueles aprovechar la inercia de tu vehículo
FA	Cuando pases por la zona de la imagen debes aumentar la distancia de seguridad
PICSD	En la zona de la imagen sueles iniciar la inercia ligeramente tarde. Suelta el acelerador un poco antes

Tabla C.8 Comentarios para situaciones específicas de ineficiencia en función de la franja horaria

Patrón	Tipo	Comentario
A1 (M1)	T1	Debes controlar mejor tus aceleraciones, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Haces buenas aceleraciones, pero podrías controlarte un poco entre <i>(franja horaria)</i>
A1 (M2)	T1	Es necesario que aceleres con más ímpetu, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Haces buenas aceleraciones, pero podrías ser un poco más enérgico, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i>
A2 (M1)	T1	Debes dejar de acelerar un poco antes, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i> para poder aprovechar mejor la inercia de tu vehículo
	T2	Aunque lo sueles hacer bien, entre las <i>(franja horaria)</i> aprovechas un poco menos la inercia de tu vehículo
A2 (M2)	T1	Debes centrarte en aprovechar la inercia después de alcanzar la velocidad máxima, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Aunque lo sueles hacer bien, entre las <i>(franja horaria)</i> usas menos la inercia tras alcanzar la velocidad máxima
PIDC	T1	Deberías iniciar las inercias un poco más tarde. En concreto en <i>(franja horaria)</i> tienes tendencia a quedarte corto
	T2	Aunque lo sueles hacer bien, entre <i>(franja horaria)</i> sueles quedarte corto con la inercia
PICL	T1	Debes iniciar antes a aprovechar la inercia de tu vehículo, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Aplicas bien la inercia, pero podrías iniciarla un poco antes entre <i>(franja horaria)</i> , ya que usas mucho el freno
AF	T1	Después de acelerar, debes dejar ir el vehículo antes de usar el freno, especialmente entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Usas bien la inercia tras acelerar, pero entre <i>(franja horaria)</i> sueles frenar antes de dejar ir el vehículo
FA	T1	Debes ampliar tu distancia de seguridad, especialmente entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Ten cuidado porque entre <i>(franja horaria)</i> disminuye un poco tu distancia de seguridad. El resto del tiempo, bien
PICSD	T1	Debes iniciar antes las inercias cuando el tráfico detenido delante de ti va a empezar a moverse, sobre todo entre <i>(franja horaria)</i>
	T2	Manejas bien la anticipación cuando el tráfico detenido delante de ti va a empezar a moverse, aunque entre <i>(franja horaria)</i> se te hace un poco más difícil

Tabla C.9 Comentarios para situaciones específicas de ineficiencia debidas al clima

Patrón	Tipo	Comentario
A1 (M1)	T1	... tienes tendencia a acelerar de forma aún más brusca de lo habitual.
	T2	... aceleras de forma ligeramente más brusca de lo habitual, aunque tus compañeros empeoran más que tú.
	T3	... aceleras ligeramente mejor de lo habitual, aunque todavía no mejoras a tus compañeros. Cuando esté seco hazlo igual.
	T4	... aceleras mucho mejor de lo habitual, incluso mejoras a tus compañeros. En seco debes hacerlo igual.
A1 (M2)	T1	... tienes tendencia a acelerar de forma aún más suave de lo habitual.
	T2	... aceleras de forma ligeramente más suave de lo habitual, aunque tus compañeros empeoran más que tú.
	T3	... aceleras ligeramente mejor de lo habitual, aunque aún no mejoras a tus compañeros. Cuando esté seco hazlo igual.
	T4	... aceleras mucho mejor de lo habitual, incluso mejoras a tus compañeros. En seco debes hacerlo igual.
A2 (M1)	T1	... usas bastante más la inercia después de acelerar y mejoras más que tus compañeros. Intenta comportarte igual en seco.
	T2	... usas un poco más la inercia después de acelerar, aunque mejoras menos que tus compañeros. Intenta comportarte igual en seco.
	T3	... aumentas ligeramente las veces que pasas inmediatamente del acelerador al freno. Aprovecha la inercia.
	T4	... aumentas el número de veces que pasas inmediatamente del acelerador al freno. Aprovecha la inercia.
A2 (M2)	T1	... tras la aceleración inicial mejoras en la aplicación de inercia. Debes actuar de igual forma cuando el piso esté seco.
	T2	... tras la aceleración inicial mejoras ligeramente en la aplicación de inercia, aunque tus compañeros aún lo hacen mejor que tú. Debes actuar de igual forma cuando el piso esté seco.
	T3	... aumenta ligeramente el número de veces que sigues pisando el acelerador tras alcanzar la velocidad máxima. Debes aprovechar algo más la inercia de tu vehículo.
	T4	... cuando alcanzas la velocidad máxima sigues pisando el acelerador aún más a menudo. Debes aprovechar mucho más la inercia de tu vehículo.
PIDC	T1	... sueles quedarte aún más corto cuando aplicas las inercias. Intenta empezarlas cuando vayas un poco más rápido. Si te sigues quedando corto, deja que el vehículo avance al ralentí hasta el punto de parada siempre que no esté demasiado lejos.
	T2	... sueles quedarte más corto que cuando el piso está seco a la hora de aprovechar las inercias de tu vehículo, pero mejoras con respecto a tus compañeros.
	T3	... lo haces mejor a la hora de hacer aproximaciones en inercia que cuando está seco, aunque aún te falta un poco para hacerlo como tus compañeros. Sigue así y trata de hacerlo igual cuando el piso esté seco.
	T4	... lo haces mejor a la hora de hacer aproximaciones en inercia que cuando está seco, incluso mejor que tus compañeros. Sigue así y trata de hacerlo igual cuando el piso esté seco.
PICL	T1	... utilizas demasiado el freno al detener el vehículo aprovechando su inercia. Debes levantar el pie del acelerador mucho antes y bajar la velocidad de forma más progresiva.
	T2	... usas más el freno al reducir la velocidad que en seco, aunque lo haces mejor que tus compañeros. Intenta reducir la velocidad de forma más progresiva.
	T3	... realizas deceleraciones más progresivas que cuando el piso está seco, aunque no lo haces tan bien como tus compañeros. Debes seguir esa progresión tanto en mojado como en seco.

	T4	... realizas deceleraciones más progresivas que cuando el piso está seco, incluso lo haces mejor que tus compañeros. Cuando el piso esté seco, debes actuar de la misma manera.
AF	T1	... tiendes a enlazar aún más el uso del acelerador y el freno. Debes ser previsor y anticipar tus detenciones, dejando ir el vehículo y aprovechando su inercia.
	T2	... abusas un poco más del freno, aunque mejoras respecto a tus compañeros. Debes ser más previsor y anticipar tus detenciones, dejando ir el vehículo y aprovechando su inercia.
	T3	... mejoras al usar con menos asiduidad el freno tras las aceleraciones, sin llegar al nivel de tus compañeros. Debes usar más la inercia, pero vas por el buen camino. En seco hazlo igual.
	T4	... mejoras al usar con menos asiduidad el freno tras las aceleraciones, y lo haces incluso mejor que tus compañeros. Vas por el buen camino, pero en seco debes hacerlo igual.
FA	T1	... tu distancia de seguridad es menos efectiva aún que en seco. Debes aumentarla mucho más.
	T2	... tu distancia de seguridad es menos efectiva aún que en seco, aunque lo haces mejor que tus compañeros. Intenta aumentarla un poco más.
	T3	... mejoras la distancia de seguridad, aunque aún necesitas aumentarla más para llegar al nivel de tus compañeros.
	T4	... usas mejor la distancia de seguridad y superas el rendimiento de tus compañeros en este aspecto. Cuando no llueva debes hacerlo igual.
PICSD	T1	... usas más el freno en situaciones en que tienes que bajar la velocidad pero no vas a detenerte. Debes aprovechar mejor la inercia y decelerar progresivamente desde más lejos.
	T2	... usas más el freno en situaciones en que tienes que bajar la velocidad pero no vas a detenerte, aunque lo haces mejor que tus compañeros. Debes aprovechar mejor la inercia y decelerar progresivamente desde más lejos.
	T3	... te aproximas mejor en situaciones en que tienes que bajar la velocidad pero no vas a detenerte, aunque aún no lo haces tan bien como tus compañeros. Debes aprovechar mejor la inercia y decelerar progresivamente desde más lejos. Aplícalo también cuando no llueva.
	T4	... eres uno de los que mejor se aproxima en situaciones en las que tienes que bajar la velocidad pero no vas a detenerte. Debes aprovechar mejor la inercia y decelerar progresivamente desde más lejos. Aplícalo también cuando no llueva.

Tabla C.10 Comentarios de ánimo

Calificación	Comentario
< 4	Tienes muchísimo margen para mejorar. Vamos a por el aprobado.
$4 \leq X \leq 6$	Con un mínimo esfuerzo obtendrás una buena nota. ¡Ánimo!
> 6	¡Muy bien hecho, sigue así!

D. Tablas del caso de estudio

Tabla D.1 Tabla de KPIs

CONDUCTOR	LINEA PRED.	AF	FA	IN	AI	A2
5	331	324,489	132,045	11,850	9,819	89,380
7	380	249,333	184,200	9,300	-31,221	95,556
8	331	201,320	73,100	13,877	12,287	90,160
10	331	292,584	126,458	23,347	-33,977	88,650
12	331	199,633	61,233	17,724	36,092	100,000
13	331	254,615	104,972	12,678	0,431	65,629
14	331	284,658	105,087	9,839	14,453	86,189
15	380	176,438	161,425	7,788	-12,807	71,443
17	334	272,731	154,863	5,156	-15,133	87,003
19	331	222,093	162,754	15,550	30,019	94,628
20	331	300,650	127,319	27,106	-23,874	97,906
24	380	256,725	173,625	11,625	-4,252	90,000
25	334	318,113	171,931	12,719	-19,250	88,429
26	331	246,443	203,229	17,743	-0,303	68,507
27	331	321,044	144,636	23,296	-20,085	96,712
30	331	319,813	136,155	13,210	-12,500	91,094
32	331	243,483	105,361	8,000	-14,242	91,321
33	331	258,695	109,521	11,164	14,448	98,729
34	331	302,666	103,043	10,486	11,444	98,310
35	381	197,272	143,767	17,839	14,677	77,969
36	333	449,060	154,840	13,400	-3,487	100,000
40	331	288,663	152,509	10,875	8,497	91,725
42	333	441,307	217,493	10,727	-11,024	96,037
43	381	291,022	218,833	14,490	-5,948	62,704
44	338	178,470	106,013	5,202	17,834	86,844
46	338	291,493	160,970	8,995	1,770	91,071
47	332	423,491	216,415	21,087	0,448	84,117
48	331	322,180	177,650	25,530	-30,124	82,864
72	332	400,046	203,781	20,396	-2,740	78,930
74	331	153,974	44,708	12,392	21,041	67,181
75	331	311,988	186,900	9,794	-32,087	90,861
78	334	270,600	158,563	5,100	-49,422	91,646
89	331	307,382	102,565	23,647	-8,711	95,088

90	331	380,645	249,009	9,391	-40,589	89,840
91	331	269,857	113,719	9,819	-7,977	92,714
92	381	294,773	240,023	14,602	5,388	47,868
107	331	315,848	146,405	8,614	-2,570	91,296
108	333	295,123	107,462	8,600	13,555	96,113
109	333	159,417	60,817	8,625	30,936	97,768

Tabla D.2 Estadísticas del patrón AF en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación

LÍNEA	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	DESV. EST.	MÁXIMO	MÍNIMO
331	271,67	276,90	7831,92	88,49	637,20	33,90
332	370,01	377,50	9912,41	99,56	597,90	91
333	305,08	298	16226,13	127,38	605,80	53
334	312,38	318	7357,28	85,77	508,30	84,90
338	227,62	219,40	5230,43	72,32	495,50	93,40
380	230,89	216,90	15576,86	124,80	648,10	43,50
381	267,61	275,70	6169,16	78,54	499,10	49

Tabla D.3 Estadísticas del patrón FA en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación

LÍNEA	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	DESV. EST.	MÁXIMO	MÍNIMO
331	112,67	112,50	2232,36	47,25	412,30	7,30
332	196,25	195,10	3199,13	56,56	436,70	85,30
333	135,66	119,45	6213,79	78,83	448,30	21,20
334	187,48	179,60	3612,61	60,11	337,20	66,60
338	142,01	142,40	2040,55	45,17	265,90	37,40
380	193,95	191,20	8726,13	93,41	457,50	48,80
381	206,09	205,65	4217,15	64,94	399,30	24,40

Tabla D.4 Estadísticas del patrón de Inercia en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación

LÍNEA	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	DESV. EST.	MÁXIMO	MÍNIMO
331	13,58	11,70	52,91	7,27	34,90	0,50
332	18,31	20,10	42,03	6,48	29,90	0,50
333	9,95	9,70	11,90	3,45	22,00	3,40
334	7,45	7,20	11,15	3,34	22,50	1,70
338	10,23	8,20	44,21	6,65	27,30	1,40
380	9,94	9,80	30,20	5,50	22,00	1,40
381	15,43	15,80	23,19	4,82	29,40	1,00

Tabla D.5 Estadísticas del patrón A1 en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación

LÍNEA	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	DESV. EST.	MÁXIMO	MÍNIMO
331	1,73	5,51	545,97	23,37	85,43	-103,40
332	-5,44	-3,29	414,27	20,35	36,67	-92,00
333	-1,84	-2,34	616,88	24,84	54,61	-59,42
334	-31,19	-28,34	486,98	22,07	32,50	-86,00
338	3,54	5,26	303,28	17,41	44,11	-45,19
380	-7,08	-4,20	1378,92	37,13	63,59	-144,21
381	3,99	5,92	633,74	25,17	80,22	-114,17

Tabla D.6 Estadísticas del patrón A2 en las diferentes líneas para el total de rutas del periodo de clasificación

LÍNEA	MEDIA	MEDIANA	VARIANZA	DESV. EST.	MÁXIMO	MÍNIMO
331	88,31	96,77	320,81	17,91	100,00	0,00
332	82,00	84,62	320,71	17,91	100,00	0,00
333	92,21	100,00	170,68	13,06	100,00	40,91
334	87,75	89,44	168,73	12,99	100,00	40,00
338	87,34	88,89	145,20	12,05	100,00	50,00
380	72,34	75,50	781,51	27,96	100,00	0,00
381	65,38	66,67	903,24	30,05	100,00	0,00

Tabla D.7 Medianas de los KPIs en cada una de las líneas

LÍNEA	AF	FA	IN	A1	A2
331	286,660	119,932	12,384	2,386	91,309
332	411,769	210,098	20,742	1,146	81,523
333	368,215	131,151	9,676	5,034	96,941
334	281,094	154,863	5,156	42,360	87,003
338	234,981	133,491	7,099	9,802	88,957
380	249,333	173,625	9,300	12,807	90,000
381	291,022	218,833	14,602	5,388	62,704

Tabla D.8 Necesidades formativas de cada conductor y distribución inicial

CONDUCTOR	NIVEL	NECESIDADES	GRUPO INICIAL
5	5	'AFFInA1A2'	'AFFIn'
7	4	'AFFInA1'	'AFFIn'
8	2	'A1A2'	'AFA1A2'
10	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'
12	1	'A1'	'FAInA1'
13	1	'A2'	'AFFAA2'
14	3	'InA1A2'	'InA1A2'
15	3	'InA1A2'	'InA1A2'
17	3	'FAInA2'	'FAInA2'
19	2	'InA2'	'AFInA2'
20	3	'AFFAA1'	'AFFAA1'
24	3	'AFFAA2'	'AFFAA2'
25	3	'AFInA1'	'AFInA1'
26	3	'FAInA1'	'FAInA1'
27	3	'AFFAA1'	'AFFAA1'
30	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'
32	2	'InA1'	'FAInA1'
33	2	'InA1'	'FAInA1'
34	3	'AFInA1'	'AFInA1'
35	1	'A1'	'FAInA1'
36	2	'AFFA'	'AFFAA2'
40	4	'AFFInA1'	'AFFIn'
42	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'
43	5	'AFFInA1A2'	'AFFIn'
44	3	'InA1A2'	'InA1A2'
46	2	'AFFA'	'AFFAA2'
47	2	'AFFA'	'AFFAA2'
48	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'
72	3	'InA1A2'	'InA1A2'
74	2	'A1A2'	'AFA1A2'
75	4	'FAInA1A2'	'FAInA2'
78	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'
89	2	'AFA1'	'AFA1A2'
90	3	'AFFAA1'	'AFFAA1'
91	2	'InA1'	'FAInA1'
92	5	'AFFInA1A2'	'AFFIn'
107	5	'AFFInA1A2'	'AFFIn'
108	3	'InA1A2'	'InA1A2'
109	2	'InA1'	'FAInA1'

Tabla D.9 Composición de los grupos formativos para la sesión inicial de formación

AFFAIn	AFFAA1_1	AFFAA1_2	AFFAA2	FAInA1	InA1A2
5	8	10	13	12	14
7	74	30	24	26	15
40	89	42	36	32	44
43	20	48	46	33	72
92	27	78	47	35	108
107	90			91	25
17				109	34
75					
19					

Tabla D.10 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 1

CONDUCTOR	LINEA PRED.	NIVEL	NECESIDADES	GRUPO INICIAL	GRUPO FINAL
12	331	1	'A1'	'FAInA1'	FAInA1
13	331	1	'A2'	'AFFAA2'	AFFAA2
35	381	1	'A1'	'FAInA1'	FAInA1

Tabla D.11 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 2

CONDUCTOR	LINEA PRED.	NIVEL	NECESIDADES	GRUPO INICIAL	GRUPO FINAL
8	331	2	'A1A2'	'AFA1A2'	AFFAA1_1
19	331	2	'InA2'	'AFInA2'	AFFAIn
32	331	2	'InA1'	'FAInA1'	FAInA1
33	331	2	'InA1'	'FAInA1'	FAInA1
36	333	2	'AFFA'	'AFFAA2'	AFFAA2
46	338	2	'AFFA'	'AFFAA2'	AFFAA2
47	332	2	'AFFA'	'AFFAA2'	AFFAA2
74	331	2	'A1A2'	'AFA1A2'	AFFAA1_1
89	331	2	'AFA1'	'AFA1A2'	AFFAA1_1
91	331	2	'InA1'	'FAInA1'	FAInA1
109	333	2	'InA1'	'FAInA1'	FAInA1

Tabla D.12 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 3

DRIVER	LINEA PRED.	NIVEL	NECESIDADES	GRUPO INI	GRUPO FIN
14	331	3	'InA1A2'	'InA1A2'	InA1A2
15	380	3	'InA1A2'	'InA1A2'	InA1A2
17	334	3	'FAInA2'	'FAInA2'	AFFAIn
20	331	3	'AFFAA1'	'AFFAA1'	AFFAA1_1
24	380	3	'AFFAA2'	'AFFAA2'	AFFAA2
25	334	3	'AFInA1'	'AFInA1'	InA1A2
26	331	3	'FAInA1'	'FAInA1'	FAInA1
27	331	3	'AFFAA1'	'AFFAA1'	AFFAA1_1
34	331	3	'AFInA1'	'AFInA1'	InA1A2
44	338	3	'InA1A2'	'InA1A2'	InA1A2
72	332	3	'InA1A2'	'InA1A2'	InA1A2
90	331	3	'AFFAA1'	'AFFAA1'	AFFAA1_1
108	333	3	'InA1A2'	'InA1A2'	InA1A2

Tabla D.13 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 4

DRIVER	LINEA PRED.	NIVEL	NECESIDADES	GRUPO INI	GRUPO FIN
7	380	4	'AFFAInA1'	'AFFAIn'	AFFAIn
10	331	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'	AFFAA1_2
30	331	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'	AFFAA1_2
40	331	4	'AFFAInA1'	'AFFAIn'	AFFAIn
42	333	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'	AFFAA1_2
48	331	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'	AFFAA1_2
75	331	4	'FAInA1A2'	'FAInA2'	AFFAIn
78	334	4	'AFFAA1A2'	'AFFAA1'	AFFAA1_2

Tabla D.14 Verificación de satisfacción de las necesidades formativas. Nivel 5

DRIVER	LINEA PRED.	NIVEL	NECESIDADES	GRUPO INI	GRUPO FIN
5	331	5	'AFFAInA1A2'	'AFFAIn'	AFFAIn
43	381	5	'AFFAInA1A2'	'AFFAIn'	AFFAIn
92	381	5	'AFFAInA1A2'	'AFFAIn'	AFFAIn
107	331	5	'AFFAInA1A2'	'AFFAIn'	AFFAIn

Tabla D.15 Modelos de madurez y calificación para el primer mes de análisis

CONDUCTOR	LINEA PRED.	ARRANQUE	MOVIMIENTO	PARADA	CALIFICACIÓN
5	331	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez media'	4
7	380	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez baja'	3
8	331	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez media'	5
10	331	'Madurez baja'	'Madurez media'	'Madurez alta'	4
12	331	'Madurez baja'	'Madurez alta'	'Madurez media'	4
13	331	'Madurez baja'	'Madurez alta'	'Madurez media'	4
14	331	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez media'	4
15	380	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez alta'	6
17	334	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez muy alta'	7
19	331	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez alta'	5
20	331	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez alta'	5
24	380	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez alta'	5
25	334	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez alta'	6
26	331	'Madurez baja'	'Madurez media'	'Madurez media'	3
27	331	'Madurez media'	'Madurez baja'	'Madurez alta'	4
30	331	'Madurez baja'	'Madurez media'	'Madurez baja'	2
32	331	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez media'	5
33	331	'Madurez alta'	'Madurez media'	'Madurez media'	5
34	331	'Madurez alta'	'Madurez media'	'Madurez media'	5
35	331	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez media'	5
36	333	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez alta'	5
40	331	'Madurez baja'	'Madurez media'	'Madurez media'	3
42	333	'Madurez media'	'Madurez baja'	'Madurez media'	3
43	381	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez media'	4
44	338	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez media'	5
46	338	'Madurez media'	'Madurez baja'	'Madurez media'	3
47	332	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez media'	4
48	331	'Madurez baja'	'Madurez baja'	'Madurez alta'	3
72	332	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez media'	4
74	331	'Madurez baja'	'Madurez muy alta'	'Madurez media'	5
75	331	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez alta'	5
78	334	'Madurez baja'	'Madurez media'	'Madurez media'	3
89	331	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez alta'	6
90	331	'Madurez baja'	'Madurez media'	'Madurez media'	3
91	331	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez baja'	3
92	381	'Madurez media'	'Madurez media'	'Madurez media'	4
107	331	'Madurez media'	'Madurez baja'	'Madurez media'	3
108	333	'Madurez alta'	'Madurez alta'	'Madurez media'	6
109	333	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez media'	5

Tabla D.16 Desglose de modelos de madurez por patrones. Conductor 74

ARRANQUE	ARRANQUE 1	ARRANQUE 2	
MADUREZ BAJA	Rendimiento bajo	Rendimiento bajo	
MARCHA	AF	FA	ICS D
MADUREZ MUY ALTA	Rendimiento alto	Rendimiento alto	Rendimiento alto
DETENCIÓN	PIDC	PICL	Ralentí
MADUREZ MEDIA	Rendimiento alto	Rendimiento medio	Rendimiento alto

Tabla D.17 Análisis climatológico del ralentí. Conductor 74 y línea 331

KPI RALENTÍ	CONDUCTOR	LINEA
NO LLUVIA	19,605	21,321
LLUVIA	18,071	21,030

Tabla D.18 Evolución del conductor 74

MES	LINEA PRED	ARRANQUE	MARCHA	DETENCIÓN	CALIFICACIÓN
ABRIL	331	'Madurez baja'	'Madurez muy alta'	'Madurez media'	5
MAYO	331	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez alta'	6
JUNIO	331	'Madurez baja'	'Madurez alta'	'Madurez alta'	5
JULIO	331	'Madurez media'	'Madurez alta'	'Madurez alta'	6
AGOSTO	331	'Madurez media'	'Madurez muy alta'	'Madurez alta'	7
SEPTIEMBRE	338	'Madurez baja'	'Madurez muy alta'	'Madurez baja'	4

Currículum vitae

Nombre: **Alejandro García Tuero**

DNI: 10897100 - E

Lugar de nacimiento: Gijón

Fecha de nacimiento: 13 de Mayo de 1979

Domicilio: C/ Manso nº7 5ªDcha

33203 – Gijón – Asturias

Teléfono de contacto: **625 476199 / 984 248636**

Correo electrónico: agtuero10@gmail.com



Formación académica

Máster en Investigación en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control Industrial:

Universidad Nacional de Educación a Distancia (Madrid, 2016)

Ingeniero Técnico Industrial Mecánico: Universidad de Oviedo (Gijón, 2004)

BEng (Hons) in Aeronautical and Mechanical Engineering: University of Wales – Glyndwr

University (Wrexham, Reino Unido, 2003)

Experiencia laboral

Investigación Grupo DMMS: Ene 2015 – Actualidad F.U.O. – Universidad de Oviedo

- Proyectos conducción eficiente
 - DGT SPIP2014-1277
 - SPIP2015-01686
 - MINECO-13-TIN2013-41749
 - H2020-SMEINST-2-2016-2017
 - MINECO-17- TIN2017-82928-R
- Diseño, optimización y aplicación de patrones de conducción eficiente.
- Redacción de artículos relacionados con el proyecto.

Asesor externo para conducción eficiente: Oct – Dic 2014 F.U.O. – ADN Mobile Solutions S.L.

- Análisis de datos de métricas vehículo.
- Realización de informes para cliente.
- Interpretación de resultados

Encargado de mantenimiento: Sept 2010 - Mar 2013 Nestlé Iberia S.A. (fábrica de Litoral, en Gijón).

- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Coordinación de personal externo e interno.
- Proyectos de instalación de nuevas máquinas y líneas de producción.
- Mejora Continua, Lean Manufacturing (estandarización de procesos, indicadores, resolución de problemas...)
- Aseguramiento de las condiciones de seguridad en fábrica.

Técnico comercial: Ene 2008 - Nov 2009 en *García de la Viña S.L.*

- Rodamientos, transmisiones cardan, cilindros de laminación
- Presupuestos y ofertas.
- Análisis con ultrasonidos.

Analista prestaciones: Oct 2005 – Dic 2007 Renault España.

- Análisis de prestaciones acústicas cliente y climatización.
- Puesta a punto acústica de vehículos serie y prototipos.

- Análisis de la competencia y gestión de vehículos para ensayos.

Técnico de seguridad: May 2005 – Sept 2005 SODES S.A.

- Responsable de PRL en obras de montaje industrial.
- Cierre de obra en ausencia del jefe de obra.
- Interpretación y medición de planos isométricos (tubería).
- Mediación (traducción) entre SODES e ingeniería sueca Kvaerner.

Formación complementaria

Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales (850 horas): Centro de Estudios Arsenio Toral (Gijón, 2005).

Técnico en Gestión Medioambiental (100 horas): Centro de Estudios Arsenio Toral – SGS (Gijón, 2005).

Publicaciones

Víctor Corcoba Magaña, Xabiel García Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, Roberto García, David Melendi, Abel Rionda. 2018. 'A method for making a fair evaluation of driving styles in different scenarios with recommendations for their improvement'. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. IEEE.

Pozueco, L., **Alejandro G. Tuero**, A. G. Pañeda, X. G. Pañeda, D. Melendi, R. García, G. Díaz Orueta, and A. Rionda. 2018. 'Analytic System to Evaluate Efficient Driving Programs in Professional Fleets'. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2840344>.

García, Roberto, Gabriel Díaz, Xabiel G. Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, David Melendi, José A. Sánchez, Víctor Corcoba, y Alejandro G. Pañeda. 2017. «Impact of Efficient Driving in Professional Bus Fleets». *Energies* 10 (12): 2060. <https://doi.org/10.3390/en10122060>.

Pozueco, Laura, José Antonio Sánchez, **Alejandro G. Tuero**, David Melendi, Roberto García Fernández, Xabiel G. Pañeda, Noemí Asenjo, et al. 2017. «Desarrollo de un laboratorio abierto de enjambres de robots autónomos de limpieza». En *XIII Jornadas de Ingeniería telemática (JITEL 2017)*. Libro de actas, 356-62. Valencia: Universitat Politècnica València. <https://doi.org/10.4995/JITEL2017.2017.6579>.

García, Roberto, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, Xabiel G. Pañeda, Víctor Corcoba, José A. Sánchez, David Melendi, y Abel Rionda. 2017. «Optimización de rutas para mejora de la eficiencia en la conducción». En *XIII Jornadas de Ingeniería telemática (JITEL 2017)*. Libro de actas, 124-31. Valencia: Universitat Politècnica València. <https://doi.org/10.4995/JITEL2017.2017.6554>.

Pozueco, Laura, Abel Rionda, Alejandro G. Pañeda, José A. Sánchez, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, y **Alejandro G. Tuero**. 2017. «Impact of on-board tutoring systems to improve driving efficiency of non-professional drivers». *IET Intelligent Transport Systems*, January. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2016.0079>.

Pozueco, Laura, Xabiel G. Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, Gabriel Díaz, Roberto García, David Melendi, Alejandro G. Pañeda, y José A. Sánchez. 2017. «A Methodology to Evaluate Driving Efficiency for Professional Drivers Based on a Maturity Model». *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 85 (December): 148-67. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.017>.

Tuero, Alejandro G., Laura Pozueco, Roberto García, Gabriel Díaz, Xabiel G. Pañeda, David Melendi, Abel Rionda, y David Martínez. 2017. «Economic Impact of the Use of Inertia in an Urban Bus Company». *Energies* 10 (7): 1029. <https://doi.org/10.3390/en10071029>.

Pañeda, Xabiel G., Roberto García, Gabriel Díaz, **Alejandro G. Tuero**, Laura Pozueco, María Mitre, David Melendi, y Alejandro G. Pañeda. 2016. «Formal Characterization of an

- Efficient Driving Evaluation Process for Companies of the Transport Sector». *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 94 (December): 431-45. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.004>.
- José A. Sánchez, Laura Pozueco, Xabiel G. Pañeda, **Alejandro G. Tuero**, David Melendi and Roberto García. 'Incorporación de Dispositivos Head-Up Display En Entornos Vehiculares Reales Para La Mejora de La Eficiencia En La Conducción'. En INTERACCIÓN 2016, Salamanca, España. pp. 121 - 128. ISBN 978-84-9012-629-5
- Pañeda, A. G., L. Pozueco, D. Melendi, X. G. Pañeda, R. García, **Alejandro G. Tuero**, A. Rionda, G. Díaz Orueta, and J. L. Arciniegas. 2016. 'An Architecture for a Learning Analytics System Applied to Efficient Driving'. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje* 11 (3): 137-45. doi:10.1109/RITA.2016.2589480
- Tuero, Alejandro G.**, Laura Pozueco, Alejandro G. Pañeda, Xabiel G. Pañeda, Roberto García, David Melendi, Gabriel Díaz, Abel Rionda, y María Mitre. 2015. «Evaluación de trabajadores mediante patrones de comportamiento en el campo de la conducción eficiente». En *Atas do XVII Simpósio Internacional de Informática Educativa, SIIE'15*, 61-68. Setúbal, Portugal: Instituto Politécnico de Setúbal.
- Pozueco, L., **Alejandro G. Tuero**, X.G. Pañeda, D. Melendi, R. Garcia, A.G. Pañeda, A. Rionda, G. Diaz, y M. Mitre. 2015. «Adaptive learning for efficient driving in urban public transport». En *2015 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, 1-5. doi:10.1109/CITS.2015.7297724.
- Pañeda, A. G., L. Pozueco, D Melendi, X. G. Pañeda, R. García, **Alejandro G. Tuero**, A. Rionda, G. Díaz, y J. L. Arciniegas. 2015. «Una Arquitectura para un Sistema de Evaluación del Aprendizaje Aplicado a la Conducción Eficiente». *VAEP - Rita* 3 (4): 187-96.
- Pañeda, A. G., L. Pozueco, D. Melendi, X. G. Pañeda, R. García, **Alejandro G. Tuero**, A. Rionda, G. Díaz, and J. L. Arciniegas. 2015. 'On the Deployment of Big Data Systems: An Experience in the Context of a Learning Analytics System Applied to Efficient Driving'. <http://www.researchandinnovationbook.com/PROCEEDINGS/CITA2015/Archives/papers/paper34.pdf>.

Propiedad intelectual

VAT-ED: Visual Analytic Tool for Evaluation of Drivers. Nº de registro 08/2017/182 en el registro territorial de la propiedad intelectual del Principado de Asturias