

Informe del estado del arte sobre el factor humano en la conducción

Autores:

*F. Toledo-Castillo, S. Hidalgo-Fuentes
Grupo INFORSE - Universidad de Valencia*



LA COLECCIÓN “CUADERNOS TECNOLÓGICOS DE LA PTC”

La Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC) es el foro de encuentro apoyado por el Ministerio de Economía y Competitividad para todos los agentes del sistema ciencia-tecnología-empresa con un papel relevante en el fomento del empleo, la competitividad y el crecimiento en el sector de las infraestructuras viarias en España.

Desde su presentación en sociedad en febrero de 2010, la PTC trabaja como una plataforma transversal que fomenta el intercambio fluido de información y las discusiones a nivel tecnológico entre los agentes privados y públicos del sector, con el objeto de contribuir a que España se convierta en el referente mundial en materia de tecnologías asociadas a la carretera.

La colección de publicaciones “Cuadernos Tecnológicos de la PTC” surge de los convenios de colaboración que la Plataforma mantiene con un importante número de instituciones académicas activas en la I+D+i en materia de infraestructuras viarias. Cada Cuaderno se incardina dentro de alguna o varias de las temáticas y sub-temáticas de la vigente Agenda Estratégica de Investigación de la Carretera en España (2011-2025).

Colección de Cuadernos Tecnológicos de la PTC

Año 2013

- 01/2013: Técnicas avanzadas de fusión de información de fuentes heterogéneas para la extracción de información de movilidad en carreteras*
- 02/2013: Software para la explotación de datos LiDAR en carreteras*
- 03/2013: Desarrollo de una metodología de análisis del coste de ciclo de vida*
- 04/2013: Carga tarifaria y fiscal del transporte por carretera: un análisis comparado entre E.E.U.U. y Europa*
- 05/2013: Captación de energía en carretera: colectores solares asfálticos*
- 06/2013: Nuevo proceso de diseño geométrico para unas carreteras convencionales más seguras*
- 07/2013: Informe del estado del arte sobre el factor humano en la conducción*
- 08/2013: Optimización del uso de las carreteras existentes*
- 09/2013: Diseño de estación de carga para vehículos eléctricos mediante energías renovables*

Año 2012

- 01/2012: Análisis del Megatruck en España*
- 02/2012: Conceptualización del transporte sostenible desde el comportamiento prosocial*
- 03/2012: Consideraciones para la modificación de los límites de la velocidad en base a la accidentalidad*
- 04/2012: Extrapolación de materiales viarios*
- 05/2012: Gestión de la mejora de la movilidad*
- 06/2012: Influencia de la meteorología adversa sobre las condiciones operacionales del tráfico y recomendaciones para la localización de sensores de variables atmosféricas*
- 07/2012: Membranas flexibles ancladas al terreno para la estabilización de taludes en carreteras*
- 08/2012: Priorización de actuaciones sobre accidentes de tráfico mediante reglas de decisión*
- 09/2012: Sistemas lidar móvil para el inventario geométrico de carreteras*

Año 2011

01/2011: *Sistemas de adquisición de información de tráfico: estado actual y futuro*

02/2011: *Firmes Permeables*

03/2011: *Sistema fotogramétrico para la medición remota de estructuras en programas de inspección de puentes*

04/2011: *Pago por uso de las infraestructuras viarias: Estudio de los accesos a Madrid*

05/2011: *Sistema eCall: Situación actual y estándares*

06/2011: *La velocidad de operación y su aplicación en el análisis de la consistencia de carreteras para la mejora de la seguridad vial*

07/2011: *Desarrollo de una metodología de análisis de ciclo de vida integral específica para carreteras*

08/2011: *Control pasivo de velocidad: intervención en tramos de acceso a entornos urbanos*



Cuaderno Tecnológico de la PTC Nº 07/2013

Informe del estado del arte sobre el factor humano en la conducción

Autores:

*F. Toledo-Castillo, S. Hidalgo-Fuentes
Grupo INFORSE - Universidad de Valencia*

Agenda Estratégica
de Investigación de la
Carretera en España
(2011-2025)

Temáticas:

Seguridad vial

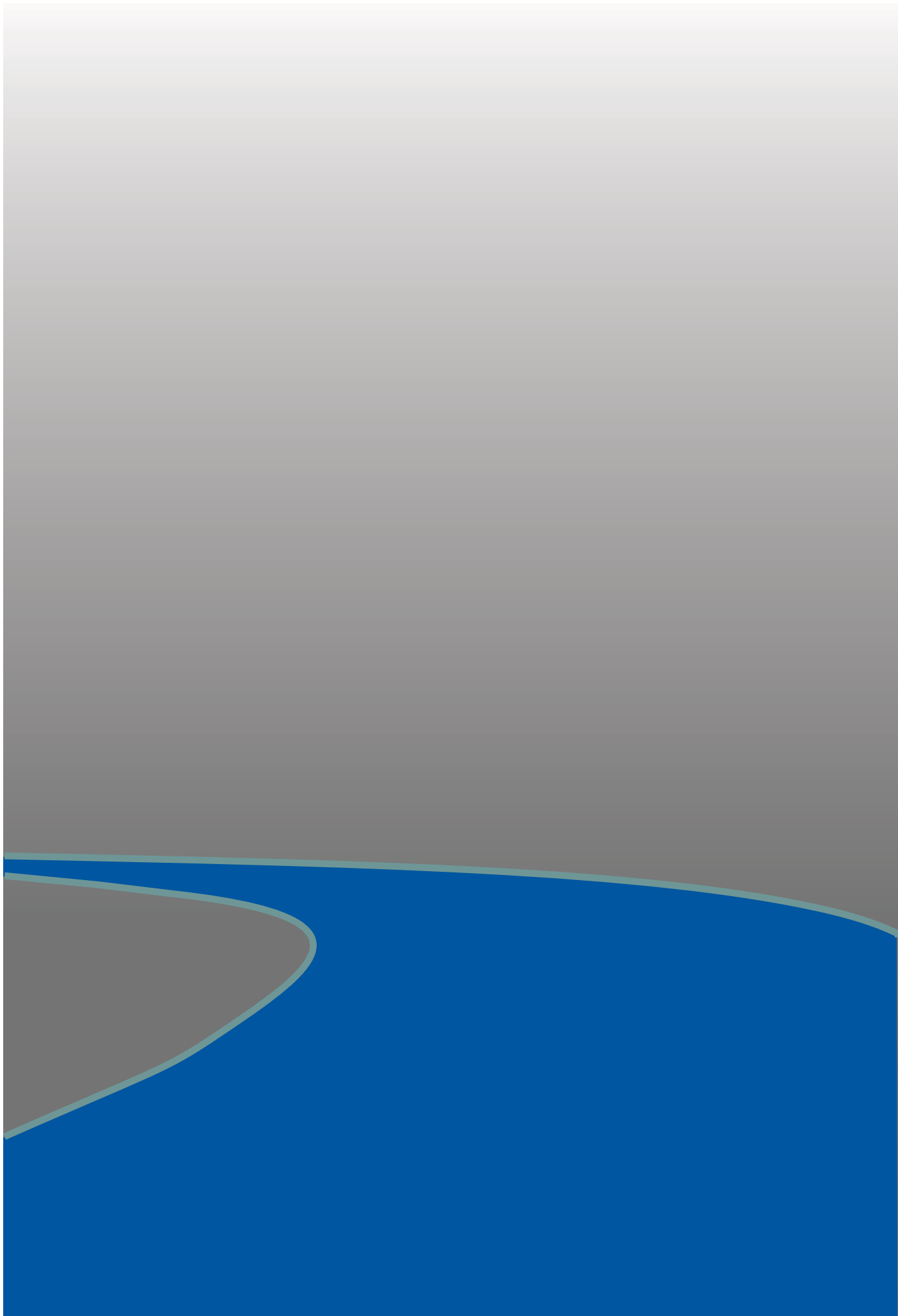
Sub-temáticas:

Actuaciones innovadoras en seguridad vial

En colaboración con:



1. Antecedentes.....	13
2. Introducción	17
3. Fatiga	21
3.1. Introducción	21
3.2. Medida de la fatiga	24
3.2.1. Cambios corporales.....	24
3.2.2. Cambios en el rendimiento.....	27
3.2.3. Sensaciones subjetivas	28
4. Distracciones	31
4.1. Introducción	31
4.2. Medida de la distracción e inatención	32
4.2.1. Cambios corporales.....	32
4.2.2. Cambios en el rendimiento	34
5. Referencias.....	37



1. Antecedentes

El presente cuaderno tecnológico recoge el informe sobre el estado del arte de los estudios publicados acerca de las investigaciones realizadas con el objeto de reducir la siniestralidad en las carreteras enfocados en el factor humano, más concretamente en el estado del conductor.

Esta recopilación y actualización del estado del arte forma parte de las tareas englobadas en el proyecto de investigación “safeRoute”, “Sistema de Información sobre la seguridad en la conducción profesional por carretera”.

Este proyecto de I+D+i fue presentado por el consorcio formado por FAGOR ELECTRÓNICA, LA SEU 3 y el grupo de investigación INFORSE perteneciente a la UNIVERSIDAD DE VALENCIA. El proyecto fue aprobado por el Ministerio de Economía y Competitividad dentro de las ayudas contempladas para la investigación en el subprograma INNFACTO.

Mediante este tipo de convocatorias, el Ministerio apuesta por la capacidad innovadora del tejido empresarial español como un mecanismo para conseguir competir internacionalmente. De esta forma, se fomenta las inversiones privadas para el desarrollo tecnológico e industrial, y por ende se potencia la capacidad de competitividad de las empresas.

De esta forma, y mediante esta convocatoria, se da la oportunidad de que empresas y agentes de I+D unan sus recursos para la ejecución de proyectos de innovación que tengan asimismo proyección internacional. Así, el subprograma INNFACTO fomenta la creación de proyectos de investigación con cooperación público-privada que generen productos finales explotables.

El proyecto “safeRoute” pretende, por ello, desarrollar una herramienta de ayuda a la Seguridad Vial en un ámbito poco explotado comercialmente, como es la seguridad de los vehículos de transporte profesional, tanto de mercancías como de viajeros.

Para conseguir sus objetivos, el proyecto trabaja en tres líneas de investigación diferenciadas: la seguridad de los vehículos, la seguridad de las carreteras que utilizan, y

la seguridad con la que los conductores realizan su tarea, el comportamiento que tienen estos durante la conducción. Para la mejora de estos tres factores, el proyecto se basa en la facilitación de información a los actores implicados.

Gracias a la información tratada y suministrada de dichos tres factores que inciden en la ocurrencia de los accidentes de tráfico, se pretende conseguir una reducción importante de la siniestralidad profesional en el sector. “SafeRoute”, proporcionará pues a las empresas de transporte profesional, una herramienta que se traducirá en unos resultados de conducción segura y les permitirá así reducir sus costes derivados de dicha siniestralidad, logrando pues un servicio mejor y más fiable, y por tanto más competitivo.

De esta forma, el proyecto “safeRoute”, pretende ofrecer al mercado una herramienta de información sobre las rutas, el vehículo y el comportamiento del conductor.

Es en este último aspecto en el que se basa la presente publicación. Así, se ha realizado una búsqueda en las bases de datos especializadas y en documentación científica de cómo influyen los factores de riesgo (fatiga, distracciones,...) en el comportamiento del vehículo (posición del vehículo, variaciones en la velocidad, interacción con los mandos del vehículo,...) para actualizar la documentación científica publicada hasta la actualidad.

Así, el presente estudio recoge aquellas publicaciones realizadas sobre sistemas que tratan de reducir o eliminar el fallo humano en la conducción, tanto mediante la información del propio estado al conductor, como de sistemas que toman el control del vehículo en situaciones críticas.

El documento se centrará en dos bloques de publicaciones: aquellas que analizan y detectan estados de fatiga en el conductor, y aquellos que analizan y detectan las posibles distracciones que puedan sobrevenir al mismo.

Proyecto:

safeRoute

“Sistema de Información sobre la seguridad en la conducción profesional por carretera”





Unión Europea

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa



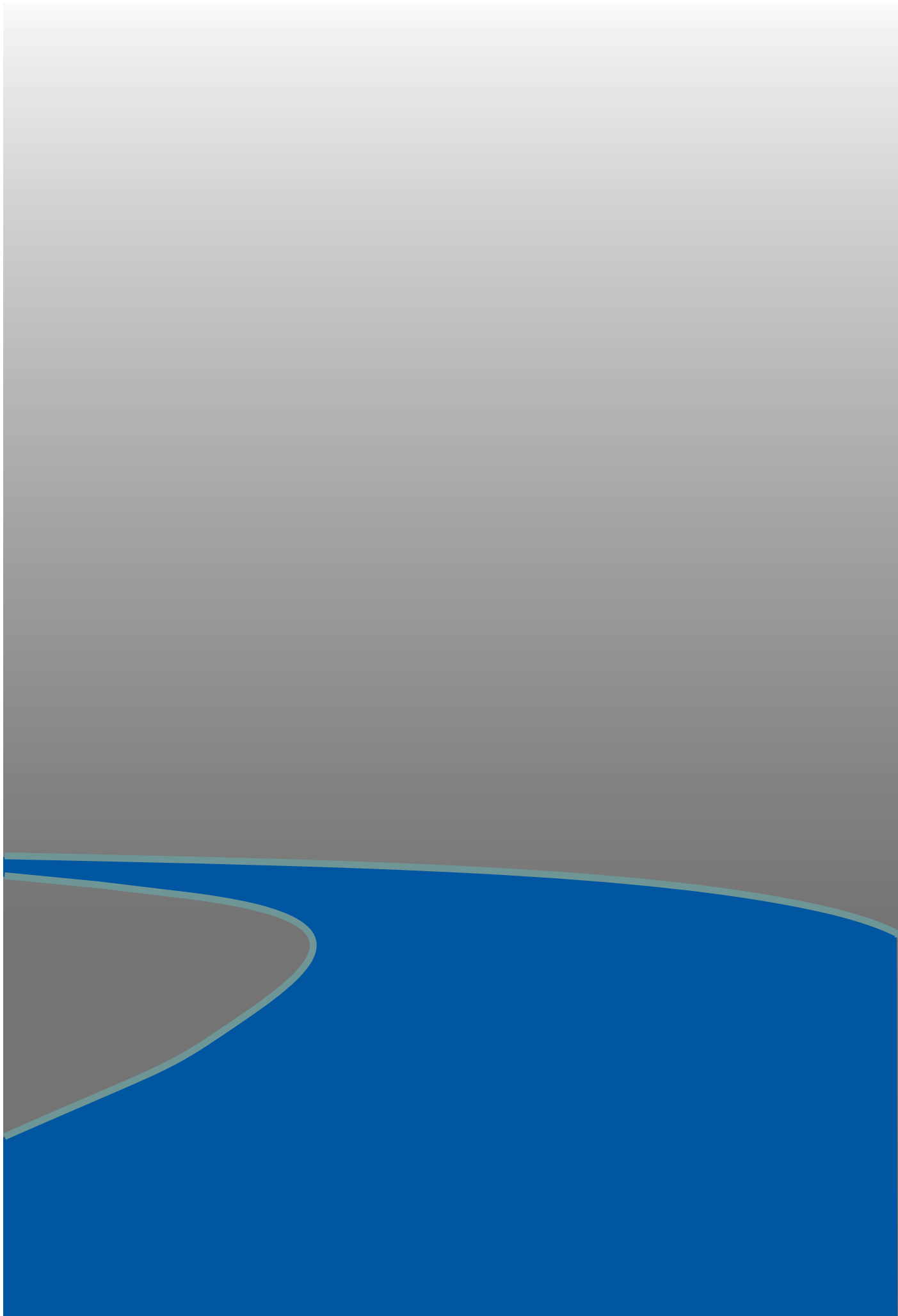
CENTRO DE FORMACIÓN DEL TRANSPORTE

LaSeu3



VNIVERSITAT
ID VALÈNCIA





2. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), en su Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2013, afirma que cada año mueren en las carreteras 1,24 millones de personas, lo que sitúa a los accidentes de tráfico como la octava causa de mortalidad a nivel mundial y la primera entre los jóvenes de entre 15 y 29 años. Pero todavía es más grave que, en caso de continuar esta tendencia, los accidentes de circulación se convertirán en la quinta causa de muerte en el mundo en el año 2030.

Muchos son los factores que intervienen en la causación de los accidentes de tráfico: el estado del vehículo, la conservación de las carreteras, las condiciones climatológicas, etc. pero la mayoría de estudios vienen a coincidir en que, sin duda, el factor más importante que interviene en este fenómeno es el factor humano, estimándose que el error humano contribuye hasta en un 75% de los accidentes de tráfico (Hankey, Wierwille, Cannell, Kieliszewski, Medina, Dingus & Cooper, 1999, citados en Medina, Lee, Wierwille & Hanowski, 2004). En un amplio estudio realizado por la Universidad de Indiana (Treat, Tumbas, McDonald, Shinar & Hume, 1979) en el que se analizaron un total de 2.258 accidentes se llegó a la conclusión de que el 92,6% de accidentes investigados tuvieron como causa probable el factor humano, por un 33,8% de accidentes provocados probablemente por causas ambientales y un 12,6% de accidentes que tenían como causa probable algún tipo de factor relativo al vehículo.

No es de extrañar, pues, que muchas de las medidas estudiadas con el objetivo de reducir los altos índices de siniestralidad dentro de la conducción por carretera hayan estado enfocadas al factor humano y, en concreto, al estado del conductor. Una de las áreas de investigación que más se ha desarrollado en las últimas décadas es el diseño y la implementación de los sistemas avanzados de asistencia al conductor (conocidos como ADAS del inglés “Advanced Driver Assistance Systems”).

Aunque, como se puede ver en la Figura 1, este tipo de sistemas pueden llevar a cabo una gran variedad de funciones, uno de sus principales objetivos es mejorar la seguridad en la conducción y reducir las probabilidades de sufrir o provocar un accidente. Estos sistemas tratan de reducir o eliminar el error humano en la conducción que, como hemos

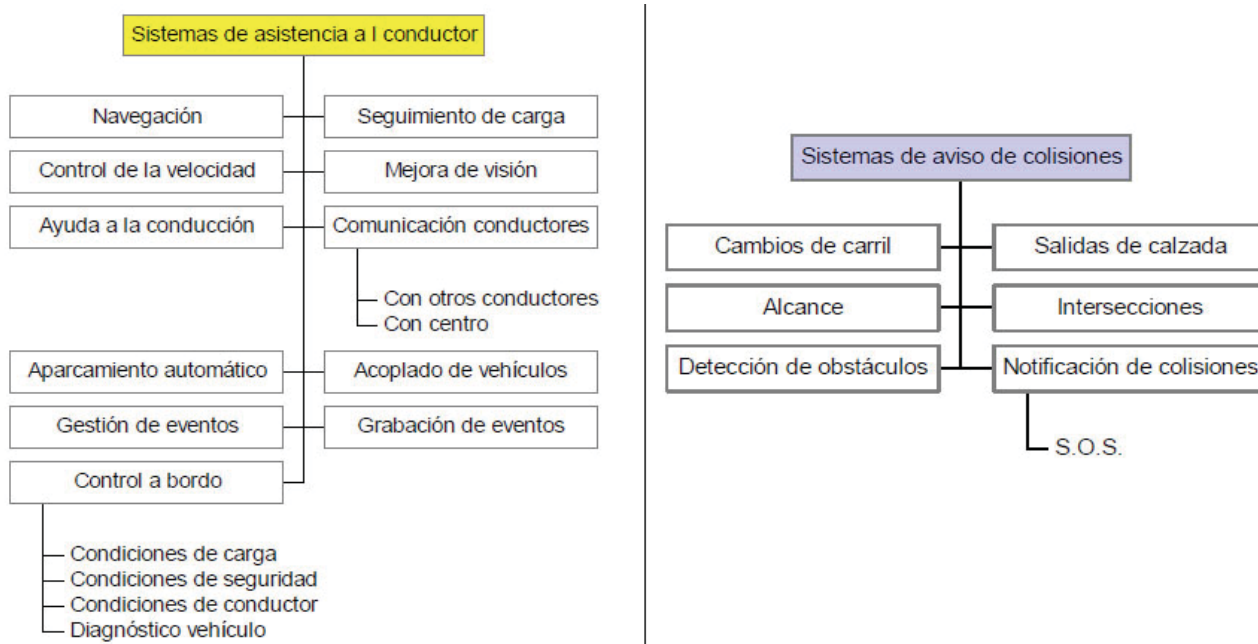


Figura 1. Sistemas de asistencia al conductor (Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2003)

visto anteriormente es la principal causa de accidentalidad, “facilitando el desempeño de la tarea de los conductores mediante consejos, instrucciones y avisos en tiempo real” (Brookhuis, de Ward & Janssen, 2001, p.248). La actuación de estos sistemas de asistencia varía desde la simple presentación de algún tipo de información al conductor hasta incluso tomar el control del vehículo en situaciones de emergencia.

Los sistemas avanzados de asistencia al conductor pueden ser clasificados en las siguientes categorías (Jamson, Batley, Portouli, Papakostopoulos, Tapani, Lundgren, Huang, Hollnagel & Janssen, 2006):

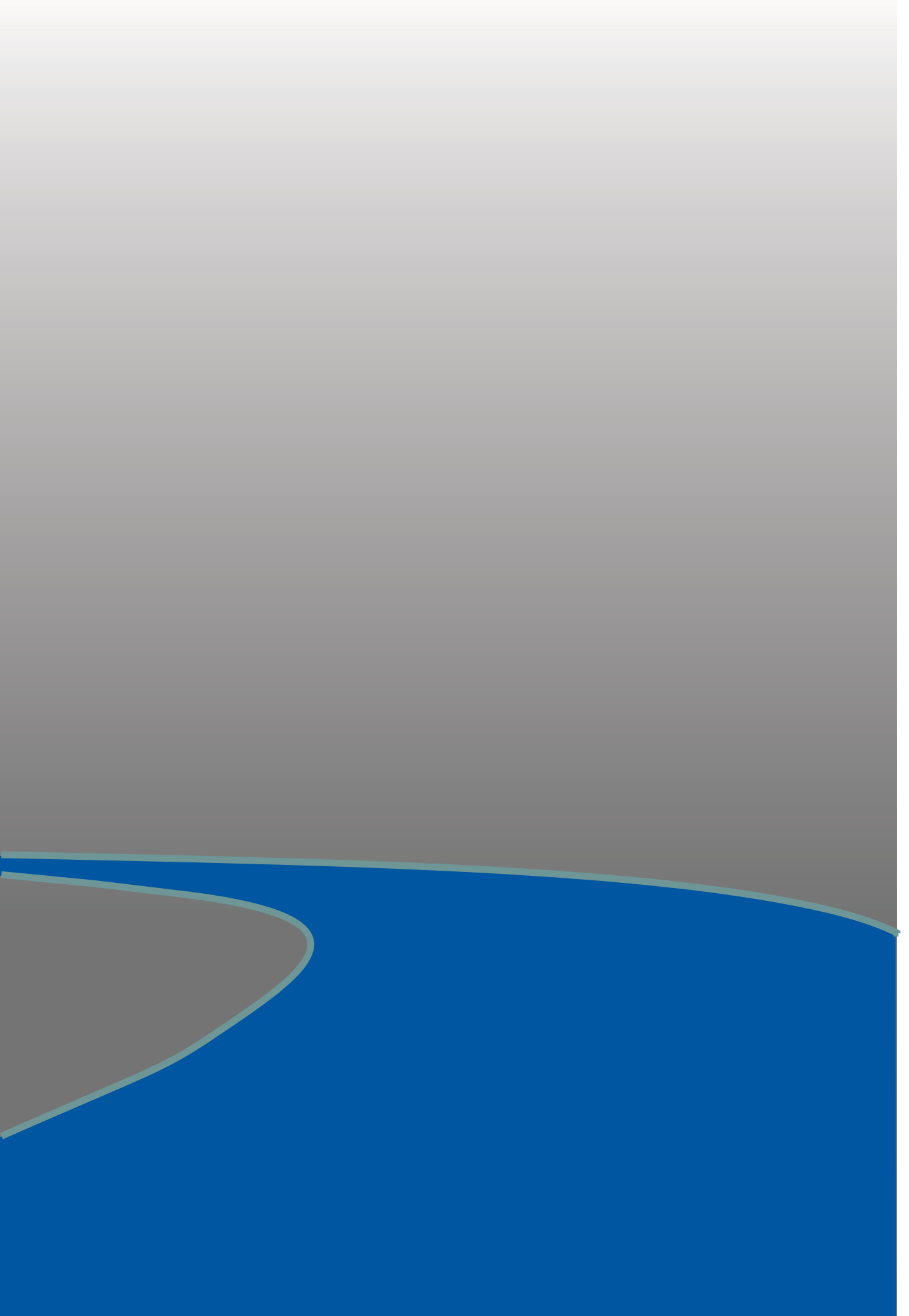
- Control lateral: en esta categoría se encontrarían los sistemas de alerta de cambio involuntario de carril o los sistemas de mantenimiento en el carril.
- Control longitudinal: en esta categoría estarían incluidos los sistemas de adaptación inteligente de la velocidad (ISA del inglés “Intelligent Speed Adaptation”), el control de crucero adaptativo (ACC del inglés “Adaptive Cruise Control”) y los sistemas de evitación de colisiones (CAS del inglés “Collision Avoidance Systems”).
- Ayuda al aparcamiento/marcha atrás: sistemas que detectan obstáculos cuando se circula a baja velocidad.

- Mejora de la visión: sistemas que ayudan a los conductores en situaciones de baja visibilidad, como en el caso de la conducción nocturna.
- Supervisión del conductor: aquellos sistemas que monitorizan el estado del conductor y le avisan cuando sus capacidades no son las adecuadas para realizar una conducción segura.
- Sistemas precolisión: se activan cuando detectan un riesgo de accidente inminente preparando diversos sistemas de seguridad (cinturones, reposacabezas, etc.) para proteger a los ocupantes.
- Aviso del estado de la carretera/bajo rozamiento: sistemas que avisan al conductor en caso de que la carreteras por la que está circulando se encuentre en mal estado.

En lo referente a los sistemas de supervisión del estado del conductor, estos se encargan de monitorizar diferentes parámetros tanto del propio conductor (ritmo cardíaco, movimientos oculares, posición de la cabeza, ondas cerebrales, etc.) como de la dinámica del vehículo (ángulo del volante, aceleración lateral, aceleración longitudinal, velocidad, etc.) con el objetivo de identificar diversos estados alterados que pueden suponer una disminución de la eficacia en el manejo del vehículo y, por lo tanto, un aumento del riesgo.

La mayor parte de estos sistemas de supervisión y monitorización del estado del conductor han sido enfocados hacia la detección de la inatención, bien provocada por la fatiga, bien por algún tipo de distracción. De forma más minoritaria también se han desarrollado dispositivos o técnicas para intentar detectar otros factores humanos de riesgo en el tráfico como el estrés, enfermedades o la conducción bajo los efectos del alcohol o las drogas.

A pesar de que estos sistemas de supervisión del estado del conductor vienen siendo desarrollados desde hace más de 20 años, su implantación a nivel comercial todavía no se encuentra demasiado extendida, debido a factores como la falta de aceptación por parte de los usuarios, el aumento de la carga mental que puede suponer su implementación en los vehículos o el aumento de las conductas de riesgo por parte de los conductores al sentirse más protegidos, entre otros.



3.1. Introducción

La fatiga al volante es una de las causas más importantes de siniestralidad vial. El primer problema al que hay que hacer frente a la hora de estudiar este fenómeno es el de su propia definición y su relación con la somnolencia (Lloret, Toledo & Sospedra, 2012). Algunos autores consideran que la somnolencia es una de las formas que puede tomar la fatiga, al mismo nivel que la fatiga mental, física o muscular, dependiendo de sus causas (Williamson, Lombardi, Folkard & Stutts, 2011). Para estos mismos autores, la fatiga podría ser definida como un “impulso biológico para un descanso reparador”, este descanso podría conllevar un periodo de sueño o no, dependiendo de la causa que la provoque (Figura 2).

La fatiga durante la conducción puede estar relacionada con el sueño o con las propias características de la tarea. La privación de horas de sueño, un exceso en la duración del periodo de vigilia y la hora del día afectan a la fatiga relacionada con el sueño; mientras que ciertas características de la conducción como las exigencias de la tarea y su duración pueden provocar fatiga incluso en ausencia de sueño (May & Baldwin, 2009).

Diversos estudios señalan que al menos un 20% de los accidentes de tráfico están provocados por la fatiga (Garbarino, Nobili, Beelke, De Carli & Ferrillo, 2001; Philip, Vervialle, Breton, Taillard & Horne, 2001; Awake Consortium, 2011) aunque algunos autores apuntan que esta cifra es demasiado prudente y el porcentaje sería mucho mayor, ya que en muchos casos no es posible llegar a determinar de manera concluyente que la fatiga ha sido la causa de un accidente, y solo se clasifican bajo este factor de riesgo mediante el descarte de otras posibilidades. Así, por ejemplo, Horne y Reyner (1995), después de realizar un estudio de accidentes en el Reino Unido, propusieron la siguiente serie de condiciones bajo las cuales un accidente podría ser clasificado como debido a la somnolencia:

1. Buen tiempo y visibilidad clara.
2. Niveles de alcohol por debajo del límite legal.

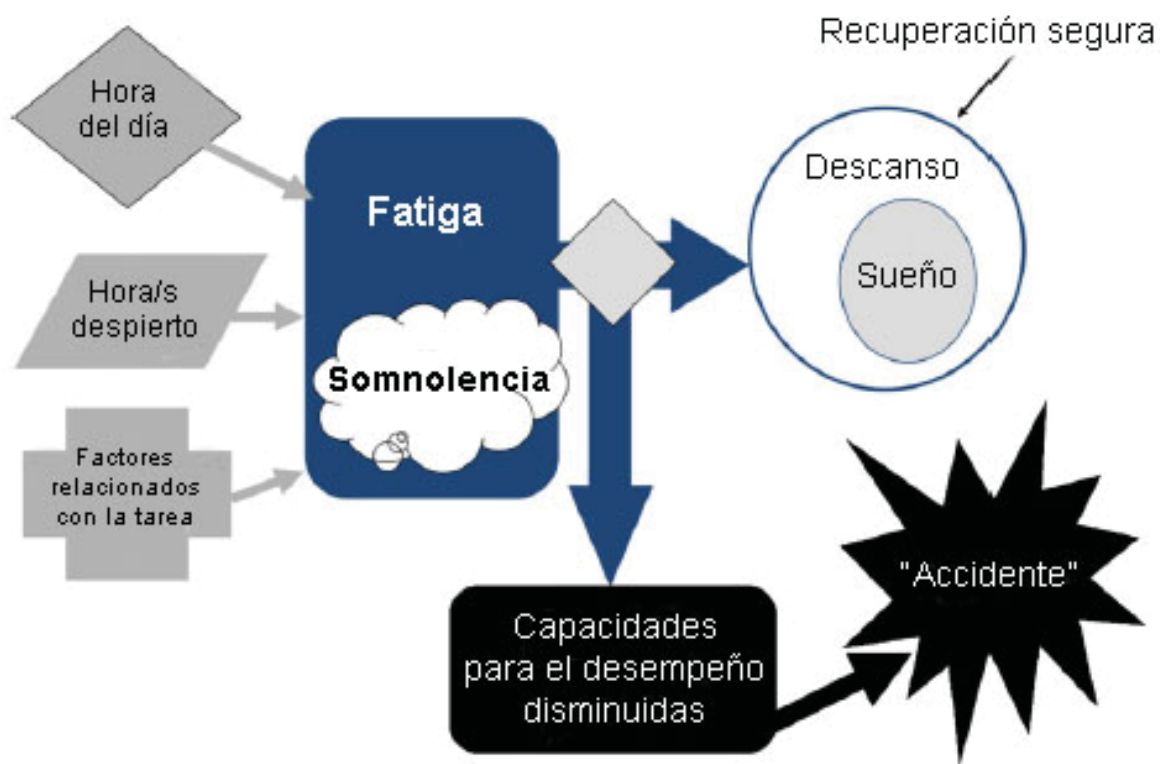


Figura 2. Marco para examinar la relación entre fatiga y seguridad (Adaptada de Williamson et al., 2011)

3. El vehículo no tenía defectos mecánicos.
4. Se descarta el exceso de velocidad y el no respetar la distancia de seguridad como causa del accidente.
5. El conductor no tenía ningún problema médico conocido que hubiera podido causar el accidente.
6. El vehículo se salió de la calzada, chocó con otro vehículo que era claramente visible varios segundos antes, es decir, el accidente fue claramente evitable e implicó una prolongada inatención.
7. No hay signos de frenado o de viraje brusco para intentar evitar el accidente.
8. La policía presente en la escena del accidente sospecha que ha sido producido por somnolencia.

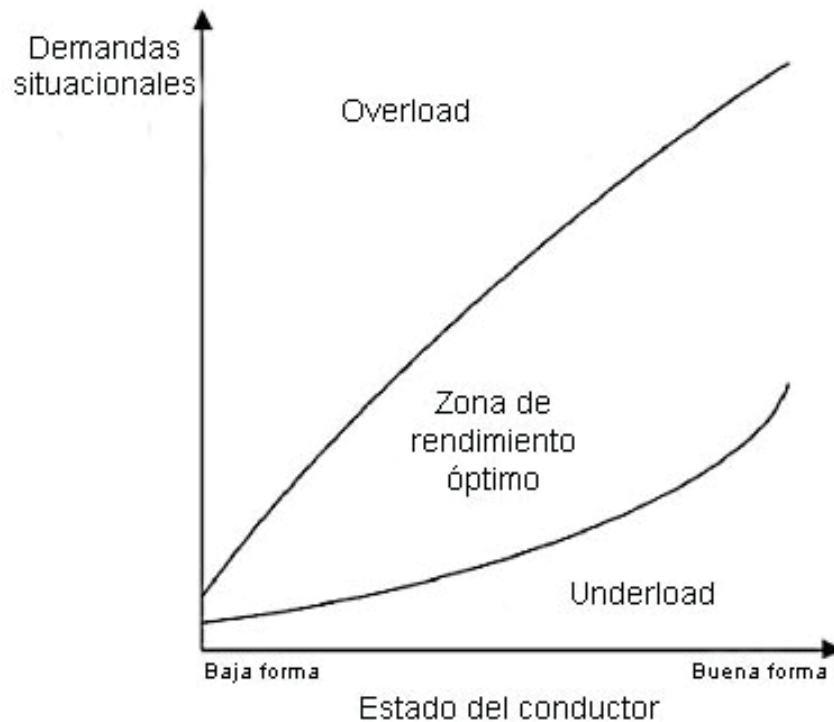


Figura 3. Relación entre el estado del conductor, las demandas situacionales y el rendimiento del conductor (Adaptada de Shinar, 2007)

El riesgo de sufrir este tipo de accidentes aumenta durante la conducción nocturna (Akerstedt, Kecklund & Hörte, 2001; Connor, Norton, Ameratunga, Robinson, Civil, Dunn, Bailey & Jackson, 2002), después de reducir horas de sueño (Connor et al., 2002) y conforme aumenta el tiempo de conducción (Hamblin, 1987). La prevalencia de este tipo de accidentes es mayor en autopistas y entre los conductores profesionales (Philip et al., 2001). En el caso de las autopistas, la conducción suele ser monótona lo que implica que el nivel de activación del conductor decaiga, mientras que en lo referente a los conductores profesionales, uno de los principales factores sería la combinación de conducción con privación de sueño (Mitler, Miller, Lipsitz, Walsh & Wylie, 1997), lo que puede ser debido en algunos casos a recompensas económicas (Arnold, Hartley, Corry, Hockstadt, Penna & Feyer, 1997).

Sin embargo, la fatiga no solo puede aparecer en casos de conducción monótona. Algunos autores apoyan la teoría de la fatiga activa y pasiva (Saxby, Matthews, Hitchcock & Warm, 2007). La fatiga activa sería aquella provocada cuando las demandas de la conducción exigen un alto nivel de activación en el conductor (“overload”), mientras que la fatiga pasiva sería la relacionada con una conducción más monótona y repetitiva (“underload”) (Figura 3).

Además, los accidentes relacionados con la fatiga suelen estar entre los que tienen unas consecuencias más graves (en muchos casos, mortales) debido a que, en muchos de ellos, el conductor no lleva a cabo una maniobra evasiva o frena antes del impacto al haberse quedado dormido (Pack, Pack, Rodgman, Cucchiara, Dinges & Schwab, 1995)

3.2. Medida de la fatiga

La medición de la fatiga presenta como principal dificultad que no existen medidas directas y, por tanto, hay que hacer una valoración a través de sus síntomas (Wang, Wang, Zhao & Yang, 2011), lo que resulta complicado en situaciones reales de conducción.

La fatiga tiene tres dimensiones (Shinar, 2007):

- Cambios corporales
- Cambios en el rendimiento
- Sensaciones subjetivas

A través de cualquiera de estas tres dimensiones es posible encontrar indicadores que sirvan para predecir un estado de fatiga en el conductor.

3.2.1. Cambios corporales

La aparición de la fatiga causa toda una serie de cambios, tanto visibles como a nivel interno, en el organismo del conductor.

Una de las medidas de la fatiga más estudiadas en la literatura científica es a través de los datos obtenidos en una electroencefalografía (EEG). Esta medida está considerada como uno de los más fiables indicadores de somnolencia dentro de las medidas fisiológicas, tanto fuera del contexto del tráfico como dentro del mismo.

“La electroencefalografía es una técnica de exploración funcional del sistema nervioso central (SNC) mediante la cual se obtiene el registro de la actividad eléctrica cerebral en tiempo real” (Ramos-Argüelles, Morales, Egozcue, Pabón & Alonso, 2009). La EEG presenta cuatro rangos de frecuencias que pueden servir para la detección de la fatiga (Andreassi, 2000):

- Ondas Delta δ (0.5-4 Hz.): aparecen durante la fase más profunda de sueño o en tumores cerebrales. Muy raras en una condición de vigilia.
- Ondas Theta θ (5-7 Hz.): ocurren en las primeras fases del sueño y cuando se está ocupado en una tarea cognitiva.
- Ondas Alpha α (8-12 Hz.): son características de un estado relajado de vigilia. Son un primer indicador de la somnolencia. Desaparecen cuando una persona es asignada repentinamente con una tarea cognitiva. Aproximadamente el 10% de la población no presenta ondas Alpha en ninguna situación.
- Ondas Beta β (13-25 Hz.): son comunes en condiciones de alerta, cuando se está llevando a cabo una tarea cognitiva o física.

Numerosos investigadores han realizado estudios basados en el análisis del EEG con el objetivo de predecir la aparición de la fatiga en los conductores. En un estudio en los que 52 sujetos fueron sometidos a una sesión de conducción monótona, se obtuvo como resultado que las ondas Delta y Theta permanecieron estables, un ligero decremento de la actividad de las ondas Alpha y una disminución significativa de la actividad de las ondas Beta (Jap, Lal, Fischer & Bekiaris, 2009). La actividad del EEG en las ondas Alpha y Theta se incrementa de manera continua conforme aumenta el tiempo de conducción (Otmani, Pebayle, Roge & Muzet, 2005). Otros autores han propuesto distintos algoritmos que pueden servir para detectar la fatiga como $(\theta+\alpha)/\beta$ y $\beta(19)$ o $(\theta+\beta)$ y θ/β (Eoh, Chung & Kim, 2005). Otros autores se han centrado en determinadas estructuras específicas de las ondas Alpha conocidas como spindles, demostrando que son un buen indicador de la fatiga (Simon, Schmidt, Kincses, Fritzsche, Bruns, Aufmuth & Schrauf, 2011).

A pesar de ser considerada como una de las medidas más fiables de fatiga, la medición a través de EEG presenta el problema de tener que usar técnicas intrusivas inaplicables en la conducción real por la molestia que pueden causar al conductor y que, además, sus resultados pueden verse alterados por los movimientos del cuerpo.

Otras variables fisiológicas estudiadas desde hace tiempo en relación con la detección de la fatiga son las obtenidas a través del electrocardiograma (ECG), especialmente la frecuencia cardiaca (FC) y la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC). La FC es la cantidad de latidos de corazón durante un tiempo determinado, mientras que la VFC es la variación de la frecuencia de los latidos del corazón durante un intervalo de tiempo determinado.

La FC disminuye durante una prolongada conducción nocturna (Riemersma, Sanders, Wildervanck & Gaillard, 1977) y cuando el conductor se encuentra fatigado (Lal & Craig, 2000). La VFC ha sido utilizada para medir la carga mental (Hancock & Verwey, 1997), un incremento en la VFC puede ser tomado como una indicación de la disminución en la carga mental, lo que puede ocurrir a conductores con somnolencia durante una prolongada conducción monótona (Horne & Reyner, 1995). Una menor carga mental podría estar relacionada con un menor nivel de vigilancia, lo que también afectaría negativamente a la conducción (Patel, Lal, Kavanagh & Rossiter, 2011). La VFC también ha sido relacionada directamente con la fatiga durante la conducción (Bušek, Vaňková, Opavský, Salinger & Nevšímalová, 2005). Un reciente estudio ha desarrollado un sistema de inteligencia artificial que puede detectar la aparición de la fatiga en los conductores a través del análisis de su VFC (Patel et al., 2011).

Aunque en un principio las medidas a través de ECG tienen el mismo inconveniente para aplicarlas en conducción real que las obtenidas a través de EEG (ser intrusivas y molestas para el conductor), ya que por lo general se toman mediante electrodos colocados sobre el cuerpo del sujeto, se han producido algunos intentos de desarrollar dispositivos capaces de recoger estos datos a distancia (Yu, 2011) o con sensores colocados en asientos o volantes (Giusti, Zocchi & Rovetta, 2009; Ramesh, Nair & Kunnath, 2011).

Probablemente, las medidas de cambios corporales con un mayor grado de aplicabilidad práctica en la detección de la fatiga durante la conducción sean aquellas obtenidas a través de sistemas de captura de video que analizan en tiempo real el comportamiento de ciertas partes del cuerpo del conductor como los ojos, la boca o la cabeza.

La asociación entre distintos parámetros oculares y la fatiga es una de las más estudiadas dentro de la literatura científica. La duración y la frecuencia de parpadeo se han mostrado como uno de los indicadores más fiables en la predicción de la fatiga. La frecuencia de parpadeo aumenta después de sufrir privación de sueño (Barbato, Ficca, Beatrice, Casiello, Muscettola & Rinaldi, 1995). También se ha comprobado como disminuyen los movimientos oculares y aumenta el ritmo del parpadeo durante la fatiga. El porcentaje de cierre de los párpados, conocido como PERCLOS (del inglés “Percentage of Eyelid Closure”), ha sido catalogado como una de las medidas más fiables en la detección de la fatiga (Sherry, 2000). El PERCLOS es definido como el porcentaje de tiempo en un periodo determinado en el que los ojos se encuentran cerrados al menos en un 80%. Otros parámetros relacionados con el comportamiento ocular estudiados son los movimientos sacádicos (Zils, Sprenger, Heide, Born & Gais, 2005) y la actividad de la pupila (Russo, Stetz & Thomas, 2005; Wilhelm, 2008). La velocidad de cierre y apertura de los ojos también

puede servir como indicador de la fatiga, ya que estos movimientos son controlados por los músculos cercanos a los ojos y un conductor fatigado podría abrir y cerrar los ojos más lentamente debido a que los músculos cansados o a un procesamiento cognitivo más lento (Ji, Lan & Looney, 2006; Johns, Tucker & Chapman, 2006).

A pesar de ser un método no intrusivo, la captura de la imagen facial a través de cámaras para obtener información relacionada con los ojos tiene como principal inconveniente que es un método muy sensible a la iluminación, tanto demasiada luz como demasiada poca puede provocar fallos en la captación de la imagen. Las gafas también son un inconveniente al uso de este tipo de dispositivos ya que pueden causar reflejos o incluso ser totalmente opacas, lo que impediría la monitorización de los movimientos oculares (Damousis & Tzouvaras, 2008; Ji, Zhu, & Lan, 2004). El grado de apertura de los párpados también varía de persona a persona, por lo que es probable que se den falsos positivos. Las medidas relacionadas con el parpadeo también son altamente variables tanto a nivel interpersonal como incluso intrapersonal (Damousis, Tzouvaras & Strintzis, 2009).

Además de los parámetros relacionados con los ojos, otros indicadores de fatiga observables se obtienen de la cabeza del conductor, así factores como el cabeceo o su inclinación pueden servir como predictores de que el conductor está fatigado o está empezando a estarlo (Anon, 1998). También hay estudios relacionados con la expresión facial (Vural, Cetin, Ercil, Littlewort, Bartlett & Movellan, 2007), y especialmente con la detección de bostezos (Fan, Yin & Sun, 2007). La inclinación del cuello y la distribución de la presión del cuerpo del conductor sobre el asiento también han sido estudiados como factores predictores de la somnolencia y del nivel de activación del conductor (Murata, Koriyama & Hayami, 2012).

3.2.2. Cambios en el rendimiento

Un aumento en la fatiga del conductor puede provocar cambios en la manera de conducir. Estos cambios en la dinámica del vehículo pueden ser utilizados como indicadores indirectos del nivel de fatiga del conductor.

Una amplia variedad de parámetros relacionados con la dinámica del vehículo y los movimientos del volante han sido propuestos para medir la fatiga durante la conducción. Entre los cambios que se han detectado en el comportamiento sobre el volante de los conductores fatigados se encuentran los siguientes: correcciones menos pequeñas y suaves, mayor movimiento de zigzag y lenta oscilación, mayor entropía (medida de

conducción aleatoria), movimientos erráticos mayores (por la incapacidad de anticiparse a cambios en la carretera), desviaciones laterales, correcciones mayores y más rápidas (van der Hulst, Meijman & Rothengatter, 2001; Paul, Boyle, Boer, Tippin & Rizzo, 2006).

La desviación estándar de la posición lateral ha sido señalada como el parámetro referido al vehículo más consistente en diversos estudios (De Valck & Cluydts, 2001; Ingre, ÅKERstedt, Peters, Anund & Kecklund, 2006). Otra medida importante basada en datos procedentes del vehículo es el movimiento del volante, siguiendo la hipótesis de que la frecuencia de este movimiento está relacionado con el grado de fatiga del conductor (Desai & Haque, 2006). Conforme aumenta el tiempo de conducción, los conductores realizan menos pequeñas correcciones (de 1 a 5 grados) y más grandes correcciones (de 6 a 10 grados) (Thiffault & Bergeron, 2003). Este resultado fue atribuido a la incapacidad de los conductores fatigados de detectar pequeñas desviaciones en el carril y, por tanto, tener que hacer movimientos más amplios para corregir desviaciones mayores. Una mayor variabilidad en la velocidad se ha relacionado también con la privación de horas de sueño (Arnedt, Wilde, Munt & MacLean, 2000). Otro punto relacionado ampliamente estudiado es el aumento del tiempo de reacción bajo condiciones de fatiga (Drummond, Paulus & Tapert, 2006; Swann, Yelland, Redman & Rajaratnam, 2006; Lim & Dingess, 2010), lo que puede provocar situaciones de riesgo con los vehículos precedentes.

Este método cuenta con la ventaja de ser barato y no intrusivo en relación a los vistos anteriormente. Sin embargo, también cuentan con serias limitaciones ya que estos parámetros se ven muy influidos por “el tipo de vehículo, la experiencia del conductor y las características geométricas y el estado de la carretera” (Ueno, Kaneda & Tsukino, 1994). Otro problema de este método es la detección de microsueños, ya que durante este estado en el que el conductor se queda dormido unos segundos el vehículo suele continuar recto sin desviaciones laterales, por lo que estas técnicas no son capaces de detectarlos (Wang, Yang, Ren & Zheng, 2006).

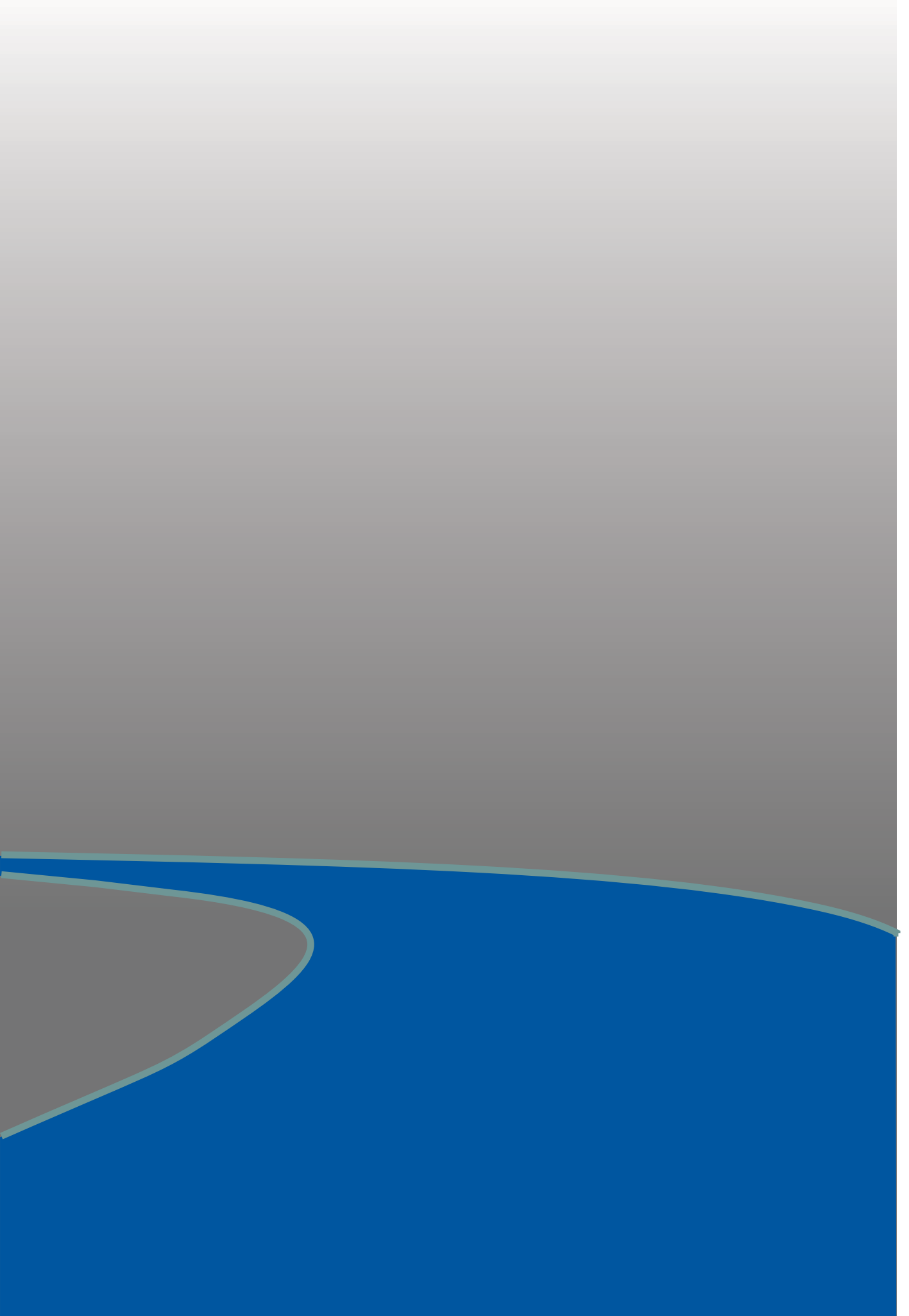
3.2.3. Sensaciones subjetivas

La Escala de somnolencia Karolinska (KSS del inglés “Karolinska Sleepiness Scale”) de Åkerstedt y Gilberg es uno de los instrumentos más utilizados para medir de forma subjetiva la somnolencia. Se trata de una escala tipo Likert con nueve puntos de anclaje de un solo ítem que evalúa el grado de somnolencia que el sujeto sienta en el momento de contestarla:

Puntuación	Significado
1	Extremadamente alerta
2	Muy alerta
3	Alerta
4	Bastante alerta
5	Ni alerta no somnoliento
6	Algunos signos de somnolencia
7	Somnoliento, pero no me cuesta esfuerzo mantenerme despierto
8	Somnoliento, me cuesta algún esfuerzo mantenerme despierto
9	Muy somnoliento, me cuesta un gran esfuerzo mantenerme despierto, luchando contra el sueño

En un estudio llevado a cabo en 2006 para evaluar la validez y fiabilidad de KSS utilizando encefalograma (EEG), medidas comportamentales e indicadores subjetivos, se demostró que la KSS mostraba una fuerte correlación estadística tanto con el EEG como con algunas medidas comportamentales, lo que indica la alta validez de la escala para medir la somnolencia (Kaida, Takahashi, Åkerstedt, Nakata, Otsuka, Haratani & Fukasawa, 2006).

Además de la KSS, otros instrumentos subjetivos ampliamente utilizados para valorar la somnolencia serían la Escala de somnolencia Epworth (ESS del inglés “Epworth Sleepiness Scale”) o la Escala de somnolencia de Stanford (SSS del inglés “Stanford Sleepiness Scale”).



4.1. Introducción

La distracción está considerada como uno de los factores de riesgo más importante en la conducción. Según los datos de la Dirección General de Tráfico (D.G.T.) correspondientes al año 2011, la distracción aparece como factor concurrente en un 39 % de los accidentes con víctimas. Este factor de riesgo es especialmente importante en vías interurbanas, en las que las distracciones están presentes en un 46% de los siniestros.

Al igual que con la fatiga, el primer reto que surge cuando se trata de medir la fatiga en la conducción es su propia definición. Un intento de consensuar una definición de la distracción al volante entre un grupo de expertos se dio en una ponencia de Robertson (2005) presentada en un congreso realizado en Canadá:

Un desvío de la atención de la conducción, a consecuencia de que el conductor está temporalmente centrado en un objeto, persona, tarea o actividad no relacionada con la conducción, lo que reduce la alerta del conductor, llevando a un incremento del riesgo de acciones correctivas, incidentes o accidentes.

Más recientemente, Hoel, Jaffard y Van Elslande (2010) apuntaban que la distracción por parte del conductor es resultado “de una interferencia entre la tarea de conducción y una estimulación externa sin relación con la conducción (por ejemplo, guiar el vehículo y sintonizar la radio). Esta tarea secundaria puede ser gestual o viso-cognitiva”. Muy relacionado con el concepto de distracción se encuentra el concepto de inatención. Victor, Engström, y Harbluk (2008) definieron la inatención conduciendo como la “incorrecta selección de información o falta de selección o selección de información irrelevante”.

La “National Highway Traffic Safety Administration” (NHTSA) ha clasificado las distracciones al volante en cuatro categorías (Ranney, Mazzae, Garrott & Goodman, 2000):

- Distracciones visuales (por ejemplo, apartando la mirada de la carretera).
- Distracciones cognitivas (por ejemplo, perdido en los propios pensamientos).

- Distracciones auditivas (por ejemplo, respondiendo a una llamada de teléfono).
- Distracciones biomecánicas (por ejemplo, ajustando el volumen de la radio).

Por lo general, en las distracciones al volante se suelen ver involucrados más de uno de estos componentes. Las visuales y cognitivas son los dos tipos de distracciones más importantes relacionadas con el conductor (Liang, Reyes & Lee, 2007).

4.2. Medida de la distracción e inatención

4.2.1. Cambios corporales

Al ser dos conceptos muy relacionados, muchas de las técnicas usadas para monitorizar la fatiga en el conductor son igualmente empleadas para evaluar las distracciones, especialmente en lo referente a las de tipología cognitiva.

La mayoría de estudios sobre detección de distracciones se han basado, al menos en parte, en la monitorización de parámetros oculares. Algunos estudios han encontrado correlación entre los movimientos oculares, la carga mental y la distracción (Hayhoe, 2004). Los movimientos sacádicos también pueden ser tomados como un indicador de la carga mental (May, Kennedy, Williams, Dunlap & Brannan, 1990). Victor (2005) encontró que la distracción cognitiva provocaba que los conductores concentraran su mirada en el centro de la carretera, lo que disminuía la capacidad de estos para detectar objetos que entraban en la escena de tráfico.

Weller y Schlag (2009) crearon un modelo para la detección de la distracción basándose en los siguientes parámetros oculares y del vehículo:

- Fijaciones (número y duración).
- Trayectoria de escaneo de la mirada.
- Desviación estándar de la localización de la mirada.
- Velocidad (mínima, máxima, media y porcentaje del cambio de velocidad).
- Aceleración lateral (máxima).
- Aceleración longitudinal (máxima).

Los resultados de este estudio demostraron que la geometría de la vía influyen de manera importante en la precisión de la detección de la distracción a través de los datos del vehículo, pero el comportamiento de la mirada es influenciado por la distracción, con poca o ninguna interferencia por parte de la geometría de la vía. Por lo tanto, los autores señalaron que la detección de la distracción a través de los parámetros extraídos de la dinámica del vehículo requeriría no sólo un conocimiento de la vía sino una alta fiabilidad de la posición del vehículo, cosa que no sería necesaria con los datos obtenidos de la mirada del conductor.

Liang et al. (2007) también usaron una combinación de movimientos oculares (por ejemplo, fijaciones) y datos procedentes del vehículo (por ejemplo, posición lateral) para detectar distracciones cognitivas en tiempo real.

Markkula, Kuttila, Engström, Victor y Larsson (2005) añadieron la monitorización de parámetros referidos a la cabeza del conductor (como su posición y orientación) que, junto con ciertos parámetros visuales (orientación de la mirada, movimientos sacádicos y parpadeo) lograron detectar distracciones visuales de corta duración y advertir cuando el conductor fijaba su mirada fuera de la carretera.

Fletcher y Zelinsky (2007) crearon una medida llamada porcentaje del centro de la carretera (PRC del inglés “Percentage Road Center”) a través de parámetros visuales y de la cabeza. Una puntuación elevada de PRC (>90%) podía indicar un estado de fatiga, mientras que una puntuación bajo (<20%) podría estar indicando una distracción.

Recarte y Nunes (2000) midieron el número y la duración de las miradas al espejo retrovisor durante los cambios de carril y encontraron como las distracción cognitivas disminuyeron su duración de un 3-4% a menos de un 1% y las distracciones visuales hicieron lo propio de un 1,4% a un 0,2-0,4%.

Otros autores han combinado información de los patrones visuales del conductor con un análisis de la prominencia de los estímulos externos que pueden provocar distracciones (Doshi & Trivedi, 2009).

Para detectar distracciones provocadas por el uso del teléfono móvil, un estudio (Takahashi, Yamada, Nakano & Yamamoto, 2005) trató de relacionar la concentración que provoca este tipo de conversaciones mientras se conduce con la expresión facial a través de las siguientes medidas:

- Cambio en la dirección de la mirada.
- Cambio en el parpadeo.
- Espacio binocular en relación a la mirada debido a la conversación.
- Movimientos de la boca debidos a la conversación.

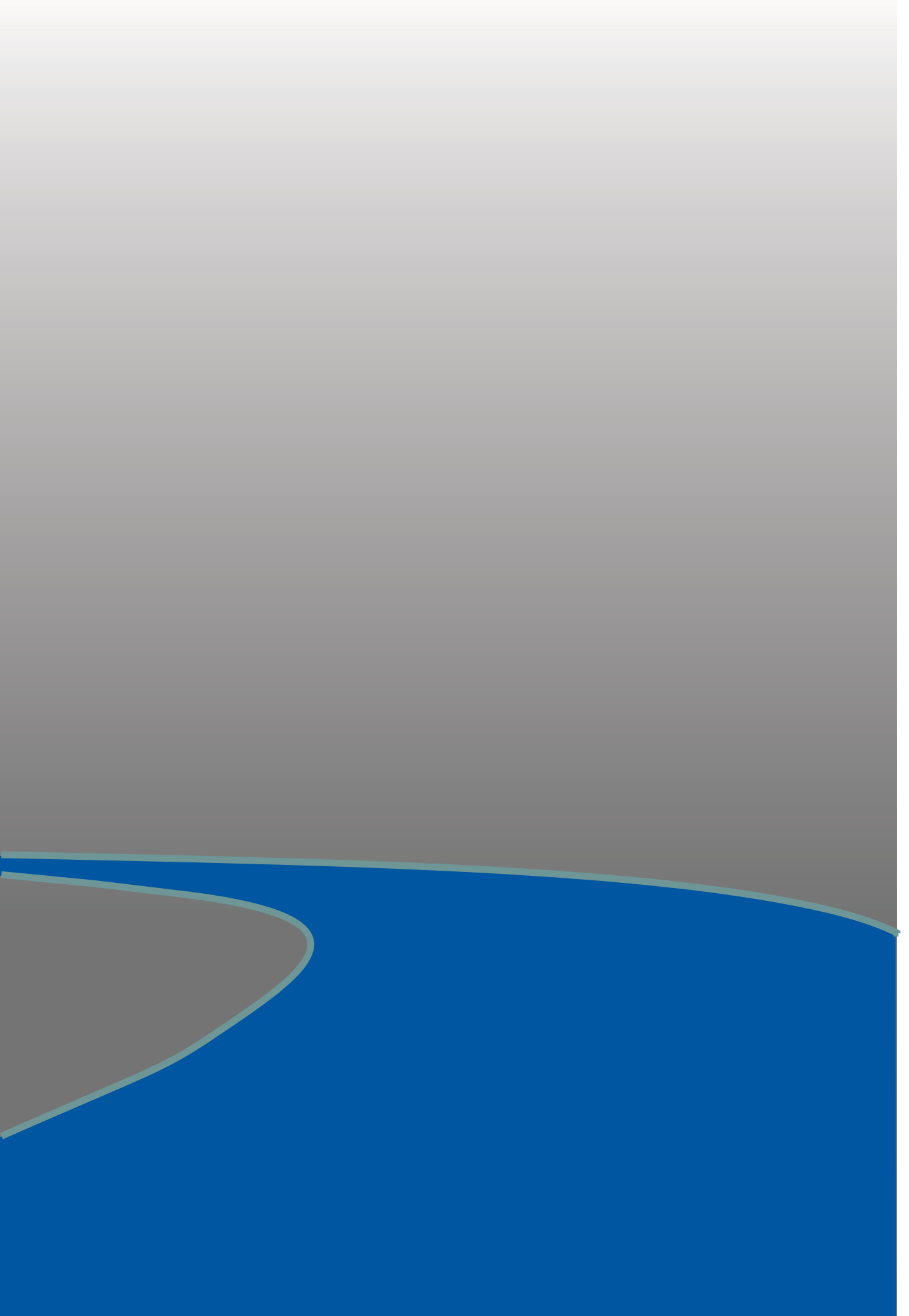
4.2.2. Cambios en el rendimiento

Al igual que la fatiga, las distracciones también provocan cambios en el estilo de conducción, lo que ha servido a algunos investigadores para proponer modelos de detección de la distracción relacionados exclusivamente con la propia dinámica del vehículo.

Un estudio encontró que los conductores suelen aumentar la velocidad cuando están distraídos con una tarea cognitiva, aunque en la misma situación también tienden a aumentar la distancia que les separa del vehículo precedente (Liu, 2001).

Medidas como el ángulo del volante, la posición del acelerador, la velocidad o la desviación lateral también han sido usadas con frecuencia en estudios para detectar la distracción al volante. Sin embargo, este tipo de medidas se han mostrado como menos precisas que las obtenidas de los parámetros oculares (Jin, Niu, Hou, Xian, Wang & Shi, 2012).

Por último, los sistemas de alerta de cambio involuntario de carril o los sistemas de mantenimiento en el carril también pueden ser considerados como detectores de las distracciones de los conductores. Estos sistemas pueden utilizar distintos tipos de sensores (cámaras, sensores internos del vehículo, láser, gps, etc.) para detectar cuando el vehículo está abandonando los límites del carril (McCall & Trivedi, 2006).



5. Referencias

Akerstedt, T., Kecklund, G., & Hörte, L. G. (2001). Night driving, season, and the risk of highway accidents. *Sleep*, 24(4), 401.

Andreassi, J. L. (2000). *Psychophysiology: Human behavior and physiological response*.

Anon, 1998, Proximity array sensing system: head position monitor/metric, Advanced Safety Concepts, Inc. Santa Fe.

Arnedt, J. T., Wilde, G. J., Munt, P. W., & MacLean, A. W. (2000). Simulated driving performance following prolonged wakefulness and alcohol consumption: separate and combined contributions to impairment. *Journal of Sleep Research*, 9(3), 233.

Arnold, P. K., Hartley, L. R., Corry, A., Hockstadt, D., Penna, F., & Feyer, A. M. (1997). Hours of work, and perceptions of fatigue among truck drivers.

Awake Consortium. (2011). System for effective assessment of driver vigilance and warning according to traffic risk estimation (AWAKE), Sep. 2001–2004. URL <http://www.awake-eu.org>.

Barbato, G., Ficca, G., Beatrice, M., Casiello, M., Muscettola, G., & Rinaldi, F. (1995). Effects of sleep deprivation on spontaneous eye blink rate and Alpha EEG power. *Biological Psychiatry*, 38(5), 340-341.

Brookhuis, K. A., De Waard, D., & Janssen, W. H. (2001). Behavioural impacts of advanced driver assistance systems—an overview. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1(3), 245-253.

Bušek, P., Vaňková, J., Opavský, J., Salinger, J., & Nevšímalová, S. (2005). Spectral analysis of heart rate variability in sleep. *Physiol. Res*, 54, 369-376.

Comisión de Transportes del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (2003). *Libro verde de los sistemas inteligentes de transporte terrestre*. Madrid.

Connor, J., Norton, R., Ameratunga, S., Robinson, E., Civil, I., Dunn, R., ... & Jackson, R. (2002). Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study. *Bmj*, 324(7346), 1125.

Damousis, I. G., & Tzovaras, D. (2008). Fuzzy fusion of eyelid activity indicators for hypovigilance-related accident prediction. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 9(3), 491-500.

Damousis, I. G., Tzovaras, D., & Strintzis, M. G. (2009). A fuzzy expert system for the early warning of accidents due to driver hypo-vigilance. *Personal and Ubiquitous Computing*, 13(1), 43-49.

De Valck, E., & Cluydts, R. (2001). Slow-release caffeine as a countermeasure to driver sleepiness induced by partial sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 10(3), 203-209.

Desai, A. V., & Haque, M. A. (2006). Vigilance monitoring for operator safety: A simulation study on highway driving. *Journal of safety research*, 37(2), 139-147.

Doshi, A., & Trivedi, M. (2009, June). Investigating the relationships between gaze patterns, dynamic vehicle surround analysis, and driver intentions. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE* (pp. 887-892). IEEE.

Drummond, S., Paulus, M. P., & Tapert, S. F. (2006). Effects of two nights sleep deprivation and two nights recovery sleep on response inhibition. *Journal of sleep research*, 15(3), 261-265.

Eoh, H. J., Chung, M. K., & Kim, S. H. (2005). Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(4), 307-320.

Fan, X., Yin, B. C., & Sun, Y. F. (2007, August). Yawning detection for monitoring driver fatigue. In *Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference on* (Vol. 2, pp. 664-668). IEEE.

Fletcher, L., & Zelinsky, A. (2007). Driver state monitoring to mitigate distraction. In *INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DISTRACTIONS IN DRIVING, 2005, SYDNEY, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA*.

Garbarino, S., Nobili, L., Beelke, M., De Carli, F., & Ferrillo, F. (2001). The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents. *Sleep*, 24(2), 203.

Giusti, A., Zocchi, C., & Rovetta, A. (2009). A noninvasive system for evaluating driver vigilance level examining both physiological and mechanical data. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 10(1), 127-134.

Hamblin, P. (1987). Lorry driver's time habits in work and their involvement in traffic accidents. *Ergonomics*, 30(9), 1323-1333.

Hancock, P. A., & Verwey, W. B. (1997). Fatigue, workload and adaptive driver systems. *Accident Analysis & Prevention*, 29(4), 495-506.

Hayhoe, M. M. (2004). Advances in relating eye movements and cognition. *Infancy*, 6(2), 267-274.

Hoel, J., Jaffard, M., & Van Elslande, P. (2010). Attentional competition between tasks and its implications. In *European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, 2nd, 2010, Berlin, Germany.

Horne, J. A., & Reyner, L. A. (1995). Falling asleep at the wheel. *TRL Report*, (168).

Ingre, M., Åkerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: examining individual differences. *Journal of sleep research*, 15(1), 47-53.

Jamson, S., Batley, R., Portouli, V., Papakostopoulos, V., Tapani, A., Lundgren, J., ... & Janssen, W. (2006). Obtaining the functions describing the relations between behaviour and risk. *Information Society Technologies (IST) Programme, AIDE IST-1-507674-IP*, Brussels.

Jap, B. T., Lal, S., Fischer, P., & Bekiaris, E. (2009). Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2352-2359.

Ji, Q., Lan, P., & Looney, C. (2006). A probabilistic framework for modeling and real-time monitoring human fatigue. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 36(5), 862-875.

- Ji, Q., Zhu, Z., & Lan, P. (2004). Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 53(4), 1052-1068.
- Jin, L., Niu, Q., Hou, H., Xian, H., Wang, Y., & Shi, D. (2012). Driver Cognitive Distraction Detection Using Driving Performance Measures. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2012.
- Kaida, K., Takahashi, M., Åkerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., & Fukasawa, K. (2006). Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology*, 117(7), 1574-1581.
- Lal, S. K. L., & Craig, A. (2000). Driver fatigue: psychophysiological effects. In *INTERNATIONAL CONFERENCE ON FATIGUE AND TRANSPORTATION, 4TH, 2000, FREMANTLE, WESTERN AUSTRALIA*.
- Liang, Y., Reyes, M. L., & Lee, J. D. (2007). Real-time detection of driver cognitive distraction using support vector machines. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 8(2), 340-350.
- Lim, J., & Dinges, D. F. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological bulletin*, 136(3), 375.
- Liu, Y. C. (2001). Comparative study of the effects of auditory, visual and multimodality displays on drivers' performance in advanced traveller information systems. *Ergonomics*, 44(4), 425-442.
- Lloret-Catalá, M.C., Toledo-Castillo, F. & Sospedra-Baeza, M.J. (2012). Intervention Programme for Prevention of Fatigue and Sleepiness in Professional Drivers. En L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training Volume V* (pp. 239-368). Surrey: Ashgate.
- Markkula, G., Kuttila, M., Engström, J., Victor, T. W., & Larsson, P. (2005). Online detection of driver distraction: preliminary results from the AIDE project. In *International Truck and Bus Safety and Security Symposium, 2005, Alexandria, Virginia, USA*.
- May, J. F., & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 12(3), 218-224.

May, J. G., Kennedy, R. S., Williams, M. C., Dunlap, W. P., & Brannan, J. R. (1990). Eye movement indices of mental workload. *Acta Psychologica*, 75(1), 75-89.

McCall, J. C., & Trivedi, M. M. (2006). Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey, system, and evaluation. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 7(1), 20-37.

Medina, A. L., Lee, S. E., Wierwille, W. W., & Hanowski, R. J. (2004, September). Relationship between infrastructure, driver error, and critical incidents. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 48, No. 16, pp. 2075-2079). SAGE Publications.

Mitler, M. M., Miller, J. C., Lipsitz, J. J., Walsh, J. K., & Wylie, C. D. (1997). The sleep of long-haul truck drivers. *New England Journal of Medicine*, 337(11), 755-762.

Murata, A., Koriyama, T., & Hayami, T. (2012, August). A basic study on the prevention of drowsy driving using the change of neck bending angle and the sitting pressure distribution. In *SICE Annual Conference (SICE), 2012 Proceedings of* (pp. 274-279). IEEE.

Otmani, S., Pebayle, T., Roge, J., & Muzet, A. (2005). Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers. *Physiology & behavior*, 84(5), 715-724.

Pack, A. I., Pack, A. M., Rodgman, E., Cucchiara, A., Dinges, D. F., & Schwab, C. W. (1995). Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis & Prevention*, 27(6), 769-775.

Patel, M., Lal, S. K. L., Kavanagh, D., & Rossiter, P. (2011). Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7235-7242.

Paul, A., Boyle, L., Boer, E. R., Tippin, J., & Rizzo, M. (2006). Steering entropy changes as a function of microsleeps. In *Proceedings of International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (Vol. 3, pp. 441-447).

Philip, P., Vervialle, F., Breton, P. L., Taillard, J., & Horne, J. A. (2001). Fatigue, alcohol, and serious road crashes in France: factorial study of national data. *Bmj*, 322(7290), 829-830.

Ramesh, M. V., Nair, A. K., & Kunnath, A. T. (2011, September). Real-Time Automated Multiplexed Sensor System for Driver Drowsiness Detection. In *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 2011 7th International Conference on (pp. 1-4). IEEE.

Ramos-Argüelles, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. M., & Alonso, M. T. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas Basic techniques of electroencephalography: principles and clinical applications. *An. Sist. Sanit. Navar*, 32(Suplemento 3), 69.

Ranney, T. A., Mazzae, E., Garrott, R., & Goodman, M. J. (2000). NHTSA driver distraction research: Past, present, and future. 40th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine, Des Plaines, IL.

Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology Applied*, 6(1), 31-43.

Riemersma, J. B. J., Sanders, A. F., Wildervanck, C., & Gaillard, A. W. (1977). Performance decrement during prolonged night driving (pp. 41-58). Springer US.

Robertson, R. (2005, marzo). The Evolution of Distracted Driving. Ponencia presentada en International Conference on Distracting Driving, Toronto, Canadá.

Russo, M. B., Stetz, M. C., & Thomas, M. L. (2005). Monitoring and predicting cognitive state and performance via physiological correlates of neuronal signals. *Aviation, space, and environmental medicine*, 76(Supplement 1), C59-C63.

Saxby, D. J., Matthews, G., Hitchcock, T., & Warm, J. S. (2007). Fatigue states are multidimensional: evidence from studies of simulated driving. In *Proceedings of the driving simulation conference—North America 2007*.

Sherry, P. (2000). Fatigue countermeasures in the railroad industry: past and current developments.

Shinar, D. (2007). *Traffic safety and human behavior* (Vol. 5620). Elsevier.

Simon, M., Schmidt, E. A., Kincses, W. E., Fritzsche, M., Bruns, A., Aufmuth, C., ... & Schrauf, M. (2011). EEG alpha spindle measures as indicators of driver fatigue under real traffic conditions. *Clinical Neurophysiology*, 122(6), 1168-1178.

Swann, C. E., Yelland, G. W., Redman, J. R., & Rajaratnam, S. M. (2006). Chronic partial sleep loss increases the facilitatory role of a masked prime in a word recognition task. *Journal of sleep research*, 15(1), 23-29.

Takahashi, K., Yamada, K., Nakano, T., & Yamamoto, S. (2005, October). Method of detecting concentration on cellular phone call from facial expression change by image processing. In *Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on* (Vol. 4, pp. 3444-3448). IEEE.

Thiffault, P., & Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 381-391.

Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., & Hume, R. D. (1979). TRI-LEVEL STUDY OF THE CAUSES OF TRAFFIC ACCIDENTS. EXECUTIVE SUMMARY (No. DOTHS034353579TAC (5) Final Rpt).

Ueno, H., Kaneda, M., & Tsukino, M. (1994, August). Development of drowsiness detection system. In *Vehicle Navigation and Information Systems Conference, 1994. Proceedings., 1994* (pp. 15-20). IEEE.

Van der Hulst, M., Meijman, T., & Rothengatter, T. (2001). Maintaining task set under fatigue: a study of time-on-task effects in simulated driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 4(2), 103-118.

Victor, T. (2005). Keeping eye and mind on the road (Doctoral dissertation, Uppsala University).

Victor, T. W., Engström, J., & Harbluk, J. L. (2008). 10 Distraction Assessment Methods Based on Visual Behavior and Event Detection. *Driver distraction: theory, effects, and mitigation*, 135.

Vural, E., Cetin, M., Ercil, A., Littlewort, G., Bartlett, M., & Movellan, J. (2007). Drowsy driver detection through facial movement analysis. In *Human-Computer Interaction* (pp. 6-18). Springer Berlin Heidelberg.

Wang, Q., Wang, H., Zhao, C., & Yang, J. (2011, June). Driver fatigue detection technology in active safety systems. In Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on (pp. 3097-3100). IEEE.

Wang, Q., Yang, J., Ren, M., & Zheng, Y. (2006, June). Driver fatigue detection: a survey. In Intelligent Control and Automation, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress on (Vol. 2, pp. 8587-8591). IEEE.

Weller, G., & Schlag, B. (2009). A robust method to detect driver distraction. In Proc. Eur. Conf. Human Centred Des. Intell. Transp. Syst (pp. 279-288).

Wilhelm, B. J. (2008). Pupillography for the assessment of driver sleepiness]. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 225(9), 791.

Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., & Connor, J. L. (2011). The link between fatigue and safety. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 498-515.

World Health Organization (2013). Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action.

Yu, B. X. (2011). An Innovative Non-contact Sensing Platform to Prevent Traffic Accident due to Driver Drowsiness.

Zils, E., Sprenger, A., Heide, W., Born, J., & Gais, S. (2005). Differential effects of sleep deprivation on saccadic eye movements. *SLEEP-NEW YORK THEN WESTCHESTER-*, 28(9), 1109.



PLATAFORMA TECNOLÓGICA ESPAÑOLA DE LA CARRETERA (PTC)
Goya, 23 - 3º, 28001 Madrid (España)
Web: www.ptcarretera.es
E-mail: info@ptcarretera.es

En colaboración con:



Con el apoyo de:

