



UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE ÓPTICA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN FÍSICA Y CIENCIAS DEL ESPACIO

Influencia del rendimiento visual y factores de accidentabilidad durante la conducción en sujetos con visión normal y con patología ocular

Tesis Doctoral

Memoria de Doctorado

Sonia Ortiz Peregrina

Graduada en Óptica y Optometría

Máster Oficial Universitario en Óptica y Optometría Avanzada

Granada 2020

Influencia del rendimiento visual y factores de
accidentabilidad durante la conducción en sujetos con
visión normal y con patología ocular

Directoras de la Tesis

Fdo: Dra. Carolina Ortiz Herrera

Contratada Doctora

Departamento de Óptica

Universidad de Granada

Fdo: Dra. Rosario González Anera

Catedrática de Universidad

Departamento de Óptica

Universidad de Granada

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Sonia Ortiz Peregrina
ISBN: 978-84-1306-604-2
URI: <http://hdl.handle.net/10481/63622>

La **Dra. Carolina Ortiz Herrera**, Contratada Doctora del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada y la **Dra. Rosario González Anera**, Catedrática de Universidad del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada,

CERTIFICAN:

Que el trabajo de investigación que se recoge en esta Memoria, titulada **“Influencia del rendimiento visual y factores de accidentabilidad durante la conducción en sujetos con visión normal y con patología ocular”**, presentada por la Graduada en Óptica y Optometría D^a Sonia Ortiz Peregrina para optar al grado de Doctor por la Universidad de Granada, con la Mención de Doctorado Internacional, ha sido realizada en su totalidad bajo nuestra dirección en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada.

Fdo: Dra. Carolina Ortiz Herrera
Contratada Doctora

Fdo: Dra. Rosario González Anera
Catedrática de Universidad

La doctoranda **Sonia Ortiz Peregrina** y las directoras de la Tesis **Dra. Carolina Ortiz Herrera** y **Dra. Rosario González Anera**.

Garantizamos, al firmar esta tesis doctoral, que el trabajo ha sido realizado por la doctoranda bajo la dirección de las directoras de la Tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

En Granada, 30 de Junio de 2020

Doctoranda

Fdo: Sonia Ortiz Peregrina

Directoras de la Tesis

Fdo: Dra. Carolina Ortiz Herrera

Fdo: Dra. Rosario González Anera

Memoria presentada para optar al Grado de
Doctor por la Universidad de Granada
con Mención de Doctorado Internacional

Fdo: Sonia Ortiz Peregrina

Granada, 2020

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido en este trabajo.

En primer lugar, mi mayor reconocimiento a las directoras de esta Tesis, las doctoras Carolina Ortiz Herrera y Rosario González Anera. Gracias por ayudarme a descubrir el mundo de la investigación, que tanto me gusta, y por vuestro apoyo constante durante estos años. Gracias por vuestra confianza, por estar siempre disponibles, por todo el tiempo que habéis empleado, y también por animarme siempre.

A todos los miembros del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada, porque siempre me han hecho sentir muy bien aquí. A la que durante este tiempo ha sido la directora, la doctora Rosario González Anera, que desde esta posición también ha estado dispuesta a ayudarme siempre. Al secretario, ahora director, el doctor Antonio Pozo Molina, que siempre me ha animado y ayudado cuando he ido a pedirle cualquier cosa. Al grupo de “comedores” porque hemos pasado muy buenos momentos y los días se han hecho mucho más amenos compartiendo un rato con vosotros.

A mi grupo de investigación, gracias por acogerme y apoyarme. Al doctor Jose Juan Castro, que con su buen humor, sabe hacer el trabajo más llevadero, y siempre ha estado dispuesto a ayudarme con los dispositivos del laboratorio. A mis compañeros doctorandos, Miriam y Francesco. Miriam ha sido mi otra mitad durante estos años, mi paño de lágrimas y también la responsable de que hubiera risas aseguradas cada día. Me llevo una gran amiga. Francesco, que siempre tiene una sonrisa, ha sabido siempre aconsejarme y darme ese punto de positividad que a veces me falta. Pronto es vuestro turno, gracias compañeros.

A mi Jose Melgarejo, quién me ha acompañado en los años más duros de este camino. Siempre ha estado ahí escuchándome, aconsejándome y apoyándome. Gracias por aguantarme aunque a veces sólo tenga un tema de conversación, y por comprender que haya dedicado todo el tiempo posible a mi trabajo, robándonos tiempo y aventuras juntos. Gracias por haber estado conmigo hasta en la otra punta del mundo. A mi hermano Juanjo, porque siempre ha confiado mucho en mí, y sé que siempre podré

contar con él. Siempre ha sido mi referente, por su bondad, valentía y capacidad de emprendimiento.

Por último, el agradecimiento más grande y especial es para **mis padres**, Pepe y María José. A ellos les dedico esta Tesis, porque siempre han confiado en mí mucho más que yo misma. Gracias por animarme a emprender cada reto que me he planteado y por hacerme ver que las cosas al final salen, a pesar de las dificultades. Gracias por preocuparos tanto de nosotros, sin vuestra ayuda nada de esto sería posible.

Gracias a todos.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	5
CHAPTER 1. INTRODUCTION	13
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. Cambios visuales asociados a la edad	23
2.2. Patologías visuales asociadas a la edad.....	26
2.3. Visión y conducción.....	27
2.4. Otros factores de accidentabilidad	44
2.5. Auto-regulación de la conducción. Una estrategia para promover la seguridad	54
CAPÍTULO 3. Impacto del envejecimiento visual en la conducción (Estudio 1) 63	
3.1. Introducción	65
3.2. Metodología	66
3.3. Resultados	78
3.4. Discusión y conclusiones	83
CAPÍTULO 4. El scattering intraocular como predictor del rendimiento en la conducción en sujetos mayores con catarata (Estudio 2).....	89
4.1. Introducción	91
4.2. Metodología	92
4.3. Resultados	96
4.4. Discusión y conclusiones	100
CAPÍTULO 5. Distracción al volante por el uso del smartphone (WhatsApp) en diferentes grupos de edad. Influencia de los cambios visuales asociados al envejecimiento (Estudio 3)	107
5.1. Introducción	109
5.2. Metodología	113
5.3. Resultados	119
5.4. Discusión y conclusiones	132

CAPÍTULO 6. Efectos de fumar cannabis en la función visual y en el rendimiento en la conducción (Estudio 4)	139
6.1. Introducción	140
6.2. Metodología	143
6.3. Resultados	149
6.4. Discusión y conclusiones	160
CAPÍTULO 7. Factores que determinan la auto-regulación de la velocidad durante la conducción bajo distracción (WhatsApp). Influencia de la calidad visual (Estudio 5).....	167
7.1. Introducción	169
7.2. Metodología	171
7.3. Resultados	176
7.4. Discusión y conclusiones	183
CAPÍTULO 8. RESUMEN Y CONCLUSIONES	191
8.1. Resumen y principales hallazgos de los experimentos	193
8.2. Trabajos futuros.....	196
8.3. Conclusiones	198
8.3. Conclusions	201
BIBLIOGRAFÍA	203
LISTA DE ABREVIATURAS.....	241
ACTIVIDADES CIENTÍFICAS DURANTE EL PERÍODO DOCTORAL (2016-2020)	245

RESUMEN

La sociedad actual basa su sistema de transporte principalmente en el automóvil, del cual depende en gran parte nuestra calidad de vida e independencia. Los accidentes de tráfico constituyen una de las principales causas de mortalidad, siendo la principal entre los más jóvenes. La mayoría de accidentes de tráfico están causados por el factor humano, en el cual se incluyen las capacidades necesarias para conducir. Dentro de estas capacidades son necesarias una adecuada función cognitiva, motora y sensorial. La visión es el principal mecanismo sensorial implicado en esta tarea, sirviendo como medio de entrada para casi la totalidad de la información de un entorno en constante dinamismo. Por ello, una adecuada función visual resulta imprescindible.

Vivimos un envejecimiento importante de la población, por lo que en pocos años la proporción de conductores mayores aumentará considerablemente. El envejecimiento conlleva una serie de cambios fisiológicos que deterioran de forma natural la visión, haciendo al conductor mayor más vulnerable. Además, en la vejez es común padecer patologías visuales como la catarata, que pueden mermar las capacidades visuales necesarias para la conducción mientras el conductor espera a ser sometido a cirugía. Por otra parte, existen otras causas de accidentabilidad importantes que también están relacionadas con las capacidades del conductor. Una de ellas es la distracción, que a menudo está provocada por la realización de tareas secundarias. Una de las causas de distracción al volante más importantes en la actualidad es el uso del teléfono móvil, y en concreto, enviar mensajes de texto cuando conducimos. Un peor estado visual, a parte de impactar sobre la conducción, también podría hacerlo sobre esta tarea, predominantemente visual, multiplicando el riesgo asociado. La conducción bajo el efecto de las drogas es otro de los problemas a los que nos enfrentamos hoy día. La droga ilegal más consumida en nuestro entorno es el cannabis. Su consumo, además de a otras funciones, podría afectar a la función visual, suponiendo un riesgo añadido para la conducción.

Por ello, el principal objetivo de esta tesis ha sido estudiar la influencia de la calidad óptica y el rendimiento visual en la capacidad para conducir cuando se consideran distintos factores de accidentabilidad como el envejecimiento del conductor, la distracción o el consumo de drogas. Para conseguir este objetivo, el trabajo de investigación ha sido dividido en varios estudios donde se analiza la influencia de la visión en la conducción en un contexto de envejecimiento y patología ocular (catarata)

(Estudios 1 y 2), en un contexto de atención dividida o distracción (Estudio 3) y bajo el efecto del cannabis (Estudio 4). Por último, también se ha analizado la influencia de la distracción, de las características del entorno y del conductor, incluyendo la calidad visual, en la auto-regulación de la velocidad (Estudio 5).

Los principales resultados de esta tesis doctoral fueron:

1, 2) El envejecimiento y las cataratas deterioran la capacidad para conducir de forma segura. La medida del scattering intraocular podría ser útil para detectar conductores en riesgo. 3) La distracción deteriora significativamente el rendimiento en la conducción, especialmente de los conductores de mayor edad. Los cambios fisiológicos asociados a la edad, como la disminución en la sensibilidad al contraste o el mayor nivel de straylight estaban correlacionados con un mayor número de colisiones, mayores distancias recorridas fuera del carril y una menor estabilidad en la posición lateral del vehículo. No obstante, los conductores jóvenes adoptan más conductas de riesgo al volante. 4) El consumo de cannabis altera tanto la función visual como el rendimiento en la conducción. Test visuales como la estereoagudeza, la agudeza visual y la sensibilidad al contraste están correlacionados con tareas de la conducción como el mantenimiento de la posición del vehículo en el carril. 5) Los conductores que auto-regulan su conducción reducen su velocidad en presencia de situaciones que implican mayor demanda; mientras están distraídos, en las curvas o cuando hay coches estacionados alrededor. La adaptación de la velocidad está relacionada con la edad del conductor, su experiencia en la tarea secundaria y el riesgo percibido. Sin embargo, en personas con visión normal la calidad visual no parece influir en la velocidad elegida.

ABSTRACT

The transport system of today's society is mainly based on vehicles, and this strongly influences our quality of life and independence. Traffic accidents are one of the main causes of mortality, and the first among young people. Most traffic accidents are the result of human factors, including the physical capacities crucial for driving. These capacities include adequate cognitive, motor and sensory functions. Vision is the main sensory mechanism involved in this task, as almost all the information from a constantly changing environment is received this way. Thus, adequate visual function is essential for safe driving.

The population is getting older, meaning that in a few years the proportion of older drivers is expected to see an important increase. Ageing leads to several physiological changes that naturally impair visual function. Furthermore, it is common for older adults to suffer from ocular pathologies, such as cataracts, that can decrease the visual capacities required for driving, yet patients continue to drive while waiting for surgery. Furthermore, other important causes of traffic accidents are related to a driver's capacities. One of these is distraction, caused by secondary tasks such as texting while driving. Deteriorated vision, in addition to impairing driving, affects the secondary task (texting messages), which is predominantly visual, multiplying the associated risk. In addition, driving under the influence of cannabis is a major concern in terms of road safety nowadays. The most widely used illicit drug in our environment is cannabis and, in addition to affecting other functions, its use could impair vision, representing an added risk for driving.

For this reason, the main objective of this doctoral thesis was to analyse the influence of optical quality and visual performance on various accident risk factors, by examining the relationship between different visual and driving performance parameters. To achieve this goal, the research work was divided into several studies looking at: the influence of vision on driving performance in a context of ageing and ocular pathology (cataract) (Studies 1 and 2); driving in a context of divided attention or distraction (Study 3); and driving under the influence of cannabis (Study 4). Finally, the role distraction, road features, and the driver's own characteristics (including visual quality), play in speed self-regulation was also analysed (Study 5).

The main results of this doctoral thesis were that:

1 and 2) Ageing and cataracts impair the ability to drive. Scattering-related visual tests could be useful for detecting at-risk drivers. 3) Distraction can significantly deteriorate driving performance, especially in older drivers. Age-related visual changes, such as reduced contrast sensitivity and increased intraocular straylight were correlated with a greater number of collisions, longer distances driven outside the lane, and poorer lane stability. Younger drivers adopt more risky behaviours while driving. 4) Cannabis negatively affects both visual function and driving performance. Visual tests such as stereoacuity, visual acuity, and contrast sensitivity correlate with driving-related tasks like lane stability. 5) Drivers self-regulate their driving by reducing their speed in the presence of situations that involve a greater demand on resources, e.g., while they are distracted, on curved roads, or when there are parked cars around. Speed adaptation is associated with driver age, experience in the secondary task (WhatsApp messaging), and self-perceived risk. Nevertheless, in people with normal vision, visual quality does not seem to influence speed selection.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La conducción es una tarea compleja muy presente en el día a día de las sociedades avanzadas. Su ejecución requiere de la continua interacción del conductor, el vehículo y el entorno. Aunque existen riesgos asociados a las características de las infraestructuras, el vehículo o el propio entorno, la mayoría de los accidentes de tráfico son consecuencia de factores humanos. Dentro de estos factores se encuentran todos los aspectos que puedan afectar a las capacidades del conductor; como el estado de salud o las capacidades físicas, la distracción y el consumo de alcohol o drogas (Figura 1.1).

Conducir un vehículo requiere un esfuerzo constante del conductor para detectar, percibir y procesar información de un entorno en constante dinamismo. La mayor parte de esta información es integrada por el canal de la visión, haciendo a este mecanismo sensorial el principal responsable de la capacidad del conductor para tomar una decisión, y reaccionar de forma adecuada a un entorno lleno de eventos impredecibles (Anstey et al., 2005).

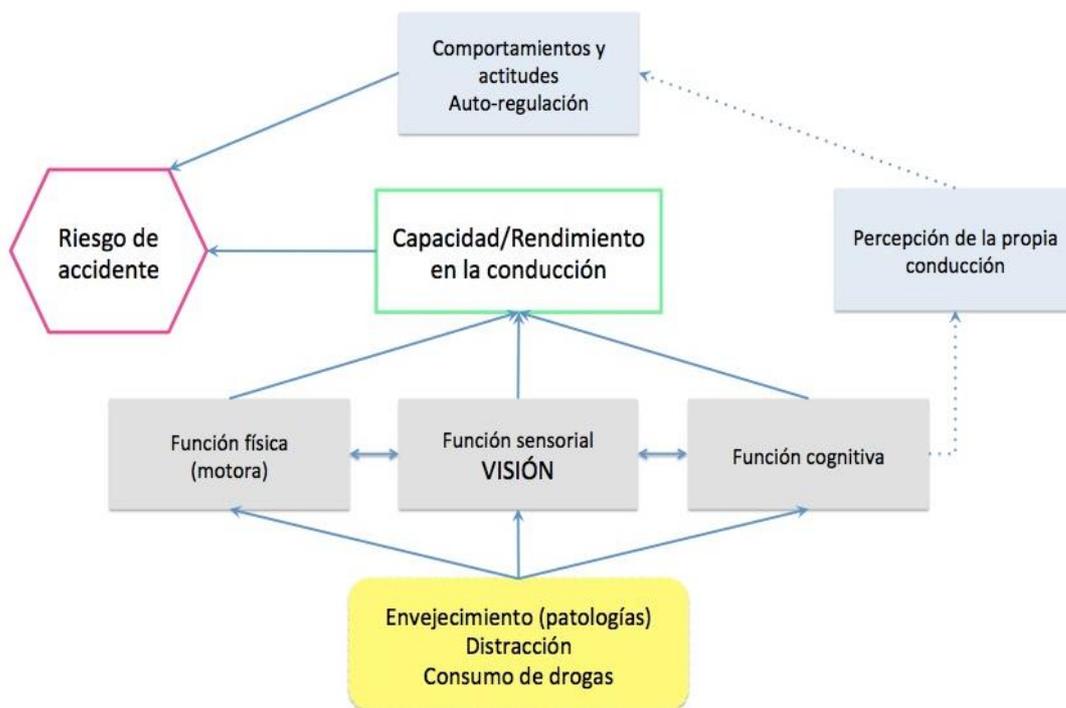


Figura 1.1. Representación esquemática de los factores del conductor que influyen en la seguridad vial (adaptado de Anstey et al., (2005)).

Los accidentes de tráfico son uno de los principales problemas de salud pública a los que nos enfrentamos en el presente. Alrededor de 1,35 millones de personas mueren anualmente como consecuencia de accidentes de tráfico, constituyendo la principal causa de muerte en niños y jóvenes de 5 a 29 años (OMS, 2018). Entre los factores de riesgo que causan la mayor parte de los accidentes, cabe destacar los siguientes:

- **Envejecimiento:** Los conductores mayores representan el sector de la población que más crece en nuestro entorno. Este grupo de edad es el que tiene un mayor riesgo de accidente por distancia conducida (Cooper, 1990; Evans, 1988; Stamatiadis y Deacon, 1995), lo que podría ser consecuencia del deterioro funcional que acompaña al paso del tiempo. El envejecimiento conlleva a una disminución de las capacidades necesarias en la conducción, tales son la función cognitiva, motora y sensorial (Andrews y Westerman, 2012; Bunce et al., 2012). Dentro de la función sensorial, se producen una serie de cambios visuales que afectan a distintos aspectos como la sensibilidad al contraste o la sensibilidad al deslumbramiento (Guirao et al., 1999; McGwin et al., 2000; Owsley et al., 1983; van den Berg et al., 2009). Unido a ello, este grupo de edad también muestra una mayor prevalencia de patologías oculares como la catarata, muy común entre los conductores mayores (Nischler et al., 2010; Shinar y Schieber, 1991), y que afectan a la habilidad para realizar las tareas de la conducción (Ortiz et al., 2013; Owsley et al., 1999; Szlyk et al., 1995b).

- **Distracción:** Según la DGT (Dirección General de Tráfico), la distracción se ha convertido en la principal causa de siniestralidad desde el año 2016, habiendo provocado el 32% de los accidentes durante 2018. De entre todas las distracciones, destaca el uso del teléfono móvil al volante, ya que esta tendencia viene aumentando desde hace años (DGT, 2019). En el año 2007, un estudio realizado en España publicó que el 60% de los conductores usaban el móvil al volante, principalmente para hacer llamadas (Gras et al., 2007). Sin embargo, poco después esta tendencia fue cambiando hacia el uso del móvil para enviar mensajes de texto. En España, un 43,7% de los conductores admiten enviar mensajes de texto mientras conducen (Prat et al., 2017), un porcentaje importante, al igual que en otros países como Estados Unidos (~60%) (Gliklich et al., 2016) o Australia (33,5%) (Oviedo-Trespalacios, 2018). Esta tendencia ha sido promovida principalmente por la aparición de aplicaciones de mensajería instantánea. Recientemente, la DGT ha recogido los resultados de un trabajo publicado

por BP, Castrol y RACE, que evidencia datos preocupantes. En nuestro país el 35% de los conductores envían o leen WhatsApps al volante y el 19% lo hace con asiduidad. Este comportamiento ha aumentado desde un 14,4% en 2014 hasta el 19% actual. Además, este problema está alcanzando una mayor dimensión con la inclusión de otros usos del móvil mientras conducimos. El más destacable es el uso de redes sociales, que ha aumentado preocupantemente. En 2019, un 18% las ha usado al volante, y un 12% lo hace con frecuencia, aumentando este porcentaje desde el 0,5% encontrado en 2014 (BP, Castrol y Race., 2019).

Estos comportamientos tienen un efecto negativo en la conducción, suponiendo un riesgo importante de accidentes (Caird et al., 2014). El uso del teléfono móvil para enviar mensajes implica distracción de tipo visual, aparte de manual y cognitiva. Esto hace que la visión tenga un papel importante en esta tarea, y que un conductor cuya función visual esté alterada pudiera verse más afectado. Si añadimos el enorme peso que tiene la visión para la conducción, el riesgo de accidente podría multiplicarse.

- **Consumo de alcohol y drogas:** Conducir bajo el efecto del alcohol y otras drogas sigue siendo una de las principales causas de accidentes en todo el mundo. Quizás por ser mucho más extendido su consumo, el alcohol ha suscitado más atención. Tras años de esfuerzo por parte de las administraciones promoviendo leyes que lo sancionan y programas de educación al ciudadano, el uso de alcohol al volante está disminuyendo. Sin embargo, el uso de otras drogas como el cannabis entre los conductores, concebida por muchos como una droga blanda, está en aumento (Berning et al., 2015). Así, el cannabis es la droga ilegal más detectada en los conductores que han sufrido un accidente en Norte América, Europa y Oceanía (EMCDDA, 2012). Según la OMS, la conducción bajo los efectos de esta droga fue la causa de más de 8.700 muertes en el mundo durante 2013 (OMS, 2016). A pesar de que se sabe que su consumo afecta a ciertas tareas de la conducción y parece que está relacionado con un aumento en el riesgo de accidentes (Bondallaz et al., 2016; Gjerde et al., 2015; Lenné et al., 2010; Li et al., 2012; Ramaekers, 2018), su uso se sigue extendiendo.

Por otro lado, se ha visto que el sistema cannabinoide está involucrado en el sistema visual, con receptores ubicados en distintas zonas como la retina (Schwitzer et al., 2015, Straiker et al., 1999). Esto hace que su consumo afecte al procesamiento de la

información visual (Mikulskaya y Martin, 2018; Schwitzer et al., 2015; Zobor et al., 2015), dando lugar a posibles alteraciones visuales (Schwitzer et al., 2017), como por ejemplo, una reducción en la sensibilidad al contraste (Lalanne et al., 2017). Sin embargo, poco se sabe sobre el impacto en la función visual que tiene consumir cannabis no sólo a largo plazo, sino durante el efecto de la droga, y cómo estos cambios podrían afectar a la conducción (Schwitzer et al., 2015). Esto, unido al creciente desarrollo de productos derivados del cannabis, justifican la importancia de realizar más estudios sobre su uso, su metabolismo y cómo afecta a las aptitudes necesarias para una conducción segura (EMCDDA, 2018).

- **Auto-regulación de la conducción:** La auto-regulación engloba las estrategias empleadas por un conductor para minimizar el riesgo asociado a una disminución en sus capacidades o a un aumento en la demanda de recursos ocasionado, por ejemplo, por enfermedades o la realización de una tarea secundaria (Agramunt et al., 2016; Becic et al., 2010; Sullivan et al., 2011). Estas estrategias incluyen evitar situaciones con más complejidad como conducir de noche, en condiciones meteorológicas adversas, o en vías de alta velocidad (Agramunt et al., 2016; Charlton et al., 2006; Chevalier et al., 2016; Devlin y McGillivray, 2014; Molnar y Eby, 2008). Uno de los medios que se han empleado para estudiar de forma objetiva la auto-regulación de la conducción en condiciones de distracción es analizar la adaptación de la velocidad, encontrando que la tarea secundaria, el entorno y las características del conductor tienen una influencia (Oviedo Trespacios et al., 2017a, 2017b). Sin embargo, entre las características del conductor, no se ha explorado la influencia del estado visual, que afectaría tanto a la propia conducción como a la tarea secundaria en caso de ser de tipo visual, como escribir mensajes de texto. La distracción por el uso de aplicaciones de mensajería instantánea al volante es un problema en crecimiento, también en conductores de edad avanzada, cuyas capacidades visuales pueden estar reducidas por el propio envejecimiento o por patologías oculares relacionadas con la edad.

En este trabajo hemos evaluado el papel de la función visual junto a distintos factores de accidentabilidad en la conducción. La visión es el principal mecanismo sensorial implicado en esta tarea, y cualquier causa que la altere puede disminuir la seguridad al volante. Aunque el impacto en la conducción del envejecimiento y las patologías oculares ha sido estudiado, existen aún vacíos en la literatura. A día de hoy no se

conoce con suficiente exactitud la posible utilidad de distintas métricas o test visuales no estandarizados en la valoración de las aptitudes visuales de un conductor de edad avanzada. Por otro lado, importantes causas de accidentes como la distracción por el uso del smartphone para enviar mensajes, podrían ser más peligrosas aún si se unen a un peor estado visual del conductor, aspecto que no ha sido estudiado. Aunque se conoce que el consumo de cannabis afecta al procesamiento visual, poco se sabe sobre sus efectos en las distintas funciones visuales y en qué modo afectan a la conducción. Finalmente, el papel del estado visual del conductor en la auto-regulación en condiciones de distracción por el uso del smartphone tampoco ha sido explorado.

El trabajo de investigación que se presenta en esta Tesis Doctoral ha sido realizado en el Laboratorio de Ciencias de la Visión y Aplicaciones del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada, y está estructurado como sigue:

En el *Capítulo 2*, revisión de la literatura, se repasan las principales ideas en las que se basa este trabajo. Para ello se revisa la literatura existente a cerca de distintos aspectos que pueden afectar a la seguridad vial. En primer lugar se detalla el impacto del envejecimiento y las patologías oculares relacionadas con la edad en la función visual. Después, se presenta una revisión sobre la relación existente entre visión y conducción, prestando especial atención a la relación de esta tarea con distintas funciones visuales y el impacto de diferentes patologías asociadas a la edad. Por otro lado, se describe el fenómeno de la distracción al volante, sus tipos y la repercusión para la conducción según trabajos anteriores. Con respecto al consumo de cannabis, se revisan los hallazgos que existen hasta la fecha en cuanto a sus efectos en la visión y también en la conducción. Finalmente, se incluye una revisión bibliográfica sobre los patrones de auto-regulación de la conducción en sujetos de edad avanzada, con distintas patologías oculares y en condiciones de distracción.

En los *Capítulos 3, 4, 5, 6 y 7* se detallan los distintos estudios experimentales realizados en este trabajo. Cada uno de ellos está subdividido en una introducción donde se realiza una breve descripción del problema y revisión de la literatura existente sobre el mismo, la justificación del trabajo de investigación y el establecimiento de los objetivos del estudio. En la metodología se describen los procedimientos empleados para analizar la visión y la conducción, así como los análisis estadísticos utilizados para

estudiar la relación entre ambos aspectos. A continuación se detallan los resultados más significativos de cada experimento y por último, estos se discuten y se comparan con los obtenidos en otros trabajos para obtener las conclusiones pertinentes.

Estos son los diferentes estudios en los que se estructura este trabajo:

1. Impacto del envejecimiento visual en la conducción (Estudio 1) (*Capítulo 3*).
2. El scattering intraocular como predictor del rendimiento en la conducción en sujetos mayores con catarata (Estudio 2) (*Capítulo 4*).
3. Distracción al volante por el uso del Smartphone (WhatsApp) en diferentes grupos de edad. Influencia de los cambios visuales asociados al envejecimiento (Estudio 3) (*Capítulo 5*).
4. Efectos de fumar cannabis en la función visual y en el rendimiento en la conducción (Estudio 4) (*Capítulo 6*).
5. Factores que determinan la adaptación de la velocidad durante la conducción bajo distracción. Influencia de la calidad visual (Estudio 5) (*Capítulo 7*). Este último estudio es fruto de una colaboración realizada durante la estancia predoctoral en la Queensland University of Technology (Brisbane, Australia).

Finalmente, en el *Capítulo 8* se hace un resumen de los resultados más relevantes y se muestran las conclusiones desprendidas de los distintos estudios y del trabajo en general. Además, se hace referencia a futuros trabajos relacionados con el contenido de la Tesis.

Todas las referencias empleadas para la elaboración de este trabajo así como una lista de abreviaturas pueden encontrarse al final de esta Tesis Doctoral.

En la última sección, además, se detallan todas las actividades científicas realizadas durante el período Doctoral, entre ellas las publicaciones y contribuciones a congresos que han derivado de los resultados obtenidos en esta investigación, así como los detalles de financiación.

CHAPTER 1

INTRODUCTION

Driving is a complex task that is ubiquitous in advanced societies. It requires the driver to continuously interact with both the vehicle and the environment. Despite the risks associated with infrastructure features, the vehicle, and the environment itself, the majority of traffic accidents are a consequence of human factors. Among these factors are many aspects that could affect driver capacities, such as health status and physical capacities, distraction, and the use of alcohol or drugs (Figure 1.1).

Driving a car requires the driver to constantly detect, perceive, and process information being received from a perpetually dynamic environment. Most of this information is integrated through the visual channel, making this sensory mechanism the most crucial with regard to a driver's capacity to make a decision and adequately respond to surroundings full of unpredictable events (Anstey et al., 2005).

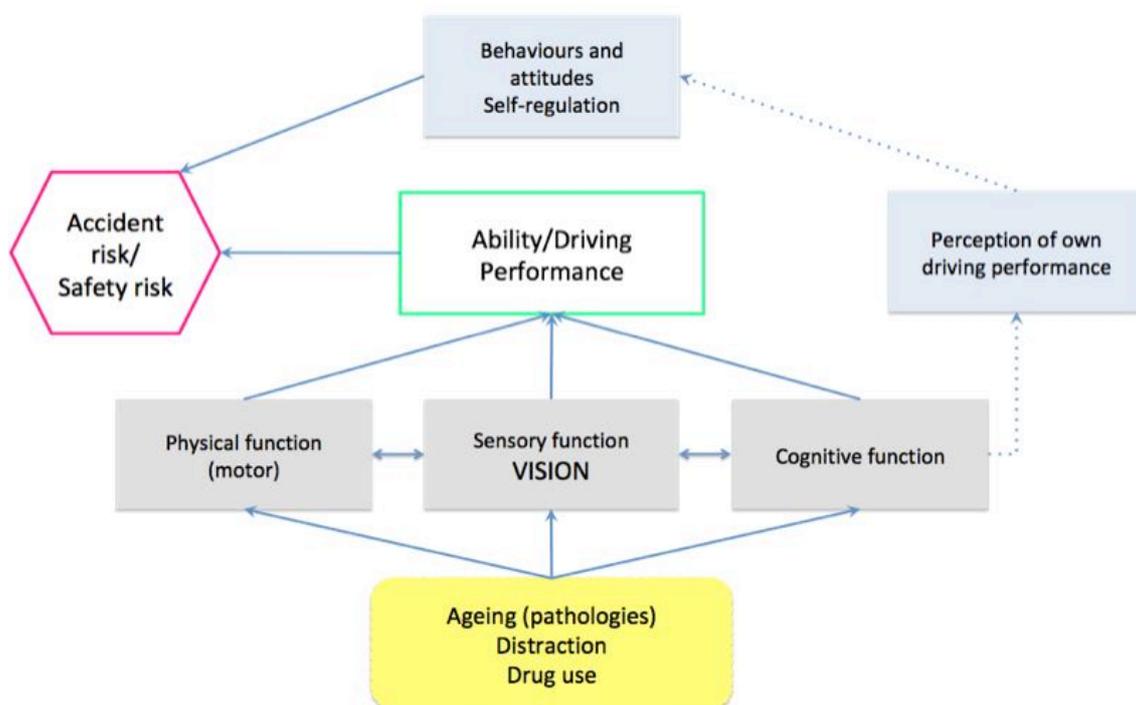


Figure 1.1. Schematic representation of driver factors influencing road safety (adapted from Anstey et al., (2005)).

Traffic accidents are one of the main public health problems that we face today. Around 1.35 million people die each year as a consequence of traffic accidents, making this the first-ranked cause of death in children and young people aged 5 to 29 (WHO, 2018). The risk factors responsible for the majority of accidents include the following:

- **Ageing:** older drivers are the fastest-growing population segment in developed countries. This age group has the highest risk of accident per distance driven (Cooper, 1990; Evans, 1988; Stamatiadis and Deacon, 1995), which could be related to functional impairment over time. Ageing implies impairment of the capacities needed for driving, such as the cognitive, motor, and sensory functions (Andrews and Westerman, 2012; Bunce et al., 2012). Sensory function includes visual changes that impact different aspects, such as contrast sensitivity and disability glare (Guirao et al., 1999; McGwin et al., 2000; Owsley et al., 1983; van den Berg et al., 2009). Furthermore, there is a greater prevalence of ocular pathologies in older adults, such as cataracts, which are very commonly seen in this group of drivers (Nischler et al., 2010; Shinar and Schieber, 1991), and which have been shown to reduce a person's ability to perform driving-related tasks (Ortiz et al., 2013; Owsley et al., 1999; Szlyk et al., 1995b).

- **Distraction:** according to the Spanish *Dirección General de Tráfico* (DGT; General Traffic Directorate), since 2016, distraction has been the main cause of accidents, provoking 32% of traffic accidents in 2018. Of all the types of distraction, mobile phone use while driving stands out, and this tendency has been increasing for several years (DGT, 2019). In 2007, a study conducted in Spain reported that 60% of drivers used their mobile phones at the wheel, mainly for making calls (Gras et al., 2007). Notwithstanding, soon afterwards, this trend began to swing towards texting. In Spain, 43.7% of drivers admit to writing text messages while driving (Prat et al., 2017), an important percentage. A similar situation has been reported in other countries, including the United States (~60%) (Gliklich et al., 2016) and Australia (33.5%) (Oviedo-Trespalacios, 2018). This tendency has been encouraged by the emergence of instant messaging applications. Recently, the DGT reported the results of a study published by BP, Castrol and RACE, which evidenced worrying data. In Spain, 35% of drivers send or read WhatsApp messages while driving, and 19% do this regularly, a figure that has risen sharply from 14.4% in 2014. Moreover, this problem is even further-reaching when you include other mobile phone uses at the wheel, most remarkably the use of

social media, which has grown worryingly. In 2019, 18% of drivers admitted to using social media while driving, with 12% doing so frequently, a huge increase from 0.5% in 2014 (BP, Castrol and Race., 2019).

These behaviours have negative consequences for driving, supposing an important accident risk (Caird et al., 2014). Mobile phone use for text messaging involves visual distraction, in addition to manual and cognitive distraction. As vision plays an important role in this task, a driver with altered visual function could be even more affected. If we add the huge impact that vision has on driving, the safety risk becomes considerably greater.

- **Use of alcohol and drugs:** driving under the influence of alcohol and other drugs is still one of the main cause of accidents worldwide. Perhaps because its use is much more widespread, alcohol has received the most attention. After years of public administration efforts, promoting laws that ban and sanction driving under the influence of alcohol, in addition to public education programmes, drink driving is decreasing. However, the use of other drugs among drivers, including cannabis (frequently perceived as a soft drug), is increasing (Berning et al., 2015). Indeed, cannabis is the most-often detected illegal drug in drivers that have suffered an accident in North America, Europe and Oceania (EMCDDA, 2012). According to the WHO, driving under the influence of cannabis resulted in more than 8700 deaths worldwide in 2013 (WHO, 2016). Although it is known that this drug affects certain driving tasks and seems to be related to a greater accident risk (Bondallaz et al., 2016; Gjerde et al., 2015; Lenné et al., 2010; Li et al., 2012; Ramaekers, 2018), its use continues to grow.

It has been shown that the cannabinoid system is involved with the visual system itself, with receptors located in different places, including the retina (Schwitzer et al., 2015, Straiker et al., 1999). This suggests that cannabis consumption alters visual information processing (Mikulskaya and Martin, 2018; Schwitzer et al., 2015; Zobor et al., 2015), leading to possible visual alterations (Schwitzer et al., 2017), for instance, reductions in contrast sensitivity (Lalanne et al., 2017). However, little is known about the impact of cannabis use on visual function, not only the short-term effects but also during intoxication. Furthermore, it is not understood how these visual changes could affect driving performance and safety risk (Schwitzer et al., 2015). These questions, combined

with the rise of cannabis-derived products, justify the need to carry out further studies on its use, how it is metabolised, and how it affects the capacities needed for safe driving (EMCDDA, 2018).

- **Driver self-regulation:** self-regulation includes the strategies employed by a driver to minimise the risks associated with a reduction in their capacities, or an increase in the demand for resources. This could be caused, for example, by an illness or the performance of secondary tasks (Agramunt et al., 2016; Becic et al., 2010; Sullivan et al., 2011). Strategies include avoiding more complex situations, such as driving at night or during adverse meteorological conditions, or high speed roads (Agramunt et al., 2016; Charlton et al., 2006; Chevalier et al., 2016; Devlin and McGillivray, 2014; Molnar and Eby, 2008). One of the means employed to objectively study driver self-regulation when distracted is the analysis of speed adaptation, and it has been found that the secondary task, the driving environment, and the characteristics of the driver all influence this (Oviedo Trespalacios et al., 2017a, 2017b). Nevertheless, visual status has not yet been evaluated and this must affect both driving performance and any secondary task dependent on vision, such as texting. Distraction caused by the use of instant messaging applications is a growing public health concern, including in older drivers, whose visual capacities may already be reduced through the natural process of ageing or by age-related ocular pathologies.

In this work we evaluated the role of visual function alongside different risk factors for driving. Vision is the main sensory system involved in this task, and anything that alters it may diminish our safety at the wheel. Although there are studies on the impact of ageing and ocular pathologies on driving, there are gaps in the scientific literature. It is still not known with sufficient accuracy if various non-standardised visual tests or parameters could be useful when evaluating the visual fitness-to-drive of older people. Furthermore, important causes of traffic accidents, such as the distraction generated by texting, could be even more dangerous if added to poor visual status, and this aspect has not previously been studied. Although it is known that cannabis use alters visual information processing, little is known about its effects on different visual functions, and how it affects driving. Lastly, another factor that has not yet been explored is the role of a driver's visual status in self-regulation when distracted by smartphone use.

The research work presented in this doctoral thesis was undertaken in the Laboratory of Visual Sciences and Applications, in the Department of Optics, at the University of Granada. It is structured as follows:

Chapter 2 is a literature review where we cover the main ideas this work is based on. For this purpose we have reviewed all the literature on different aspects that could affect road safety. Firstly, we describe the impact of ageing and age-related ocular pathologies on visual function. Then, we include a review of the relationship between vision and driving, focusing on the relationship between this task and several visual functions, as well as the impact of different age-related ocular pathologies. Moreover, we describe the phenomenon of distracted driving, its types and its impact on driving according to previous work. The latest findings on cannabis use and its effects on vision, driving performance, and safety risk are also reviewed. Lastly, we include a review of published studies on self-regulation patterns in elderly drivers who suffer ocular pathologies, and in distracted conditions.

Chapters 3, 4, 5, 6, and 7 detail the different experimental studies carried out in this work. Each starts with an introduction that sets out the problem and revises previous literature published on this topic. It also includes a justification of the research work and establishes the objectives of the study. In the methods section we describe the procedures employed to assess vision and driving performance, as well as the statistical analyses used to study the relationship between the two aspects. Next we provide the most significant results obtained in each experiment, and finally, these results are discussed and compared to those of other works and pertinent conclusions are drawn.

These are the studies around which this work is structured:

1. Impact of visual function ageing on driving (Study 1) (*Chapter 3*).
2. Intraocular scattering as a predictor of driving performance in older drivers with cataracts (Study 2) (*Chapter 4*).
3. Driver distraction involving smartphone use (WhatsApp) in different age groups. The influence of age-related visual changes (Study 3) (*Chapter 5*).
4. Effects of smoking cannabis on visual function and driving performance (Study 4) (*Chapter 6*).

5. Factors determining speed management during distracted driving (WhatsApp messaging). The influence of a driver's visual status (Study 5) (*Chapter 7*). This last study is the result of a collaboration undertaken during a pre-doctoral stay at Queensland University of Technology (Brisbane, Australia).

Lastly, *Chapter 8* summarises the most important results and sets out the conclusions drawn from the different studies and the work in general. In addition, reference is made to future work related to the content of this doctoral thesis.

All the references employed in the preparation of this work, as well as a list of abbreviations, can be found at the end.

The last section also details all the scientific activities carried out during the doctoral period, including publications and congress contributions derived from the results of this research, as well as funding.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cambios visuales asociados a la edad

El envejecimiento genera una serie de cambios estructurales y fisiológicos en el sistema ocular, que afectan negativamente a algunos aspectos de la función visual (Owsley, 2011). Distintos estudios poblacionales han mostrado este deterioro asociado a la edad, que genera un aumento en la prevalencia de deficiencias visuales entre los mayores de 65 años (Klein, 1991; Rubin et al., 1997). Según la OMS, se considera que existe una deficiencia o alteración visual cuando la agudeza visual binocular es inferior a 0,5 (escala decimal) (Rubin et al., 1997). De acuerdo a este criterio, se ha visto que la prevalencia de sujetos de edad avanzada por debajo de este límite aumenta del 1% entre los 60-69 años hasta un 26% en los mayores de 80 años (Wang et al., 2000).

La óptica ocular sufre distintas alteraciones debido al paso del tiempo. Aunque la capa lagrimal mantiene su calidad óptica en ausencia de procesos patológicos, el envejecimiento conlleva a una reducción de la producción lagrimal y un aumento de la evaporación, haciendo al primer dioptrio del sistema ocular menos estable (Tomlinson y Craig, 2002; Maïssa y Guillon, 2010; Ozdemir y Temizdemir, 2010). En la córnea, se produce una disminución de la densidad de células endoteliales (Abib y Barreto, 2001). La pupila muestra una disminución de su diámetro, denominada miosis senil. Este cambio es positivo porque aumenta la profundidad de foco y disminuye el impacto de las aberraciones. Sin embargo, reduce la iluminación retiniana, afectando principalmente a la visión en ambientes mesópicos y escotópicos (Atchison et al., 2011). Por otro lado, el cristalino es uno de los componentes del sistema ocular que más notablemente se ve afectado por el envejecimiento, sufriendo una pérdida gradual de transparencia y un aumento en su densidad (Sample et al., 1991). A nivel del vítreo se produce un cambio en su textura, que se hace más acuosa y fibrosa, lo que aumenta la percepción de miodesopsias, llamadas coloquialmente “*moscas volantes*” (Sebag, 1987). A nivel retiniano también se produce una disminución en el número de fotorreceptores (Curcio et al., 1993), y se ve afectada la integridad de las células ganglionares, del pigmento macular, de la capa de fibras nerviosas retinianas y de la vía visual (Bonnell et al., 2003; Spear, 1993; Weale, 1992).

Como consecuencia a estos cambios, las aberraciones de alto orden aumentan notablemente, ya que el balance que existe durante la juventud entre las aberraciones corneales y las del cristalino se altera con los cambios fisiológicos del envejecimiento (Artal et al., 2003; Guirao et al., 1999; Navarro et al., 2013a; Navarro et al., 2013b; Taberero et al., 2007). Además, los cambios en la córnea, el cristalino y la retina contribuyen a un aumento del scattering intraocular (Artal et al., 1993; Martínez-Roda et al., 2016b; Olsen, 1982;), que se mantiene constante hasta los 45 años, pero aumenta notablemente a partir de esta edad (Figura 2.1) (Hennelly et al., 1998; van den Berg, 1995). Esto provoca que la calidad de la imagen retiniana se vea reducida (Díaz-Doutón et al., 2006). Por otro lado, los cambios a nivel del cristalino y el sistema acomodativo también generan una reducción lineal de la amplitud de acomodación con la edad (Charman, 1989).

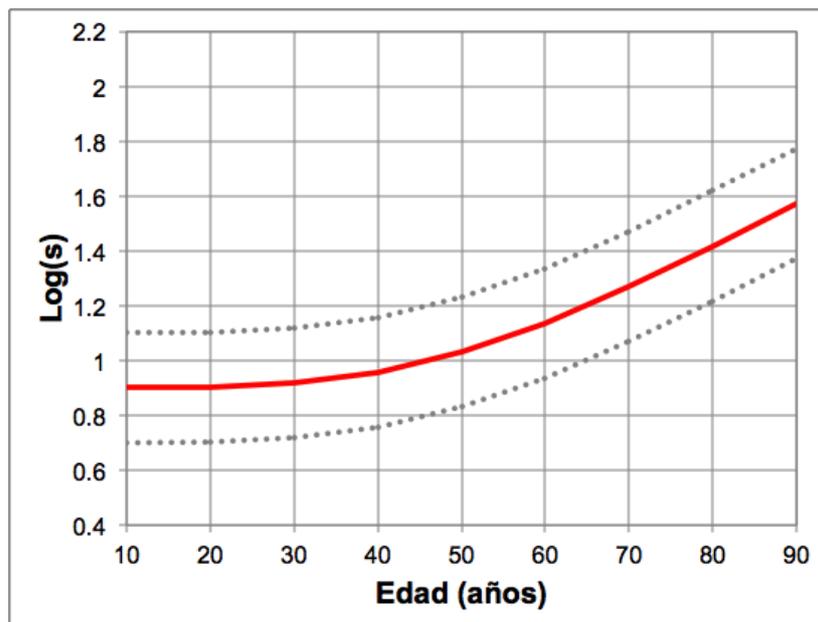


Figura 2.1. Curva de evolución normal del straylight (log(s)) con la edad. Se consideran valores normales aquellos comprendidos en el área delimitada por las líneas discontinua. Adaptada de van den Berg et al., (2007a).

Todos los cambios mencionados, junto con los cambios neurales, resultan en una disminución de las distintas funciones visuales, tales como la agudeza visual (Elliot et

al., 1995; Haegerstrom-Portnoy et al., 1999) y la sensibilidad al contraste, afectando principalmente a las frecuencias medias y altas (Figura 2.2) (Haegerstrom-Portnoy et al., 1999; Owsley et al., 1983). Además, las personas mayores también muestran una reducción de la extensión y la sensibilidad del campo visual (Drance et al., 1967; Johnson et al., 1989; Spry y Johnson, 2001; Wood et al., 2008), así como en la velocidad de procesamiento de la información visual (Edwards et al., 2005; Kline y Birren, 1975; Walsh et al., 1979; Wood et al., 2008). En cuanto a las condiciones de baja iluminación, se ha demostrado una menor velocidad de adaptación a la oscuridad (Curcio et al., 1993; Kline et al., 1992) y una mayor sensibilidad al deslumbramiento en personas mayores (Elliott y Bullimore, 1993; Rubin et al., 1997).

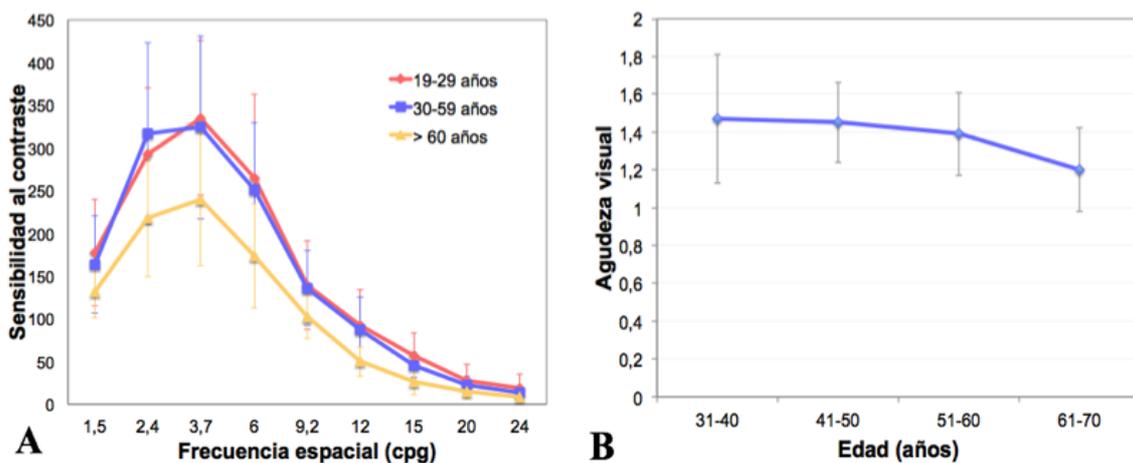


Figura 2.2. Evolución de la sensibilidad al contraste y la agudeza visual con la edad. A) Adaptación de Ortiz et al., (2013), en el que se muestra la sensibilidad al contraste binocular promedio y DE (desviación estándar) en tres grupos de conductores de distintas edades para distintas frecuencias espaciales. B) Adaptación de Martínez-Roda et al., (2016), en el que se muestra la agudeza visual media y DE de cuatro grupos de participantes de distintas edades.

La suma de todas estas alteraciones supone dificultades para las personas mayores en tareas de la vida cotidiana que requieren un procesamiento rápido y eficaz de la información, como la conducción (Wood et al., 2008). De hecho, el criterio que más se adopta universalmente para la obtención del permiso de conducir es tener una agudeza visual binocular por encima de 0,5 (escala decimal) y, como se ha indicado

anteriormente, el porcentaje de personas mayores que tienen una agudeza visual inferior es importante.

2.2. Patologías visuales asociadas a la edad

En España, la prevalencia de personas con una deficiencia visual, definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una agudeza visual binocular menor a 0,5 en escala decimal (Rubin et al., 1997), es del 1,89% (Rius et al., 2014). Con la edad este porcentaje aumenta de manera importante (Congdon et al., 2003; Pascolini y Mariotti, 2012). En un estudio llevado a cabo en 392 personas de una residencia de mayores en Pamplona ($81,2 \pm 6,8$ años), la prevalencia de deficiencias en la agudeza visual alcanzaba el 31,9%. En este grupo de edad, la principal causa eran las cataratas (44,6%), seguido de la degeneración macular asociada a la edad (27,2%) y de la miopía patológica (12%) (Sainz-Gómez et al., 2010). Las patologías oculares aumentan su prevalencia de manera considerable con la edad. La catarata es la segunda causa de deterioro visual a nivel mundial (33%) tras los errores refractivos no corregidos (43%), y la primera causa de ceguera (51%) (Pascolini y Mariotti, 2012). Aunque la cirugía de catarata es uno de los procedimientos quirúrgicos más frecuentes en oftalmología, los pacientes suelen pasar periodos considerables de tiempo conviviendo con la patología antes de ser operados. Otras patologías comúnmente encontradas en la población de edad avanzada son la degeneración macular asociada a la edad (DMAE), el glaucoma y la retinopatía diabética (RD) (Hyman, 1987). Aunque se han conseguido avances importantes en el diagnóstico y el tratamiento de estas enfermedades, a veces no se aplican a tiempo, o pueden no ser efectivos ralentizando la progresión de la enfermedad, lo que provoca pérdidas visuales severas e irreversibles. Las deficiencias visuales en personas mayores suponen la pérdida de capacidades necesarias para realizar tareas de la vida cotidiana como la conducción (Rubin et al., 1997). Esto tiene un impacto negativo en la calidad de vida y la salud de estas personas, con una mayor tasa de depresiones, aislamiento social y un peor acceso a los servicios de salud (Chihuri et al., 2016; S. J. Fonda et al., 2001; Michelle L Fraser et al., 2013).

2.3. Visión y conducción

La conducción es una tarea que indiscutiblemente depende en gran parte de la visión. De forma general, se afirma que el 90% de la información que integramos al conducir un vehículo es visual. Aunque no existe evidencia científica que apoye la veracidad de este porcentaje, es indudable la fuerte relación de dependencia existente entre visión y conducción (Sivak, 1996). El estudio de esta cuestión ha aumentado de forma importante durante las últimas décadas (Owsley et al., 2015). La motivación para este creciente interés ha venido de la necesidad de aumentar la seguridad, ya que los accidentes de tráfico son un problema de salud pública importante, y dentro de las posibles líneas de acción que tenemos disponibles, está la relativa a potenciar las capacidades necesarias en el conductor. A día de hoy las evidencias existentes sobre el impacto de las patologías oculares en la seguridad vial es limitada, y existe una falta de conocimiento en cuanto al valor o adecuación de los actuales requerimientos visuales para la obtención del permiso de conducir.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha se han basado en diferentes diseños. Por ejemplo, se han realizado estudios de accidentabilidad, en los que se relacionan estos datos, obtenidos por medio de las administraciones públicas o por encuestas, con test visuales o distintas patologías. Por otro lado, se ha estudiado la influencia de la visión en el rendimiento en la conducción. Esto último se ha hecho de distintas formas, por ejemplo en experimentos realizados en circuitos de carretera, con un profesional como un terapeuta ocupacional o un miembro del equipo investigador encargándose de valorar la conducción, o instalando distintos sensores y video-cámaras a los vehículos, permitiendo capturar datos de conducción de manera objetiva (velocidad, frenada, estabilidad, etc.). Otro tipo de diseño son los llamados estudios naturalísticos en los que se mide objetivamente el rendimiento en la conducción real durante periodos prolongados de tiempo. Para ello, se instalan distintos controladores en el propio vehículo del participante y se registran datos de su conducción diaria. También se han empleado datos sobre la percepción subjetiva que el propio conductor tiene sobre su realización de esta tarea. Finalmente, el uso de simuladores de conducción para este tipo de estudios se está extendiendo de manera importante, debido a que cada vez existen simuladores de más alta fidelidad, validados para este tipo de experimentos. Para

obtener más información sobre los distintos tipos de estudios realizados en este tema, puede consultarse el trabajo publicado por Owsley et al., (2015).

2.3.1. Función visual

Agudeza Visual

La agudeza visual (AV) es el test más empleado en la clínica y en el laboratorio para evaluar la función visual en relación a actividades que desempeñamos en la vida cotidiana, como por ejemplo la conducción. En España, el Reglamento General de Conductores (Reglamento General de Conductores, RD 8/8/2009, actualizado con la orden PRE/2356/2010) regula que un conductor debe tener una AV binocular mínima de 0,5 en escala decimal, al igual que en la mayoría de países de Europa (Bron et al., 2010) (Tabla 2.1).

Desde los años 60, se ha investigado la relación entre la agudeza visual y el riesgo de accidente. Sin embargo, a día de hoy esto sigue siendo una pregunta por responder. Los primeros estudios realizados para relacionar ambos aspectos fueron los llevados a cabo por Burg (1967, 1968) y el posterior re-análisis realizado por Hills y Burg (1977). En ninguno de ellos se encontró una relación entre ambos factores, aunque una correlación muy débil pudo obtenerse en conductores mayores. Posteriormente, otros estudios han obtenido una asociación débil (Hofstetter, 1976; Ivers et al., 1999; Owsley et al., 2001), pero existe un mayor número de estudios que no han encontrado una relación significativa entre agudeza visual y accidentes (Decina y Staplin, 1993; Owsley et al., 2001; Owsley et al., 1998). Más tarde, se ha estudiado este tema en trabajos con metodologías más controladas. Por ejemplo, alguna de las mejoras introducidas son la inclusión de muestras de mayor tamaño, o la corrección de los resultados en función del factor de exposición, es decir, las distancias recorridas por los conductores. Así, Cross et al., (2009) y Rubin et al., (2007) estudiaron distintos test visuales como factores de riesgo de accidente en grandes muestras (1801 y 3158 participantes respectivamente), sin encontrar una relación significativa entre el número de accidentes y la agudeza visual.

Con respecto al rendimiento en la conducción, se han realizado estudios en conductores con deterioro de la agudeza visual real y también simulado. Los resultados obtenidos simulando borrosidad muestran que tanto la detección de obstáculos en la carretera como la legibilidad de señales de tráfico podrían verse afectadas (Higgins et al., 1998; Higgins y Wood, 2005). Sin embargo, otros aspectos de la conducción parecen no alterarse, como la capacidad para mantener la posición del vehículo en el carril (Higgins et al., 1998). También se han realizado estudios en condiciones patológicas que alteran la agudeza visual. Por ejemplo, en el estudio realizado por Szlyk et al., (1995a) en sujetos con DMAE comparándolos con un grupo control, los resultados mostraron que el grupo patológico tenía un peor rendimiento en casi todas las variables analizadas. Los autores evaluaron la conducción tanto en un simulador como en carretera, y encontraron para ambos entornos que una mejor agudeza visual estaba correlacionada con un mejor tiempo de reacción, velocidades más altas y menos salidas de los límites del carril. Sin embargo, las mismas correlaciones se encontraron con la sensibilidad al contraste, por lo que el efecto en la conducción podría deberse también a esta otra función visual. Por otro lado, un estudio en carretera realizado en pacientes con catarata, no encontró una relación significativa entre la mejora en agudeza visual alcanzada tras la cirugía y la mejora obtenida en la conducción (Wood y Carberry, 2006).

Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste (SC) no es una de las pruebas estandarizadas en el examen visual de los conductores. Sin embargo, el Reglamento General de Conductores de nuestro país indica que la sensibilidad al contraste debe ser normal, dejando la responsabilidad de juzgar qué es un nivel “normal” para la conducción al profesional encargado del examen visual.

Dentro del entorno visual de la conducción encontramos estímulos con diferente nivel de contraste, frecuencias espaciales y niveles de iluminación, por lo que la agudeza visual sería insuficiente para evaluar todas estas condiciones. Por ello, podría ser recomendable la valoración de test como la sensibilidad al contraste. Así, se ha

demostrado que existe una asociación entre el número de accidentes en un periodo reciente y un deterioro de la sensibilidad al contraste en personas de edad avanzada (Ball et al., 1993), pero no se han encontrado resultados que confirmen que este test visual pueda ayudar a predecir accidentes en el futuro (Cross et al., 2009; Rubin et al., 2007). Una de las poblaciones que tienen un déficit más significativo en la sensibilidad al contraste son los sujetos con cataratas. Owsley et al., (2001) demostraron que el deterioro en este parámetro visual en personas con catarata está relacionado con un incremento en el riesgo de accidentes, incluso cuando está presente en un solo ojo. Además, en esta misma muestra, pudo verse como la cirugía de catarata reducía el riesgo de accidentes futuros en un 50% (Owsley et al., 2002).

La relación entre la SC y el rendimiento en la conducción también ha sido estudiada. Por ejemplo, se ha visto que este test visual es mejor predictor que la agudeza visual de la capacidad para realizar actividades de la conducción como el reconocimiento de señales, obstáculos y peatones durante la noche (Wood, 2002; Wood y Owens, 2005). Además, se ha demostrado que la mejora en la sensibilidad al contraste obtenida tras la cirugía de catarata está asociada con una mejora en tareas de reconocimiento durante la conducción (Wood y Carberry, 2006). Por otro lado, en personas con glaucoma, un estudio llevado a cabo con un simulador de conducción también encontró que la SC del mejor ojo estaba correlacionada con destrezas tales como el mantenimiento del coche en el carril o el tiempo de reacción (Szlyk et al., 2002). En sujetos con DMAE, un trabajo realizado en simulador de conducción y en carretera, mostró que una mejor SC estaba correlacionada con un menor tiempo de reacción, mayores velocidades y mejor mantenimiento del coche dentro del propio carril (Szlyk et al., 1995a). Esta relación también ha sido confirmada en pacientes con Parkinson, evaluándolos tanto en carretera como en simulador (Alvarez y Classen, 2018; Classen et al., 2015; Uc et al., 2009).

Campo Visual

Esta prueba está incluida en el examen visual para conductores. En España, el Reglamento General de Conductores sólo indica que el campo visual (CV) tiene que ser

normal, sin especificar un límite concreto, mientras que en el resto de Europa, en general, se tiene en cuenta que el campo visual horizontal debe ser de al menos 120°. Algunos países puntualizan también que no debe haber pérdidas significativas en los 20° centrales (Reino Unido), o que éste sea perfecto en los 30° centrales (Alemania) (Bron et al., 2010) (Tabla 2.1).

Uno de los primeros estudios sobre el impacto de las pérdidas de campo visual en la conducción fue el llevado a cabo por Johnson y Keltner (1983) en 10.000 sujetos. Estos autores encontraron que un defecto del campo visual binocular duplicaba el riesgo de accidentes. Sin embargo, no encontraron un aumento en el riesgo de accidentes para aquellos que tenían un defecto monocular del campo visual. Huisinigh et al., (2015) y Rubin et al., (2007) encontraron también una asociación entre accidentes y defectos del campo visual binocular mientras que McGwin et al., (2005) indicaron que el déficit del peor ojo estaba más relacionado con un mayor riesgo de accidentes. Los resultados de Haymes et al., (2007) estaban de acuerdo, ya que para su muestra, aquellos con un déficit de CV en el peor ojo tenían 5 veces más riesgo de sufrir accidentes, aunque este resultado no fue estadísticamente significativo. Otros estudios, por el contrario, no han encontrado una relación entre la pérdida de campo visual y los accidentes. Ejemplo de ello son algunos trabajos que han corregido sus resultados por el factor de exposición, es decir, por la distancia recorrida (Burg, 1967; Decina y Staplin, 1993; Owsley et al., 1998). Las diferencias encontradas en los distintos estudios podrían deberse a la heterogeneidad de los defectos del campo visual incluidos, ya que los trabajos que analizan distintas pérdidas han encontrado que algunas tienen más efecto que otras. Algunos han indicado que los defectos de campo visual más relacionadas con accidentes son los localizadas en la zona inferior (Kunimatsu-Sanuki et al., 2017) e inferior izquierda (Huisinigh et al., 2015). Por otro lado, en el estudio de Szlyk et al., (2005), los pacientes de glaucoma con un campo visual horizontal inferior a 100° eran quienes tenían más riesgo de accidentes.

En cuanto al rendimiento en la conducción, distintos trabajos en carretera y en simulador han encontrado algunas habilidades en las que los conductores con campo visual alterado podrían tener más problemas. Estas son principalmente las relacionadas con la detección de estímulos de la vía como marcas de la carretera y obstáculos, el

tiempo de reacción (Bronstad et al., 2015; Haymes et al., 2008; Wood et al., 1993; Wood y Troutbeck, 1995, 1992), también el mantenimiento de la posición del vehículo en el carril, la valoración de las distancias (Kasneci et al., 2014) y el control de la dirección del vehículo (Bowers, 2016; Bronstad et al., 2016). A pesar de estos resultados, los conductores con campo visual alterado adoptan mecanismos compensatorios cambiando el escaneo visual del entorno. Comúnmente muestran un aumento de los movimientos oculares, de la cabeza y de los hombros. Así, a pesar de su déficit, no todos los conductores con campo visual alterado tienen por qué presentar un mayor riesgo de accidente. Esta cuestión no se puede juzgar adecuadamente con la evaluación tradicional del campo visual, por lo que se ha aconsejado realizar un examen individualizado en estos casos (Bowers, 2016).

Tabla 2.1. Requerimientos visuales para los conductores según la normativa en distintos países europeos (Adaptada de Bron et al., (2010)).

Región/País	Agudeza Visual	Campo Visual	Visión monocular	Otras características
Unión Europea	$\geq 0,5$ en ambos ojos y con corrección	$>120^\circ$	$\geq 0,6$ si hay visión monocular	Se pueden hacer excepciones atendiendo a opinión médica
Reino Unido	Mínimo alcanzar aprox. 0,4-0,6	$>120^\circ$ horizontal (sin pérdidas significativas en los 20° centrales)	Se permite sólo si el CV es normal	Posibles excepciones atendiendo al criterio europeo
Alemania	AV corregida $\geq 0,5$ en el mejor ojo y $\geq 0,2$ en el peor ojo	$>120^\circ$ horizontal (30° centrales perfectos)	Si hay visión monocular o un ojo $<0,2 \rightarrow$ el mejor ojo $\geq 0,6$	
Francia	AV binocular $\geq 0,5$	Horizontal 60° derecha-izquierda; vertical 30° arriba-abajo	Si hay visión monocular o un ojo $<0,1 \rightarrow$ el mejor ojo $\geq 0,6$	Visión nocturna necesaria; excepciones para licencias restringidas a conducción diurna
España	AV corregida $\geq 0,5$ binocular	CV normal	No permitida; excepciones si AV $\geq 0,6$	Los médicos pueden determinar ciertas restricciones
Italia	AV corregida $\geq 1,0$	CV normal (tal como 120°)	Peor ojo con AV $\geq 0,2$	Percepción cromática y visión nocturna suficiente

AV, agudeza visual; CV, campo visual

Velocidad de procesamiento de la información y atención visual dividida

En la bibliografía sobre conducción se ha citado con mucha frecuencia otro aspecto relacionado con el procesamiento de la información presente en el campo visual, el campo visual útil (UFOV; del inglés, *Useful Field of View*). El término campo visual útil fue definido por Sanders (1970) como el área de donde puede extraerse información durante una breve mirada, sin movimiento de los ojos o de la cabeza. El test visual que lo evalúa fue desarrollado por Ball y colaboradores hace tres décadas, con el objetivo de tener un test que reflejara adecuadamente las dificultades de personas mayores en tareas

de la vida cotidiana (Ball et al., 1990). En los primeros diseños se podía obtener el área del UFOV, sin embargo en los actuales se obtiene una puntuación global que representa el umbral en milisegundos al cual un observador responde correctamente al 75% de las pruebas. Además, incorpora una serie de tareas en las que se mide la velocidad de procesamiento, incorporando también una tarea de atención dividida y otra de atención selectiva (Figura 2.3) (Ball y Owsley, 1993; Rusch et al., 2016; Wood y Owsley, 2014).

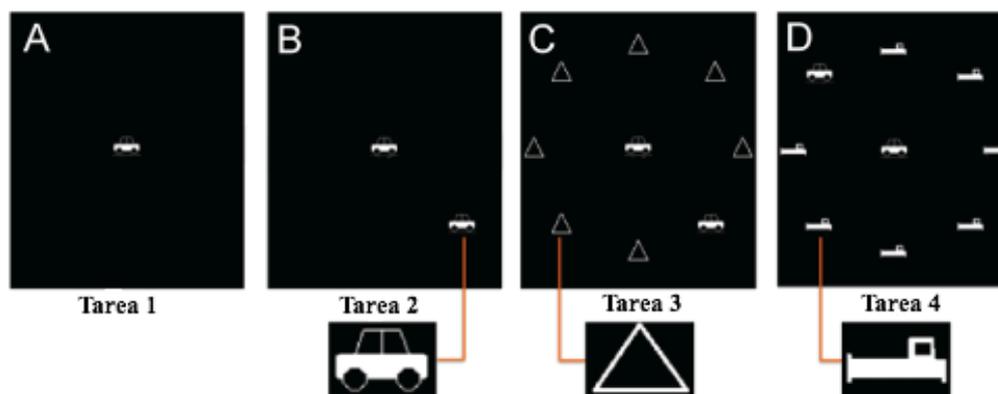


Figura 2.3. Niveles del test UFOV. La tarea 1 muestra un estímulo central para fijación (A). La tarea 2 incluye un estímulo periférico con forma de coche a 6° de excentricidad en una de las ocho posiciones cerca del borde de la pantalla (B). Finalmente, las tareas 3 y 4 son idénticas a la tarea 2, excepto por la presencia de ruido, representado con distractores triangulares en la tarea 3 y con distractores con la forma de un camión en la tarea 4. Para cada tarea, después de la observación el participante tiene que identificar cuál era el estímulo central (coche o camión) y en qué posición se encontraba el estímulo periférico (coche). Figura reproducida de Layfield et al., (2014).

Este test ha mostrado resultados prometedores en investigaciones sobre conducción. Por ejemplo, un deterioro en el UFOV ha sido relacionado con un mayor riesgo de accidentes en personas mayores (Anstey et al., 2005; Ball y Owsley, 1993; Clay et al., 2005; Rubin et al., 2007; Sims et al., 2000) (Figura 2.4). En concreto, Ball y colaboradores concluyeron que el UFOV podía alcanzar un 27% de predicción del número de accidentes, un porcentaje alto para un único test visual (Ball et al., 1993; Ball y Owsley, 1991; Owsley et al., 1991). Por otro lado, el campo visual útil también ha sido asociado con distintos aspectos de rendimiento en la conducción como la

capacidad para juzgar distancias y velocidades de otros vehículos, o el reconocimiento de estímulos en la vía (Bowers et al., 2005; Willstrand et al., 2017; Wood, 2002).

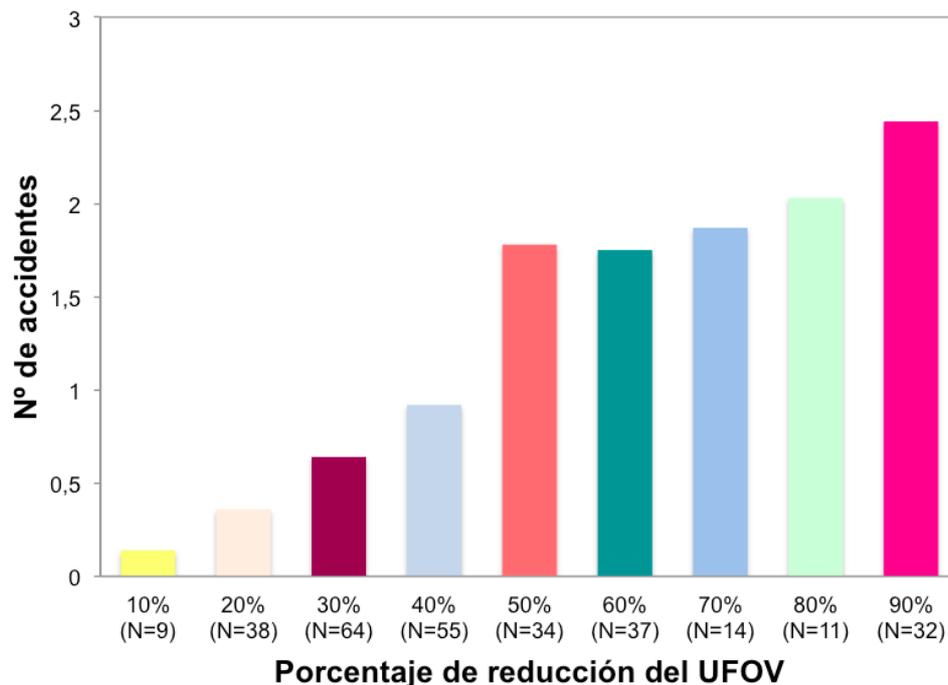


Figura 2.4. Frecuencia media de accidentes en función de la reducción en el UFOV. Adaptada de Ball et al., (1993).

Scattering, straylight y deslumbramiento

Aunque existe una íntima relación entre el scattering, el straylight y el deslumbramiento, también hay diferencias esenciales entre ellos. El scattering se refiere al proceso físico por el que la luz interacciona con la materia difundiéndose en todas las direcciones. Esta luz difundida llega a la retina, degradando la visión. Este efecto visual es el llamado straylight, que origina una disminución del contraste en la imagen retiniana, así como la sensación de deslumbramiento (van den Berg, 2017a).

Aunque se trata de un factor de riesgo, no hay un método estandarizado y universalmente aceptado para medir el efecto del scattering en la visión (Elliott y Bullimore, 1993; van Rijn et al., 2005). En los estudios sobre conducción normalmente se han empleado test que miden una función visual en presencia y ausencia de

deslumbramiento. Algunos de los dispositivos más usados son el Brightness Acuity Tester (BAT), el Berkeley Glare Test (BGT) o el Mesotest, que emplean un test de agudeza visual o un test de sensibilidad al contraste. Por ejemplo, el estudio de Rubin et al., (2007) encontró que en los conductores con más deterioro visual, la sensibilidad al deslumbramiento medida con el BAT estaba asociada con un mayor número de accidentes en el período del estudio. El mismo resultado fue obtenido por Lachenmayr et al., (1998), usando el dispositivo Mesotest.

Por otro lado, se ha visto cómo añadir un test de sensibilidad al deslumbramiento (BGT) puede mejorar la predicción del rendimiento en la conducción de sujetos con catarata simulada con respecto a utilizar sólo un test de agudeza visual (Higgins y Wood, 2005). Por el contrario, aunque este tipo de test representen las condiciones donde la visión podría verse más comprometida, otros estudios han mostrado que no predicen de forma adecuada el rendimiento en la conducción nocturna (Kimlin et al., 2017) o en condiciones de día (Owsley et al., 2001; Wood y Carberry, 2006). Distintos autores también han estudiado el efecto del scattering intraocular cuantificando la extensión de halos visuales percibidos por el observador, cuya influencia podría afectar a la discriminación de estímulos en la carretera. El estudio llevado a cabo por Ortiz et al., (2013) demostró que los conductores mayores con y sin patología ocular tenían influencia de alteraciones de la visión nocturna (halos), siendo significativamente mayor para aquellos con patología ocular (cataratas). Por otro lado, un estudio más reciente ha confirmado que, efectivamente, la extensión del halo está significativamente relacionada con un peor rendimiento en la conducción nocturna (Kimlin et al., 2017).

El impacto del straylight no genera únicamente deslumbramiento, sino que degrada la visión en un sentido más general. Este parámetro está relacionado con la función de dispersión de punto PSF (del inglés, *point spread function*) en su parte exterior, mientras que el tipo de error refractivo y la difracción dominan su parte central. La imagen que vemos de una escena puede, por tanto, estar afectada por el straylight, ya que la imagen retiniana es el resultado de la convolución de la escena visualizada con la PSF (van den Berg, 2017a). Así, el straylight genera otros efectos aparte del deslumbramiento, como son dificultad en el reconocimiento de caras, problemas de orientación espacial, peor visión del color y pérdida de sensibilidad al contraste (Figura 2.5) (van den Berg, 2017a).

Además, ha sido demostrado que el straylight afecta poco a la agudeza visual, por lo que su medida podría ser complementaria en la caracterización del estado de la función visual (van den Berg, 2017b). Distintos autores han sostenido esta idea, añadiendo que la medida del straylight intraocular podría ser de gran valor para obtener información relevante sobre el estado visual de un conductor, principalmente para aquellos de edad avanzada o con patologías como la catarata (Bal et al., 2010; Michael et al., 2009; van den Berg et al., 2009; van Rijn et al., 2002). En una serie de estudios llevados a cabo en Europa, estos autores han propuesto un valor límite de straylight para la seguridad en la conducción ($\log(s) = 1,4$) (van den Berg et al., 2009). Aplicando este valor en un estudio con sujetos afectados de catarata, un 78% de los participantes eran considerados no-aptos para la conducción, aunque su agudeza visual estaba por encima del mínimo requerido por el reglamento de conductores (Bal et al., 2010). En esta línea, Michael et al., (2009) evaluaron a 2.422 conductores europeos y encontraron una prevalencia mucho mayor de sujetos con straylight o sensibilidad al contraste afectados, mientras que las personas con afectación de la AV o el CV eran mucho menos numerosas. Sin embargo, mientras que la AV y la SC estaban correlacionadas, no ocurría lo mismo entre la AV y el straylight, por lo que defendían que ambos test visuales deberían ser utilizados. A pesar de los resultados obtenidos en estos estudios, este tipo de test no ha sido incluido en trabajos que analicen de manera objetiva su relación con el riesgo de accidente o con parámetros relacionados con el rendimiento en la conducción, por lo que no ha sido confirmado si los test disponibles en el mercado para la medida objetiva del scattering o straylight (Artal et al., 2011; Piñero et al., 2010) podrían tener un papel importante en la evaluación visual de los conductores.

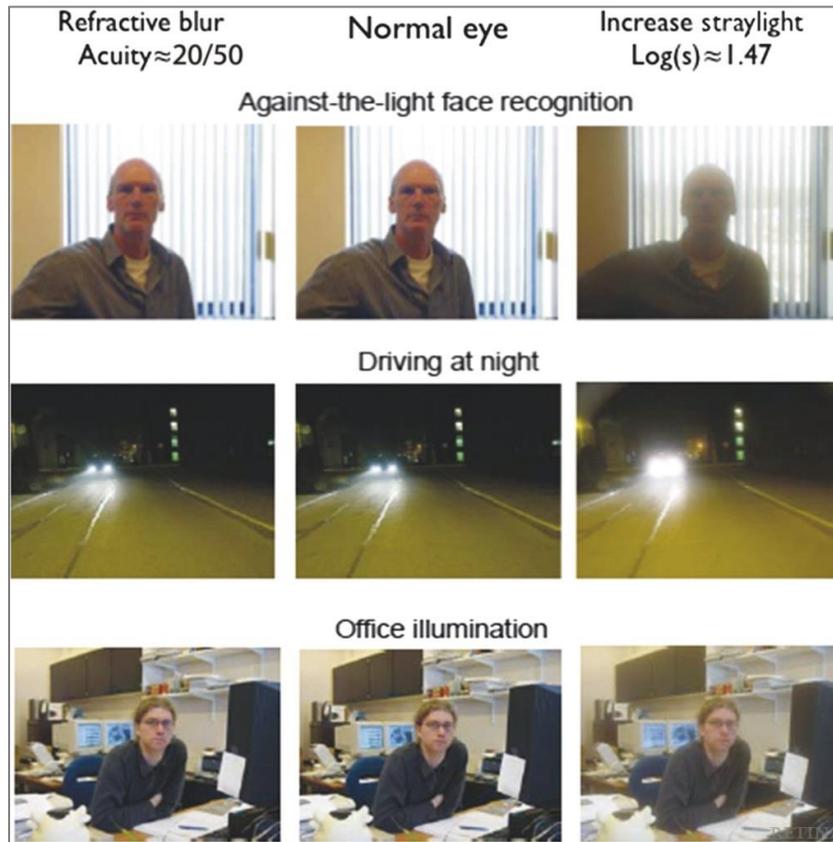


Figura 2.5. Simulación de los efectos visuales de un desenfoque por error refractivo no corregido y un nivel elevado de scattering intraocular en situaciones cotidianas donde pueden suponer un impedimento. Figura reproducida de Castilla-Martí et al., (2015).

2.3.2. Patologías oculares

El deterioro visual asociado a las patologías oculares puede tener un impacto en las habilidades necesarias para conducir un vehículo. Debido, entre otros motivos, al envejecimiento de la población, se espera que el número de conductores afectados de distintas patologías oculares aumente en el futuro. Por todo ello, en los últimos años se han realizado distintos trabajos que estudian las consecuencias para la conducción de algunas de las enfermedades oculares más comunes.

Catarata

La catarata es una de las patologías oculares más prevalentes entre las personas de edad avanzada. Tal es su frecuencia que, a los 80 años, más del 90% de las personas las han desarrollado (Liu et al., 2017). En Europa, un estudio llevado a cabo en 2.211 conductores activos, mostró que alrededor de un 42% tenía una catarata significativa en al menos un ojo, mientras que el 36% tenía catarata binocular (Nischler et al., 2010). A pesar de que su cirugía es uno de los procedimientos quirúrgicos más comunes en oftalmología, las largas listas de espera hacen que las personas afectadas vivan durante periodos de tiempo considerables con catarata, realizando tareas como conducir cuando incluso no alcanzan la agudeza visual mínima requerida para ello. Keay et al., (2016) realizó un estudio en 442 conductores australianos con esta patología. Entre los que continuaban poniéndose al volante, un tercio no alcanzaba la agudeza visual mínima para conducir. Entre aquellos que habían dejado de realizar esta tarea, un 25% decía que esta decisión era motivada por el deterioro visual. Frecuentemente, los conductores con catarata auto-regulan su conducción o incluso dejan de realizar esta tarea, con las consecuencias negativas que conlleva para su calidad de vida (Fraser et al., 2013b). Sin embargo, hay una proporción importante que no lo hace (Agramunt et al., 2017). Esta falta de conciencia supone un riesgo para la seguridad vial, ya que se ha mostrado que estos conductores provocan 2,5 veces más accidentes que aquellos de su misma edad sin catarata (Owsley et al., 1999), ocasionados por déficits severos en algunas funciones visuales como la sensibilidad al contraste (Owsley et al., 2001).

Algunos estudios en carretera han reflejado que estos conductores tienen peor rendimiento general al volante (Wood, 2002; Wood y Mallon, 2001). En concreto, tienen dificultades en tareas como el reconocimiento de señales y obstáculos, o el mantenimiento de la posición del coche en el carril, que mejoran después de la cirugía (Wood y Carberry, 2004, 2006).

Los estudios sobre riesgo de accidentes también han encontrado un efecto positivo de la cirugía de catarata. Así, se ha visto que reduce las colisiones en un 50% comparado con aquellas personas que no se operan (Owsley et al., 2002). Parece que sólo con intervenir un ojo, el riesgo de accidentes desciende de manera importante. El estudio realizado por

Meuleners et al., (2012) mostró que esta reducción era de un 13%, pero existen datos posteriores más optimistas, que indican un descenso del 61% tras la cirugía del primer ojo y un 23% adicional tras la del segundo (Meuleners et al., 2019). La percepción que el conductor tiene de las dificultades visuales también mejora. En este sentido, una revisión sistemática y meta-análisis concluyó que la cirugía de catarata promueve una reducción del 88% en las dificultades percibidas por los conductores (Subzwari et al., 2008), mejorando aspectos tales como conducir con lluvia, en condiciones de mucho tráfico, conducir sólo o durante la noche (Fraser et al., 2013). Además, la mejora experimentada en la conducción tras la cirugía de catarata parece estar asociada con la mejora de la sensibilidad al contraste, y no con la de la agudeza visual (Agramunt et al., 2018; Wood y Carberry, 2006).

Glaucoma

El glaucoma es la segunda causa de ceguera en el mundo. Según las previsiones para el año 2020, el número de personas afectadas por esta patología rondaría actualmente los 80 millones, con un incremento del 31% con respecto a 2010 (Quigley y Broman, 2006). Incluso en países desarrollados, la mitad de los casos no están diagnosticados (Quigley, 2011), por lo que estas personas no son conscientes de la enfermedad y sus posibles efectos adversos o riesgo asociado.

Aunque en la literatura pueden encontrarse trabajos que emplean distintas metodologías para evaluar la conducción, y también pacientes en diferentes estados de la enfermedad, todos parecen coincidir en que existe un mayor riesgo de accidentes en conductores con glaucoma. Así, un estudio mostró que tenían 6 veces más probabilidad de haber sufrido un accidente en los cinco años anteriores comparado con los conductores sin la enfermedad. Además, la probabilidad de ser responsables del accidente era 12 veces mayor (Haymes et al., 2007). También para un periodo de aproximadamente cinco años, McGwin et al., (2005) relacionaron el estado de la patología con el número de accidentes. Estos autores encontraron que aquellos con una pérdida moderada o severa en el peor ojo tenían una probabilidad aproximadamente 4 veces mayor de sufrir un

accidente. Estos resultados apoyan la idea de que los conductores con pérdidas de campo visual más severas por el glaucoma son aquellos que están en mayor riesgo (McGwin et al., 2015; Montana y Bhorade, 2018; Tanabe et al., 2011). Esta idea ha sido apoyada por un estudio poblacional realizado en 2.000 personas. Los autores indicaron que, en general, los conductores con glaucoma sufren 1,65 veces más accidentes mientras que aquellos con pérdida severa de CV tienen 2 veces más accidentes (Kwon et al., 2016). También existen algunos trabajos que han estudiado este aspecto con simuladores de conducción. Del mismo modo, sus resultados han reflejado una mayor incidencia de accidentes en los pacientes de glaucoma (Kunimatsu-Sanuki et al., 2017; Szlyk et al., 2002, 2005), siendo las pérdidas del hemisferio visual inferior las más críticas (Kunimatsu-Sanuki et al., 2017). Además, la evaluación de estos conductores en simuladores ha sido propuesta como un método para detectar a aquellos en riesgo. Por ejemplo, se ha propuesto evaluarlos con una tarea de atención dividida basada en la detección de estímulos de bajo contraste, obteniendo mejores resultados que con el UFOV o la campimetría tradicional para predecir riesgo de accidentes reales (Tatham et al., 2015).

Sin embargo, no todos los estudios llegan a la misma conclusión. Por ejemplo, Yuki et al., (2014) no encontraron una relación entre la pérdida de campo visual binocular central y el número de accidentes, y en el estudio realizado por McGwin et al., (2004) se obtuvo que los conductores con glaucoma tenían menor riesgo. No obstante, hay que destacar que el número de participantes del primer estudio no era muy elevado comparado con otras investigaciones de este tipo (N=51), y que en el segundo no se aclara qué grado de pérdida del CV tenían los sujetos. Además, los resultados del mismo indicaban que los conductores auto-regulaban su conducción frecuentemente, por ejemplo evitando condiciones meteorológicas más adversas o conducir de noche, lo que podría afectar a los resultados, ya que este tipo de comportamientos puede reducir el riesgo de accidentes.

En cuanto a las tareas implicadas en el rendimiento en la conducción, distintos estudios en carretera han mostrado que estos conductores tienen dificultad en el control de la dirección y de la posición del vehículo en el carril, en la detección de estímulos y obstáculos periféricos, y para anticiparse a eventos inesperados (Bhorade et al., 2016;

Bowers et al., 2005; Haymes et al., 2008; Lee et al., 2018; Wood et al., 2016). Por ello, cometen el doble de errores en situaciones que podrían ser críticas, por ejemplo en semáforos o ceda el paso (Wood et al., 2016). Resultados similares han sido obtenidos también en conducción simulada, donde los conductores con glaucoma muestran peores destrezas en el control de la dirección y en tareas de detección de estímulos (Prado Vega et al., 2013).

También se ha evaluado a esta población con test relacionados con las habilidades propias de la conducción, como el Hazard Perception Test (HPT) o el DriveSafe. En el primero se presentan escenas dinámicas reales desde la perspectiva del conductor y en las cuales los sujetos tienen que identificar riesgos potenciales en el menor tiempo posible. En el segundo, se presentan escenas estáticas durante un breve tiempo tras el cual los participantes deben identificar a los otros usuarios de la vía, indicando cuáles eran su posición y dirección. Con el HPT se ha mostrado que los pacientes de glaucoma tienen problemas para detectar posibles peligros (Glen et al., 2015), y resultados similares se han obtenido con el DriveSafe, mostrando que hacen un escaneo más pobre de la imagen, provocado por peores movimientos oculares (Lee et al., 2019). Asimismo, estos conductores son más vulnerables a las condiciones ambientales, ya que tienen más dificultad para conducir en condiciones de niebla (Diniz-Filho et al., 2016), oscuridad o deslumbramiento, y en tareas que requieren visión periférica (Janz et al., 2009; Tam et al., 2018).

Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE)

La DMAE es la causa principal de pérdida visual central entre las personas mayores de 70 años (Wang et al., 2000). Se estima que existen entre 30 y 50 millones de personas afectadas por esta patología en el mundo (Wong et al., 2014). En Europa, un reciente meta-análisis prevé que para el año 2040 se haya doblado el número de personas con DMAE (Colijn et al., 2017).

A pesar de que su prevalencia va en aumento y de los efectos que conlleva, la investigación en cuanto a la DMAE y su efecto en la conducción es menos amplia que en otras patologías oculares, y los resultados obtenidos hasta el momento son menos

concluyentes. Ya en el año 1994 se publicó un trabajo sobre el efecto de distintas pérdidas sensoriales en el riesgo de accidentes, sin encontrar una relación significativa con la DMAE (McCloskey et al., 1994). Sin embargo, este estudio no aclara si se tuvieron en cuenta factores como la exposición, lo que podría ser la causa de la falta de relación hallada en este trabajo. Más tarde, McGwin et al., (2013) realizaron un estudio retrospectivo agrupando las muestras de cuatro estudios anteriores, en el que encontraron que los pacientes con DMAE en fase intermedia tenían una tasa de accidentes significativamente menor que los que no padecían la enfermedad. Por otro lado, aquellos que estaban en la fase inicial y avanzada, tenían una tasa de accidentes comparable a los conductores sin DMAE. Los autores justifican que estos resultados podrían deberse a que los participantes auto-regulen su conducción, disminuyendo así de manera importante el riesgo de accidente. También, estos resultados podrían deberse a que el grupo con mayor riesgo, en fase avanzada de la enfermedad, esté poco representado en estas muestras, ya que es conocido que gran parte de los conductores en esta fase dejan de conducir (Sengupta et al., 2014).

En cuanto al rendimiento en la conducción, una de las primeras investigaciones fue la realizada por Szlyk et al., (1995a). Estos autores compararon a 10 conductores con DMAE con otros 11 sujetos de edad similar sin la patología. Se realizó una evaluación en simulador de conducción y otra en un circuito en carretera. En general, los resultados mostraron un peor rendimiento para el grupo con DMAE en ambas evaluaciones, con un retraso en el tiempo de reacción de frenada, peor control de la posición del vehículo en el carril y velocidades más bajas. Sin embargo, este peor rendimiento no se traducía en una mayor incidencia de accidentes reales para ese grupo. Más recientemente, Bronstad y colaboradores han apoyado este hallazgo en una serie de estudios con simulador en sujetos con pérdida de campo visual central. En estos trabajos, los sujetos afectados de pérdida central han mostrado peor detección de peatones (Bronstad et al., 2015, 2013) y también un peor control de la dirección del vehículo, mostrando dificultad para mantenerlo circulando apropiadamente en su carril, lo que podría restar atención a otras tareas de la conducción, aumentando el riesgo (Bronstad et al., 2016). Otro trabajo más reciente, ha comparado 33 conductores con DMAE en fase inicial e intermedia con 50 conductores sin la patología en un circuito de carretera. Los resultados obtenidos indicaron que los conductores con DMAE eran menos seguros en

tareas relacionadas con observación, mantenimiento del coche en el carril y en el cálculo de distancias relativas a otros vehículos (Wood et al., 2018).

Retinopatía Diabética

La retinopatía diabética (RD) es otra de las causas de deterioro visual significativo entre la población activa y las personas mayores en los países desarrollados (Bourne et al., 2013). Su tratamiento afecta a la función visual, con pérdidas de campo visual que pueden ser tanto periféricas como centrales. Existen trabajos que muestran como las personas afectadas por esta enfermedad dicen tener dificultades en la conducción, principalmente de noche (Coyne et al., 2004; Hirai et al., 2011).

A pesar de ello, a día de hoy se han publicado muy pocos estudios que exploren su impacto en el rendimiento en la conducción y el riesgo de accidentes. Existe un estudio que compara el riesgo de accidente en conductores con RD con un grupo control, sin encontrar ningún resultado significativo (McCloskey et al., 1994). También, otros trabajos han examinado la relación de padecer diabetes con el riesgo de accidente, encontrando resultados contradictorios (McGwin et al., 1999; Sagberg, 2006). Por otro lado, en cuanto al rendimiento en la conducción, Szlyk et al., (2005) realizaron un estudio en 25 pacientes de RD con un simulador de conducción. Los resultados indicaron que el edema en retina, característico de esta patología, y las cicatrices causadas por el tratamiento tenían un efecto negativo en tareas relacionadas con eventos de frenada.

2.4. Otros factores de accidentabilidad

2.4.1. Distracción

La tarea de la conducción requiere que el conductor preste atención de manera continua a la carretera, al tráfico y al control del vehículo. La distracción al volante ha sido definida como el hecho de desviar la atención de las actividades de la conducción hacia

otras que compiten por los mismos recursos, lo que puede resultar en un nivel de atención insuficiente o nula hacia las tareas críticas para una conducción segura (Liang y Lee, 2009; Regan et al., 2011). Existen distintas fuentes de distracción, que pueden venir del entorno (por ejemplo, de paneles publicitarios), de dentro del propio vehículo (otros usuarios del vehículo, sistemas de navegación, uso del teléfono móvil, etc.), o incluso del propio conductor, que puede abstraerse y perderse en su pensamiento. De todas ellas, parece que en general los conductores experimentan más la distracción causada por las propias inferencias cognitivas, y que los más jóvenes son más propensos a distraerse con dispositivos tecnológicos del vehículo (Qin et al., 2019).

Existen distintos factores que modulan el grado en el que la distracción altera el rendimiento en la conducción (Hosking et al., 2009; Regan et al., 2008). Estos son las características del conductor (edad, experiencia, estado físico, etc.), la complejidad de la conducción en ese momento (Young et al., 2008), la demanda de la tarea secundaria (Lee et al., 2012; Regan et al., 2011) y la habilidad del conductor para auto-regular o ajustar sus comportamientos en la conducción y minimizar el riesgo asociado (Young et al., 2008).

Según la demanda de la tarea, la distracción se clasifica en tres tipos:

- a) Distracción manual: cuando se manipulan otros dispositivos como la radio o un teléfono móvil, limitando el control del propio vehículo.
- b) Distracción cognitiva: debido a una conversación, a la música o cualquier información del entorno que nos haga desviar nuestra atención.
- c) Distracción visual: siempre que la mirada se desplace de la carretera hacia otra tarea.

En general, la realización de una tarea secundaria al volante tiene un impacto negativo sobre la conducción (Ferdinand y Menachemi, 2014). Sin embargo, no todas las tareas requieren de los mismos recursos, y los distintos tipos de distracción pueden aparecer de manera aislada, o combinados entre sí. Una revisión sistemática y meta-análisis ha concluido que las tareas que implican distracción visual, requiriendo al conductor apartar su mirada de la carretera, son las que implican un mayor riesgo (Simmons et al., 2016). Además, un reciente estudio ha evaluado el efecto de distintas combinaciones de

distracción (cognitiva; cognitiva + visual; cognitiva + visual + manual), y sus resultados indicaron que todos los tipos alteraban el rendimiento en esta tarea, pero lo hacían en mayor medida cuando eran combinados. También han mostrado que el efecto negativo se mantenía durante un tiempo tras interrumpir la tarea secundaria, y este tiempo era distinto en función del tipo de distracción. Por ejemplo, la de tipo manual alteraba el mantenimiento de la posición del vehículo en el carril hasta 10 segundos después de cesar la tarea secundaria (Bowden et al., 2019). En la última década se han publicado distintas revisiones de la literatura y meta-análisis de estudios experimentales que han encontrado un efecto negativo de la distracción en la conducción (Caird et al., 2014; Ferdinand y Menachemi, 2014; Oviedo-Trespalacios et al., 2016). Así, se ha mostrado que afecta a parámetros como la velocidad, el control lateral del vehículo en el carril, el control de la dirección, el tiempo de reacción, o el cálculo de distancias con respecto a otros vehículos (Papantoniou et al., 2017).

El gran número de investigaciones realizadas en los últimos años sobre este tema han explorado la influencia de un gran número de factores y tareas distractoras. En cuanto a los distractores del entorno, la cantidad de información visual puede interferir en la atención modificando la estrategia de búsqueda visual de un conductor, que altera su patrón de movimientos oculares. Esto parece ser más crítico en puntos como los cruces, donde la búsqueda visual es clave para mantener la seguridad (Ho et al., 2001; Li et al., 2019; Oviedo-Trespalacios et al., 2019; Wallace, 2003). El efecto distractor de ciertos elementos del entorno ha sido mostrado por distintos estudios sobre la influencia de paneles publicitarios en carretera (Dukic et al., 2013), que deterioran aspectos de la conducción como el control lateral (Young et al., 2009) o el reconocimiento de señales (Edquist et al., 2011). Además, el contenido del panel también tiene su efecto, ya que se ha visto que aquellos con connotaciones negativas captan más la atención del conductor, pudiendo alterar el tiempo de reacción o la velocidad en mayor medida (Megías et al., 2011). Un reciente estudio naturalístico comparando el rastreo visual que el conductor realizaba en distintas categorías de paneles publicitarios ha encontrado que éstos fijaban su mirada en un 24% de ellos. Tanto la duración media de las fijaciones como la distancia media de fijación dependían de la categoría del panel, además de otras características como la altura o el número de caracteres que contenía, y también de la velocidad a la que se circulaba (Costa et al., 2019). Estos resultados sugieren que los

distintos tipos de paneles podrían generar diferentes niveles de distracción y, por tanto, de riesgo. Esta idea también es apoyada por una reciente revisión sistemática donde los autores detallaron que los paneles digitales dinámicos conllevan un mayor riesgo, y que son los jóvenes el grupo que pasaba más tiempo interactuando con este tipo de información visual mientras conducía (Oviedo-Trespalacios et al., 2019).

En cuanto a distractores internos, una parte de las investigaciones se han centrado en el uso de dispositivos de entretenimiento e información, que cada vez son más sofisticados. Mientras que usar la radio o los tradicionales reproductores de cassette o DVD ya causaba distracción (Horberry et al., 2006), la irrupción de nuevas tecnologías ha hecho este fenómeno más amplio. Por ejemplo, se ha visto que el uso de iPods al volante empeora la estabilidad del vehículo en el carril y el control de la dirección, y aumenta el tiempo de reacción y el riesgo de accidentes (Chisholm et al., 2008; Salvucci et al., 2007). También los sistemas de navegación, información y entretenimiento que incorporan los vehículos han mostrado su influencia negativa. Algunos de los aspectos que deterioran son la capacidad para responder a eventos inesperados (Horberry et al., 2006), o la capacidad para cambiar de carril con seguridad (Harbluk et al., 2007). Un reciente estudio afirmaba, incluso, que algunos sistemas de información de los vehículos son demasiado distractores para ser usados en movimiento (Strayer et al., 2019).

Sin embargo, el tipo de distractor interno que sin duda ha recibido más atención es el teléfono móvil. En la actualidad, prácticamente todos tenemos uno y nos acompaña durante todo el día. Hace unos años el problema se centraba en conversaciones telefónicas con y sin manos libres, pero a día de hoy este problema ha alcanzado una dimensión mucho mayor. El simple hecho de escuchar el tono de una llamada entrante a la que no respondemos tiene un efecto, como mostraba el estudio de Holland y Rathod (2013), en el que escuchar el tono de llamada generaba una mayor incidencia de colisiones y excesos de velocidad. También se ha analizado el efecto de recibir llamadas, tanto sosteniendo el teléfono como usando manos libres. Una revisión de la literatura sobre los efectos del uso del teléfono móvil al volante indicó que su uso afectaba al procesamiento de la información visual, aumentando el tiempo de reacción y disminuyendo la detección de estímulos necesarios para la conducción. Por otro lado,

también se afectaba el control del vehículo, ya que alteraba parámetros relativos al mantenimiento de la posición en el carril, la velocidad y la distancia de seguridad (Collet et al., 2010). Si además de producirse un déficit de atención, las circunstancias visuales del conductor no son las mejores, el riesgo aumenta. Esto es lo que ha demostrado un estudio realizado en pacientes con glaucoma, para los cuales el tiempo de reacción aumentaba un 25% más que en el grupo control mientras hablaban por teléfono (Ogata et al., 2019). Por otro lado, aunque el uso de dispositivos de manos libres pudiera parecer una solución para este problema, o al menos una alternativa más segura, dos revisiones han sugerido que no es menos peligroso que hablar sosteniendo el teléfono (Caird et al., 2008; Lipovac et al., 2017).

Además de para hacer llamadas, hemos empleado nuestros móviles para enviar mensajes de texto desde los ya obsoletos SMS. Esta forma de comunicación ha sufrido una gran revolución en poco tiempo, evolucionando hasta distintas aplicaciones gratuitas de mensajería instantánea como WhatsApp o Telegram, en las que podemos chatear online en cualquier momento. Esta forma de distracción combina los tres tipos (cognitiva, manual y visual), y como hemos adelantado en el *Capítulo 1*, constituye un verdadero problema de salud pública. En apenas diez años, se han publicado numerosos trabajos sobre los efectos de escribir mensajes al volante. Ya en el año 2009, Drews y colaboradores pudieron comprobar en un estudio con simulador de conducción que enviar mensajes de texto al volante aumentaba el tiempo de reacción, empeoraba el control lateral del vehículo, y aumentaba el número de colisiones (Drews et al., 2009). En el mismo año, otra publicación mostró que cuando se enviaban mensajes, se dejaba de mirar a la carretera alrededor de un 400% más de tiempo, lo que se traducía en un aumento del 50% en la variabilidad en la posición lateral y del 150% en la variabilidad de la distancia de seguridad (Hosking et al., 2009). Además, se han realizado trabajos comparando los efectos de esta tarea con los de comer o beber al volante, comprobando que tanto escribir como comer empeoran el control lateral del vehículo o el tiempo de reacción, provocando más colisiones, mientras que beber parece no tener efecto (Alosco et al., 2012; Irwin et al., 2015). También se ha visto que enviar mensajes de texto altera la conducción en mayor medida que hablar por teléfono, y que el efecto sobre la conducción permanece una vez finalizada la escritura, durante aproximadamente 3,38 segundos (Thapa et al., 2015). Sin embargo, no todas las tareas que implican responder

a un mensaje de texto tienen el mismo efecto, ya que escribir un mensaje tiene un resultado más dañino para la conducción que leerlo (Caird et al., 2014; Yan et al., 2015).

En general, escribir mensajes de texto durante la conducción afecta a la capacidad del conductor para dirigir adecuadamente su atención a la carretera, afectando a su vez a la capacidad para responder a distintos eventos del tráfico, controlar el vehículo en el carril y mantener una velocidad y distancia de seguridad adecuadas. Todo esto pone en peligro la seguridad del conductor, los pasajeros y los demás usuarios de la vía (Caird et al., 2014; Yannis et al., 2016).

No obstante, el problema de la distracción por el teléfono móvil no termina aquí. Junto con la aparición de los smartphones y las aplicaciones, también ha surgido el uso de redes sociales durante la conducción, con datos tan sorprendentes como los indicados en el *Capítulo 1*. Cuando interactuamos con este tipo de redes, vemos contenido en imágenes, leemos y también escribimos. Las investigaciones en distracción más recientes también se están centrando en este fenómeno. Uno de los primeros trabajos investigando las redes sociales como distractores durante la conducción fue el de McNabb y Gray (2016) donde se compararon distintas tareas en redes sociales durante la conducción: escribir un mensaje de texto, leer una publicación de Facebook, intercambiar fotos en Snapchat y mirar Instagram. Las condiciones que implicaban leer o escribir texto empeoraron el tiempo de reacción con respecto a las condiciones de visión de imágenes (Snapchat e Instagram), y también con respecto a la sesión sin distracción. Sin embargo, para las tareas de imagen (Snapchat e Instagram), no se encontraron diferencias con respecto a la condición sin distracción. Otro estudio más reciente ha realizado un análisis cualitativo de la situación, con una metodología basada en la organización de grupos de discusión, en los que participaron 60 jóvenes que señalaron Snapchat como la red social más empleada mientras conducían. Además, en la segunda parte del estudio (N=503) se ha identificado como predictores significativos del uso de Snapchat al volante el miedo a las sanciones y la seguridad percibida (Truelove et al., 2019). En el mismo año, también ha sido publicado un estudio comparando el efecto de usar Facebook con el de enviar un mensaje de texto, resultando más negativo para la conducción el segundo (Hashash et al., 2019).

2.4.2. Consumo de drogas: cannabis

Una de las causas de deterioro de las capacidades del conductor es el consumo de alcohol y drogas. El cannabis es la droga ilegal más consumida en el mundo, y la más detectada en conductores que han tenido un accidente de tráfico, a menudo combinada con alcohol (Hartman y Huestis, 2013). Se espera que en los próximos años el uso del cannabis aumente debido a su legalización para uso medicinal o recreativo en distintos países del mundo (Compton et al., 2017). Este aumento conllevará a un incremento en el número de conductores que se pongan al volante bajo la influencia del cannabis, comportamiento denominado en la literatura como DUIIC (del inglés, *driving under the influence of cannabis*). Por ello, se trata de un problema de salud pública de creciente importancia.

Los dos principales componentes del *Cannabis Sativa* son el Δ^9 -tetrahidrocannabinol (THC) y el cannabidiol (CBD), siendo el primero de ellos el responsable del efecto psicotrópico (Gaoni y Mechoulam, 1964; Mechoulam y Gaoni, 1967; Mechoulam y Shvo, 1963). Desde los años 60, se consume cannabis con una concentración cada vez más alta en THC (Potter et al., 2008). A lo largo de los años, las investigaciones realizadas en consumidores de esta sustancia han mostrado que su consumo tiene una serie de efectos psiquiátricos y cognitivos. Se ha relacionado el uso regular de cannabis con un mayor riesgo de desarrollar esquizofrenia y otros desórdenes psicóticos (Casadio et al., 2011; Moore et al., 2007). También se ha visto una reducción en la función ejecutiva (manejo del tiempo y distintas tareas) (Bolla et al., 2002; Meier et al., 2012; Verdejo-García et al., 2006), en la velocidad de procesamiento (Meier et al., 2012), en la memoria (Bolla et al., 2002; Solowij y Battisti, 2008) y en la atención (Solowij, 1995). Uno de los estudios citados, ha mostrado que después de 20 años de consumo regular, incluso el coeficiente intelectual (CI) se reducía significativamente (Meier et al., 2012).

El conocimiento del impacto cognitivo que tiene el uso del cannabis en distintas funciones es de gran importancia en un contexto clínico, sobretodo en aquellas funciones que afectan a tareas como la conducción, donde puede suponer un riesgo para la seguridad. Además, el retraso en la velocidad de procesamiento de la información

afecta también a la visión. Existen receptores cannabinoides en distintas zonas del sistema visual, como el córtex visual, el cuerpo geniculado lateral y la retina, donde tienen un papel crítico en la percepción, modulando el procesamiento de la información visual (Dasilva et al., 2016). La retina supone un punto más accesible para el estudio de los efectos neurológicos de esta sustancia, y existen hallazgos a este nivel que indican un efecto directo de los cannabinoides. Por ejemplo, en un trabajo reciente se mostraba un retraso en los potenciales de acción de las células ganglionares en usuarios de cannabis (Schwitzer et al., 2017). Estos retrasos podrían estar implicados en distorsiones de la función visual experimentadas tras el consumo (Schwitzer et al., 2017; Zobor et al., 2015). La distorsión sensorial que ocasiona el cannabis puede afectar a tareas como la conducción, por lo que recientes publicaciones han destacado la necesidad de realizar estudios en un contexto de salud pública sobre el funcionamiento visual en usuarios de cannabis (Hartman y Huestis, 2013; Schwitzer et al., 2015).

Existen una serie de investigaciones que han realizado una aproximación al análisis de los efectos del uso de cannabis en la visión humana. Sin embargo, podemos encontrar resultados contradictorios y, a día de hoy, no se sabe cómo el consumo regular, o el hecho de estar intoxicado puede influir en distintas funciones visuales. Algunos estudios de casos han afirmado que el cannabis tiene un efecto positivo en la visión. En el año 1991, West observó que la visión nocturna de un grupo de pescadores jamaicanos mejoraba tras el consumo, siendo capaces de guiar sus barcos en peligrosos arrecifes de coral en condiciones muy oscuras (West, 1991). Aunque este trabajo no reflejaba ninguna medida objetiva, más tarde el estudio de Russo et al., (2004) confirmaba este hallazgo. Estos autores mostraron que inhalar una mezcla de cannabis y tabaco, mejoraba la adaptación a la oscuridad y la sensibilidad escotópica y que tomar dronabinol, un preparado sintético de THC, mejoraba la sensibilidad escotópica. Sin embargo, este estudio fue realizado en unas muestras muy pequeñas (N cannabis = 1; N dronabinol = 3) y no existen resultados posteriores que confirmen estos hallazgos. Por el contrario, un estudio realizado en la década de los 70 indicó que el tratamiento del dolor en pacientes de cáncer con THC por vía oral generaba visión borrosa (Noyes et al., 1975). Otro estudio ha demostrado que en consumidores regulares, que habían consumido esta droga diariamente por períodos de al menos cinco años, existen efectos

visuales permanentes, aún sin estar intoxicados, como percepción de distorsiones, ilusiones de movimiento o pérdida de visión del color (Lerner et al., 2011).

Sólo existe un trabajo en la literatura que abarca un amplio rango de parámetros visuales, y se realizó en consumidores regulares de cannabis durante un periodo de al menos diez años, comparándolos con personas que no habían consumido esta sustancia. Los resultados mostraron algunas tendencias para el grupo de consumidores; aumento en la secreción lagrimal basal, aumento de la presión intraocular, aumento de la fotosensibilidad, reducción de la adaptación a la oscuridad y deterioro de la visión del color y de la agudeza visual (Dawson et al., 1977). Otros trabajos han confirmado un efecto negativo en la función visual. Por ejemplo, se ha visto que los consumidores habituales de cannabis necesitan más tiempo de recuperación al deslumbramiento (Adams et al., 1978), o que el consumo de cannabis afecta al escaneo visual y los movimientos oculares en la lectura (Ehrenreich et al., 1999; Huestegge et al., 2010). Más recientemente, han sido publicados dos trabajos cuyos resultados indicaron que los usuarios de cannabis tenían una menor sensibilidad al contraste, principalmente para las frecuencias bajas (Lalanne et al., 2017) y también en condiciones de baja iluminación (Mikulskaya y Martin, 2018). No obstante, los consumidores parecen no notar efectos negativos del cannabis en su visión, como mostró un trabajo que comparó la percepción de la propia calidad visual que tenían consumidores fuertes, consumidores esporádicos y personas que no eran usuarias de esta droga, sin encontrar diferencias significativas (Akano, 2017).

El deterioro de las facultades del conductor está detrás de un buen número de accidentes de tráfico. Los estudios epidemiológicos concluyen que conducir bajo los efectos del THC aumenta aproximadamente al doble el riesgo de accidentes (Gjerde et al., 2015; Hartman y Huestis, 2013). El mismo incremento en el riesgo fue estimado en una revisión sistemática y meta-análisis, pero estos autores añadieron que es especialmente importante la asociación con accidentes mortales (Asbridge et al., 2012). Igualmente, otros estudios han indicado una asociación entre el uso del THC y los accidentes (Gjerde y Mørland, 2016), aumentando también la probabilidad de culpabilidad del siniestro (Romano et al., 2017). Esta tendencia hacia un mayor riesgo de accidentes puede ser provocada por los efectos ocasionados en las distintas destrezas necesarias

para una conducción segura. Estos efectos son máximos durante la hora posterior a la inhalación y decaen entre la segunda y la cuarta hora (Hartman y Huestis, 2013). Sin embargo, la relación entre la dosis y la concentración en sangre no es lineal (Hunault et al., 2008), como tampoco la relación entre la concentración en sangre y el efecto psicoactivo, complicando la realización de estudios comparables y establecer interpretaciones sobre cómo la conducción podría estar deteriorada obteniendo solamente una muestra de sangre (Bondallaz et al., 2016). A pesar de estas dificultades metodológicas se conoce que el cannabis tiene un efecto sobre el rendimiento en las tareas propias de la conducción. Así, la desviación lateral de la posición en el carril (SDLP), ha mostrado ser una medida sensible a los efectos del cannabis en esta tarea. La pérdida de estabilidad en el control de la posición en el carril, además, conlleva a un aumento de la distancia recorrida fuera de sus límites, aumentando la posibilidad de colisionar con los coches que se aproximan en sentido contrario (Bondallaz et al., 2016; Hartman et al., 2015; Micallef et al., 2018; Ramaekers, 2018; Ramaekers et al., 2000). Además, el consumo de cannabis tiene otros efectos, como un peor control y monitorización de la velocidad, una mayor variabilidad en la distancia de seguridad y un incremento en el tiempo de reacción (Bondallaz et al., 2016; Hartman et al., 2016; Lenné et al., 2010). Estos conductores suelen adoptar velocidades más bajas o incrementan su distancia de seguridad indicando que, de algún modo, son conscientes del deterioro que conlleva el cannabis e intentan contrarrestarlo auto-regulando su conducción (Hartman et al., 2016). A pesar de ello, los consumidores de cannabis conducen cada vez más frecuentemente bajo sus efectos (Berning et al., 2015) y muestran la creencia equivocada de que no afecta a su conducción, o que pueden compensarlo (Hartman y Huestis, 2013). A menudo, el cannabis se concibe como una droga blanda y existe la concepción de que su uso tiene efectos positivos en el cerebro, aumentando la creatividad o incluso que es útil para tratar ciertas enfermedades mentales (Galván et al., 2017).

En el año 2012 fue publicado un trabajo que realizó un control aleatorio de alcohol y drogas en 3.302 conductores españoles, encontrando que el 6,6% daba positivo en alcohol mientras el 11% daba positivo en alguna droga, siendo el cannabis la detectada con mayor frecuencia (7,7%) (Gómez-Talegón et al., 2012). Cinco años después, otro estudio obtuvo prevalencias similares de las distintas drogas al volante (N= 2.744), con

un 11,6% de positivos. El 7,5% conducía tras consumir cannabis, el 4,7% había consumido cocaína y el 2,6% alcohol (Domingo-Salvany et al., 2017). En una muestra de estudiantes canadienses, alrededor de un 20% dijo haber conducido en la hora posterior al consumo de cannabis en el año anterior (Adlaf et al., 2003), un porcentaje más alto que para el alcohol. Estos tres estudios muestran una mayor prevalencia de conductores bajo el efecto del cannabis que de alcohol, lo que podría ser reflejo del efecto de las campañas sobre alcohol realizadas en los últimos años. Sin embargo, existen trabajos que han encontrado una mayor relación entre el riesgo de accidentes y el consumo de cannabis que entre el riesgo de accidentes y el consumo de alcohol (Fergusson et al., 2008). A menudo, conducir bajo los efectos del cannabis está relacionado también con una mayor incidencia de conductas de riesgo al volante (Bédard et al., 2007; Richer y Bergeron, 2009), por lo que es necesario un mayor esfuerzo de las administraciones para concienciar a la población de que el consumo de drogas no es menos nocivo que el de alcohol para la conducción.

2.5. Auto-regulación de la conducción. Una estrategia para promover la seguridad

Como se ha descrito en apartados anteriores, un número importante de conductores se enfrentan a distintas causas que deterioran su rendimiento en la conducción. Puede ser tanto por causas funcionales, por ejemplo, las patologías oculares, como por actitudes o comportamientos de los propios conductores, como es el caso de la distracción por el uso del smartphone, o conducir después de haber consumido alcohol o drogas. En todas estas circunstancias, y dependiendo de la conciencia que tienen de que exista una disminución en su capacidad para conducir, adoptan ciertos mecanismos o comportamientos compensatorios. Al conjunto de estas acciones se les denomina en la literatura auto-regulación de la conducción, definida como la estrategia por la cual los conductores tratan de compensar las pérdidas de habilidades funcionales o los desgastes de salud que pueden comprometer a la seguridad (Agramunt et al., 2016b; Sullivan et al., 2011).

2.5.1. Autorregulación en personas mayores y con patologías oculares

Poder conducir supone una cuestión fundamental para mantener la independencia y calidad de vida de las personas mayores. El cese de la conducción está relacionado con mayores tasas de aislamiento social o depresión, y un peor acceso a los servicios de salud (Chihuri et al., 2016; Fonda et al., 2001; Fraser et al., 2013b). Cuando el deterioro asociado a la edad en las distintas funciones necesarias para una conducción segura comienza a aparecer, la auto-regulación de la conducción compone una estrategia que emplean las personas de edad avanzada en su camino hasta cesar por completo esta actividad. La literatura científica indica que con el envejecimiento, los conductores van adoptando un estilo de conducción más precavido, auto-restringiéndose o evitando ciertas circunstancias (Charlton et al., 2006; Chevalier et al., 2016; Devlin y McGillivray, 2014; Molnar y Eby, 2008), principalmente como respuesta a deterioros cognitivos y visuales (Anstey et al., 2012; Charlton et al., 2006; Freeman et al., 2006; Keay et al., 2009; Owsley et al., 1999; Sandlin et al., 2014). Se ha demostrado que el deterioro visual que afecta a funciones como la agudeza visual, la sensibilidad al contraste, la estereopsis, o el campo visual, están asociados con patrones de auto-regulación (Agramunt et al., 2016b; Keay et al., 2009; Lotfipour et al., 2010). Sin embargo, también una proporción importante de conductores en riesgo por tener una visión disminuida continúan poniéndose al volante sin tomar ninguna medida (Okonkwo et al., 2008).

Aunque la literatura en este tema no es muy extensa, existen algunos estudios que han analizado estos comportamientos en conductores con distintas patologías oculares, empleando generalmente cuestionarios, y en algún caso diarios de viaje o la monitorización del vehículo como medio para obtener información sobre la conducción de estas personas. A continuación, se presenta una revisión de las investigaciones realizadas en sujetos con distintas patologías oculares.

Catarata

A pesar del importante número de personas que conducen con cataratas, no existen

muchas investigaciones sobre auto-regulación en estos pacientes. Owsley et al., (1999) investigaron esta cuestión por medio del Cuestionario de Hábitos en la Conducción (DHQ; del inglés, *Driver Habits Questionnaire*) y concluyeron que, tener una catarata aumenta la probabilidad de restringir algunos hábitos como conducir menos días y hacia menos destinos diferentes durante una semana normal. Además, estos conductores referían conducir más lento que el flujo de tráfico general (Owsley et al., 1999). Otro estudio, realizando el mismo cuestionario (DHQ) a conductores con catarata bilateral, encontró que casi la mitad de la muestra (48%) auto-regulaba su conducción, evitando al menos una situación por considerarla arriesgada. Entre ellas, las más destacadas fueron: conducir de noche (40%), en autopistas (12%), con lluvia (9%) y aparcar en paralelo (8%). En este mismo trabajo se estimó la probabilidad de auto-regular la conducción en función del estado de distintas variables visuales, y los resultados mostraron que la sensibilidad al contraste en el peor ojo estaba asociada con adoptar estrategias de auto-regulación antes de someterse a la cirugía (Fraser et al., 2013b). Una vez intervenido el primer ojo, el conductor se siente más seguro y la probabilidad de auto-regulación disminuye un 70%, porcentaje que decae hasta un 90% una vez operado el segundo (Agramunt et al., 2018). Esto tiene un impacto directo en la calidad de vida, que se estima aumenta en un 5% (Mennemeyer et al., 2013).

Glaucoma

Las pérdidas de campo visual son otra de las razones que llevan a limitar la exposición a la conducción, incluso a cesar esta tarea por completo (Freeman et al., 2006; Ramulu et al., 2009). Tanto el glaucoma unilateral como el bilateral han sido asociados con una modificación en los hábitos de conducción (Béchetoille et al., 2008; Freeman et al., 2008), estimándose que por cada 5 dB de pérdida en el campo visual se da un incremento significativo en la probabilidad de adoptar patrones de auto-regulación y de cesar esta tarea (Gilhotra et al., 2001; Ramulu et al., 2009; Van Landingham et al., 2013). Una cuestión importante en este tipo de conductores es que algunos de ellos no son conscientes de la enfermedad hasta fases avanzadas de la misma, lo que evita que modifiquen su conducción, con el riesgo que puede conllevar para la seguridad (Holland y Rabbitt, 1992; West et al., 2003).

Como en otros grupos, algunos de los mecanismos de auto-regulación que emplean los pacientes de glaucoma son evitar las circunstancias de mayor demanda, como la conducción nocturna, en hora punta, o en vías de alta velocidad (Adler et al., 2004; McGwin et al., 2004; Parc et al., 2012).

Degeneración macular asociada a la edad (DMAE)

Como en las patologías descritas anteriormente, los conductores con DMAE auto-regulan su conducción con conductas que suelen comenzar por reducir su exposición a la conducción nocturna (Ball et al., 1998; DeCarlo et al., 2003; Freeman et al., 2006; Szlyk et al., 1995a). Además, también evitan situaciones como conducir en hora punta, en vías de alta velocidad, conducir solos, hacer giros a la izquierda (cruzando el carril de sentido contrario) y conducir en condiciones meteorológicas adversas como la lluvia (Ball et al., 1998; Sengupta et al., 2014; Szlyk et al., 1995a). En 1995, Szlyk et al., evaluaron a un grupo de sujetos con DMAE en un circuito de carretera y en un simulador, y encontraron que solían evitar conducir en áreas poco familiares, cambiar de carril y también que adoptaban velocidades inferiores a las de los conductores mayores sin DMAE (Szlyk et al., 1995a). Otro estudio reveló que las estrategias que siguen estos conductores para mantener la seguridad incluyen extremar la precaución (por ejemplo, reduciendo la velocidad cuando otro vehículo les está adelantando), memorizar detalles de la carretera como la localización de desvíos y dispositivos de control de tráfico (por ejemplo, saber dónde están las señales de stop), usar un copiloto que vaya dando indicaciones verbales de la carretera, y aumentar el escaneo de la misma (Moore y Miller, 2005). Sin embargo, a pesar de las dificultades que experimentan, muchos de ellos continúan conduciendo. Así, un estudio llevado a cabo en 126 conductores con DMAE que habían acudido a una clínica de baja visión durante un año confirmó que un 24% seguían siendo conductores activos, a pesar de reducir su exposición y evitar situaciones peligrosas (DeCarlo et al., 2003).

2.5.2. Adaptación de la velocidad como mecanismo de auto-regulación de la conducción

En los apartados anteriores hemos visto como, a menudo, las investigaciones han reflejado que una de las situaciones que evitan comúnmente los conductores auto-reguladores es conducir en vías de alta velocidad (Ball et al., 1998; Fraser et al., 2013b; McGwin et al., 2004; Parc et al., 2012). No obstante, a pesar de que las personas de edad avanzada pueden modificar sus comportamientos y hábitos para evitar situaciones de peligro en la medida de lo posible, la gran mayoría sigue conduciendo. Mientras realizan esta tarea también pueden reflejar cierta conciencia del riesgo asociado a sus limitaciones y modificar su forma de conducir de manera intuitiva, por ejemplo, reduciendo la velocidad. Así, en las respuestas de pacientes con catarata al DHQ, se ha encontrado que dicen conducir más lento que el flujo general del tráfico (Owsley et al., 1999). Ya en el año 1996, Perryman y Fitten sugirieron que un conductor de edad avanzada podría tratar de compensar el deterioro que sufre en funciones necesarias para la conducción por medio de una reducción de la velocidad (Perryman y Fitten, 1996). Sin embargo, en la actualidad aún existe un importante vacío en la literatura sobre la relación que existe entre la velocidad y la auto-regulación de la conducción en personas mayores (Wong et al., 2016). El estudio de la velocidad a la que circula un conductor aporta una forma objetiva de analizar patrones de comportamiento al volante, algo importante, ya que un creciente número de publicaciones cuestionan la utilidad de emplear sólo cuestionarios como un método válido para cuantificar la práctica de auto-regulación (Agramunt et al., 2017; Blanchard et al., 2010; Molnar et al., 2013). Por ejemplo, Agramunt et al., (2017) estudiaron el grado de acuerdo entre los datos obtenidos del DHQ y datos de conducción real obtenidos por la monitorización de los vehículos, y obtuvieron que la única situación que los conductores decían evitar en el cuestionario y que se confirmaba con los datos objetivos era la conducción nocturna.

Con respecto a la velocidad, un trabajo publicado en el año 2016, analizaba cuáles podrían ser los factores que determinen que un conductor de edad avanzada conduzca por encima del límite establecido. Los autores estimaron la velocidad de 182 voluntarios durante doce meses por medio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, del inglés, *Global Positioning System*). Como posibles predictores incluyeron factores como la edad, la función cognitiva, el estado visual (sensibilidad al contraste), el número de accidentes y el número de multas recibidas durante el año anterior. De ellos, resultaron ser predictores significativos la edad y la función cognitiva, pero cuando los datos eran

ajustados por distancia recorrida, sólo la edad continuaba siendo un predictor significativo, con una disminución del 7% en el número de ocasiones que conducían por encima del límite de velocidad por cada año cumplido (Chevalier et al., 2016).

Ha sido sugerido que la selección de la velocidad es un resultado de la interacción entre el conductor, el vehículo y el entorno de la conducción (carretera, tráfico, edificios, etc.) (Fuller et al., 2008). El modelo de la interfaz tarea-capacidad desarrollado por Fuller (TCI, del inglés, *Task Capability Interfece model*) (Fuller, 2000; Fuller y Santos, 2002) propone que los conductores normalmente optan por una velocidad que les mantiene dentro de un rango de dificultad aceptable, y que también deja un margen de capacidad al que el conductor puede recurrir si surge un aumento en la demanda de la tarea de forma inesperada. La Figura 2.6. incluye una representación gráfica de este modelo, en el que se ilustran los distintos factores que afectan tanto a la capacidad del conductor como a la demanda de la tarea. Dentro de los factores que afectan a la capacidad del conductor, se encuentran aquellos relacionados con sus funciones motora, cognitiva y sensorial. El deterioro en estas funciones, por tanto, genera una disminución de la capacidad que altera el equilibrio tarea-capacidad, por lo que el conductor debe gestionar la demanda de dicha tarea para disminuir el riesgo de colisión. La forma de disminuir la demanda sería la estrategia intuitiva que incluye entre otros posibles comportamientos, conducir a menor velocidad, controlando así mejor la posición y trayectoria del vehículo (Figura 2.6). Los distintos factores de accidentabilidad abordados en esta Tesis, como son el envejecimiento, las patologías oculares, el consumo de drogas, o la distracción disminuyen la capacidad del conductor, pudiendo generar, en el caso ideal, una auto-regulación de esta tarea. No obstante, cabe señalar que el efecto de la distracción por el uso del smartphone u otra circunstancia sería doble. Por un lado, la realización simultánea de la tarea secundaria genera un cierto grado de demanda adicional, que puede necesitar de recursos cognitivos, manuales, visuales, o una combinación de estos tipos entre sí. Por ejemplo, mientras una conversación con manos libres generaría una demanda puramente cognitiva, leer y responder a un mensaje de texto durante la conducción añade los tres tipos: cognitiva, manual y visual. Además, por otra parte, la capacidad del conductor influye también en la realización de la tarea secundaria, alterando más aún el equilibrio tarea-capacidad. Por ejemplo, para un sujeto que lee o envía un mensaje de texto, su estado visual es clave. Una reducción de la visión por el

simple envejecimiento o por una patología ocular puede comprometer la capacidad para realizar ambas tareas simultáneamente, ya que el procesamiento e interpretación de los estímulos visuales pueden representar una tarea de gran demanda (Wood et al., 2009).

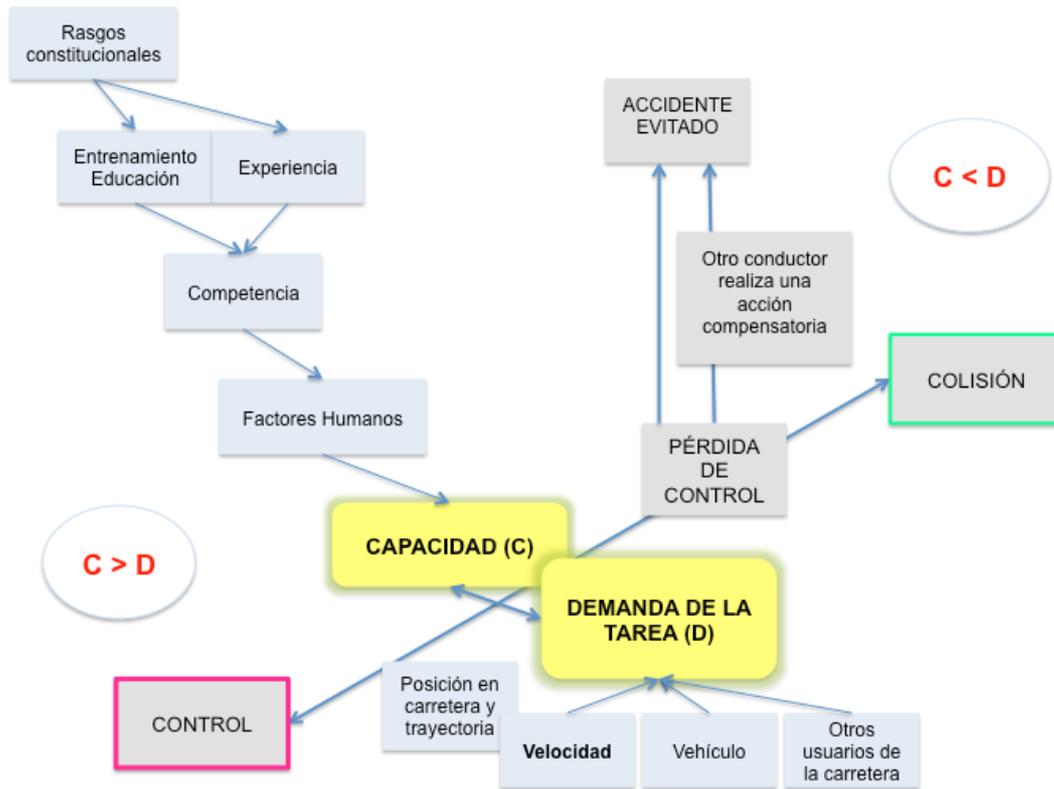


Figura 2.6. Esquema del modelo de la interfaz tarea-capacidad de Fuller. Adaptada de Fuller et al. (2008).

En respuesta al aumento del riesgo de colisión que causa el uso del teléfono móvil, se ha observado que los conductores bajo distracción también inician una serie de comportamientos o mecanismos compensatorios. Estos mecanismos incluyen aumentar la distancia de seguridad (Saifuzzaman et al., 2015), aumentar el escaneo visual de la carretera (Oviedo-Trespalcios et al., 2017c), y reducir la velocidad (Oviedo-Trespalcios et al., 2017b). Este último comportamiento es uno de los más populares (Oviedo-Trespalcios et al., 2017c), y ha sido reflejado por la mayoría de estudios sobre distracción al volante por el uso del teléfono móvil (Becic et al., 2010; Metz et al.,

2015; Rakauskas et al., 2004; Yannis et al., 2016), aunque también se ha encontrado lo contrario (Fitch et al., 2014). La existencia de resultados contradictorios y la falta de evidencia empírica sobre los mecanismos de la adaptación de la velocidad han motivado que investigaciones más recientes hayan comenzado a centrar sus esfuerzos en determinar cuáles son los mecanismos que determinan la auto-regulación de la velocidad. Para ello, se ha estudiado la influencia de la tarea secundaria (llamadas con y sin manos libres, interacciones visuo-manuales con el teléfono, etc.) y las características y demanda del entorno. También se ha analizado el papel de algunas características del conductor.

En cuanto a la tarea secundaria, se ha podido observar que existe una mayor probabilidad de realizar llamadas en lugar de tareas que supongan una demanda visual, como escribir un mensaje (Hancox et al., 2013; Oviedo-Trespalacios et al., 2018b). Los mecanismos de auto-regulación dependen del tipo de interacción con el teléfono móvil (Horberry et al., 2006; Huth et al., 2015; Oviedo-Trespalacios et al., 2017b; Törnros y Bolling, 2005), siendo escribir mensajes de texto la modalidad que parece tener un mayor impacto en la velocidad, conllevando a su reducción (Caird et al., 2014). La complejidad del entorno o de la carretera también han mostrado tener una influencia en la velocidad elegida durante la distracción, con velocidades inferiores en carreteras curvas, o cuando se sigue a otro vehículo (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a, 2017b). Además, características personales como la edad, el género, la experiencia conduciendo, la sensación de seguridad cuando se usa el teléfono al volante, o haber tenido accidentes anteriormente también determinan cómo se auto-regula la velocidad (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a, 2017b). No obstante, estos estudios han sido realizados en conductores jóvenes (< 30 años) y aunque esta población es la que usa más el teléfono móvil al volante, los conductores más mayores no están exentos de este tipo de comportamientos (Oviedo-Trespalacios et al., 2017c). De hecho, en uno de estos trabajos los autores encontraron que los conductores más mayores conducían más rápido cuando estaban distraídos, un resultado que los autores entendieron que se debía más a un efecto de la experiencia en la conducción que a la propia edad (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a).

CAPÍTULO 3

Impacto del envejecimiento visual en la conducción (Estudio 1)

3.1. Introducción

El envejecimiento de la población está aumentando la proporción de personas mayores al volante. Ya que el transporte privado es la forma de movilidad más valorada por las personas mayores de 65 años, se ha estimado que durante la próxima década más de un 95% de las personas de esta edad serán conductores activos (Rosenbloom, 2013). Esta tendencia implica consecuencias, ya que es conocido que existe un incremento en el número de accidentes por distancia recorrida a partir de los 60 años (Quillian et al., 1999). Por ello, el diseño de métodos más completos para la evaluación de las aptitudes necesarias en la conducción y la identificación de conductores en riesgo entre los sujetos de edad avanzada, se está convirtiendo en una cuestión cada vez más relevante.

La visión es el mecanismo sensorial fundamental en la conducción (Sivak, 1996). El envejecimiento promueve una serie de cambios en las estructuras oculares, destacando una notable pérdida de transparencia en el cristalino, que aumenta de manera importante la difusión de la luz o scattering en los medios oculares (Martínez-Roda et al., 2016b). El scattering intraocular genera un velo de straylight sobre la retina, causando deslumbramiento y una pérdida de contraste en la imagen retiniana (Ortiz et al., 2013; Owsley et al., 2001; van den Berg et al., 2007). Este efecto podría tener importantes consecuencias para la conducción, ya que se ha demostrado que existe una asociación significativa entre el número de accidentes ocasionados y una pérdida severa de sensibilidad al contraste (Owsley et al., 2001). Además, estudios realizados en circuitos cerrados de carretera han mostrado también que la sensibilidad al contraste es un factor importante para predecir el rendimiento en la conducción (Gray y Regan, 2007; Wood y Owens, 2005). Por otro lado, existen hallazgos que sugieren que el deslumbramiento empeora la capacidad para adoptar distancias de seguridad adecuadas (Gray y Regan, 2007). Aunque la agudeza visual es el test estandarizado en los exámenes visuales de los conductores, sólo se han encontrado correlaciones muy débiles con el riesgo de accidente en conductores mayores (Hills y Burg, 1977). Con respecto al rendimiento en la conducción, se ha demostrado que la agudeza visual no predice de forma precisa el reconocimiento de estímulos en la carretera para todas las condiciones de borrosidad (Higgins y Wood, 2005), o de iluminación (Wood y Owens, 2005).

En ojos sanos, el straylight permanece relativamente constante hasta los 45 años, pero aumenta fuertemente con el envejecimiento, doblando su valor a los 65 años y triplicándolo a los 77 (van den Berg et al., 2007). Este incremento podría tener diferentes efectos en la calidad visual aparte del deslumbramiento asociado, como dificultades de reconocimiento, problemas de orientación espacial y pérdidas de contraste o en la visión del color (Owsley et al., 2001; van den Berg, 2017a). Sin embargo, a pesar de ello, el aumento en el nivel de straylight puede tener poco efecto en la agudeza visual, ya que ambos se deterioran a distinto ritmo con el envejecimiento o patologías oculares como la catarata (van den Berg, 2017b). Por lo tanto, las dos funciones visuales son independientes y deberían ser evaluadas y consideradas de forma individual, dado que de otra forma, si un conductor mayor tiene un nivel de straylight elevado, el deterioro visual puede pasar desapercibido si la agudeza visual no está alterada. Como se ha citado, el straylight es una de las causas más importantes de quejas de deslumbramiento, y compromete seriamente la sensibilidad al contraste de los conductores mayores, incluso en condiciones fotópicas (van den Berg 1986). En esta línea, numerosos estudios defienden la necesidad de incluir la medida del straylight en los exámenes visuales de los conductores (Bal et al., 2010; Michael et al., 2009; van Rijn et al., 2011), proponiendo incluso un valor límite de corte para la conducción (van den Berg et al., 2009). Sin embargo, estas propuestas se basan en datos subjetivos sobre percepción de riesgo (van den Berg et al., 2009; van Rijn et al., 2011), en lugar de en datos objetivos sobre rendimiento en la conducción o número de accidentes. Por ello, a día de hoy aún existe una falta de evidencia sobre la relación entre el straylight y la capacidad para conducir o el riesgo de accidente.

El objetivo de este estudio fue examinar la relación entre diferentes parámetros visuales que caracterizan la función visual y el rendimiento en la conducción simulada, y determinar cuáles de ellos podrían ser de mayor interés o relevancia para la evaluación visual de los conductores, especialmente en aquellos de edad avanzada.

3.2. Metodología

3.2.1. Participantes

En el estudio fueron incluidos 21 conductores jóvenes con edades comprendidas entre 25-40 años (edad media $29,8 \pm 4,4$ años) y 21 conductores mayores de 55 años (edad media $62,3 \pm 3,2$; rango 56-71 años). Todos los participantes tenían buen estado de salud general, agudeza visual normal (mejor de 20/25 o 6/7,5) y no tenían ninguna patología ocular. Además, todos ellos poseían un permiso de conducir vigente con antigüedad superior a un año y eran conductores habituales.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (180/CEIH/2016). Antes de participar, todos los sujetos eran informados de los objetivos y procedimientos del mismo y firmaban el consentimiento informado de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki.

3.2.2. Evaluación visual

3.2.2.1. Agudeza Visual

La agudeza visual (VA) fue medida monocular y binocularmente (aunque sólo se presentan los datos binoculares) con el test POLA VistaVision® (DMD Med Tech srl. Torino, Italy), implementado en una pantalla a una distancia de 5,5 m (escala logMAR). Se evaluó con la corrección óptica empleada habitualmente para conducir, al igual que el resto de las pruebas visuales que se describen a continuación.

3.2.2.2. Sensibilidad al contraste (SC)

La sensibilidad al contraste ha sido evaluada con el test CSV-1000 (VectorVision, Ohio, USA) a 2,5 m de distancia. Se trata de un test translúcido, retro-iluminado por una lámpara fluorescente. El instrumento monitoriza y calibra automáticamente el nivel de luminancia para mantenerlo en 85 cd/m^2 (Pomerance y Evans, 1994).

El test presenta cuatro filas, cada una correspondiente a una frecuencia espacial: 3, 6, 12, y 18 ciclos por grado (cpg). Cada fila contiene un total de 17 patrones circulares. El primero de ellos, a la izquierda, contiene una rejilla de alto contraste, sirviendo como patrón de muestra en cada frecuencia. Los 16 restantes se presentan por pares en ocho columnas a lo largo de la fila, con cada columna mostrando un patrón que contiene una

rejilla y otro uniforme. Los patrones que presentan rejillas van de mayor a menor contraste, desde la parte izquierda hacia la derecha en cada fila. El nivel de sensibilidad al contraste en cada fila varía así: fila A - desde 0,70 a 2,08; fila B - desde 0,91 a 2,29, fila C - desde 0,61 a 1,99 y fila D - desde 0,17 a 1,55 unidades logarítmicas. El nivel de contraste disminuye uniformemente en pasos de 0,17 unidades logarítmicas desde la primera hasta la tercera columna y en pasos de 0,15 unidades logarítmicas desde la tercera a la octava columna. El cambio en contraste del patrón de muestra al primer nivel es de 0,3 unidades logarítmicas.

La tarea del sujeto consiste en identificar la posición del patrón en rejilla para cada columna (arriba o abajo), empleando el método psicofísico de elección forzada, con tres alternativas: la rejilla puede encontrarse en el patrón circular de arriba, abajo o en ninguno de los dos. Esta última respuesta corresponde al caso de que el sujeto fuera incapaz de detectarlo. El nivel del contraste de la última respuesta correcta se considera el umbral de contraste. Durante las sesiones, todos los sujetos realizaron un entrenamiento con el test, y posteriormente se realizó la medida binocularmente.



Figura 3.1. Imagen del test CSV-1000

3.2.2.3. Capacidad de discriminación visual. Test Halo v1.0

Para estudiar la capacidad de discriminación visual de los participantes en condiciones de baja iluminación, se ha empleado el software Halo v1.0, desarrollado en el Laboratorio de Ciencias de la Visión y Aplicaciones de la Universidad de Granada (<http://hdl.handle.net/10481/5478>). Este test consiste en una tarea de discriminación de estímulos luminosos periféricos alrededor de un estímulo luminoso central de mayor luminancia. Los estímulos eran presentados sobre un fondo oscuro de un monitor (resolución 1024 x 768 píxeles), a una distancia de 2,5 metros.

Antes de la medida, todos los sujetos fueron sometidos a un minuto de adaptación al fondo oscuro del monitor, seguido de un minuto de adaptación al estímulo central de alta luminancia (0,34 grados y luminancia de 170 cd/m²). Pasado el tiempo de adaptación, comenzaban a aparecer estímulos periféricos (0,06 grados y luminancia 35 cd/m²) en posiciones aleatorias en torno al estímulo central, y distribuidos a lo largo de los 14 semiejes. Los estímulos periféricos se presentaron dos veces en cada posición (eligiendo peso 2 en las opciones del test) (Figura 3.2). El tiempo de exposición del estímulo periférico fue 0,8 s y el tiempo transcurrido entre la presentación de estímulos era un valor aleatorio entre 0.8 y 2.5 s, para evitar posibles efectos de aprendizaje en la prueba. Esta configuración ha sido elegida en base a previos estudios realizados en nuestro laboratorio, en los que este test se ha aplicado con éxito en distintas poblaciones en sujetos con patología ocular como degeneración macular asociada a la edad (DMAE) o queratitis (Castro et al., 2011), cataratas (Ortiz et al., 2013), o tras cirugía refractiva (Anera et al., 2011; Jiménez et al., 2006).

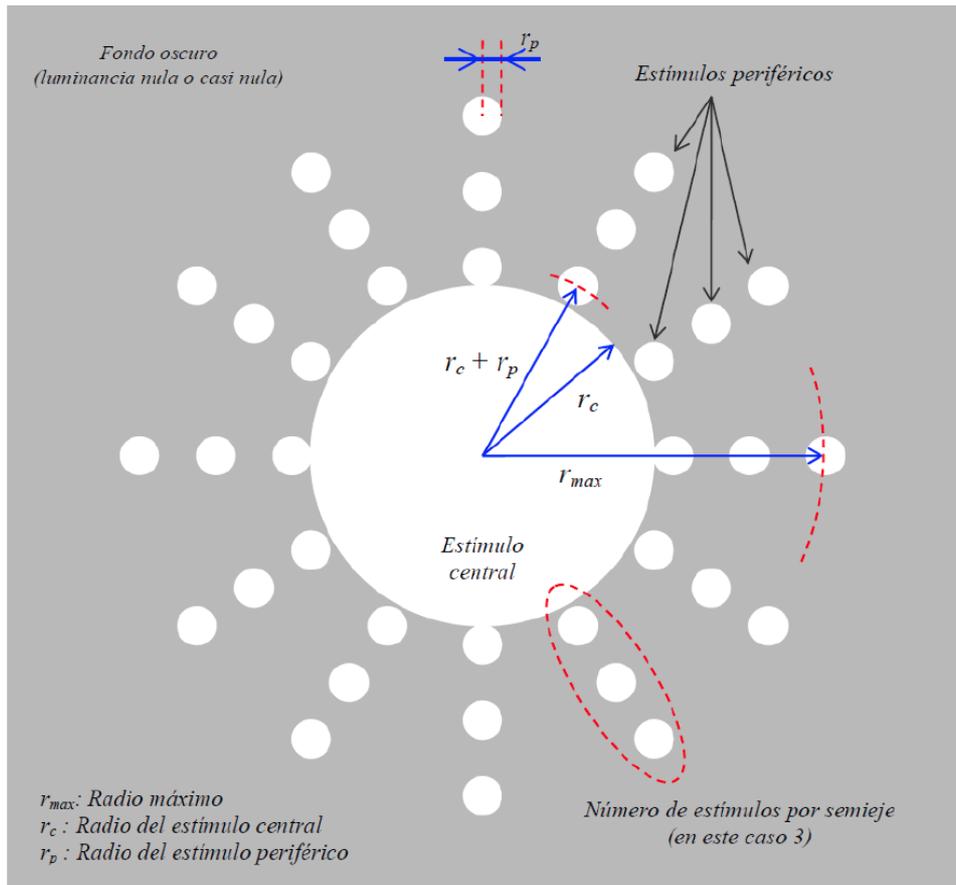


Figura 3.2. Esquema gráfico de los parámetros espaciales elegibles en la configuración del test Halo v1.0. Figura adaptada de Castro et al., (2014a).

El sujeto debía mantener la posición, apoyado en una mentonera y un apoya-frentes, manteniendo la fijación en el estímulo central. El test se realizó binocularmente y la tarea del sujeto consistía en presionar un botón del ratón cada vez que detectaba un estímulo periférico (Figura 3.3). El software registraba las respuestas para calcular el índice de alteración visual (VDI, del inglés, *visual disturbance index*), ρ , calculado como el cociente del área total de los estímulos periféricos no detectados por el sujeto, dividido por el área total de los estímulos presentados. La ecuación (3.1) se muestra a continuación:

$$\rho = \frac{(\sum_{i=1}^N p_i r_i^2)}{(p \sum_{i=1}^N r_i^2)} \quad (3.1)$$

Donde: r_i = distancia desde el centro del estímulo central al centro del estímulo periférico i ; p_i = número de veces que el estímulo periférico i no fue detectado sobre el peso total ($p_i \leq 2$). El índice de alteración visual toma valores entre 0 y 1, de forma que, a valores más altos del índice, menor es la capacidad de discriminación visual del sujeto y, por tanto, mayor dificultad tiene para detectar estímulos periféricos cerca de un estímulo luminoso central.

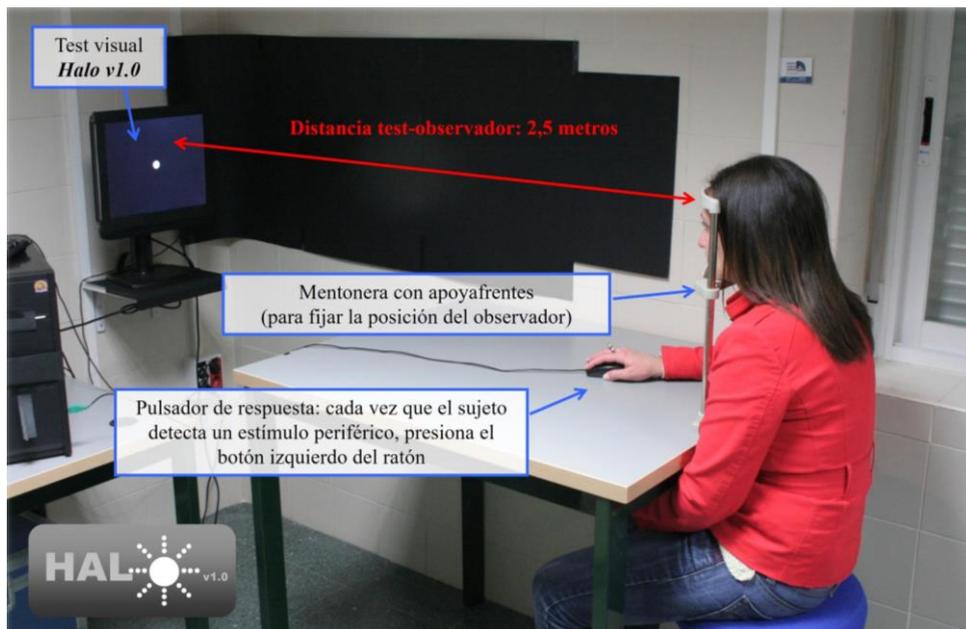


Figura 3.3. Dispositivo experimental empleado en las medidas de la capacidad de discriminación visual con el test Halo v1.0. Figura reproducida de Castro-Torres et al., (2013).

3.2.2.4. Medida del straylight

Como se ha mencionado anteriormente, cualquier imperfección en los medios oculares causa difusión intraocular de la luz, promoviendo una pérdida de contraste en la imagen retiniana. Este efecto puede cuantificarse a partir de la medida del straylight, que puede ser medido usando el método de comparación de la compensación con el dispositivo C-Quant (Oculus DG, Alemania) (Figura 3.4).



Figura 3.4. Dispositivo C-Quant (Oculus) para la medida del straylight (izquierda) y test presentado al sujeto durante el examen (derecha).

Este método se basa en mostrar una serie de anillos concéntricos. El círculo central se utiliza para realizar el test, y está dividido en dos mitades. El sujeto tiene que mirar a este círculo central, comparando las dos mitades, mientras uno de los anillos concéntricos parpadea con diferente intensidad y frecuencia. El parpadeo de este anillo constituye la fuente de straylight, que induce una cierta cantidad de parpadeo percibido en el círculo central. Para cada serie o estímulo, aleatoriamente en una de las mitades del disco central, se presenta cierto nivel de luz compensatoria durante la fase de apagado, mientras la otra permanece oscura (y aparece gris durante la fase de encendido, debido a la luz difundida que genera el anillo). El sujeto tiene que comparar las dos mitades de este círculo central e indicar cuál de ellas tiene un parpadeo más intenso pulsando un botón (Coppens et al., 2006). Si elige el lado con compensación se le otorga una puntuación igual a 1; si elige el lado sin compensación la puntuación es de 0. El software del instrumento permite automatizar el proceso de medida y realiza el cálculo mediante la función psicométrica obtenida de los resultados del test (Figura 3.5). Finalmente, aportará el valor de difusión (straylight) del ojo, que es cuantificado a partir del valor del parámetro $\log(s)$, relacionado con la pendiente de la función psicométrica.

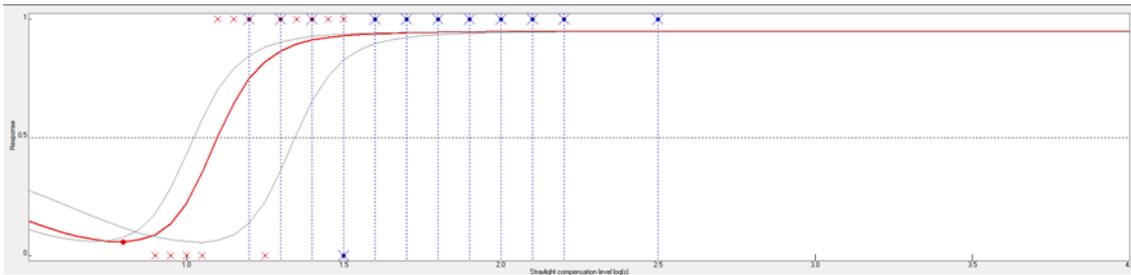


Figura 3.5. Captura del gráfico de la función psicométrica obtenida tras una medida con el dispositivo C-Quant.

Además, el instrumento proporciona una valoración de la calidad de la medida, especificado como la desviación estándar (DE) prevista del valor de medición individual en caso de medidas repetidas (Esd) y Q, que es un criterio adicional de calidad. De acuerdo con el manual del instrumento, si $Esd < 0.08$ y $Q > 1$, la fiabilidad del resultado se considera que es buena y si $Esd < 0.08$ y $Q > 0.5$, la fiabilidad se considera que es aceptable. Sin embargo, si $Esd > 0.08$ o $Q < 0.5$ se indica que la prueba no es fiable.

La medida del straylight (s) se tomó en condiciones monoculares y de iluminación tenue, como recomienda el fabricante. El parámetro fue expresado en unidades logarítmicas ($\log(s)$). Un valor más alto indica mayor influencia de straylight y por tanto, mayor sensibilidad al deslumbramiento, comprometiendo la función visual. Puede encontrarse más información sobre este dispositivo en otros trabajos (van den Berg y Coppens, 2005; van den Berg et al., 2013).

3.2.3. Análisis de la conducción

Simulador de conducción

El entorno visual para la simulación se presentó en tres pantallas de 27" de alta definición (1920 x 1080 píxeles), resultando en un campo de visión total de 180° (Figura 3.6). El simulador de conducción constaba de un asiento modelo BC Corona ASI320325R anclado a la estructura del simulador; un volante con rotación de 900°,

equivalente a dos vueltas y media; una palanca de cambios con seis velocidades más marcha atrás; y por último, tres pedales (embrague, acelerador y freno). El modelo empleado fue Logitech G27 Racing Wheel (Logitech International S.A., Lausana, Suiza). El software utilizado para la simulación de conducción fue SIMAX DRIVING SIMULATOR v4.0.8 BETA (SimaxVirt S.L., Pamplona, España).



Figura 3.6. Simulador de conducción.

Para evaluar la conducción, los participantes realizaron un recorrido de aproximadamente 12,5 km, que requería aproximadamente 15 minutos para ser completado respetando los límites de velocidad establecidos. El recorrido del simulador se realizaba en condiciones de luz día, con buenas condiciones meteorológicas y constaba de tres secciones, cada una con su propia configuración y límites de velocidad, aportándole diferente complejidad. La primera parte, de 4,5 km de longitud, corresponde a un tramo de autovía con dos carriles y un límite de velocidad de 120 km/h. Esta sección presentaba tráfico moderado y curvas suaves. La segunda sección era un tramo sinuoso de carretera de montaña, con un único carril en cada sentido, 6 km de longitud, tráfico moderado y límites de velocidad variables entre 40 y 90 km/h. La tercera y última sección corresponde a un tramo de ciudad de 2 km de longitud. Su

velocidad límite variaba entre 40 y 50 km/h. Además, presentaba numerosas intersecciones, rotondas, semáforos, señales de tráfico, peatones y tráfico moderado. La ruta siempre presentaba el mismo flujo de tráfico y el mismo número de eventos externos para todos los participantes. La Tabla 3.1 recoge un resumen de las principales características de cada uno de los tramos.

Antes de participar en el experimento, todos los sujetos recibieron al menos dos sesiones de entrenamiento, con un período de descanso de una semana entre ellas. En cada sesión, que duraba alrededor de 20 minutos, conducían en un escenario similar al empleado en las sesiones experimentales. Una vez completado el período de entrenamiento, todos los participantes dijeron sentirse completamente cómodos con el equipo. En todas las sesiones se indicó que condujeran como lo hacen normalmente en su vida diaria.

Tabla 3.1. Resumen de las características de las distintas partes del recorrido con el simulador de conducción.

		Infraestructura de la vía y complejidad del tráfico			
	Límite de velocidad (km/h)	Presencia de tráfico/ otros usuarios	Configuración de la carretera		
		Tipo de trazado	Pendiente		
AUTOVÍA		120	Misma dirección	Tramos rectos y de curvas suaves	No
CARRETERA DE MONTAÑA		40 y 90	Misma dirección/en sentido contrario	Tramos rectos, con curvas suaves y curvas cerradas	Ascendente y descendente / suave y pronunciada
CIUDAD		40 y 50	Mismo sentido	Recta	No
			Coches aparcados alrededor	Rotondas	
			Peatones	Giros 90°	

Variables de rendimiento en la conducción

Para analizar el rendimiento en la conducción se estudiaron las siguientes variables: velocidad media, desviación estándar de la posición lateral (SDLP; una medida de la estabilidad de la dirección del vehículo), distancia recorrida invadiendo el arcén, distancia recorrida invadiendo el carril contrario, distancia total recorrida fuera del carril (distancia recorrida invadiendo el arcén más la distancia recorrida invadiendo el carril contrario), desviación estándar (DE) de la velocidad angular del volante (una medida referente a la dificultad para mantener la dirección del vehículo) y tiempo total para completar la ruta. Además, para obtener una medida general del rendimiento en la conducción, se calculó el índice general de rendimiento en la conducción (ODPS; del inglés, *overall driving performance score*). Esta puntuación se obtuvo como en otros estudios (Kimlin et al., 2017; Wood, 2002; Wood y Carberry, 2006), obteniendo los z-score para cada una de las variables individuales de rendimiento en la conducción, y calculando un z-score promedio para cada participante. El z-score es definido como un valor que indica cuántas desviaciones estándar por debajo o por encima de la media del grupo está un individuo. Estas puntuaciones fueron convertidas para conseguir que un z-score positivo representara un mejor rendimiento con respecto a la media.

Para obtener el ODPS se consideraron todas las variables individuales excepto la velocidad media en las tres secciones, y la distancia recorrida invadiendo el carril contrario y el arcén en la carretera de montaña, ya que estas variables estaban incluidas en la distancia total recorrida fuera del carril (que es la suma de ambas distancias). La velocidad media no fue considerada ya que este parámetro no indica mejor o peor rendimiento en la conducción (Wood 2002; Wood y Carberry, 2006). No obstante, el tiempo total sí fue incluido, estableciendo que un tiempo más prolongado indicaba un peor rendimiento en la conducción, dado que esos conductores necesitaban más tiempo para detectar cada estímulo de la carretera, mostrando una mayor dificultad para completar la ruta. Estudios anteriores han demostrado que los sujetos con deterioro visual necesitan más tiempo para completar los recorridos, por lo que otros trabajos ya incluyeron el tiempo total siguiendo el mismo criterio para obtener un índice general de rendimiento en la conducción (Chaparro et al., 2005; Wood, 2002).

3.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo usando el software SPSS 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL), estableciendo un nivel de significación del 0.05. Las diferencias entre grupos para todas las variables de visión y conducción se examinaron usando t-test para muestras independientes y test U-Mann Whitney cuando las variables no seguían una distribución normal. Para estudiar la relación existente entre visión y conducción, el primer paso consistió en realizar un análisis de correlaciones bivariadas, incluyendo el índice general de rendimiento en la conducción (ODPS) y todos los parámetros visuales estudiados. Para ello, se usaron correlaciones de Pearson, y correlaciones de Spearman para las variables que no seguían una distribución normal. Después, los parámetros visuales que mostraron una correlación significativa con el ODPS fueron incluidos como variables independientes en un modelo de regresión lineal múltiple (método de elección por pasos hacia adelante) con el ODPS como variable dependiente. Por último, fueron comprobadas las suposiciones del modelo con respecto a los datos.

3.3. Resultados

La Tabla 3.2 muestra los datos demográficos para la muestra completa y los diferentes grupos de edad. Una mayoría de hombres participaron en el estudio (~90%), con porcentajes similares en ambos grupos. Todos los conductores tenían al menos tres años de antigüedad en su permiso de conducir, y la mayoría de ellos lo hacía diariamente o varias veces por semana. El grupo más joven valoró la calidad de su propia conducción ligeramente mejor que el grupo de mayores, pero ningún participante calificó su conducción como regular o mala. Con respecto a los accidentes de tráfico en el año anterior, todos los participante indicaron no haber tenido.

Tabla 3.2. Características demográficas de toda la muestra y los dos grupos de edad.

	Jóvenes (25-40 años)	Mayores (56-71 años)	Muestra total
Edad (años) (media \pm DE)	29,8 \pm 4,4	62,3 \pm 4,3	46,1 \pm 17,0
Género (%)			
Hombre	85,7	95,2	90,5
Mujer	14,3	4,8	9,5
Experiencia conduciendo (años) (%)			
< 1	0	0	0
entre 1-3	0	0	0
entre 3-5	9,5	0	4,8
> 6	90,5	100	95,2
Distancia conducida el año anterior (km) (%)			
> 500	0	0	0
500-999	14,3	0	7,7
1000-4999	33,3	16,7	25,6
> 5000	47,6	83,3	64,1
No responde	4,8	0	2,6
Frecuencia de conducción (%)			
Diariamente	42,9	38,9	41
Varias veces/semana	33,3	55,6	43,6
Una vez/semana	9,5	5,5	7,7
2-3 veces/mes	14,3	0	7,7
Una vez/mes	0	0	0
< de una vez al mes	0	0	0
Valoración de la propia conducción (%)			
Excelente	19,0	11,1	15,4
Buena	61,9	55,6	59,0
Normal	19,1	33,3	25,6
Regular	0	0	0
Pobre	0	0	0

Las variables continuas se muestran según media \pm DE y las categóricas según porcentajes.

3.3.1. Función visual

La Tabla 3.3 contiene los resultados (media \pm DE) del análisis de la función visual para los dos grupos de edad. Las comparaciones entre grupos demostraron que existe un deterioro visual relacionado con el envejecimiento para todos los parámetros estudiados. La agudeza visual fue

la única variable que no mostró diferencias significativas entre grupos, con un empeoramiento de 0,03 unidades logMAR en el grupo de mayores comparado con los más jóvenes. Para el resto de parámetros, los resultados reflejaron un deterioro significativo en el grupo de mayores, con una reducción del 9,5% en la sensibilidad al contraste y un incremento de más del 100% en el VDI. Del mismo modo, el straylight fue significativamente más alto en el grupo de mayores, con un aumento del 33% con respecto a los conductores jóvenes. Esto indica que existe una mayor influencia de la difusión de la luz en los medios oculares, y por tanto, una mayor sensibilidad al deslumbramiento en los conductores de más edad.

Tabla 3.3. Comparación de los parámetros visuales de ambos grupos de edad.

	Jóvenes (25-40 años)	Mayores (56-71 años)	P-valor
AV binocular (logMAR)	-0,06±0,06	-0,03±0,06	0,091
SC binocular (logSC)	1,89±0,10	1,71±0,14	<0,001
VDI binocular	0,14±0,03	0,32±0,28	0,001
Log(s)	0,89±0,13	1,19±0,11	<0,001

AV, agudeza visual; SC, sensibilidad al contraste; VDI, visual disturbance index; s, straylight

3.3.2. Rendimiento en la conducción

En la Tabla 3.4 se muestran las medias y DE de las variables de rendimiento en la conducción obtenidas para los dos grupos. En la autovía, las velocidades medias de ambos grupos eran similares. Con respecto al control de la dirección, los conductores mayores mostraron una desviación estándar (DE) de la velocidad angular del volante un 50% más alta. Esto indica que este grupo presentaba un mayor esfuerzo en el control de la dirección del vehículo, y como consecuencia, más dificultad para mantener el coche en una posición correcta en el carril, circulando por el arcén más distancia que el grupo joven (~248%). En la carretera de montaña, la dificultad para mantener una posición adecuada en el carril continuó siendo significativamente superior en los conductores de edad avanzada, con una desviación estándar de la posición lateral del vehículo (SDLP) un 27% más alta. Como consecuencia, la distancia total recorrida fuera del carril fue notablemente mayor para este grupo (~160%). De la misma manera, la DE de la velocidad angular del volante fue un 28% más alta para el grupo de mayores en esta sección del recorrido. En el tramo de ciudad, este parámetro también fue

aproximadamente un 17% superior para los conductores mayores. Además, este grupo condujo significativamente más lento en el tramo urbano, resultado que contrasta con el obtenido en el resto del circuito, donde ambos grupos circularon a velocidades similares. La ciudad es un entorno más complejo, con gran carga de estímulos visuales (señales de tráfico, semáforos, etc.), y más presencia de otros usuarios de la vía (tráfico, coches aparcados y peatones). Esto podría indicar que los conductores perciben las distintas partes del recorrido con diferente complejidad, y en consecuencia adoptan mecanismos compensatorios para mitigar el mayor riesgo percibido.

Tabla 3.4. Comparación de los parámetros de conducción de ambos grupos de edad.

	Jóvenes (25-40 años)	Mayores (56-71 años)	p-valor	
Autovía	Velocidad media (km/h)	118,44±7,81	114,64±10,53	0,196
	Distancia recorrida invadiendo el arcén (m)	72,98±59,06	253,75±215,45	0,001
	DE de la velocidad angular del volante (rad/s)	0,16±0,04	0,24±0,06	<0,001
Carretera de montaña	Velocidad media (km/h)	56,06±2,25	56,59±2,53	0,490
	SDLP (m)	0,51±0,06	0,65±0,13	<0,001
	Distancia recorrida invadiendo el carril contrario (m)	212,20±116,61	593,04±378,13	<0,001
	Distancia recorrida invadiendo el arcén (m)	20,35±15,16	81,21±74,29	<0,001
	Distancia total recorrida fuera del carril (m)	265,77±139,78	693,23±377,33	<0,001
	DE de la velocidad angular del volante (rad/s)	0,63±0,14	0,81±0,26	0,008
Ciudad	Velocidad media (km/h)	32,02±4,88	29,96±6,37	0,007
	DE de la velocidad angular del volante (rad/s)	1,13±0,17	1,32±0,17	0,001

DE, desviación estándar; SDLP, desviación estándar de la posición lateral del vehículo.

Para finalizar, como análisis general del recorrido completo, cabe destacar que los conductores de edad avanzada necesitaron más tiempo para completarlo (~8%) (p=0,005). Además, el índice

general de rendimiento en la conducción (ODPS) indicó que la conducción general del grupo más joven era más eficiente, obteniendo una puntuación media significativamente más alta ($p < 0,001$) (Figura 3.7).

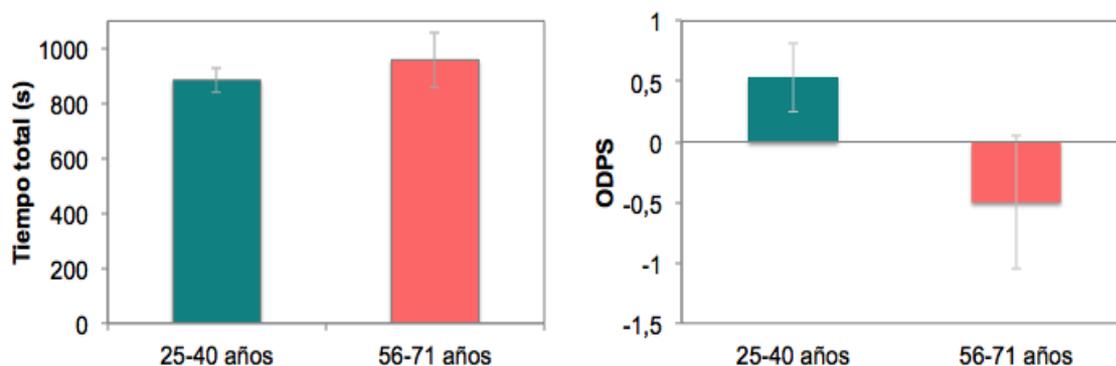


Figura 3.7. Representación gráfica de los resultados correspondientes a las variables del circuito completo. Las barras de error indican la desviación estándar. ODPS, índice general de rendimiento en la conducción.

3.3.3. Relación entre el deterioro visual asociado al envejecimiento y el rendimiento en la conducción

Los resultados obtenidos en el análisis de correlaciones mostraron que un deterioro en cualquiera de las variables estudiadas estaba significativamente correlacionado con un peor rendimiento en la conducción (ODPS). La correlación más alta se encontró con el parámetro visual relativo al straylight ($r = -0,652$; $p < 0,001$) y la más débil se encontró con la agudeza visual binocular ($\rho = -0,322$; $p = 0,038$). Por otro lado, las correlaciones halladas entre el ODPS y la sensibilidad al contraste ($r = 0,447$; $p = 0,003$) o el índice de alteración visual ($\rho = -0,471$; $p = 0,002$) fueron muy similares.

Finalmente, el modelo de regresión incluyó como predictor significativo del rendimiento en la conducción sólo el nivel de straylight (Figura 3.8). En la Figura 3.8 se muestra el gráfico de dispersión del ODPS frente al $\log(s)$, en el que se observa cómo los conductores más jóvenes obtuvieron, en general, un mejor rendimiento en la conducción, es decir, valores más positivos del ODPS. Con el modelo, podría predecirse el 51,3% de la variabilidad en el índice general de rendimiento en la conducción (r múltiple = 0,716). La ecuación del mismo, para predecir el

rendimiento general en la conducción, con sólo el $\log(s)$ como variable independiente, es la que sigue (los errores estándar se muestran entre paréntesis):

$$\text{ODPS} = 2.547 - 2.508 \log(s)_{(0.447)} \quad (3.2)$$

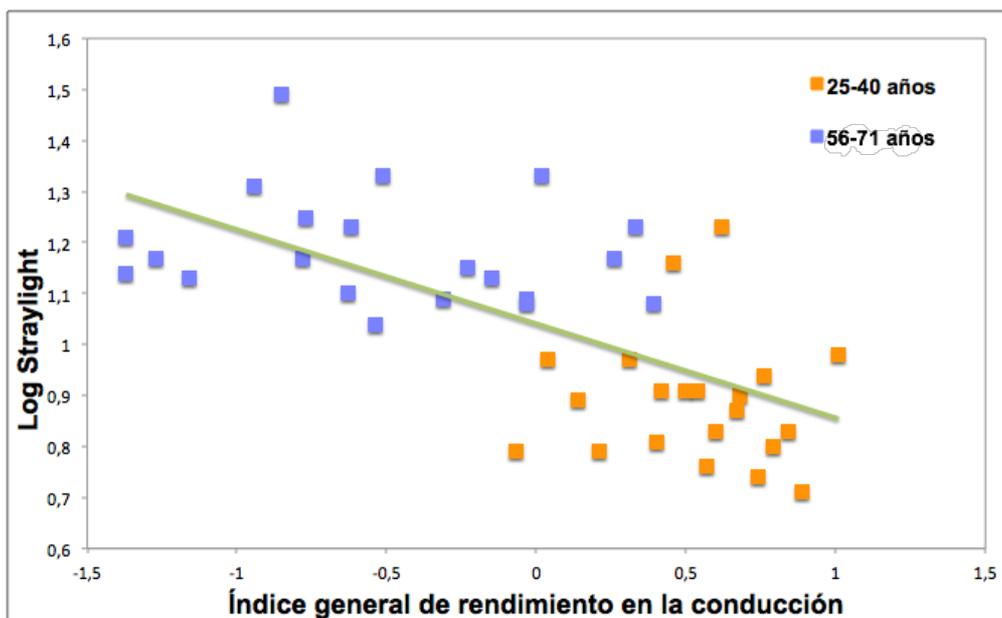


Figura 3.8. Gráfico de dispersión del índice general de rendimiento en la conducción (ODPS) y el parámetro visual seleccionado por el modelo de regresión ($\log(s)$).

3.4. Discusión y conclusiones

Los resultados de este estudio mostraron que los conductores de edad avanzada tenían una agudeza visual disminuida, una peor sensibilidad al contraste y una mayor influencia de deslumbramiento y halos. Además, este grupo mostró un nivel de straylight significativamente más alto. Este deterioro general en la función visual ha sido reflejado también en estudios anteriores sobre envejecimiento (Martínez-Roda et al., 2016b; Ortiz et al., 2013; Owsley et al., 1983; van den Berg et al., 2007). Como consecuencia de estos cambios, se comprometen las capacidades necesarias para realizar tareas como conducir, lo que podría aumentar el riesgo de accidentes. Frecuentemente esto provoca que los conductores mayores auto-regulen su conducción, o incluso dejen de realizar esta tarea. Es conocido que esta decisión implica un

impacto negativo en la salud, debido a una mayor prevalencia de depresión, aislamiento social y un peor acceso a los servicios de salud, lo cual disminuye la calidad de vida de las personas mayores (Michelle L Fraser et al., 2013).

A este respecto, nuestros resultados demuestran que los conductores mayores fueron menos eficientes en la conducción, mostrando una mayor SDLP y mayores distancias recorridas fuera del carril, aunque ellos intentaron corregir la posición del vehículo, lo que justificaría la mayor DE de la velocidad angular del volante hallada. Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios anteriores, mostrando que los conductores mayores tienen una mayor incidencia de salidas del carril (Szlyk et al., 1995b), más dificultades para cambiar de carril (Reimer et al., 2013) y un peor control de la posición del vehículo ante eventos inesperados o tareas de atención dividida (Bunce et al., 2012; Ortiz et al., 2018). El deterioro visual podría ser responsable de gran parte de estos cambios, ya que afecta a las habilidades de guía visual y a la capacidad de atención visual, haciendo al conductor mayor más lento y menos preciso para detectar todos los estímulos en carretera (Willstrand et al., 2017). Como consecuencia, la conducción general de los mayores es más pobre (Wood, 2002), aunque ellos podrían ser conscientes de ello, ya que los resultados de este estudio mostraron que este grupo redujo su velocidad significativamente en la ciudad, el entorno con mayor demanda visual, quizás como un mecanismo compensatorio. Es conocido también que los escenarios más complejos de la carretera, como los urbanos, influyen a la hora de adoptar comportamientos de adaptación en la velocidad (Oviedo-Trespalacios et al., 2017b), y los conductores mayores a menudo reducen su velocidad para mitigar el riesgo percibido debido al entorno o a sus deterioros visuales, cognitivos o motores (Szlyk et al., 1995b). No obstante, ha sido sugerido que conducir más lento no es suficiente para eliminar los errores en el reconocimiento de señales y evitar obstáculos en la carretera (Higgins y Wood, 2005).

El análisis de correlaciones mostró que un empeoramiento en cualquiera de los parámetros visuales analizados estaba relacionado con un peor rendimiento general en la conducción (ODPS más bajo). Anteriormente, la agudeza visual ha sido correlacionada de forma similar con tareas de reconocimiento en conducción real (Higgins y Wood, 2005). Sin embargo, las correlaciones halladas con datos de accidentabilidad son mucho más bajas (Hills y Burg, 1977) o incluso no significativas, lo que podría indicar que el deterioro en la agudeza visual no implique necesariamente un alto riesgo de accidente (Owsley y McGwin, 2010). Por el contrario, es bien conocido que la reducción en la sensibilidad al contraste es crítica para la

seguridad vial, ya que se ha visto que entre los conductores mayores envueltos en accidentes, existe una probabilidad hasta 8 veces mayor de tener un déficit severo de sensibilidad al contraste (Owsley et al., 2001). Con respecto al rendimiento en la conducción, este estudio ha encontrado una correlación significativa con la SC, similar a la encontrada en un estudio anterior realizado en un circuito cerrado de carretera (Wood, 2002). El complejo entorno de la conducción incluye estímulos de bajo contraste como marcas deterioradas de la carretera, señales y baches, los cuales pueden ser más difíciles de detectar por un conductor mayor con déficit visual. La detección de estos estímulos puede ser crítica, y un test de agudeza visual podría no evaluar de manera adecuada las capacidades visuales requeridas para ello (Higgins y Wood, 2005; van den Berg et al., 2009).

En esta línea, existen trabajos que han mostrado que algunos test visuales no estandarizados podrían predecir el rendimiento en la conducción. En este estudio, los conductores mayores con una influencia más fuerte de halos y deslumbramiento obtuvieron un ODPS significativamente peor. Kimlin et al., (2017) demostraron que una mayor extensión en los halos percibidos por conductores de edad avanzada estaba asociada con una disminución del rendimiento general en la conducción nocturna. También Gray y Regan (2007) encontraron que la presencia de deslumbramiento durante el ocaso provocaba comportamientos de mayor riesgo en los giros hacia la izquierda, afectando en mayor medida a conductores de edad avanzada. Con respecto a la capacidad para leer las señales, Dewar et al., (1997) mostraron que la distancia de legibilidad se reducía en presencia de deslumbramiento sólo para los conductores mayores. Igualmente, en este estudio hemos encontrado que los conductores con peor capacidad de discriminación visual tienen un peor rendimiento en el simulador de conducción, destacando una peor estabilidad en el carril.

El straylight afecta durante el día, con dificultades como problemas de orientación espacial y reconocimiento, siendo esto referido habitualmente por los sujetos como “visión borrosa” o “visión nublada”. Esto tiene su importancia dado que estas quejas son también de relevancia para la conducción, tarea en la cual el reconocimiento de señales y marcas en la carretera es primordial, así como la correcta localización espacial del vehículo para conducirlo adecuadamente a lo largo del carril y con respecto a los demás elementos y usuarios de la vía. Por otra parte, es importante mencionar que durante la conducción nocturna, ha sido demostrado que los efectos del straylight podrían hacer que los conductores mayores sin patología ocular tengan problemas por deslumbramiento, causados incluso sólo por las luces de

cruce de los demás vehículos (van den Berg et al., 2009). Aunque la correlación encontrada no implica causalidad, los resultados de este trabajo concuerdan con otros anteriores (Michael et al., 2009, van den Berg et al., 2009), que han concluido que la medida del straylight podría ser un parámetro visual de especial utilidad cuando se evalúa la aptitud para conducir de los mayores.

Reforzando la idea anterior, el modelo de regresión seleccionó el straylight como el único parámetro visual para la predicción del rendimiento en la conducción, explicando el 51,3% de la variabilidad en el ODPS. El porcentaje de predicción alcanzado por este test visual es ligeramente superior al encontrado en un estudio anterior realizado en un circuito cerrado de carretera, combinando otros parámetros visuales (Wood, 2002), y es también mucho mayor que los encontrados en trabajos sobre accidentabilidad (Hills y Burg, 1977). Además, nuestro resultado está de acuerdo con las conclusiones de Bal et al., (2010), en cuyo trabajo destacaron la importancia de la medida del straylight y la conveniencia de su inclusión en la evaluación de las aptitudes visuales para la obtención del permiso de conducir. Otro estudio en el que la visión de 2.422 conductores europeos fue evaluada, mostró que entre los conductores mayores, un porcentaje importante tenía niveles de straylight que podían tener un impacto negativo para la conducción (29,5%). Sin embargo, el porcentaje que no alcanzaba el mínimo requerido para las funciones visuales incluidas en los estándares actuales, como la agudeza visual o el campo visual, era mucho menor (5,3% y 2,4% respectivamente) (van Rijn et al., 2011). Aunque estos estudios definían el nivel de straylight que podría representar un impedimento para la conducción ($\log(s) > 1,4$), los resultados de nuestro estudio muestran un deterioro significativo del rendimiento en esta tarea con valores más bajos. Así, sólo un participante del grupo de conductores mayores presentaba un $\log(s)$ mayor del valor límite propuesto para este parámetro visual. Además, es conveniente destacar que todos los participantes tenían una agudeza visual muy buena, bastante por encima del mínimo legal requerido para conducir. Las distintas prevalencias de deterioro encontradas en la agudeza visual y el nivel de straylight de los conductores es una prueba más de la independencia existente entre ambas funciones visuales. Estudios anteriores han confirmado que ambos parámetros cambian independientemente con el envejecimiento normal, así como en presencia de cataratas (van den Berg, 2017b). Ambos test exploran por tanto diferentes aspectos de la calidad visual, apoyando la idea de que la AV no es el único test importante en el examen de las aptitudes para la conducción, particularmente cuando están involucrados conductores de edad avanzada.

En conjunto, estos resultados indican que un mejor conocimiento del papel del straylight intraocular en la conducción es necesario, así como una revisión sobre cuáles serían los niveles de corte para realizar esta tarea con mayor seguridad. Para una mejor comprensión, sería preciso también relacionar esta función visual con conducción real (estudios en carretera), dado que nuestros resultados han sido obtenidos para conducción simulada en condiciones de día, por lo que deben ser interpretados con precaución. No obstante, la validez de los simuladores con respecto a la conducción real ha sido demostrada, indicando que su uso ofrece la alternativa más ética para llevar a cabo este tipo de estudios, asegurando un ambiente seguro para el conductor en todas las situaciones. Otra posible limitación de nuestro estudio es el tamaño de la muestra, debido a los estrictos criterios de inclusión empleados. Algunos sujetos también tuvieron que ser excluidos del estudio por presentar síntomas de mareo con el simulador. Por esta razón, y debido a que la correlación no implica una relación necesaria de causa-efecto, en futuros trabajos sería interesante comparar el impacto de distintos niveles de straylight intraocular en la conducción de personas mayores. Por otro lado, también sería interesante relacionar el nivel de straylight con variables de reconocimiento durante la conducción (por ejemplo, detección de peatones, respuesta de frenada ante situaciones de peligro, o distancia de legibilidad de señales), así como en condiciones nocturnas, donde la sensibilidad al deslumbramiento tiene su principal influencia.

Este trabajo ha analizado por primera vez la importancia del nivel de straylight intraocular como un predictor de la capacidad para conducir, evaluando una tarea relacionada con la conducción de forma objetiva. Los resultados obtenidos contribuyen así a los anteriores confirmando que existe una relación significativa entre el straylight y el rendimiento en la conducción. Estos resultados demuestran que el straylight podría ser un indicador importante del estado visual general de los conductores, especialmente cuando los efectos del envejecimiento comienzan a hacerse notar. Aunque los participantes mayores de nuestra muestra tenían buena salud ocular y agudeza visual, los cambios visuales eran significativos y también mostraron peores capacidades para la conducción. Sería necesario realizar más investigaciones para analizar el impacto de distintos niveles de straylight en la conducción real para diferentes condiciones ambientales, y estudiar si la inclusión de la medida del straylight en la evaluación de los conductores podría ser beneficiosa, especialmente cuando se evalúen las aptitudes de personas mayores.

CAPÍTULO 4

El scattering intraocular como predictor del rendimiento en la conducción en sujetos mayores con catarata (Estudio 2)

4.1. Introducción

Las personas de edad avanzada componen el grupo de la población que está creciendo más fuertemente en las regiones desarrolladas del mundo (Cohen, 2003), lo que se traduce en un aumento del número de personas mayores al volante. Esta circunstancia, unida a la mayor esperanza de vida y la necesidad de independencia harán que la edad media de los conductores se vea aumentada cada año (Rosenbloom, 2001).

Durante el envejecimiento, se produce un aumento en la prevalencia de deterioro visual, siendo las cataratas una de las patologías oculares más frecuentes en la población de edad avanzada (Nischler et al., 2010). Esta patología, frecuentemente bilateral, disminuye progresivamente la transparencia en el cristalino, provocando un aumento del scattering intraocular (De Waard et al., 1992; Martínez-Roda et al., 2016a) que genera un velo de straylight sobre la retina. Así, la catarata afecta significativamente a la agudeza visual y la sensibilidad al contraste, además de aumentar el deslumbramiento (Rubin et al., 1993). En las fases más iniciales de la catarata, aún cuando no se manifiestan alteraciones de la agudeza visual, el efecto del scattering intraocular es significativo, generando deslumbramiento y pérdida de contraste en la imagen retiniana (van Rijn et al., 2005). Esto da lugar a diferentes síntomas que comprometen la seguridad al volante, incluyendo alteraciones de la visión nocturna, dificultades visuales durante el amanecer y el ocaso, problemas de reconocimiento, visión nublada, pérdida de contraste o de la visión del color y dificultades de visión a contraluz (Ortiz et al., 2013; van den Berg et al., 2009). Aunque estos síntomas mejoran tras la cirugía (Wood y Carberry, 2006), es común que las personas mayores pasen largos periodos de tiempo esperando antes de someterse a la intervención (Owsley et al., 1999). Esta circunstancia hace que en ocasiones, aquellos que son conductores realicen esta tarea incluso sin alcanzar la agudeza visual mínima requerida para conducir (Mönestam et al., 2005). Esto tiene una serie de implicaciones importantes en términos de seguridad vial, ya que se ha demostrado que los conductores con catarata tienen una probabilidad de provocar accidentes aproximadamente 2,5 veces más alta (Owsley et al., 1999).

Estas pérdidas visuales y sus consecuencias para la función visual son evaluados en el tradicional test de aptitud del conductor empleando el estandarizado test de agudeza visual, a pesar de existir evidencias que muestran que esta prueba no es óptima para predecir el rendimiento en la conducción (Owsley et al., 1999; Wood y Carberry, 2004, 2006). Además, también se ha mostrado que la medida de la sensibilidad al contraste o del nivel de

deslumbramiento, podrían mejorar el nivel de predicción del anterior (Owsley et al., 2001). En esta línea, Owsley et al., (2001) mostraron que los conductores con catarata envueltos en un accidente tenían una probabilidad 8 veces mayor de tener un deterioro significativo de la sensibilidad al contraste, señalando la importancia de este parámetro visual para la seguridad al volante. Por otra parte, aunque la relación entre el deslumbramiento generado por el aumento del scattering y el rendimiento en la conducción aún es desconocida (Owsley et al., 2001; Wood y Carberry, 2006), existen estudios que destacan la importancia de la medida del straylight en conductores con catarata, proponiendo incluso unos valores límite para la seguridad en la conducción (van Rijn et al., 2011). Sin embargo, estos valores límite o de corte han sido asumidos en base a datos obtenidos previamente sobre la percepción de riesgo que tienen los conductores (van den Berg et al., 2009; van Rijn et al., 2011), más que en evidencias objetivas sobre cómo el straylight afecta o deteriora la conducción. Así, hasta día de hoy, no existe un método estandarizado o test para medir el efecto del scattering intraocular en conductores.

Por todo ello, el objetivo de este estudio fue examinar la relación entre la función visual y la conducción, estudiando qué parámetros visuales podrían ser más relevantes para predecir el rendimiento en la conducción en sujetos mayores sin y con cataratas.

4.2. Metodología

4.2.1. Participantes

Un total de 26 participantes fueron incluidos en el estudio y divididos en dos grupos: catarata y control. El grupo con catarata estaba compuesto por 16 pacientes con catarata bilateral, de los cuales dos abandonaron el estudio y 4 fueron excluidos por notar síntomas de mareo con el simulador de conducción. La muestra final incluyó a 10 participantes con cataratas, con edades comprendidas entre 56-77 años ($66,4 \pm 6,9$ años). Ninguno de ellos presentaba otra patología ocular distinta a la catarata y su agudeza visual binocular era igual o superior a 0,5 (escala decimal), el mínimo requerido para mantener el permiso de conducir en España. Todos los diagnósticos fueron hechos por el mismo oftalmólogo en el Hospital Clínico San Cecilio de Granada (España). Para el grupo control, se incluyeron 10 sujetos con edades comprendidas entre 57-71 años ($63,3 \pm 4,1$ años), sin patología ocular y con agudeza visual monocular mejor

o igual a 1,0 (escala decimal). Todos los participantes del estudio tenían buen estado de salud general y eran conductores habituales, con permiso de conducir vigente.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (180/CEIH/2016). Antes de participar, todos los sujetos eran informados de los objetivos y procedimientos del mismo y firmaron el consentimiento informado de acuerdo con los principios de la Declaración de Helsinki. Durante el experimento, los participantes llevaron la compensación óptica que empleaban normalmente para conducir.

4.2.2. Evaluación visual

El examen visual constaba de distintas pruebas: agudeza visual (AV) (POLA Vista Vision®), sensibilidad al contraste (SC) (CSV-1000), y capacidad de discriminación visual (VDI) (software Halo v.1.0). Estas funciones visuales y sus correspondientes procedimientos de medida han sido descritos en detalle en el capítulo anterior (*Capítulo 3*).

Además, se evaluó la calidad óptica de los participantes empleando el dispositivo OQAS II (Optical Quality Analysis System II, Visiometrics SL, Tarrasa, España), un sistema óptico basado en la técnica del doble paso (Vilaseca et al., 2010) (Figura 4.1). Esta técnica consiste en proyectar la luz de un diodo láser (longitud de onda = 780 nm) sobre la retina, donde se refleja volviendo a pasar por los medios oculares, para ser capturada en una cámara CCD. Así, se obtiene información cualitativa a partir de la imagen registrada e información cuantitativa a través de la Función de Transferencia de Modulación (MTF; del inglés, *Modulation Transfer Function*) y diferentes parámetros que pueden extraerse tras procesar la imagen registrada. De este modo, se evalúa de manera objetiva y automatizada la calidad óptica del ojo. Este dispositivo ha sido empleado anteriormente en numerosos estudios para evaluar el efecto de las aberraciones de alto orden y la difusión intraocular de la luz asociada a la pérdida de transparencia de los medios oculares en sujetos de edad avanzada (Artal et al., 2011; Martínez-Roda et al., 2016a, 2016b; Ortiz et al., 2013).



Figura 4.1. OQAS II (Optical Quality Analysis System II, Visiometrics SL).

Para el estudio de la calidad óptica de los participantes se obtuvo el Índice Objetivo de Scattering (OSI; del inglés, *Objective Scatter Index*), que permite la cuantificación objetiva del scattering o difusión intraocular. Así, el OSI permite cuantificar el efecto de la pérdida de transparencia causada por el envejecimiento o la catarata en la calidad de la imagen retiniana. Este índice se calcula dividiendo la energía medida en la parte externa de la imagen de doble paso, en un área anular de 12 y 20 min de arco (radios interior y exterior) entre la energía del pico central de la misma (1 minuto de arco). Para una persona sin catarata, los valores de OSI normales son menores de 1,0 (aunque algunos casos en sujetos sanos pueden superar ligeramente este límite). Valores entre 1 y 2,9 corresponden a ojos con una catarata incipiente o poco madura, y mayores de 3 corresponden a ojos con una catarata madura (Fernández et al., 2018; Martínez-Roda et al., 2011). No obstante, los valores límite para catarata incipiente o poco madura difieren entre autores (Fernández et al., 2018). El OSI se obtuvo monocularmente y sin dilatación pupilar para mantener las condiciones naturales. Puede encontrarse más información sobre este dispositivo en otros trabajos (Díaz-Doutón et al., 2006; Vilaseca et al., 2010).

4.2.3. Análisis de la conducción

Para el estudio del rendimiento en la conducción se ha empleado el simulador de conducción descrito en el capítulo anterior. En este caso, el recorrido constaba únicamente de una sección

en autovía (4,5 km) y una segunda sección en carretera de montaña (6 km), con las mismas características descritas en el *Capítulo 3*.

Todos los participantes recibieron tres sesiones de entrenamiento, con un período de descanso de una semana entre las sesiones. En este experimento, se consideraron las siguientes variables para su análisis: velocidad media, desviación estándar de la posición lateral (SDLP), distancia recorrida invadiendo el carril contrario, distancia total recorrida fuera del carril (distancia recorrida invadiendo el arcén más distancia recorrida invadiendo el carril contrario) y tiempo total empleado para completar el circuito. Además, para obtener una medida general del rendimiento en la conducción, se calculó el índice general de rendimiento en la conducción (ODPS, del inglés, *overall driving performance score*). Esta puntuación se obtuvo como se ha descrito en el capítulo anterior (Wood, 2002; Wood y Carberry, 2006), obteniendo los z-score para cada una de las variables individuales de rendimiento en la conducción y calculando un z-score promedio para cada participante. Estas puntuaciones fueron convertidas para conseguir que un z-score positivo representara un mejor rendimiento con respecto a la media.

Las variables independientes que se emplearon para el cálculo del ODPS fueron las siguientes: SDLP, distancia total recorrida fuera del carril y tiempo total. Para esta última variable, se estableció que un tiempo más prolongado indica un peor rendimiento en la conducción, dado que esos conductores necesitaban más tiempo para detectar cada estímulo de la carretera, mostrando una mayor dificultad para completar la ruta. Estudios anteriores han demostrado que los sujetos con deterioro visual necesitan más tiempo para completar los recorridos, por lo que otro trabajo ya incluyó el tiempo total siguiendo el mismo criterio para obtener un índice general de rendimiento en la conducción (Wood, 2002). Sin embargo, aunque los conductores con dificultades visuales conduzcan más lento, este comportamiento no es suficiente para reconocer señales, obstáculos o peatones al mismo nivel que lo hacen aquellos que tienen una buena calidad visual (Higgins y Wood, 2005; Wood, 2002).

4.2.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado con el software SPSS 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Todas las variables visuales y de conducción de ambos grupos (catarata y control) fueron comparadas empleando t-test para muestras independientes o test U de Mann-Whitney cuando las variables

no seguían una distribución normal. Además, se empleó un modelo lineal generalizado para el análisis de efectos principales del grupo (catarata vs. control) en las variables de conducción. Los resultados fueron corregidos para la edad del conductor, que se incluyó como covariable en el modelo.

Por otro lado, la relación entre la función visual y el rendimiento en la conducción se estudió en dos etapas. Un primer paso consistió en un análisis de correlaciones bivariadas empleando correlaciones de Pearson. Para las variables que no seguían una distribución normal, se usaron correlaciones de Spearman. Después, para determinar qué combinación de parámetros visuales era la que mejor predecía el rendimiento en la conducción, se construyó un modelo de regresión (con un método de elección por pasos hacia adelante) incluyendo el índice general de rendimiento en la conducción (ODPS) como la variable dependiente, y los parámetros visuales como variables independientes o posibles predictores. Por último, fueron comprobadas las suposiciones del modelo con respecto a los datos. Para el análisis estadístico se estableció un nivel de significación de 0,05.

4.3. Resultados

4.3.1. Función visual

Para los dos grupos incluidos en el estudio, no se encontraron diferencias significativas en la edad ($p=0,237$), ni en la distribución por género ($p=0,280$). La Tabla 4.1 muestra los valores medios y desviación estándar obtenidos para cada uno de los parámetros visuales en ambos grupos. Como esperábamos, el t-test reveló diferencias significativas entre ambos grupos para todos los parámetros estudiados, indicando un peor rendimiento visual en el grupo con catarata. Además, la calidad óptica (valor del OSI) también estaba significativamente deteriorada en presencia de cataratas.

Tabla 4.1. Media (\pm DE) de los parámetros visuales para cada uno de los grupos.

	Control	Catarata	p-valor
AV binocular (logMAR)	-0,06 \pm 0,06	0,24 \pm 0,06	< 0,001
SC binocular (logSC)	1,78 \pm 0,17	1,12 \pm 0,25	< 0,001
VDI binocular	0,23 \pm 0,21	0,77 \pm 0,25	< 0,001
OSI	0,97 \pm 0,39	3,38 \pm 2,26	0,020

AV, agudeza visual; SC, sensibilidad al contraste; VDI, índice de alteración visual; OSI, índice objetivo de scattering

4.3.2. Rendimiento en la conducción

La Tabla 4.2 recoge los valores promedio y desviación estándar de las variables de rendimiento en la conducción de ambos grupos. Como puede verse, el grupo de catarata tuvo un menor ODPS, indicando que su rendimiento general en la conducción era significativamente peor que el del grupo control ($\chi^2_1=13,3$; $p<0,001$).

Para las variables individuales de conducción, los resultados revelaron un efecto principal significativo del grupo en la velocidad media tanto en la autovía ($\chi^2_1=6,2$; $p=0,013$), como en la carretera de montaña ($\chi^2_1=11,2$; $p=0,001$). Los conductores con catarata adoptaron velocidades más bajas que los del grupo control, con una reducción similar para la autovía y la carretera de montaña (13,6% y 12,7%, respectivamente). Este mismo grupo también mostró un peor rendimiento en los parámetros de conducción relacionados con el mantenimiento de la posición del vehículo en el carril, tales como una SDLP más alta ($\chi^2_1=11,2$; $p=0,001$), una mayor distancia recorrida invadiendo el carril contrario ($\chi^2_1=6,4$; $p=0,012$) y una mayor distancia total recorrida fuera del carril ($\chi^2_1=9,5$; $p=0,002$). Mientras la SDLP fue un 23,3% mayor en el grupo con catarata en relación al grupo control, la distancia total recorrida fuera del carril fue más del doble para los conductores con esta patología (un 118% mayor) (Figura 4.2).

El análisis también mostró que el grupo con catarata necesitó un 11,7% más de tiempo para completar el circuito ($\chi^2_1=5,2$; $p=0,023$), debido a que este grupo condujo a una menor velocidad y tuvo más dificultad para completar la ruta. Finalmente, la edad sólo presentó un efecto principal significativo para la velocidad media en la autovía ($\chi^2_1=5,2$; $p=0,022$).

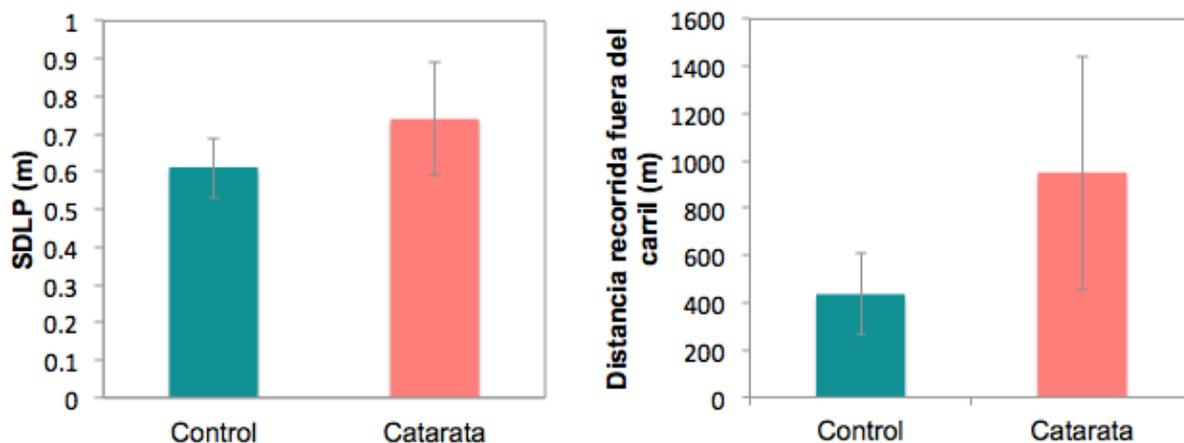


Figura 4.2. Representación gráfica de la desviación lateral de la posición del vehículo (SDLP) y la distancia recorrida fuera del carril para los dos grupos del estudio.

Tabla 4.2. Media (\pm DE) de las variables de conducción para los dos grupos.

		Control	Catarata	p-valor
Autovía	Velocidad media (km/h)	113,67±10,49	98,23±14,43	0,014
	SDLP (m)	0,61±0,08	0,74±0,15	0,037
Carretera de montaña	Distancia recorrida invadiendo el carril contrario (m)	370,94±185,80	626,84±246,75	0,023
	Distancia total recorrida fuera del carril (m)	436,07±171,38	950,81±494,01	0,006
	Velocidad media (km/h)	56,09±2,44	48,98±6,60	0,008
Circuito completo	Tiempo total (s)	694,34±55,60	775,85±93,93	0,030
	ODPS	0,50±0,42	-0,56±0,79	0,004

SDLP, desviación estándar de la posición lateral del vehículo; ODPS, índice general de rendimiento en la conducción.

4.3.3. Relación entre visión y rendimiento en la conducción

La Tabla 4.3 recoge los coeficientes de correlación obtenidos en el análisis bivariado de correlaciones. Estos resultados mostraron que todos los parámetros visuales estaban significativamente asociados con los parámetros de rendimiento en la conducción individuales.

Tabla 4.3. Correlaciones significativas encontradas entre las variables visuales y los parámetros de rendimiento en la conducción.

		AV	SC	VDI	OSI
		binocular	binocular	binocular*	
Autovía	Velocidad media (km/h)	-	0,490 (0,028)	-	-0,538 (0,021)
	SDLP (m)	0,484 (0,031)	-0,513 (0,021)	0,467 (0,038)	-
Carretera de montaña	Distancia recorrida invadiendo el carril contrario (m)	0,564 (0,015)	-0,519 (0,027)	0,548 (0,019)	0,591 (0,013)
	Distancia total recorrida fuera del carril (m)	0,648 (0,003)	-0,652 (0,002)	0,660 (0,002)	0,819 ($<0,001$)
	Velocidad media (km/h)	-0,651 (0,002)	0,711 ($<0,001$)	-0,551 (0,012)	-0,600 (0,008)
Circuito completo	Tiempo total (s)	0,528 (0,017)	-0,624 (0,003)	-	0,550 (0,018)
	ODPS	-0,686 ($<0,002$)	0,686 (0,002)	-0,564 (0,015)	-0,716 (0,001)

Nota: Los p-valores están incluidos entre paréntesis. * Correlaciones de Spearman
SDLP, desviación estándar de la posición lateral del vehículo; ODPS, índice general de rendimiento en la conducción.

La correlación significativa más alta se encontró entre el OSI y la distancia total recorrida fuera del carril en la carretera de montaña ($r=0,819$; $p<0,001$). Además, el índice general de rendimiento en la conducción (ODPS) estaba significativamente asociado con la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la capacidad de discriminación visual (VDI). Como también puede observarse, se obtuvo una correlación negativa significativa entre el ODPS y la calidad óptica ($r=-0.716$; $p=0,001$), ya que un valor mayor en el OSI (mayor influencia de scattering intraocular), estaba correlacionado con un peor rendimiento en la conducción (ODPS más bajo). De hecho, el OSI fue el parámetro visual que mostró una correlación más fuerte con el ODPS, y el único que aparecía en el modelo de regresión final, mostrando que era el mejor predictor del rendimiento en la conducción en conductores mayores. Esta relación es expresada en la Ecuación (4.1), con el error estándar indicado entre paréntesis. El modelo era capaz de explicar el 51,3% de la variabilidad en el índice general de rendimiento en la conducción.

$$\text{ODPS} = 0,63 - 0,27_{(0,065)}(\text{OSI}) \quad (4.1)$$

4.4. Discusión y conclusiones

El objetivo de este estudio fue investigar la relación entre la función visual y el rendimiento en la conducción de conductores mayores con y sin catarata, y así determinar qué parámetros visuales podrían ser más relevantes para predecir el rendimiento en la conducción. En primer lugar, los resultados obtenidos de los test clínicos en la evaluación de la función visual concuerdan con los obtenidos en estudios anteriores, demostrando que las cataratas alteran seriamente la función visual (Bal et al., 2010; Nischler et al., 2010; Ortiz et al., 2013; Owsley et al., 2001; van den Berg et al., 2009). Así, el grupo con catarata mostró una reducción de 6 líneas en la agudeza visual (logMAR) y de 0,66 unidades logarítmicas en la sensibilidad al contraste. Del mismo modo, el OSI fue 3,5 veces mayor en este grupo, resultando en una mayor influencia de halos y deslumbramiento en los conductores con catarata, con un VDI tres veces mayor que el grupo control.

Igualmente, esta patología tuvo un impacto negativo en el rendimiento en la conducción. El grupo con catarata mostró peor control del vehículo que el grupo sin deterioro visual, como pusieron en evidencia los resultados obtenidos en las variables individuales referentes al

mantenimiento de la posición en el carril. Estudios anteriores han encontrado que los conductores mayores con cataratas tienen problemas para adoptar una posición adecuada en la vía, mostrando dificultades a la hora de cambiar de carril o mantenerse dentro de los límites del mismo ante eventos inesperados (Wood y Carberry, 2004; Wood, 2002). De hecho, las salidas del carril son la segunda causa de accidente más común entre las personas mayores (Preusser et al., 1998). La falta de habilidad para mantener el coche de manera apropiada dentro del carril puede ser debida a un deterioro progresivo en sus habilidades visuales de guía, afectando a la detección de las marcas o indicadores de la carretera. Del mismo modo, el rendimiento general de la conducción estaba también más deteriorado para el grupo con catarata, como mostraron los resultados correspondientes al índice general (ODPS). Otros estudios también han mostrado este resultado en sujetos con catarata real (Wood, 2002; Wood y Carberry, 2006) y catarata simulada (Wood y Troutbeck, 1994). Los trabajos sobre accidentabilidad también confirman este hallazgo, ya que los conductores mayores con catarata han mostrado tener 2,5 veces más accidentes que los sujetos sin patología ocular (Owsley et al., 1999).

El análisis de la relación entre visión y conducción mostró que todos los parámetros visuales estaban significativamente correlacionados con el rendimiento general en la conducción (ODPS), demostrando su influencia en esta tarea. La agudeza visual y la sensibilidad al contraste mostraron unas asociaciones similares con el ODPS. Estos parámetros han sido estudiados en otros trabajos como predictores de la capacidad para conducir. De hecho, la AV ha sido estudiada como predictor de rendimiento en la condición bajo distintos niveles de borrosidad, encontrando unos coeficientes de correlación muy similares. Sin embargo, cuando en ese mismo trabajo la AV era reducida debido a una simulación de cataratas, los coeficientes disminuían en torno a 0,25 unidades, mostrando una asociación más débil (Higgins y Wood, 2005). Aparte de esto, otros análisis incluyendo AV para predecir accidentes sólo han encontrado correlaciones más bajas, de en torno a 0,1 (Hills y Burg, 1977). Esta débil correlación podría ser debida al hecho de que una buena agudeza visual no se traduzca en un mayor nivel de seguridad, dado que las habilidades dependientes de la AV en la conducción tales como el reconocimiento de señales, podrían no ser cruciales para evitar un accidente (Owsley y McGwin, 2010).

Por otro lado, nuestro hallazgo de una correlación relativamente alta entre la sensibilidad al contraste y la conducción está en la línea de los resultados obtenidos por otros estudios, los cuales han mostrado que las dificultades que experimentan los conductores de edad avanzada

en tareas de reconocimiento pueden predecirse con este test (Wood y Owens, 2005). Higgins y Wood (2005), en un estudio sobre cataratas simuladas, encontraron que añadir un test de sensibilidad al contraste al de agudeza visual en el protocolo del examen visual de conductores, aumentaba significativamente el porcentaje de variabilidad explicada en varios parámetros de rendimiento en la conducción como el tiempo total y el reconocimiento de señales y obstáculos. Esto concuerda con otras investigaciones que han probado que los conductores con cataratas con una historia reciente de accidentes tienen una probabilidad 6-8 veces mayor de sufrir un deterioro severo de la sensibilidad al contraste (Owsley et al., 2001).

Las cataratas contribuyen a la sensación de deslumbramiento, disminuyendo la capacidad de discriminación (VDI), que está negativamente correlacionada ($p < 0,05$) con un peor rendimiento en la conducción (Tabla 4.3). Esta capacidad es clave, por ejemplo, en la conducción nocturna donde no detectar estímulos periféricos alrededor de las luces de los coches que se aproximan podría conllevar a tener un accidente. Estos resultados son consistentes con trabajos anteriores donde el incremento del tamaño del halo estaba asociado a una mayor dificultad percibida durante la conducción (Babizhayev et al., 2009). Igualmente, el estudio llevado a cabo por Kimlin et al., (2017) demostró una correlación significativa entre el tamaño del halo y el rendimiento en la conducción nocturna de personas mayores.

Aunque algunos autores consideran que distintos parámetros visuales relacionados con el scattering (como el nivel de straylight o el deslumbramiento) deberían introducirse en los protocolos de evaluación visual de los conductores, en la actualidad no existe un método estandarizado y uniformemente aceptado. El estudio realizado por van Rijn et al., (2005) evaluó las propiedades de distintos dispositivos para la medida del deslumbramiento, concluyendo que la medida del straylight intraocular estaba asociado con los efectos perjudiciales del deslumbramiento en la percepción, siendo su evaluación particularmente importante en sujetos con cataratas. Cabe destacar que, como mostramos en los resultados del Capítulo 5 de esta Memoria, en otro estudio hemos encontrado una correlación significativa entre el straylight y el rendimiento en la conducción, por ejemplo en la distancia recorrida invadiendo el carril contrario, la SDLP y el número de colisiones. Además, otros autores han propuesto un límite de corte para el nivel de straylight a partir del cual se pondría en peligro la conducción. El straylight es una consecuencia directa del scattering o difusión intraocular, pero estos límites se han basado en experiencias previas de percepción del riesgo y no en medidas objetivas del rendimiento en la conducción (van den Berg et al., 2009). Por otro lado, es necesario recordar

que la mayoría de los test de evaluación de deslumbramiento comercializados miden su efecto en la percepción (agudeza visual o sensibilidad al contraste). Sin embargo, este efecto depende en gran parte de las condiciones de medida específicas y puede que dichas condiciones no representen las de la conducción cuando se percibe deslumbramiento (van Rijn et al., 2005). Las medidas de deslumbramiento son útiles en la evaluación de los conductores con catarata, dado que son capaces de medir componentes de la alteración visual introducidos por la opacidad de medios que no pueden ser detectados por un test de AV únicamente. Esto puede deberse a que estas pruebas sean relativamente independientes a la borrosidad óptica, pero extremadamente sensibles a las propiedades de difusión de la luz y reducción de contraste que tienen las cataratas. De hecho, en el estudio realizado por Higgins y Wood (2005) en cataratas simuladas, los resultados indicaron que con respecto a la AV por sí sola, los test de deslumbramiento producían incrementos significativos en la variabilidad explicada de las distintas variables de conducción.

Estos estudios han evaluado la relación entre el impedimento para la visión que genera el deslumbramiento causado por el efecto del scattering y el rendimiento en la conducción. Sin embargo, nuestra investigación es novedosa con respecto a las anteriores porque ha analizado el papel del propio nivel de scattering intraocular en la capacidad para conducir. El Índice Objetivo de Scattering, el cual ha sido propuesto como un posible predictor de rendimiento en la conducción por primera vez en este estudio, fue el único parámetro seleccionado por el modelo de regresión, y fue capaz de predecir el 51,3% de la variabilidad en el ODPS. Este resultado puede ser debido a que el OSI es un parámetro estrechamente relacionado con la catarata, cuantificando de forma directa y objetiva los cambios que ésta genera en el cristalino. Este parámetro es sensible a los cambios visuales generados por la catarata desde su inicio, mientras que otros como la agudeza visual o la sensibilidad al contraste pueden no afectarse hasta fases más avanzadas de la enfermedad (van den Berg et al., 2009). Así, se ha visto que el nivel de scattering cambia de forma independiente a la agudeza visual (van den Berg, 2017b) en personas mayores con y sin catarata, mientras que la sensibilidad al contraste y la agudeza visual están correlacionadas (Elliott y Situ, 1998).

El OSI aporta un método sensible y específico para el diagnóstico de la catarata (Galliot et al., 2016; Martínez-Roda et al., 2016a), demostrando ser el parámetro de calidad óptica más efectivo para programar el momento adecuado para la cirugía (Hwang et al., 2018). Además, este índice ha sido propuesto como un medio de validación de las quejas visuales de los

pacientes, aportando una cuantificación objetiva de la degradación visual que afecta a tareas necesarias para mantener una buena calidad de vida, como la conducción (Galliot et al., 2016). La relación entre la visión y el rendimiento en la conducción que el modelo de este estudio es capaz de predecir es ligeramente superior a la encontrada por Wood (2002), quién mostró que una combinación de la medida de la sensibilidad central al movimiento, el campo visual útil (Useful Field of View, UFOV), la sensibilidad al contraste y la agudeza visual dinámica podían predecir el 50% de la variabilidad en el rendimiento general de la conducción. Sin embargo, otros estudios centrados en test visuales individuales mostraron que, por ellos mismos, eran capaces de explicar un porcentaje menor de la variabilidad en el rendimiento en la conducción, variando entre un 14% y un 28% para la agudeza visual y la sensibilidad central al movimiento respectivamente. Por otro lado, Hills y Burg (1977) encontraron que menos del 1% de la variabilidad en el número de accidentes podía ser predicho por los cambios visuales, siendo la agudeza visual el predictor más robusto. Un mejor resultado para predecir la frecuencia de accidentes en conductores mayores fue obtenido por Ball et al., (1993) con el test UFOV, que era capaz de predecir el 28% de la variabilidad en los datos de accidentabilidad. Este test ha demostrado ser independiente de la AV, por lo que un buen valor en este parámetro no implica un campo visual útil (UFOV) normal. Lo mismo ocurre con el scattering intraocular, el cual aumenta mucho más rápido de lo que empeora la agudeza visual durante el envejecimiento y en presencia de cataratas, siendo ambos parámetros independientes (van den Berg, 2017b). Esto indica que la medida de la agudeza visual no es capaz de evaluar todas las capacidades visuales necesarias para conducir, y que otros test deberían ser incluidos para detectar conductores en riesgo. Los resultados de este estudio también demuestran la importancia de un test visual orientado a la condición o causa del deterioro visual en el conductor, como es el caso del OSI, que mide de forma directa el nivel de scattering asociado al envejecimiento y la catarata.

Este estudio tiene una serie de posibles limitaciones metodológicas. En primer lugar, los hallazgos mostrados sobre el rendimiento en la conducción han sido obtenidos por medio de un simulador, cuyas limitaciones y ventajas hemos discutido en capítulos anteriores (Bédard et al., 2010). En segundo lugar, hemos de tener en cuenta el limitado tamaño de la muestra, debido a los estrictos criterios de inclusión empleados. Los participantes del grupo patológico tenían que tener catarata bilateral, pero con una visión binocular mejor o igual a 0,5, el mínimo requerido para la conducción. Además, se estableció que todos los participantes del estudio no sufrieran ninguna otra patología ocular ni hubieran sido intervenidos de cirugía ocular alguna. Esto

reducía significativamente el número de personas elegibles, ya que en estos grupos de edad es frecuente encontrar otras patologías oculares, así como personas que ya se han sometido a cirugía de catarata (Laitinen et al., 2010). Es conocido además que los conductores de edad avanzada comúnmente reducen su tiempo al volante, e incluso dejan de conducir motivados por las pérdidas de visión (Fraser et al., 2013b; Freeman et al., 2006; Keay et al., 2016), lo que también limitaba la inclusión de participantes, quienes debían ser conductores habituales. Otra cuestión que igualmente influyó en el tamaño de la muestra fue la sensación de malestar que el uso del simulador generaba en algunos sujetos. Esta cuestión es referida en la bibliografía como “mareo del simulador”, y son unos síntomas muy comunes y más prevalentes en poblaciones de edad avanzada, lo que hace complicado trabajar con grandes muestras de este tipo (Brooks et al., 2010). El simulador empleado, además, incluye un tramo bastante sinuoso en la carretera de montaña, haciendo el escenario incluso más complicado con respecto a esta sintomatología. Por otra parte, podría ser interesante que en futuros trabajos se hicieran comparaciones entre grupos con diferente severidad de la catarata, por ejemplo, según la clasificación propuesta por Artal et al., (2011), basada en el valor del OSI. En este estudio, estas comparaciones no han sido posibles debido al reducido número de sujetos con catarata que hemos podido incluir.

En resumen, nuestros resultados muestran que las cataratas afectan de manera importante a algunos aspectos de la conducción simulada. Por esta razón podría ser útil emplear tests que evalúen el nivel de scattering intraocular, que aumenta significativamente por el envejecimiento ocular e incluso más en presencia de catarata. De esta manera, el rendimiento en la conducción podría ser predicho en gran parte por el Índice Objetivo de Scattering, el cual es capaz de explicar una parte sustancial de la variabilidad en la puntuación general de rendimiento con el simulador de conducción. Debe tenerse en cuenta que este parámetro contiene una serie de características importantes tales como ser totalmente objetivo, evitando los posibles errores provocados por la reducida capacidad cognitiva o motora de las personas mayores en otro tipo de pruebas. Además, se trata de un parámetro sensible a la causa del deterioro visual (el aumento del scattering), y es sencillo de medir. Por esta razón, sería necesario realizar más investigaciones con el objetivo de aclarar si la inclusión del OSI en el examen visual para los conductores podría ser un aspecto clave, principalmente cuando éstos son de edad avanzada. Así, esta prueba podría ayudar a alcanzar un mejor conocimiento del estado visual de un conductor, así como en el establecimiento del momento en el que el deterioro visual afecta a la capacidad para conducir de forma segura.

CAPÍTULO 5

Distracción al volante por el uso del smartphone (WhatsApp) en diferentes grupos de edad. Influencia de los cambios visuales asociados al envejecimiento (Estudio 3)

5.1. Introducción

La distracción es una de las principales causas de accidentabilidad en la actualidad. Según la Dirección General de Tráfico (DGT), en los años 2017 y 2018 más de un 30% de los accidentes mortales fueron causados por algún tipo de distracción del conductor (DGT, 2018, 2019). En Canadá, entre los años 2003 y 2007, un 10,7% de los conductores heridos en accidentes estaban distraídos en el momento del accidente (OMS, 2011). Del mismo modo, los datos del Sistema de Información y Análisis de Fatalidad (FARS) de la Administración Nacional de Seguridad Vial de Estados Unidos (NHTSA) indicaban que en este país el 10% de los accidentes mortales y el 15% de los accidentes con heridos tenían un punto en común, la distracción (NHTSA, 2015). Esta tendencia persiste y se hace cada vez más común en nuestro entorno. Una de las principales causas de distracción al volante es el uso del teléfono móvil, principalmente para escribir mensajes (Wilson y Stimpson, 2010). Hasta hace unos años, la distracción al volante era causada por llamadas de teléfono o SMS (Servicio de Mensajes Cortos). Sin embargo, esto ha cambiado con la aparición de los smartphones, que nos proporcionan acceso constante a Internet, permitiéndonos ver nuestro correo electrónico y redes sociales, además de estar en contacto permanente con nuestros conocidos por medio de aplicaciones de mensajería instantánea gratuitas tales como WhatsApp, cuyo uso está muy extendido. El crecimiento de esta aplicación ha sido exponencial tras su aparición hace 11 años, habiendo alcanzado más de mil millones de usuarios (<https://whatsapp.com>). En España, la DGT ha indicado que un 89% de los propietarios de un smartphone usan WhatsApp en sus dispositivos, y un 53% reconoce que ocasionalmente usa esta aplicación mientras conduce, a pesar de estar prohibido (DGT, 2016). Por otro lado, un estudio reciente realizado en 254 conductores ha revelado datos verdaderamente alarmantes tras monitorizar el tiempo de uso del teléfono móvil durante la conducción. De media, el smartphone era manipulado 1,6 veces por minuto, teniendo lugar la mitad de las manipulaciones cuando el vehículo estaba en movimiento, incluso a velocidades que superaban los 100 km/h. Además, los autores destacan que el 50% de las ocasiones que se cogía el móvil durante la conducción era para para usar WhatsApp (Albert y Lotan, 2018).

La mayoría de los estudios realizados hasta la fecha investigando el uso del teléfono móvil al volante se centran en conductores jóvenes, ya que éstos son el principal grupo de edad implicado en las muertes por accidentes relacionados con distracción. Estudios previos han demostrado que los conductores más jóvenes (18-21 años), pasan un 400% más de tiempo sin

mirar a la carretera cuando conducen y escriben a la vez, aumentando la variabilidad de la posición del vehículo en el carril un 50% (Hosking et al., 2009). Del mismo modo, la probabilidad de verse envuelto en un accidente aumenta casi dos veces cuando conducimos bajo un estímulo distractor (Yannis et al., 2016), teniendo lugar el 86% de las colisiones en el momento en el que se realiza la tarea secundaria (Drews et al., 2009).

La distracción al volante podría implicar un impacto diferente dependiendo de la edad del conductor. Aunque los conductores de edad avanzada muestran una menor incidencia de distracciones mientras conducen, no están exentos. El deterioro cognitivo, visual y motor implica un riesgo adicional cuando aparecen comportamientos que generan distracción. Romoser et al., (2013) indicaron que los conductores mayores (desde 72 a 87 años), miran menos que los conductores jóvenes (desde 25 a 55 años) hacia las zonas donde pueden aparecer obstáculos con mayor probabilidad. Además, Rumschlag et al., (2015) también destacaron que el porcentaje de sujetos que se sale de su carril mientras escriben mensajes aumenta conforme mayor es la edad del conductor. Sin embargo, la edad más alta de esta muestra era 59 años, por lo que algunos conductores mayores que usan aplicaciones de mensajería instantánea no fueron estudiados.

Otro estudio realizado por Pope et al., (2017) analizó datos recogidos con el cuestionario de comportamientos en la conducción bajo distracción “Distracted Driving Behaviour Questionnaire”, concluyendo que la distracción al volante es común entre conductores de todas las edades. Según Deshmukh (2015) la distribución por edades de los usuarios de WhatsApp es la siguiente: 18% entre 18 y 25 años; 29% entre 26 y 35 años; 24% entre 36 y 45 años, 11% entre 46 y 55 años; 13% entre 56 y 65 años y 5% mayores de 65 años (Figura 5.1). Estos datos demuestran que una proporción importante de las personas mayores de 55 años son usuarios habituales de aplicaciones de mensajería instantánea. Además, se prevé que su uso se siga extendiendo entre los mayores, un grupo cada vez más familiarizado con las nuevas tecnologías (Mitzner et al., 2010).

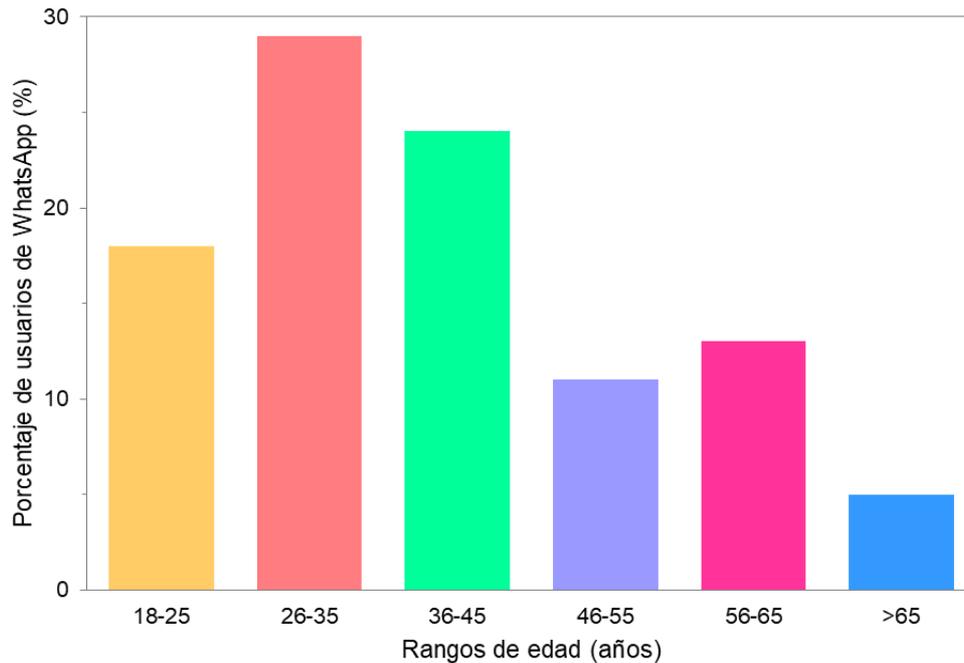


Figura 5.1. Porcentaje de usuarios de WhatsApp según edades. Figura adaptada de Deshmukh (2015).

Tanto escribir mensajes en WhatsApp como conducir son tareas principalmente visuales. Una de las causas de vulnerabilidad más destacables entre las personas mayores es la pérdida de visión, ya que es uno de los mecanismos sensoriales más importantes para la conducción. El envejecimiento causa una serie de cambios fisiológicos en las estructuras oculares que se traducen en un deterioro del rendimiento visual y la calidad óptica (Artal et al., 1993; Martínez-Roda et al., 2016b; Owsley et al., 1983). Este empeoramiento puede ser significativo en la vejez, incluso cuando la agudeza visual está muy por encima del límite legal requerido para conducir (Ortiz et al., 2013). A menudo, los conductores de edad avanzada manifiestan tener dificultades en la conducción nocturna debido al deslumbramiento provocado por las luces de otros vehículos. La principal causa de este deslumbramiento es el incremento del scattering o luz difundida en los medios oculares, provocado principalmente por los cambios asociados a la edad en el cristalino. A pesar de que se ha demostrado que estos cambios son independientes del nivel de agudeza visual (van den Berg, 2017b), este es el test más común en las evaluaciones para la obtención o renovación del permiso de conducir. Además, esta función visual parece no tener una correlación fuerte con la habilidad para conducir (Owsley y McGwin, 2010), lo que hace necesario evaluar otros test no estandarizados.

Una de las funciones visuales que han mostrado una asociación significativa con la conducción

es la sensibilidad al contraste (Fraser et al., 2013a; Freeman et al., 2006; Owsley et al., 2001), sin embargo, en la normativa del permiso de conducción no existe un mínimo legal establecido. Se ha demostrado que cuando la sensibilidad al contraste se ve significativamente deteriorada en conductores mayores con cataratas, el riesgo de accidente aumenta incluso cuando sólo afecta a uno de los ojos (Owsley et al., 2001). Sin embargo, la sensibilidad al contraste no sólo se reduce por causas patológicas, sino que también existe un deterioro asociado a la edad (Owsley et al., 1983). Como resultado, los conductores mayores tienen menor capacidad de discriminación visual, de modo que presentan más dificultad para detectar las señales de tráfico y marcas de la vía. Normalmente, necesitan más tiempo para detectarlas y responder de manera adecuada ante ellas. De hecho, este grupo de edad es uno de los más implicados en accidentes de tráfico relacionados con la falta de detección y obediencia de señales. Por otro lado, también fallan en la detección de baches y obstáculos en la carretera, así como en la detección de peatones, a pesar de reducir su velocidad (Bromberg et al., 2012; Wood, 2002). Los cambios visuales también podrían afectar a la tarea secundaria cuando se escriben mensajes durante la conducción, requiriendo una mayor atención del conductor y, por tanto, haciendo la tarea bajo distracción más peligrosa. En esta línea, Chaparro et al., (2005) observaron que los conductores mayores (edad media 69,2 años) identificaban menos señales del trazado de la carretera y conducían más lentamente que los conductores jóvenes (edad media 27,3 años), y esta diferencia se acentuaba más cuando la tarea secundaria incorporaba distracción de tipo visual.

Por todo lo indicado anteriormente, nos planteamos como hipótesis de este trabajo que el uso de aplicaciones de mensajería instantánea, cada vez más común entre conductores de todas las edades, podría tener un efecto negativo en el rendimiento en la conducción, y este efecto a su vez podría ser peor en conductores de edad avanzada debido al deterioro visual asociado a la edad.

Por tanto, el objetivo principal de este estudio fue comparar el efecto de escribir mensajes de WhatsApp en el rendimiento en la conducción de grupos de distintas edades, y analizar la relación de estos resultados con los diferentes parámetros visuales. Además, como objetivo secundario nos planteamos comparar los resultados de conducción simulada con datos proporcionados por los propios participantes sobre la percepción subjetiva de distintos comportamientos al volante, analizando la influencia de la edad.

5.2. Metodología

5.2.1. Participantes

En el estudio fueron incluidos un total de 75 sujetos (53 hombres y 22 mujeres). Todos ellos presentaban buen estado de salud general, no tenían ninguna patología ocular y su agudeza visual era igual o mejor a 20/25 en ambos ojos con su corrección óptica (en caso de ser necesaria). Además, eran conductores activos, con permiso de conducir vigente (antigüedad mínima de un año) y manifestaron que conducían regularmente (al menos 1000 km en el año anterior). Todos los participantes usaban WhatsApp como una forma habitual de comunicación en sus smartphones, pudiendo ser considerados como usuarios experimentados de esta aplicación, ya que escribían al menos 30 mensajes diarios. Los sujetos fueron divididos en los siguientes grupos de edad: grupo 1 (N=20; edad media = $22,4 \pm 1,4$ años; rango 18-24 años); grupo 2 (N=20; edad media = $30,2 \pm 4,2$ años; rango 25-39 años); grupo 3 (N=20; edad media = $46,6 \pm 3,6$ años; rango 40-54 años); grupo 4 (N=15; edad media = $61,3 \pm 4,1$ años; rango 56-68 años).

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (180/CEIH/2016). Antes de participar, todos los conductores firmaron un consentimiento informado de acuerdo a la Declaración de Helsinki (World Medical Association., 2001).

5.2.2. Evaluación visual

Dentro del examen visual se evaluaron la agudeza visual (AV) (POLA VistaVision®) y el nivel de straylight (C-Quant) empleando los mismos dispositivos y procedimientos descritos anteriormente (*Capítulo 3*). Por otro lado, se midió la sensibilidad al contraste con y sin presencia de deslumbramiento.

Sensibilidad al contraste y deslumbramiento

Las dificultades durante la conducción nocturna y su impacto sobre la seguridad vial han demostrado estar relacionadas con la sensibilidad al deslumbramiento de los conductores (Kimlin et al., 2017). El deslumbramiento supone la pérdida de contraste en la imagen retiniana como resultado de la difusión de la luz en los medios oculares, que es causada por

imperfecciones existentes (Aslam et al., 2007). La sensibilidad al contraste con y sin la presencia de deslumbramiento fue determinada con el dispositivo CGT-1000 (Takagi, Japón) (Figura 5.2).



Figura 5.2. Imagen del dispositivo CGT-1000.

El test se realizó a una distancia de 35 cm y la sensibilidad al contraste fue medida con seis estímulos de tamaño diferente: $6,3^\circ$; $4,0^\circ$; $2,5^\circ$; $1,6^\circ$; $1,0^\circ$ y $0,7^\circ$. El umbral de contraste se presentó en 13 niveles (desde un contraste de 0,01 hasta 0,64 unidades logarítmicas), realizando la presentación inicial al máximo nivel y continuando con estímulos del mismo tamaño que disminuían progresivamente el nivel de contraste (Figura 5.3). El umbral fue determinado por el estímulo de menor contraste detectado, y convertido a escala logarítmica para su análisis (Pesudovs, 2007). Cada sujeto fue evaluado monocularmente y con su corrección óptica cuando era necesario.

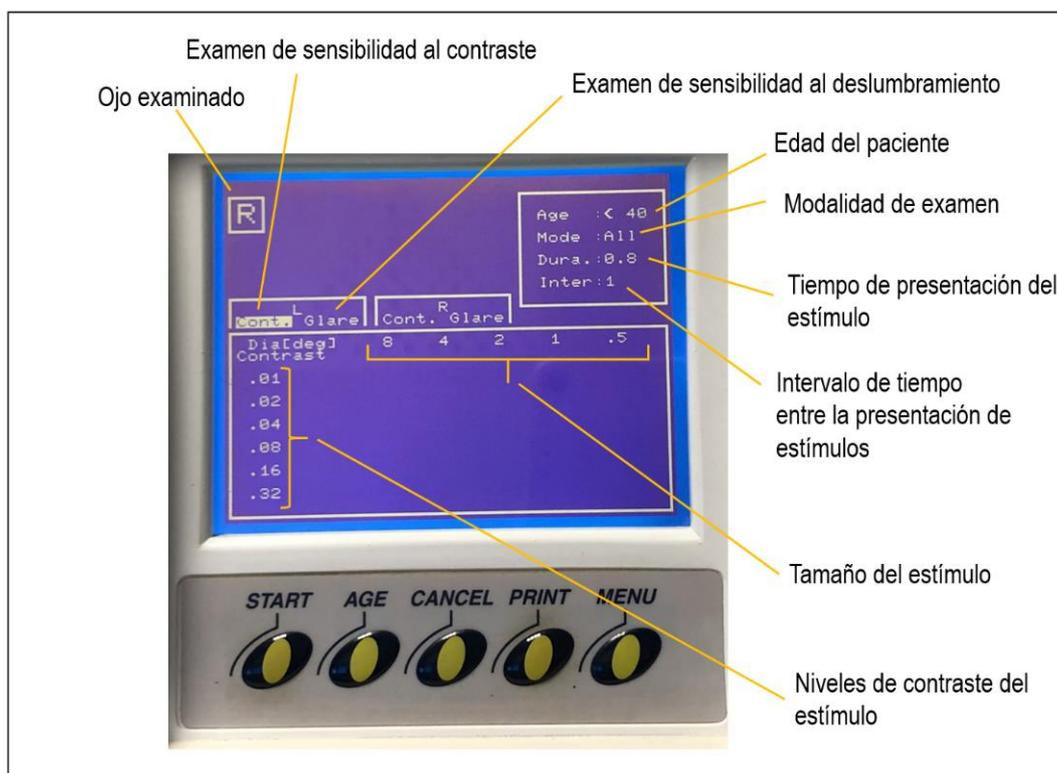


Figura 5.3. Pantalla LCD del dispositivo CGT-1000, que muestra los ajustes del programa y el ojo examinado.

La medida de la SC en condiciones de deslumbramiento se realizaba inmediatamente después de medir la SC sin deslumbramiento. El dispositivo presenta 8 fuentes deslumbradoras situadas alrededor de la pantalla de observación, que se activan automáticamente. El estímulo, un anillo oscuro sobre un fondo luminoso, se presentaba durante 0,8 s con un intervalo de 1 s entre presentaciones, empleando el nivel de deslumbramiento medio (20.000 cd/m^2). La tarea del sujeto consistía en pulsar un botón cuando detectaba alguno de los estímulos. De nuevo, el umbral fue determinado por el estímulo de menor contraste detectado y convertido a escala logarítmica para su análisis. Más información sobre este dispositivo puede encontrarse en un trabajo anterior (Pesudovs, 2007).

5.2.3. Análisis de la conducción

Para el estudio del rendimiento en la conducción se empleó el mismo simulador ya descrito. En este caso, la ruta incorporaba tres tramos: autovía, carretera de montaña y ciudad (*Capítulo 3*).

Procedimiento

Antes del experimento, todos los participantes realizaban un mínimo de dos sesiones de entrenamiento con el simulador, usando un recorrido de características similares al usado en la sesión experimental (sin tráfico ni peatones) para minimizar los posibles efectos de aprendizaje.

Cada participante realizó dos sesiones experimentales, una sesión sin distracción y una sesión con distracción en la que debían leer y contestar a diferentes mensajes de WhatsApp mientras conducían, de forma similar a como lo harían en la vida real, y teniendo en cuenta que debían dar prioridad a la conducción. Durante la sesión con distracción, todos los participantes recibían 6 mensajes de WhatsApp con preguntas de respuesta cerrada (Tabla 5.1), todos de longitud similar (30-55 caracteres). Los mensajes comprendían preguntas sencillas y uno de ellos incluía un pequeño cálculo matemático, para aumentar la carga cognitiva del mensaje. Antes de comenzar las sesiones, se comprobaba la habilidad del participante para usar la aplicación y se probaba la conexión enviando un mensaje con el texto “prueba” al que los participantes tenían que responder “OK”.



Figura 5.4. Participante contestando a mensajes de WhatsApp durante la sesión de conducción.

Tabla 5.1. Detalles de los mensajes de WhatsApp enviados a los participantes durante la sesión de distracción.

Mensaje n°	Punto del recorrido	Pregunta	Respuesta esperada
1	Km 2,8 (Autovía)	Indique cuál es el último día de la semana	Domingo
2	Km 5,8 (Carretera de Montaña)	Si pago con 50€ y me cuesta 12,50€. ¿Cuál es el cambio?	37,50€
3	Km 8,5 (Carretera de montaña)	¿Cuáles son los colores de la bandera de Francia?	Rojo, blanco y azul
4	Km 10,1 (Carretera de montaña)	¿Cuál es el undécimo mes del año?	Noviembre
5	Km 13,3 (Ciudad)	¿Cuál es la capital de España?	Madrid
6	Km 14 (Ciudad)	¿Le gusta el café? Responda sí o no.	Si/No

En la sesión de distracción, el smartphone se situaba a la derecha del volante, apoyado sobre una base, simulando un hueco del salpicadero de un coche. Los participantes usaron su propio teléfono para asegurar que estuvieran familiarizados con el funcionamiento del dispositivo. Es importante puntualizar que en todo momento tenían libertad en cuanto a la distribución de su atención entre la conducción y la escritura del mensaje. Todos ellos recibieron las mismas instrucciones, debían conducir como harían habitualmente, priorizando siempre la conducción segura cuando realizaban la tarea secundaria. Si algún participante mostraba algún síntoma de mareo en el simulador (nauseas, sudoración o mareo), la sesión era interrumpida y el sujeto era excluido del estudio. Las sesiones experimentales se realizaron con un periodo de una semana entre ellas.

Variables de rendimiento en la conducción

Para evaluar el rendimiento en la conducción, fueron consideradas las siguientes variables en el análisis: velocidad media, desviación estándar de la velocidad angular del volante, desviación estándar de la posición lateral (SDLP) del vehículo en el carril, tiempo transcurrido invadiendo el arcén y el carril contrario, distancia recorrida invadiendo el arcén y el carril contrario y número de colisiones. Todas las variables se analizaron para las sesiones sin distracción y con distracción.

5.2.4. Cuestionario de comportamiento en la conducción (*Driver Behaviour Questionnaire, DBQ*)

El cuestionario DBQ fue empleado para analizar la frecuencia de comportamientos inadecuados al volante entre los participantes de los distintos grupos (Reason et al., 1990). Este cuestionario ha sido empleado previamente en numerosos trabajos (Cordazzo et al., 2016; Stephens y Fitzharris, 2016) y aunque la estructura del mismo varía según la cultura y nacionalidad, su validez y fiabilidad han sido demostradas (Martinussen et al., 2013). Incluye un total de 30 preguntas, 3 de ellas sobre infracciones agresivas, 11 sobre infracciones ordinarias, 8 sobre lapsus y 8 sobre errores. Las preguntas del cuestionario se puntuaron según una escala de 6 puntos (desde 1= nunca, hasta 6= casi todo el tiempo), con la cual el participante debía indicar con qué frecuencia presentaba ciertos comportamientos en su conducción diaria. Las puntuaciones de cada pregunta se sumaron, con resultados de puntuaciones más altas indicando una mayor frecuencia de comportamientos de riesgo al volante.

5.2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa SPSS 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). En primer lugar, se realizó un estudio de la distribución de todas las variables (test Kolmogorov-Smirnov). Después, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y un *post hoc* de comparaciones múltiples para identificar si existían diferencias en el rendimiento visual entre los cuatro grupos de edad. La correlación existente entre las medidas de la función visual y del rendimiento en la conducción también se estudió por medio de un análisis de correlaciones de Spearman.

El siguiente paso fue realizar un análisis de covarianza de medidas repetidas

(ANCOVA) para cada variable dependiente de rendimiento en la conducción (normalmente distribuidas). En cada ANCOVA, la condición de conducción (sin distracción o con distracción) se empleó como factor intra-sujetos y el grupo de edad como factor inter-sujetos, añadiendo las medidas visuales como covariables. De este análisis se obtuvo el valor F y de probabilidad, los grados de libertad y el tamaño del efecto η_p^2 . Cuando el test F era significativo, se realizaron comparaciones *post hoc* entre los distintos grupos de edad (aplicando la corrección de Bonferroni).

Además, se desarrolló un modelo binomial negativo para comparar el rendimiento en la conducción (número de salidas fuera del carril y número de colisiones) entre los distintos grupos de edad y las distintas condiciones de conducción (sin distracción y con distracción). Las medidas repetidas se contabilizaron mediante el uso de ecuaciones de estimación generalizadas (GEE). También en este caso, las medidas visuales fueron empleadas como covariables.

Finalmente, se empleó el test Kruskal Wallis para identificar diferencias en las tendencias a cometer comportamientos peligrosos al volante entre los cuatro grupos de edad.

La significancia estadística se aceptó al nivel $p < 0,05$ y todos los datos se mostraron como media \pm desviación estándar.

5.3. Resultados

5.3.1. Función visual

En la Tabla 5.2 quedan resumidos los resultados (media \pm DE) para el OSI y el straylight en cada uno de los grupos de edad. Como puede verse, tanto el OSI como el straylight aumentan con el envejecimiento, siendo significativamente mayor para los conductores del grupo 4 (> 55 años) ($p < 0,05$). Un valor más alto indica un mayor efecto de la difusión intraocular de la luz, por tanto, una mayor sensibilidad al deslumbramiento, limitando la función visual. Esto puede observarse en la Figura 5.5,

que representa el resultado de la sensibilidad al contraste promedio sin deslumbramiento (izquierda) y con deslumbramiento (derecha), medidas con el CGT-1000 para todos los sujetos (divididos según su grupo de edad). En condiciones de deslumbramiento, la sensibilidad al contraste empeoró significativamente en todos los grupos y para todos los tamaños de estímulo.

Tabla 5.2. Media y desviación estándar para el OSI y el straylight (log(s)) según el grupo de edad del conductor.

Parámetros visuales	Grupo			
	1	2	3	4
OSI	0,54±0,34	0,52±0,25	0,62±0,23	1,15±0,61
Log(s)	0,95±0,13	0,89±0,13	0,97±0,12	1,19±0,16

OSI, índice objetivo de scattering; s, straylight

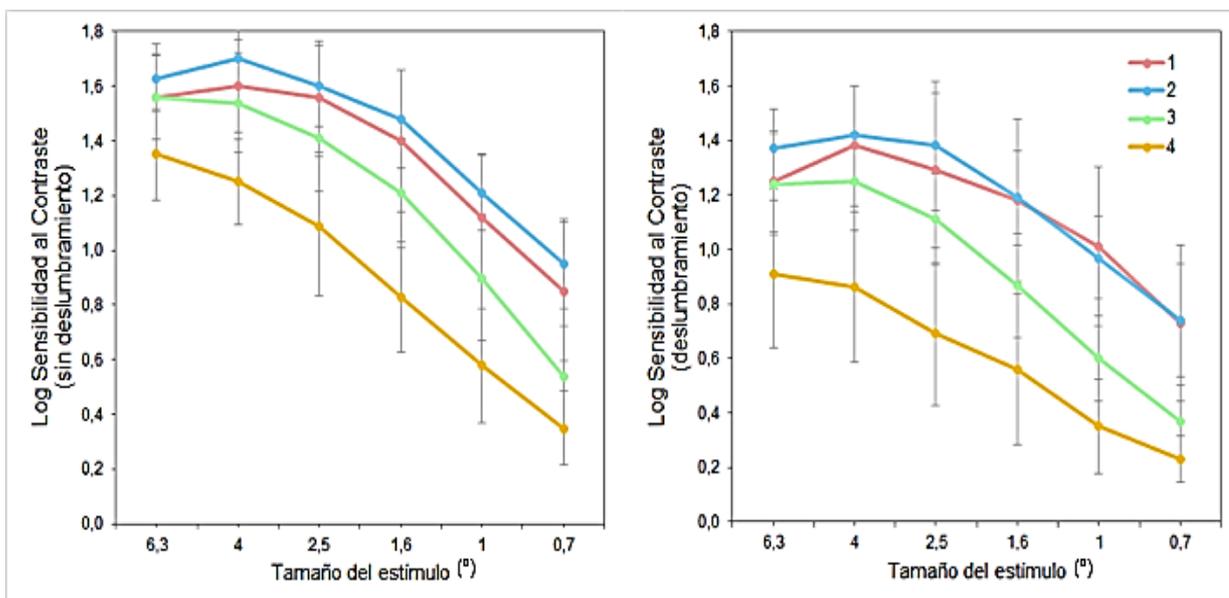


Figura 5.5. Sensibilidad al contraste promedio para cada grupo de edad y tamaño de estímulo sin deslumbramiento (izquierda), y con deslumbramiento (derecha). Las barras de error indican la desviación estándar (DE).

Además, la sensibilidad al deslumbramiento se obtuvo restando a la sensibilidad al contraste con deslumbramiento la medida sin deslumbramiento y fue expresado como unidades logarítmicas de contraste perdidas por el efecto de la fuente deslumbradora. Los resultados indicaron una diferencia estadísticamente significativa para la sensibilidad al deslumbramiento entre el grupo 1 (18-24 años) y el grupo 4 (>55 años) ($p= 0,029$), sólo para el tamaño de estímulo de 4 grados, aunque los mayores también mostraron una sensibilidad al deslumbramiento mayor que la media de todos los conductores para tres tamaños de estímulo: 6,3°; 4° y 2,5°.

5.3.2. Rendimiento en la conducción

Los resultados obtenidos indicaron que durante el mes anterior, alrededor del 15,7% de los conductores usaron el teléfono móvil mientras conducían en al menos una ocasión, de los cuales un 44,9% habían tenido conversaciones con manos libres, un 36,2% enviaron mensajes de WhatsApp y un 4,2% leyeron correos electrónicos y navegaron por Internet. Por otro lado, aunque evaluar la habilidad para realizar la tarea secundaria no era nuestro principal objetivo, cabe mencionar que los conductores del grupo 2 (25-39 años) emplearon un tiempo significativamente menor para leer/escribir mensajes de WhatsApp que los conductores mayores de 40 años (grupos 3 y 4). Además, estos últimos no respondieron a un 5% de los mensajes enviados, frente al 1% no respondido por los conductores del grupo 1. No obstante, debería tenerse en cuenta que antes del comienzo de las sesiones experimentales, se indicó a todos los participantes que condujeran de una manera segura y que simultáneamente realizaran la tarea distractora.

Para analizar la relación entre la función visual y el rendimiento en la conducción, se estudiaron las correlaciones entre las variables correspondientes a ambos aspectos. De este modo, se encontraron correlaciones significativas positivas entre el straylight ($\log(s)$) y el número de colisiones ($r=0,30$; $p=0,010$), la distancia total recorrida invadiendo el carril contrario ($r=0,29$; $p=0,011$) y la SDLP ($r=0,25$; $p=0,031$). Por otro lado, existía una correlación negativa estadísticamente significativa entre la sensibilidad al contraste con deslumbramiento y la distancia total recorrida invadiendo el carril contrario ($r=-0,25$; $p=0,033$). Por último, se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa entre la sensibilidad al contraste y el número de colisiones

($r=-0,33$; $p=0,004$) y la SDLP ($r=-0,28$; $p=0,018$). De todas las variables visuales, el straylight y la sensibilidad al contraste mostraron las asociaciones más fuertes con el número de colisiones.

Rendimiento en la conducción en autovía

En la Tabla 5.3 se presentan los estadísticos descriptivos para las medidas de rendimiento en la conducción correspondientes al tramo de autovía. El análisis ANCOVA indicó que no existía un efecto significativo de la edad o la distracción para la velocidad media. Sin embargo, había un efecto significativo de la interacción distracción x edad ($F(3,66)=4,28$; $p=0,008$; $\eta^2_p=0,163$), indicando que los conductores mayores (grupo 4) reducían más la velocidad cuando escribían mensajes en comparación con el resto de grupos. Los conductores del grupo 4 fueron quienes más disminuyeron su velocidad cuando usaban el smartphone, un 16,5% comparado con el 3,1% para la media del resto de grupos. Los resultados también demostraron que la edad tenía un efecto estadísticamente significativo en el tiempo que el vehículo circulaba invadiendo el arcén ($F(3,66)=4,31$; $p=0,008$; $\eta^2_p=0,164$). Los conductores del grupo 4 pasaron aproximadamente un 150% más de tiempo invadiendo el arcén comparado con el resto de grupos (de 18 a 54 años), para las dos condiciones (sin y con distracción). Además, para el número de invasiones del arcén, el modelo binomial negativo reveló un efecto significativo de la edad ($\chi^2(3)=37,10$; $p<0,001$) y de la distracción ($\chi^2(1)=26,45$; $p<0,001$), indicando que el grupo 4 se salía de su carril más veces que los grupos 1 y 2, con un notable efecto del uso del smartphone. Con respecto a la DE de la velocidad angular del volante, no hubo efecto significativo de la edad o la distracción.

Tabla 5.3. Estadística descriptiva de rendimiento en la conducción para la autovía.

		Grupo			
		1	2	3	4
Sin distracción	Velocidad media (km/h)	115,94±8,88	117,53±7,09	113,13±7,93	119,20±13,46
	Número de invasiones del arcén	3,35±3,38	2,70±1,90	3,90±3,29	6,20±3,86
	Tiempo transcurrido invadiendo el arcén (s)	2,58±2,82	2,24±1,97	4,21±5,09	7,92±6,22
	DE velocidad angular de la dirección (rad/s)	0,18±0,06	0,17±0,05	0,20±0,09	0,30±0,26
Con distracción	Velocidad media (km/h)	114,15±10,55	113,56±10,24	108,31±11,90	99,56±11,89
	Número de invasiones del arcén	4,25±3,70	4,50±2,42	7,45±5,17	9,00±3,82
	Tiempo transcurrido invadiendo el arcén (s)	3,56±3,52	4,21±3,02	8,60±6,01	13,20±7,41
	DE velocidad angular de la dirección (rad/s)	0,22±0,05	0,21±0,11	0,27±0,15	0,39±0,25

DE, desviación estándar

Rendimiento en la conducción en la carretera de montaña

En la Tabla 5.4. se presenta la estadística descriptiva para las variables de rendimiento en la conducción correspondientes al tramo de la carretera de montaña. El ANCOVA mostró que no existía un efecto significativo de la edad ni de la distracción para la velocidad media. Por otro lado, con respecto a la habilidad de los conductores para

mantener una posición estable en el carril, el análisis *post hoc* indicó que el grupo 4 tenía una mayor SDLP que los conductores de 18-39 años (grupos 1 y 2) ($F(3,66)=5,03$; $p=0,003$; $\eta^2_p=0,186$), viéndose un incremento adicional cuando escribían mensajes de WhatsApp ($F(1,66)=9,16$; $p=0,004$; $\eta^2_p=0,122$). En la sesión sin distracción, la SDLP del grupo 4 era un 14% más alta que la del resto de conductores, mientras que cuando utilizaban el teléfono móvil era un 29% mayor, lo que refleja el efecto negativo de la distracción.

La distancia recorrida invadiendo el carril contrario fue significativamente más alta en el grupo 4 ($F(3,66)=4,62$; $p=0,005$; $\eta^2_p=0,173$) que en los grupos 1 y 2. Del mismo modo, existía un efecto significativo de la edad en el tiempo transcurrido invadiendo el carril contrario ($F(3,66)=3,72$; $p=0,016$; $\eta^2_p=0,145$). Los conductores del grupo 4 pasaron un 89% más de tiempo invadiendo el carril contrario que el resto de conductores, aumentando hasta un 162% cuando escribían mensajes mientras conducían.

Tabla 5.4. Estadística descriptiva de rendimiento en la conducción para la carretera de montaña.

		Grupo			
		1	2	3	4
Sin distracción	Velocidad media (km/h)	55,29±2,26	55,43±2,07	55,48±2,23	56,61±2,60
	SDLP (m)	0,57±0,10	0,56±0,20	0,59±0,09	0,65±0,13
	Distancia recorrida invadiendo el carril contrario (m)	309,95±200,17	305,15±238,80	487,47±351,57	668,36±388,45
	Tiempo transcurrido invadiendo el carril contrario (s)	25,06±15,60	22,56±19,68	32,93±21,50	50,69±28,76
	DE velocidad angular de la dirección (rad/s)	0,61±0,26	0,69±0,22	0,83±0,36	0,79±0,27
Con distracción	Velocidad media (km/h)	55,92±2,37	55,56±2,02	53,61±3,85	52,44±3,40
	SDLP (m)	0,64±0,14	0,61±0,10	0,72±0,12	0,85±0,13
	Distancia recorrida invadiendo el carril contrario (m)	419,55±244,88	485,50±299,13	771,99±552,79	1396,94±922,81
	Tiempo transcurrido invadiendo el carril contrario (s)	29,80±20,07	32,76±20,35	57,01±37,18	104,46±59,73
	DE velocidad angular de la dirección (rad/s)	0,71±0,18	0,69±0,27	0,92±0,34	1,00±0,38

SDLP, desviación estándar de la posición lateral; DE, desviación estándar

El número de invasiones del carril contrario (momentos en los que alguna parte del vehículo circulaba invadiendo el carril contrario) para los cuatro grupos de edad se muestra en la Figura 5.6. El modelo binomial negativo mostró un efecto significativo de la edad ($\chi^2(3)=28,87$; $p<0,001$) y también de la distracción ($\chi^2(1)=36,83$; $p<0,001$). Los conductores del grupo 4 cometieron un mayor número de invasiones en comparación con el resto de conductores, existiendo además un efecto negativo del uso del smartphone. Finalmente, los resultados mostraron un efecto significativo de la edad en la DE de la velocidad angular del volante, siendo los conductores del grupo 1 quienes manejaban la dirección del vehículo de una forma más suave, en comparación con los conductores del grupo 3 ($F(3,66)=3,45$; $p=0,021$; $\eta^2_p=0,136$), reflejando un mayor control de la dirección del vehículo.

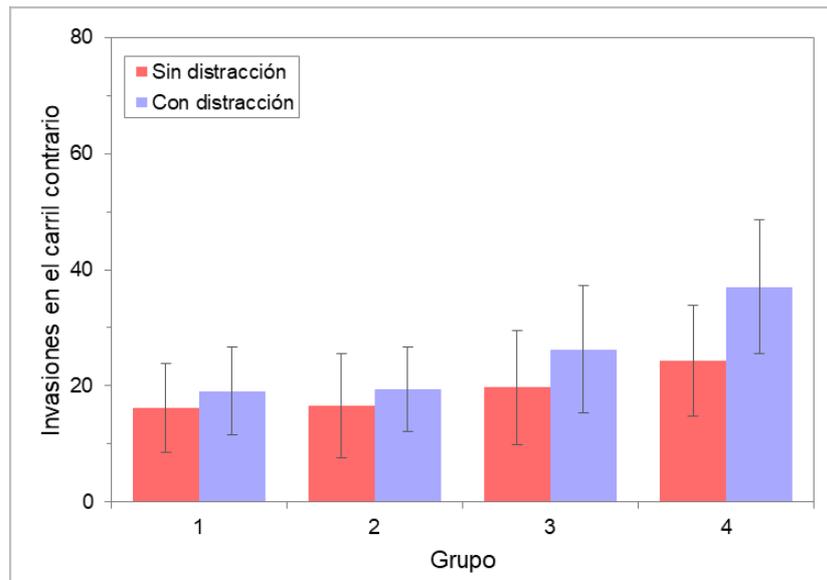


Figura 5.6. Número de invasiones en el carril contrario en la carretera de montaña para cada grupo de edad.

Rendimiento en la conducción en ciudad

Con respecto a la velocidad media (Figura 5.7), hubo un efecto significativo de la interacción distracción x edad ($F(3,65)=4,59$; $p=0,006$ $\eta^2_p=0,175$), indicando que

mientras escribían mensajes, los participantes de edad avanzada conducían más lento que el resto. Bajo distracción, el grupo 4 redujo su velocidad media un 11,9%, al contrario que el resto de conductores (grupos 1, 2 y 3), que sólo disminuyeron su velocidad media un 1,4%.

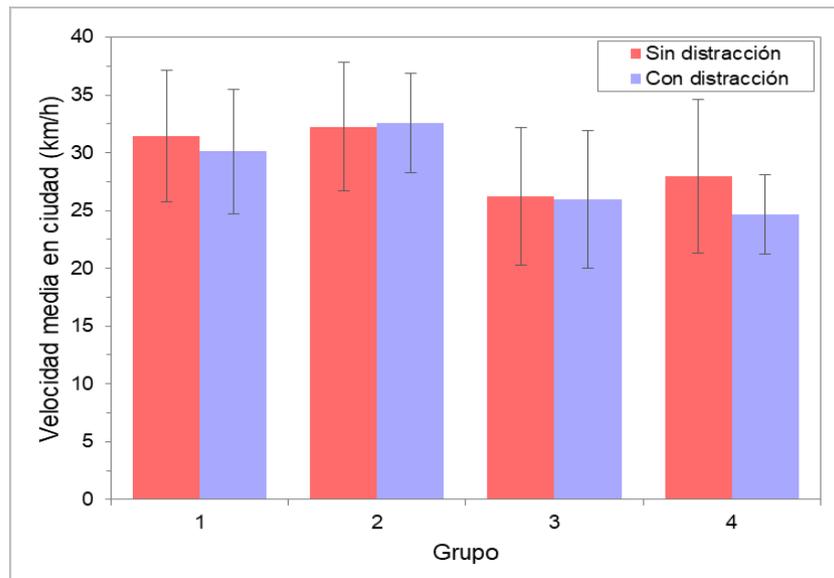


Figura 5.7. Velocidad media en ciudad para cada grupo de edad.

Finalmente, analizamos el número de colisiones del circuito completo (autovía, carretera de montaña y ciudad) en los recorridos sin y con distracción (Figura 5.8). El uso del smartphone durante la conducción produjo un aumento notable en el número de colisiones para todos los grupos (un 8,3% para el grupo 1, un 25% para el 2, un 80,5% para el 3 y un 134,5% para el 4). El modelo binomial negativo reveló un efecto significativo de la edad ($\chi^2(3)=10,91$; $p<0,012$) y también de la distracción ($\chi^2(1)=5,88$; $p<0,015$). Así, escribir mensajes durante la conducción causó que los conductores del grupo 4 tuvieran un 93% más de colisiones que el resto de los conductores.

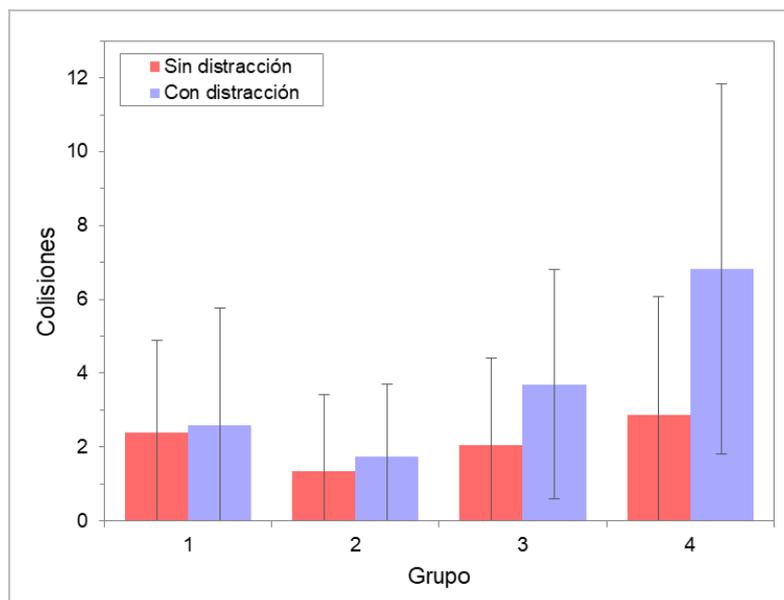


Figura 5.8. Número de colisiones para cada grupo de edad (circuito completo).

5.3.3. Percepción subjetiva del rendimiento en la conducción (DBQ)

En la Tabla 5.5 se muestran las puntuaciones medias para cada uno de los ítems individuales relacionados con infracciones, errores y lapsus del cuestionario Driver Behaviour Questionnaire (DBQ) para los conductores de los cuatro grupos de edad.

El comportamiento más frecuente estaba incluido dentro de la categoría Infracciones Ordinarias: *“conducir mirando un dispositivo GPS, cambiando la emisora de radio, etc.”*. El menos común pertenecía a la escala de Infracciones Agresivas: *“enfadado por la acción de otro conductor, perseguirle con la intención de “cantarle las cuarenta”*. *“Frenar demasiado rápido en una carretera resbaladiza”* fue el error más frecuente entre los conductores de los grupos 1, 2 y 3. Sin embargo, *“no darse cuenta de la presencia de peatones cruzando cuando se gira a una calle desde una carretera principal”* es el error más frecuente en el grupo 4. *“Al aproximarse o entrar en una rotonda, circular por un carril inadecuado teniendo en cuenta la salida prevista”* era el lapsus más frecuente para los grupos 1, 3 y 4. *“Después de conducir durante un rato, darse cuenta que no tiene un claro recuerdo del camino recorrido y lo que ha sucedido durante el trayecto”* es el lapsus más frecuente para el grupo 2.

Tabla 5.5. Puntuaciones medias \pm DS por ítem del DBQ.

Ítems	Grupo			
	1	2	3	4
Infracciones Agresivas				
Tocar el claxon para mostrar su enfado hacia otro usuario de la carretera	1,50 \pm 0,69	1,85 \pm 0,67	1,60 \pm 0,50	1,93 \pm 0,73
Enfadado por la acción de otro conductor, perseguirle con la intención de “cantarle las cuarenta”	1,00 \pm 0,00	1,10 \pm 0,31	1,00 \pm 0,00	1,07 \pm 0,27
Enfadarse con un conductor y mostrarle su enojo por el medio que sea, por ejemplo, con gestos agresivos	1,80 \pm 1,06	2,32 \pm 1,20	1,90 \pm 0,72	1,62 \pm 0,65
Infracciones Ordinarias				
Ir "sacando el morro" del vehículo en una intersección hasta que el conductor que viene y tiene preferencia no tiene más remedio que dejarle pasar	1,75 \pm 0,97	1,30 \pm 0,47	1,30 \pm 0,47	1,21 \pm 0,43
Circular superando los límites de velocidad en una zona residencial o cercana a un colegio	2,15 \pm 0,99	1,90 \pm 0,72	1,70 \pm 0,57	1,57 \pm 0,57
Dándose cuenta de que el carril por el que se circula desaparece y se junta con otro, no cambiar de carril hasta el último momento	1,25 \pm 0,44	1,60 \pm 0,60	1,35 \pm 0,59	1,21 \pm 0,43
Conducir mirando un dispositivo GPS, cambiando la emisora de radio, etc.	3,85 \pm 1,63 [§]	3,55 \pm 1,73	2,95 \pm 1,28	2,36 \pm 0,84
Acelerar bruscamente a la salida de un semáforo con el fin de 'lucirse'.	2,00 \pm 0,86 [*]	1,30 \pm 0,47	1,35 \pm 0,49	1,33 \pm 0,62
Circular tan cerca del vehículo de delante que pueda resultar difícil evitar la colisión en caso de una frenada de emergencia	1,80 \pm 1,28	1,55 \pm 0,61	1,55 \pm 0,51	1,36 \pm 0,50
Cruzar una intersección a pesar de haber visto que el semáforo se ha puesto en rojo.	1,15 \pm 0,37	1,25 \pm 0,44	1,29 \pm 0,47	1,29 \pm 0,47
Conducir por encima del límite de velocidad	2,05 \pm 1,05	2,00 \pm 0,73	1,85 \pm 0,67	1,71 \pm 0,47
Hablar por teléfono mientras conduce (sin manos libres)	1,70 \pm 1,30	1,55 \pm 0,61	1,50 \pm 0,51	1,36 \pm 0,50
Enviar mensajes, correos electrónicos, etc. mientras conduce	1,45 \pm 0,76	1,50 \pm 0,61	1,15 \pm 0,37	1,00 \pm 0,00
Comer o beber mientras conduce	1,45 \pm 0,76	1,55 \pm 0,51	1,55 \pm 0,61	1,57 \pm 0,65

*Diferencias estadísticamente significativas con los otros tres grupos de edad; § diferencias estadísticamente significativas con el grupo 4 (>55 años); ‡ diferencias estadísticamente significativas con el grupo 2 (25-39 años) y 3 (40-54 años).

Tabla 5.5. (continuación). Puntuaciones medias \pm DS por ítem del DBQ.

Items	Grupo			
	1	2	3	4
Errores				
En una cola de vehículos que están girando para incorporarse a una carretera principal, estar tan pendiente de los vehículos que se aproximan por dicha carretera que casi colisiona con el vehículo de delante	1,35 \pm 0,49	1,37 \pm 0,50	1,35 \pm 0,49	1,14 \pm 0,36
No darse cuenta de la presencia de peatones cruzando cuando gira a una calle desde una carretera principal	1,50 \pm 0,76	1,45 \pm 0,51	1,30 \pm 0,47	1,57 \pm 0,94
No mirar el retrovisor al incorporarse a la circulación, cambiar de carril, girar, etc.	1,25 \pm 0,44	1,40 \pm 0,60	1,35 \pm 0,49	1,29 \pm 0,61
Frenar demasiado rápido en una carretera resbaladiza	1,60 \pm 0,68	1,65 \pm 0,49	1,60 \pm 0,50	1,53 \pm 0,52
Al realizar un giro, estar a punto de colisionar con una bicicleta o ciclomotor que ha aparecido a nuestro lado	1,20 \pm 0,41	1,25 \pm 0,44	1,55 \pm 0,51	1,21 \pm 0,43
No ver una señal de 'ceda el paso' y estar a punto de colisionar con otro vehículo que tenía preferencia	1,30 \pm 0,47	1,30 \pm 0,47	1,20 \pm 0,41	1,31 \pm 0,48
Intentar adelantar a un vehículo sin darse cuenta de que éste estaba señalizando su intención de girar a la izquierda	1,05 \pm 0,22	1,20 \pm 0,41	1,25 \pm 0,55	1,15 \pm 0,38
No valorar correctamente la distancia y la velocidad del vehículo que viene de frente al realizar un adelantamiento	1,55 \pm 0,83	1,20 \pm 0,41	1,25 \pm 0,44	1,14 \pm 0,36
Lapsus				
Conduciendo marcha atrás, golpear contra algo que no había visto	1,20 \pm 0,41	1,20 \pm 0,41	1,50 \pm 0,51	1,36 \pm 0,50
Teniendo como objetivo dirigirse a un destino determinado, darse cuenta de que se está dirigiendo a otro destino que es más habitual para usted	1,84 \pm 0,69	1,75 \pm 0,55	2,05 \pm 0,61	1,64 \pm 0,50
Al aproximarse o entrar en una rotonda, circular por un carril inadecuado teniendo en cuenta la salida prevista	1,95 \pm 1,19	1,80 \pm 0,52	2,05 \pm 0,61	1,70 \pm 0,70
Encender sin querer el intermitente en lugar del limpia-parabrisas o viceversa	1,45 \pm 0,69	1,40 \pm 0,68	1,15 \pm 0,37	1,29 \pm 0,47
Darse cuenta que se lleva una marcha que no es la apropiada al salir de un semáforo que se ha puesto verde	1,50 \pm 0,69	1,40 \pm 0,50	1,53 \pm 0,61	1,57 \pm 1,34
Olvidar dónde se ha dejado el vehículo en un aparcamiento	1,60 \pm 0,68	1,85 \pm 0,75	1,95 \pm 0,69	1,21 \pm 0,43 [‡]
Equivocarse de salida en una rotonda por no haber prestado la atención debida a la señalización	1,85 \pm 0,67	1,89 \pm 0,81	1,84 \pm 0,38	2,00 \pm 0,68
Después de conducir durante un rato, darse cuenta que no tiene un claro recuerdo del camino recorrido y lo que ha sucedido durante el trayecto	1,70 \pm 0,80	1,95 \pm 0,69 [§]	1,75 \pm 0,72	1,21 \pm 0,43

*Diferencias estadísticamente significativas con los otros tres grupos de edad; § diferencias estadísticamente significativas con el grupo 4 (>55 años); ‡ diferencias estadísticamente significativas con el grupo 2 (25-39 años) y 3 (40-54 años).

De las cuatro subescalas, la puntuación media más alta se obtuvo para las Infracciones Ordinarias ($1,66 \pm 0,16$), seguido de los Lapsus ($1,63 \pm 0,03$), Infracciones Agresivas ($1,56 \pm 0,09$), y después la subescala de Errores ($1,34 \pm 0,02$). En el grupo 1, la puntuación media más alta se obtuvo para la subescala de Infracciones Ordinarias. El grupo 2 tuvo la puntuación media más alta para la subescala de Infracciones Agresivas, seguido del grupo 4. El grupo de adultos de mediana edad (grupo 3) tuvo la puntuación media más alta para la subescala de Lapsus. Finalmente, las puntuaciones medias para Errores fueron similares en todos los grupos (Figura 5.9). Los resultados mostraron también diferencias estadísticamente significativas para algunos ítems de la subescala de Infracciones Ordinarias: “conducir mirando un dispositivo GPS, cambiando la emisora de radio, etc.” y “acelerar bruscamente a la salida de un semáforo con el fin de “lucirse”” con la puntuación máxima para el grupo 1. Para la subescala Lapsus: “olvidar dónde se ha dejado el vehículo en un aparcamiento” y “después de conducir durante un rato, darse cuenta que no tiene un claro recuerdo del camino recorrido y lo que ha sucedido durante el trayecto”, los grupos 2 y 3 obtuvieron las puntuaciones más altas, con diferencias significativas con respecto al grupo 4 ($p < 0,05$).

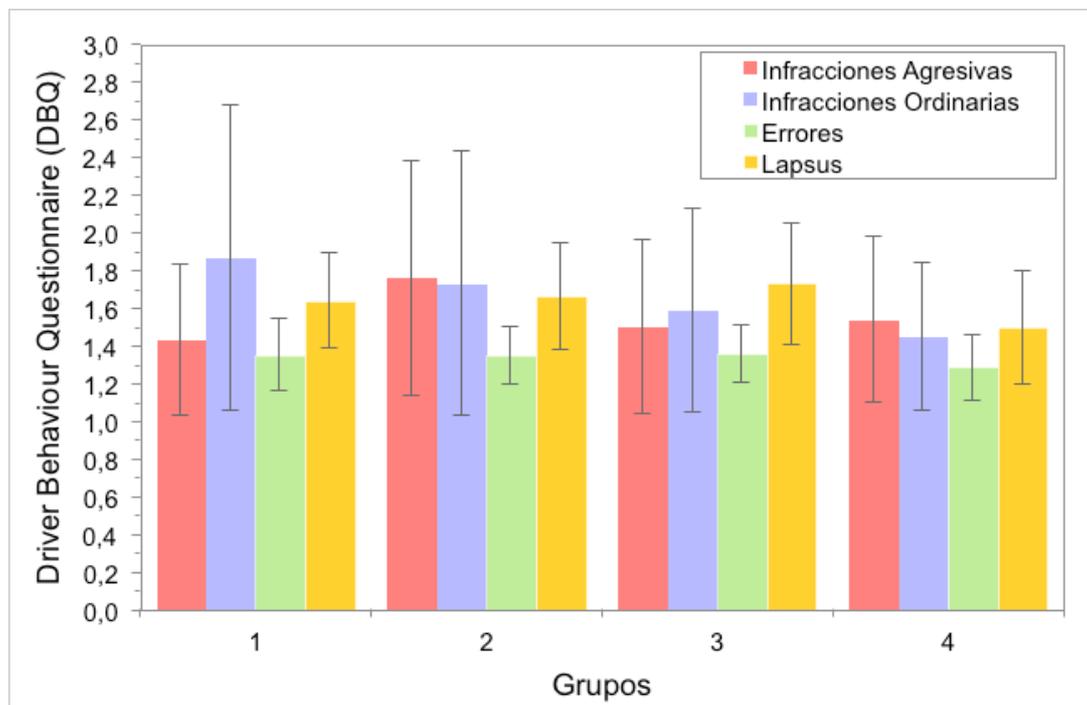


Figura 5.9. Puntuaciones medias obtenidas para cada sub-escala del DBQ por grupo.

5.4. Discusión y conclusiones

En los últimos años, el uso de los smartphones y aplicaciones como WhatsApp ha aumentado exponencialmente, con un incremento en el número de conductores de todas las edades que hablan por teléfono o escriben mensajes con esta aplicación al volante (DGT, 2016). Sin embargo, tanto escribir mensajes como conducir son tareas fuertemente visuales, y una de las principales causas de vulnerabilidad entre los conductores de edad avanzada es la visión. El envejecimiento promueve una serie de cambios fisiológicos en las estructuras oculares que empeoran el rendimiento visual y la calidad óptica (Artal et al., 1993; Martínez-Roda et al., 2016b; Owsley et al., 1983), contribuyendo a aumentar el riesgo de accidentes de tráfico (Kimlin et al., 2017).

Este estudio compara los efectos del uso de escribir mensajes de WhatsApp sobre el rendimiento en la conducción en diferentes grupos de edad, ya que una conducción segura requiere de una función visual efectiva, así como de buenas habilidades cognitivas. Según nuestros resultados, los conductores mayores tienen una calidad óptica más deteriorada, con un mayor nivel de difusión o scattering intraocular (Tabla 5.2). Además los conductores mayores también tienen peor sensibilidad al contraste que los conductores de los otros grupos de edad, y este parámetro disminuyó significativamente en presencia de deslumbramiento (Figura 5.5), lo que supone una mayor sensibilidad. Estos resultados concuerdan con estudios previos que han analizado la función visual de conductores de distintas edades (Ortiz et al., 2013; Wood et al., 2002).

Estos cambios asociados a la edad pueden afectar a la capacidad para conducir de forma segura. Así, el deterioro en algunas de estas funciones ha sido correlacionado con un incremento en los accidentes de tráfico. Estudios previos indican que una sensibilidad al contraste reducida o los problemas de deslumbramiento degradan la capacidad para conducir, especialmente en ambientes oscuros, reduciendo el número de señales detectadas y la habilidad para reconocer obstáculos o peatones, incluso cuando la agudeza visual de estos conductores alcanza el nivel mínimo aceptado para obtener el permiso de conducir (Kimlin et al., 2017; Wood, 2002). En nuestro estudio, los conductores de edad avanzada, y por tanto, con un mayor deterioro visual, invadieron el

carril contrario y el arcén con una mayor frecuencia y por más tiempo que los conductores jóvenes. Además, demostraron tener menos control de la dirección del vehículo y por tanto, menos habilidad para mantener una posición estable en el carril, teniendo como consecuencia más accidentes. Así, los resultados en test visuales no estandarizados que permiten medir el nivel de straylight y la sensibilidad al contraste (sin y con deslumbramiento) han mostrado una correlación significativa con un mayor número de accidentes, una mayor distancia recorrida fuera del carril y una mayor desviación estándar de la velocidad angular del volante, pudiendo ser considerados como posibles predictores del rendimiento en la conducción. Estos resultados apoyan la idea de trabajos anteriores, demostrando que una sensibilidad al contraste más baja y una mayor sensibilidad al deslumbramiento contribuyen a elevar el riesgo de accidentes (Kimlin et al., 2017; Wood et al., 2009). Por otro lado, los déficits en la atención visual también aumentan el riesgo de sufrir accidentes (Owsley et al., 1998). Una fuente importante de distracción en el conductor son tareas secundarias tales como comer, beber, hablar por teléfono o con un pasajero, y también interactuar con sistemas de información, entretenimiento o control del propio vehículo (Fofanova y Vollrath, 2011). Como se ha mencionado, los smartphones representan una parte importante de la vida moderna. Así, nuestros resultados han demostrado que el 36,2% de los conductores envían mensajes de WhatsApp mientras conducen y aproximadamente el 4,2% de ellos leen correos electrónicos y navegan por Internet, datos que indican que a pesar de que las leyes españolas de tráfico prohíben el uso del teléfono móvil al volante, es común ver personas usando su smartphone mientras conducen (DGT, 2016).

En este estudio se ha observado que, en general, los participantes conducen más despacio cuando están distraídos escribiendo mensajes de WhatsApp, siendo los conductores mayores los que más reducen su velocidad (aproximadamente un 16,5% y un 11,9% en autovía y ciudad, respectivamente). Yannis et al., (2014) encontraron una reducción del 45% en la velocidad media cuando sus participantes escribían mensajes de texto (SMS) circulando por carretera urbana, porcentaje mayor que el encontrado en nuestro estudio, aunque estos autores estudiaron sólo una muestra de conductores jóvenes. De forma similar, Liu y Ou (2011), observaron que una conversación telefónica compleja con manos libres tenía un impacto negativo en la conducción, que era contrarrestada reduciendo la velocidad. Sin embargo, Young et al., (2014)

encontraron una tendencia opuesta, ya que en su estudio la velocidad media aumentaba cuando los conductores escribían mensajes, debido quizás a la falta de atención sobre el velocímetro cuando se escribe. En nuestro estudio, observamos que los conductores jóvenes redujeron menos su velocidad bajo distracción, aparentemente porque el riesgo percibido por este grupo tiene un menor efecto sobre su comportamiento al volante (Atchley et al., 2011).

Escribir mensajes de WhatsApp al volante también promovió un efecto negativo sobre el control del vehículo, como demostraron el mayor número de salidas del carril y la mayor desviación estándar de la posición lateral (SDLP). El grupo 4 (> 55 años) fue el que vio más afectada su conducción por la tarea secundaria, principalmente cuando conducían en los escenarios más complejos del recorrido, como pueden ser la carretera de montaña o la ciudad. De hecho, cuando recibían y escribían mensajes de WhatsApp, la SDLP fue un 29% mayor para este grupo, que también tuvo un número de salidas del carril un 72% mayor que el resto de los grupos, coincidiendo con estudios previos (Rumschlag et al., 2015). Este efecto negativo, también fue reflejado en nuestro estudio por un menor control de la dirección. Así, el control de la dirección del vehículo (DE de la velocidad angular del volante) empeoró en la sesión con distracción para todos los grupos, excepto en ciudad, donde empeoró sólo para los conductores del grupo 3 (40-54 años). Sin embargo, cuando se tiene en cuenta la edad del conductor, escribir un WhatsApp tenía un efecto más perjudicial en los conductores de mayor edad, resultado que coincide con otros estudios (Papadakaki et al., 2016).

La reducción de la capacidad de atención de los conductores mayores implica que la realización simultánea de ambas tareas, escribir y conducir, aumente también el riesgo de accidentes (Owsley et al., 1998). La doble tarea conlleva un mayor número de colisiones, teniendo la edad del conductor un efecto notable (el número medio de colisiones del grupo 4 aumentó un 134,5% cuando escribían mensajes de WhatsApp, frente al 8,3% de aumento en las colisiones del grupo 1). Por lo tanto, los resultados reflejan que cuando aumenta la edad del conductor, el riesgo de accidente asociado a la distracción aumenta considerablemente. Trabajos anteriores también han encontrado que la distracción por el uso del teléfono móvil eleva el riesgo de sufrir un accidente, sin embargo, estos estudios sólo incluían a conductores jóvenes (18-24 años) (Alosco et al.,

2012; Drews et al., 2009; Yannis et al., 2014). Nuestros resultados concuerdan también con otras tendencias encontradas anteriormente, ya que los conductores, especialmente los mayores, reducen su velocidad cuando usan un teléfono móvil. No obstante, las evidencias indican que esta actitud no es suficiente para evitar el riesgo de colisión (Yannis et al., 2014).

Aunque este tipo de comportamiento sugiere una cierta conciencia de los riesgos asociados a conducir y usar un teléfono móvil al mismo tiempo, los resultados del cuestionario revelaron que un alto número de conductores usan sus smartphones para hacer o recibir llamadas (un 16% hacía llamadas sosteniendo el teléfono y un 45% hacía llamadas con manos libres). Este hecho también es preocupante, ya que se ha demostrado que el uso de manos libres es tan peligroso como hacer una llamada sosteniendo el teléfono (Liu y Ou, 2011). Fofanova y Vollrath (2011) observaron que los conductores de mediana edad se distraían por el uso del teléfono móvil al volante más frecuentemente que los conductores de mayor edad (20,7% y 7,8% respectivamente). Nuestros resultados reflejan lo mismo, ya que escribir mensajes durante la conducción era un comportamiento más frecuente en el grupo 2 (25-39 años), seguido del grupo 1 (18-24 años). Sin embargo, otros tipos de distracción eran más comunes en los conductores mayores, como comer o beber mientras conducen (Tabla 5.5). En nuestro estudio, los participantes dijeron utilizar el manos libres mientras conducen (45%) con mayor frecuencia que escribir mensajes (36%), como también ocurría en el estudio de Gras et al., (2007). Los porcentajes obtenidos en nuestro trabajo son considerablemente más altos que en Canadá, donde un 27% de los conductores decía escribir mensajes mientras conducen (Tucker et al., 2015) o en Australia, con un 12,4% (McEvoy et al., 2006). Una posible explicación para estas diferencias es que el uso de aplicaciones como WhatsApp está aumentando muy rápidamente, siendo su uso frecuente incluso durante la conducción.

En la misma línea, los resultados de los cuestionarios revelaron que el grupo 1 (18-24 años) tenía puntuaciones más altas para las infracciones ordinarias, especialmente en el ítem “*Conducir mirando un dispositivo GPS, cambiando la emisora de radio, etc*”, la cual fue significativamente más alta que la del grupo 4 (> 55 años). “*Enfadarse con un conductor y mostrarle su enojo por el medio que sea, por ejemplo, con gestos*

agresivos” fue la segunda infracción más frecuente para el grupo 2 (25-39 años), quienes mostraron ser el grupo más agresivo al volante. No respetar el límite de velocidad fue la tercera infracción más cometida, siendo los conductores más jóvenes los principales infractores. Estos datos indican que los conductores jóvenes presentan más frecuentemente conductas de riesgo al volante, reflejando que podrían necesitar más un cambio en su estilo de conducción que los conductores que tienen lapsus o errores, ya que las infracciones en general son conductas que realizamos deliberadamente al volante y los lapsus o errores se cometen involuntariamente. Los primeros pueden ser fácilmente corregidos y sin embargo, los segundos no dependen tanto de la actitud del conductor (Martinussen et al., 2013).

Para los errores, que son involuntarios, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos grupos de edad, aunque los conductores mayores (grupo 4) tuvieron la puntuación más baja en esta subescala, quizás porque tener más experiencia al volante mejora estas aptitudes para la conducción (Gregersen, 1996). Sin embargo, existían diferencias significativas asociadas a la subescala Lapsus, particularmente en *“olvidar dónde se ha dejado el vehículo en un aparcamiento”* y *“después de conducir durante un rato, darse cuenta que no tiene un claro recuerdo del camino recorrido y lo que ha sucedido durante el trayecto”*, con la puntuación media más alta para los grupos 2 y 3 (25-54 años). No obstante, los lapsus son deslices involuntarios de memoria o atención que no implican un mayor riesgo o un accidente por sí mismos.

Las puntuaciones medias para cada subescala fueron más bajas que las encontradas por los autores Stephens y Fitzharris (2016), indicando que, como en otros estudios, los distintos países difieren en cuanto a comportamientos de riesgo al volante, y también incluso para conductores del mismo país, donde aspectos como la edad, el género o las características socio-económicas pueden influir en las respuestas de los conductores (Martinussen et al., 2013).

Los resultados reflejan que, según las puntuaciones obtenidas de los cuestionarios, los conductores jóvenes constituyen el grupo con mayor riesgo de accidentabilidad debido a su comportamiento. Esto puede indicar que ellos sobreestiman sus capacidades en la conducción cuando está presente un estímulo distractor, o bien que infravaloran los riesgos asociados al propio estímulo. Por el contrario, los resultados objetivos han

demostrado que existe un efecto significativo de la edad en el rendimiento en la conducción, con un deterioro más evidente en los conductores mayores, implicando un mayor riesgo de accidente asociado al uso de aplicaciones como WhatsApp durante la conducción.

Cabe señalar que existen una serie de posibles limitaciones metodológicas en nuestro estudio. Una es que, a pesar de haber examinado los efectos de escribir mensajes en el rendimiento en la conducción en distintos grupos de edad, y en un amplio abanico de escenarios en la conducción (autovía, carretera de montaña y ciudad), estos resultados han sido obtenidos con un simulador, haciendo imposible capturar todo el dinamismo que implica la conducción real. No obstante, numerosos estudios han demostrado la validez de estos dispositivos, indicando que su uso permite la forma más ética de realizar estos estudios, asegurando la seguridad en todas las situaciones (Collet et al., 2010). Por otro lado, los mensajes enviados durante el recorrido pretendían generar una tarea de cierta complejidad cognitiva/manual/visual, asegurando así un nivel de distracción en los participantes, pero siendo a su vez realista en cuanto a ser un mensaje que un conductor podría responder al volante en una situación real. Sin embargo, las diferencias en las preguntas enviadas en los distintos puntos y la artificialidad del contenido podrían de algún modo tener una influencia en los resultados obtenidos, por lo que ha de tenerse en cuenta a la hora de ser interpretados. Aunque el principal objetivo del estudio era evaluar el efecto de escribir mensajes de WhatsApp sobre el rendimiento en la conducción de personas de diferentes edades, habría sido interesante tener en cuenta como factor el tiempo que los participantes necesitaban para completar la tarea distractora (leer/enviar un mensaje). Un mayor tiempo para escribir el mensaje podría incrementar los errores en la conducción. No obstante, nuestros resultados han demostrado que escribir mensajes tiene un efecto negativo principalmente en la desviación lateral de la posición del vehículo, el número de salidas del carril y las colisiones, incluso entre los conductores más jóvenes.

En resumen, el envejecimiento de la población y su consiguiente incremento en el número de personas de edad avanzada al volante, y el tan extendido uso del smartphone durante la conducción (y más concretamente de aplicaciones como WhatsApp), está haciendo que esta causa de distracción sea cada vez más común también entre

conductores no tan jóvenes. Los resultados de este estudio sugieren que escribir mensajes de WhatsApp durante la conducción deteriora significativamente la habilidad para conducir, siendo el grupo de conductores de mayor edad los más negativamente afectados, a pesar de que ellos también eran usuarios habituales de la aplicación. Este efecto negativo fue observado principalmente cuando conducían en entornos que implicaban cierta dificultad, como la carretera de montaña o la ciudad, a pesar de reducir su velocidad como mecanismo compensatorio.

Además, algunas métricas visuales han demostrado que existe una correlación entre un peor rendimiento en la conducción y el deterioro visual asociado a la edad. Por ello, consideramos necesaria la realización de más estudios para poder identificar si la inclusión de estos test en la evaluación de los conductores podría ayudar a identificar a aquellos en riesgo. Estas pruebas han demostrado tener una relación significativa con el rendimiento en la conducción, y es conocido que la medida de la agudeza visual de alto contraste no es un buen predictor de la capacidad para conducir. Por esta razón, incluso cuando la agudeza visual es superior al límite requerido para la obtención/renovación del permiso de conducir, podría ser recomendable incluir estos test, aumentando así la conciencia de los conductores mayores en cuanto a sus limitaciones visuales.

Es vital, por tanto, poder determinar las áreas clave que pudieran dar problemas para la conducción y aquellas que ejercen distintos efectos sobre los conductores de distintas edades. Por un lado, la mayor conciencia sobre las limitaciones visuales de los conductores mayores nos sirve para alentarlos a adoptar las medidas compensatorias necesarias para mantener una conducción segura, y por otro, también es importante aumentar la conciencia de los conductores más jóvenes de las consecuencias de sus comportamientos al volante. Todas estas cuestiones son de gran importancia, y pueden aumentar notablemente el riesgo cuando existe distracción, como al enviar mensajes de WhatsApp desde nuestros smartphones.

CAPÍTULO 6

Efectos de fumar cannabis en la función visual y en el rendimiento en la conducción (Estudio 4)

6.1. Introducción

El cannabis es la droga ilegal más consumida en el mundo. Se estima que el 14,4% de los adultos jóvenes europeos de entre 15 y 34 años han consumido cannabis durante el último año (EMCDDA, 2019). En España, los datos son verdaderamente alarmantes, ya que además de ser la droga ilegal más consumida, su uso ha ido aumentando desde 2013. Durante 2017 un 35,2% de la población de entre 15 y 64 años había consumido cannabis alguna vez mientras que un 9,1% lo había hecho durante el último mes. Además, el 2,1% de los encuestados dijeron haberla consumido diariamente durante los últimos 30 días (EDADES, 2017).

La conducción bajo los efectos del cannabis (DUIC; del inglés, *Driving Under the Influence of Cannabis*) es una de las cuestiones más relevantes en cuanto a seguridad vial hoy día. El THC (Δ^9 -tetrahydrocannabinol), principal componente psicoactivo del cannabis, es la sustancia ilegal más detectada en conductores (Hartman y Huestis, 2013). En España, un estudio hecho en carretera con el objetivo de investigar la prevalencia de conductores bajo la influencia del alcohol y otras drogas reveló que un 6,6% conducía bajo los efectos del alcohol, mientras que un 11% de los conductores dio positivo en drogas. Entre estos últimos, la droga más comúnmente encontrada fue el cannabis (7,7%), seguido de la cocaína (3,5%) (Gómez-Talegón et al., 2012). Pocos años después, un estudio similar ha mostrado que aunque la prevalencia de conductores bajo los efectos del alcohol se va reduciendo, el cannabis y la cocaína siguen siendo las drogas más detectadas, manteniéndose su prevalencia e incluso aumentando un punto para la segunda con respecto al estudio citado anteriormente (Domingo-Salvany et al., 2017). La misma tendencia se ha encontrado en otros países como Estados Unidos, donde un estudio realizado entre los años 2007 y 2014 mostró una reducción del consumo de alcohol entre los conductores. Sin embargo, para el mismo período, encontraron un aumento del 48% en la prevalencia de conductores bajo la influencia del THC (Berning et al., 2015). En este país, mientras un creciente número de estados legalizan la marihuana, un 5% de los adultos en general y entre un 8 y un 13% de los adultos jóvenes (16-34 años) han conducido bajo la influencia del cannabis en 2018 (Kuehn, 2020). Otro estudio llevado a cabo en Canadá señaló que entre los años 2000 y 2012, el número de conductores fallecidos que circulaban bajo los efectos del cannabis

aumentó de un 12,8% a un 19,7%. Además, el número de personas que conducen durante las dos horas posteriores al consumo creció en un 62,5% desde 2013 a 2015 (Robertson et al., 2017). Estos datos demuestran que la conducción bajo el efecto del cannabis es un problema en crecimiento, quizás debido a una baja percepción del riesgo de accidentes asociada a su consumo (Pino et al., 2016).

A día de hoy, existen evidencias que demuestran que el consumo de cannabis tiene un efecto negativo sobre el rendimiento en la conducción, aumentando el riesgo de accidentes. Así, una reciente revisión sistemática ha mostrado que en 23 de 36 estudios, se ha encontrado una relación entre el consumo de THC y los accidentes de tráfico (Gjerde et al., 2015). La revisión sistemática y meta-análisis llevado a cabo por Asbridge et al., (2012) concluyó que el consumo de cannabis casi dobla el riesgo de accidente, especialmente para aquellos con víctimas mortales. Con respecto al rendimiento en la conducción, el cannabis ha demostrado tener una influencia negativa en algunos aspectos tales como la estabilidad, ya que los conductores bajo los efectos de esta sustancia muestran un peor mantenimiento de la posición del vehículo, saliéndose con mayor frecuencia de su carril (Micallef et al., 2018; Veldstra et al., 2015). Del mismo modo, el control longitudinal del vehículo también parece verse afectado, como mostraron Hartman et al., (2016), quienes encontraron que tras fumar cannabis los participantes de su estudio conducían más lentos y adoptaban distancias de seguridad más amplias con respecto al vehículo precedente.

Indudablemente el cannabis deteriora algunas funciones necesarias para una conducción segura, como las destrezas motoras o cognitivas. Sin embargo, los sistemas sensoriales son también esenciales para esta tarea, destacando la visión como el principal mecanismo sensorial implicado. Sin embargo, existen pocos datos sobre los verdaderos efectos que origina el consumo de cannabis en la visión. Algunos trabajos han estudiado este tema demostrando un deterioro significativo de la visión del color (Adams et al., 1976). Además, el consumo de cannabis parece acarrear un deterioro del procesamiento visual, como ha demostrado la reducción en la aparición de la llamada “ilusión de la inversión de profundidad binocular” (BDII; del inglés, *binocular depth inversion illusion*) (Emrich et al., 1991; Semple et al., 2003). Igualmente, Schwitzer et al., (2017) encontraron una disminución en el procesamiento de la información retiniana basándose

en electroretinografías hechas a usuarios regulares de cannabis. En la misma línea, una evaluación más completa del estado visual fue realizada por Dawson et al., (1977) quienes indicaron que tras consumir cannabis durante diez años, los participantes mostraban una presión intraocular elevada, mayores tiempos de adaptación a la oscuridad, agudeza visual reducida, un deterioro en la vision del color y un aumento de la secreción lagrimal. Igualmente, se ha encontrado un deterioro significativo en la agudeza visual dinámica (Adams et al., 1975b) y los movimientos oculares durante la lectura (Huestegge et al., 2010). Por el contrario, los resultados mostrados en un estudio de casos reflejaron que bajo los efectos del cannabis (oral e inhalado), mejoraba la visión nocturna en un test de adaptación a la oscuridad y sensibilidad escotópica (Russo et al., 2004). Sin embargo, no existen evidencias posteriores que apoyen los resultados de esta publicación.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que el cannabis podría tener un impacto en la función visual, y que otros parámetros visuales no estandarizados que han demostrado verse afectados por el consumo de alcohol deberían ser investigados (Castro et al., 2014b). Además, sería importante conocer la magnitud de los efectos visuales del consumo de cannabis durante su efecto y su influencia en tareas altamente dependientes de la información visual, como es la conducción. Trabajos recientes han encontrado que el cannabis deteriora de forma significativa parámetros visuales como la sensibilidad al contraste (Lalanne et al., 2017; Mikulskaya y Martin, 2018), que ha sido destacada por su importancia para una conducción segura (Owsley et al., 2001; Owsley and McGwin, 2010). Como se ha indicado, existe una importante cantidad de evidencias que demuestran que un número considerable de conductores usan su coche cuando están bajo los efectos de esta sustancia (Berning et al., 2015; Domingo-Salvany et al., 2017; Robertson et al., 2017), por lo que los cambios visuales podrían tener graves consecuencias para la seguridad.

La hipótesis de este trabajo fue que los efectos visuales del consumo de cannabis, también en parámetros visuales no estandarizados, podrían reducir la capacidad para realizar apropiadamente diferentes tareas de la conducción. Por tanto, el objetivo de este estudio era evaluar el efecto que tiene en la visión el consumo de cannabis en un amplio rango de parámetros visuales, y analizar si este efecto supone una reducción de la

capacidad para conducir. Del mismo modo, se estudió la percepción del riesgo que implica conducir después de fumar cannabis y la asociación de este comportamiento (DUIC) con actitudes peligrosas al volante en el día a día de los participantes.

6.2. Metodología

6.2.1. Participantes

Veinte voluntarios fueron incluidos en el estudio (edad $23,3 \pm 4,4$ años; rango 19-36 años), de los cuales 5 eran mujeres. Todos ellos eran consumidores ocasionales de cannabis, con una frecuencia de consumo de al menos una vez pero menos de cuatro veces en semana durante los últimos tres meses (Hartman et al., 2016, 2015). Otros criterios de inclusión eran los siguientes: poseer un permiso de conducir vigente con al menos un año de antigüedad, conducir al menos una vez por semana, agudeza visual monocular con su corrección habitual de al menos 1.0 (notación decimal) y tener visión binocular normal. Los criterios de exclusión incluían algunos aspectos como haber tenido o tener algún tipo de enfermedad, tener algún desorden en el consumo de cannabis o alcohol identificados por el Test Revisado de Identificación de Desórdenes en el Uso de Cannabis (Cannabis Use Disorders Identification Test- Revised - CUDIT-R; puntuaciones mayores a 12 puntos) (Adamson et al., 2010) y el Test de Identificación de Desórdenes en el Uso de Alcohol (Alcohol Disorders Identification Test – AUDIT; puntuaciones mayores a 12 en mujeres y a 14 puntos en los hombres) (Babor et al., 2001), uso de otras drogas, embarazo o lactancia y síntomas de mareo con el uso del simulador.

Todos los sujetos eran informados sobre los objetivos y procedimientos del estudio y firmaron el consentimiento informado. El estudio se realizó de acuerdo a los principios de la Declaración de Helsinki y con el consentimiento del Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (921/CEIH/2019). Los participantes se comprometieron a no conducir hacia el laboratorio ni a su salida de la sesión.

6.2.2. Evaluación visual

La agudeza visual binocular (AV) se evaluó a 5,5 m usando el test Pola VistaVision® (DMD Med Tech srl. Torino, Italy), expresando los resultados en escala LogMAR. La sensibilidad al contraste también se evaluó binocularmente con el test incluido en el mismo monitor. Para este propósito se midió el contraste umbral (el mínimo contraste requerido para ver una red sinusoidal sobre un fondo uniforme). Los estímulos presentados a los participantes eran círculos que contenían redes sinusoidales con tres inclinaciones posibles (derecha, izquierda o vertical). Las frecuencias espaciales evaluadas fueron: 0,75; 1,5; 3, 6, 12 y 18 ciclos/grado (cpg), cada una de ellas con 8 niveles de contraste, a una distancia de 2,5 metros. La tarea del participante consistía en indicar la orientación de la rejilla, considerando la última respuesta correcta como el umbral de contraste.

La estereopsis, o capacidad para distinguir la localización espacial (tridimensional) de los objetos en el entorno fue estudiada como otro aspecto clave para la conducción. Para la evaluación de la estereoagudeza en visión lejana se empleó el test incorporado en el monitor VistaVision® a 5,5 metros de distancia. Se trata de un test polarizado capaz de medir disparidades desde 300 a 10 segundos de arco (seg arc), presentando filas que contienen 5 barras verticales en cada nivel de estereoagudeza evaluado. La tarea del sujeto consistía en identificar cuál de las barras verticales en cada fila del test se encontraba en un plano diferente al resto (flotando), observándolo a través de filtros polarizados. Para la evaluación en visión cercana (40 cm) se empleó el test de estereoagudeza de la mosca con símbolos LEA (Fly Stereo Acuity Test with LEA Symbols, Stereo Optical Co., Inc, Chicago, IL). Es un test polarizado que contiene un test de círculos, capaz de medir disparidades desde 400 a 20 segundos de arco. Esta parte del test contiene 10 grupos de cuatro círculos y cada uno de ellos mide un nivel de disparidad. La tarea del sujeto, de nuevo, consistía en identificar cuál de los cuatro círculos (arriba, abajo, derecha o izquierda) estaba localizado en un plano diferente al resto (flotando) para cada nivel de estereoagudeza, observándolo a través de filtros polarizados. La última respuesta correcta se consideraba el nivel de estereopsis del sujeto en visión cercana.

El tamaño pupilar también fue medido con el pupilómetro NeurOptics® VIP®-300 (NeurOptics, Irvine, CA, USA), basado en tecnología infrarroja. La pupila fue medida en tres niveles de iluminación de fondo diferentes, simulando un nivel escotópico (fondo apagado), mesópico bajo (0,3 lux) y mesópico alto (3 lux).

La respuesta acomodativa (RA) es definida como la capacidad de cambiar el poder dióptrico ocular en respuesta a un cambio en la distancia de fijación, y de la precisión para mantener un nivel constante de enfoque para dicha distancia (Glasser, 2011). Si la RA es menor que la demanda acomodativa, esto es llamado lag o retraso acomodativo mientras que el caso contrario, es decir, que la RA sea mayor a la demanda acomodativa, es llamado lead o adelanto acomodativo. La respuesta acomodativa fue estudiada con el autorrefractómetro de campo abierto Grand Seiko WAM-5500 (Grand Seiko Co. Ltd., Hiroshima, Japón) (Figura 6.1). Se empleó el modo estático y el estímulo de fijación usado fue una estrella negra de alto contraste de 2 cm impresa sobre un fondo blanco (Michelson = 79%). Los sujetos tenían que mirar binocularmente al estímulo a través de un divisor de haz de campo abierto (12,5 x 22 cm), aunque las medidas se tomaban monocularmente. En primer lugar, se tomaron 9 medidas con el estímulo a 6 metros (medida de referencia). Luego, el estímulo se colocaba a una distancia de 40 y 20 cm, las dos demandas acomodativas estudiadas (2.5 y 5D respectivamente), y se realizaron otras 9 medidas para cada distancia. Durante la toma de datos se comprobó el correcto alineamiento del sujeto con el estímulo. La precisión de la respuesta acomodativa fue obtenida según Poltavski et al., (2012), restando a la demanda acomodativa requerida por la distancia del estímulo, el equivalente esférico promedio de las nueve medidas y la de referencia. Más información sobre este dispositivo puede encontrarse en el trabajo de Sheppard y Davies (2010).



Figura 6.1. Grand Seiko WAM-5500

Todos los test visuales se realizaron con la corrección óptica que los participantes empleaban habitualmente para conducir.

6.2.3. Análisis de la conducción

Para la evaluación de la conducción se empleó el simulador descrito en los capítulos anteriores (SIMAX DRIVING SIMULATOR v.4.0.8 BETA, SimaxVirt S.L., Pamplona, España). Los participantes recorrieron un itinerario de 12,5 km, que constaba de tres partes, autovía, carretera de montaña y ciudad, con las mismas características ya descritas.

Para analizar el rendimiento en la conducción se tuvieron en cuenta las siguientes variables: velocidad media, distancia recorrida invadiendo el carril contrario, distancia recorrida invadiendo el arcén, distancia total recorrida fuera del carril (incluye la distancia recorrida invadiendo el carril contrario y la distancia recorrida invadiendo el arcén), desviación estándar de la posición lateral en el carril (SDLP), tiempo de reacción (TR), tiempo total, número de colisiones y el índice general de rendimiento en la conducción (ODPS), obtenido de igual forma que en estudios anteriores (Wood, 2002; Wood y Carberry, 2006). Las variables individuales seleccionadas para calcular el ODPS fueron: distancia recorrida invadiendo el arcén en la autovía, distancia total recorrida fuera del carril en la carretera de montaña, SDLP y tiempo de reacción.

El tiempo de reacción se basa en la respuesta de frenada. Para medir este parámetro, el simulador genera tres eventos de frenada en distintas posiciones aleatorias a lo largo del tramo de carretera de montaña. En esta parte de la ruta, los conductores habitualmente tienen que seguir a otros vehículos que circulan delante de ellos. En estas circunstancias, cuando el conductor adquiere una velocidad suficiente, el simulador genera un evento de frenada, en el que el coche de delante da un frenazo brusco. Para estos eventos, el tiempo de reacción se calcula como la diferencia entre el instante en el que el coche delantero enciende su luz de freno, y el instante en el que el conductor del vehículo participante presiona el pedal de freno.

6.2.4. Datos demográficos e Índice de Conducción de Riesgo de Dula DDDI (Dula Dangerous Driving Index)

Como parte del experimento, los participantes completaron un cuestionario sobre características socio-demográficas como la edad, el género o la experiencia en la conducción. Asimismo, completaron otro cuestionario sobre su perfil de consumo de cannabis y alcohol, la frecuencia con la que conducen bajo los efectos de ambas sustancias y el riesgo percibido. Este cuestionario estaba compuesto por 24 items basados en un cuestionario incluido en un trabajo anterior (Sexton et al., 2000).

El cuestionario del Índice de Conducción de Riesgo de Dula, fue utilizado para obtener una puntuación general de agresividad al volante (Dula Dangerous Driving Index - DDDI) (Dula y Ballard, 2003). Ha sido demostrado que esta puntuación de conducción peligrosa es válida para su uso clínico (Willemsen et al., 2008). Se trata de un cuestionario de 28 items en el cual los participantes valoran la frecuencia con la que muestran ciertos comportamientos en una escala de 5 puntos, desde 1 (nunca) a 5 (siempre). Como resultado, se obtiene una puntuación total que puede variar desde 28 a 140 puntos. El cuestionario además está compuesto por tres subescalas: conducción de riesgo (*risky driving*, RD, 12 preguntas), conducción cognitiva/emocional negativa (*negative cognitive/emotional driving*, NCDE, 9 preguntas) y conducción agresiva (*aggressive driving*, AD, 7 preguntas). Las puntuaciones medias y totales se obtuvieron para cada subescala, así como una puntuación DDDI total.

6.2.5. Procedimiento

Una vez obtenido el consentimiento informado, se realizaron dos sesiones de entrenamiento con el simulador de conducción para que los participantes se familiarizaran con el control del mismo. Las sesiones de entrenamiento duraban unos 15 minutos y se realizaban en un escenario similar al empleado en el experimento, pero sin tráfico o peatones. Si en alguna de ellas se notaban síntomas de mareo o malestar con el simulador, la sesión era interrumpida y el participante era excluido del estudio.

Cuando el entrenamiento era completado, se realizaban dos sesiones experimentales (sin consumo e inmediatamente después de haber fumado cannabis) en orden aleatorio y espaciadas entre ellas una semana. En cada sesión, de una duración aproximada de 75 minutos, los participantes realizaban en orden aleatorio los test visuales y el recorrido en el simulador de conducción.

Todos los participantes debían abstenerse de consumir alcohol durante las 24 horas previas al experimento, y de consumir cannabis durante los cuatro días anteriores. Para obtener una medida objetiva que confirmase el consumo de cannabis en las sesiones, se realizaba un test de saliva (Dräger DrugTest 5000, Dräger Safety AG & Co. KGaA. Lübeck, Alemania). Además, con este mismo test nos asegurábamos de que no habían consumido otras drogas, pudiendo detectar anfetaminas, benzodiazepinas, cocaína, metanfetaminas, opiáceos, metadona y ketamina. En el caso de cannabis, el dispositivo es capaz de detectar concentraciones mayores de 12 ng/ml, en un tiempo de hasta 8-14 horas tras el consumo. El hecho de no haber consumido alcohol comprobaba con el test Dräger Alcotest 7110 MK-III (Dräger Safety AG & Co. KGaA. Lübeck, Alemania), que mide el contenido de alcohol en aire expirado (BrAC).

6.2.6. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó usando SPSS 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Se emplearon estadísticos descriptivos (media, desviación estándar y frecuencias) para los resultados correspondientes a las características socio-demográficas, los parámetros visuales y de rendimiento en la conducción, y los cuestionarios. Para comparar los parámetros visuales y las variables de conducción en las distintas condiciones (sesión sin consumo y tras fumar cannabis) se realizaron t-test o test de Wilcoxon según fuera necesario de acuerdo a la distribución de los datos (test Kolmogorov-Smirnov).

Además, para el estudio de la relación entre los parámetros visuales y los relacionados con la conducción en el simulador, se llevó a cabo un análisis de correlaciones (correlaciones de Spearman).

Finalmente, se exploraron las posibles correlaciones entre los datos obtenidos por medio de los distintos cuestionarios (correlaciones de Spearman), con el objetivo de investigar si las características personales o el perfil de consumo podrían estar asociados con comportamientos agresivos o con una mayor tendencia a conducir bajo los efectos del cannabis.

6.3. Resultados

Todos los participantes conducían al menos una vez por semana, con un frecuencia media de $4,5 \pm 2,3$ días por semana. La antigüedad media del permiso de conducción era de $4,1 \pm 4,0$ años (rango 1-17 años). La edad media de inicio en el consumo de cannabis de los participantes era $17,6 \pm 1,8$ años. En los seis meses anteriores, el 30% de los participantes declaró haber consumido cannabis 2-3 días/semana; un 10% una vez por semana; un 10% dos veces al mes; un 30% una vez al mes; y un 20% con menor frecuencia. La puntuación media en el AUDIT era de $7,1 \pm 3,8$ puntos (puntuación máxima 40 puntos) y de $6,1 \pm 4,1$ para el CUDIT-R (puntuación máxima 32 puntos). Ambas puntuaciones indican patrones de consumo que no implican un desorden, ya que están por debajo del límite especificado para cada test (12-14 y 12 respectivamente).

6.3.1. Evaluación visual

El análisis estadístico indicó diferencias significativas en la agudeza visual, con una reducción de aproximadamente de dos líneas en la condición con consumo con respecto a la sesión sin consumo ($p < 0,001$) (ver Tabla 6.1). La percepción estereoscópica también fue significativamente deteriorada por el consumo de cannabis en las dos distancias evaluadas, aunque el empeoramiento más notable se produjo en visión lejana, con un incremento medio de 111 segundos de arco (seg arc) ($p < 0,001$), lo que afectaría aún más a la conducción, ya que la información del entorno se obtiene de distancias lejanas. El tamaño de la pupila para la condición escotópica fue reducido una media de

0,32 mm ($p=0,008$) tras fumar, aunque para las condiciones mesópicas se mantuvo muy similar.

Tabla 6.1. Comparación de los parámetros visuales en las sesión sin consumo y después de fumar cannabis (THC). Se muestra la media, DE y los resultados del test de comparaciones.

	Sesión sin consumo (media ± DE)	Sesión THC (media ± DE)	t/Z	p-valor
AV binocular (logMAR)	-0,10±0,06	-0,05±0,07	-4,516	<0,001
SC binocular	143,85±16,26	131,93±17,95	3,223	0,004
Estereoagudeza - lejos (seg arc)*	43,16±38,74	154,21±94,71	-3,623	<0,001
Estereoagudeza – cerca (seg arc)*	21,18±9,42	31,68±31,27	-2,496	0,013
Diámetro pupilar (mm)				
Escotópico	6,65±0,80	6,33±0,68	2,940	0,008
Mesópico bajo	5,91±0,85	5,93±0,71	-0,156	0,877
Mesópico alto	5,39±0,81	5,43±0,91	-0,271	0,790
Lag acomodativo (D)				
0,4 m	1,07±0,68	1,38±0,55	1,949	0,069
0,2 m	1,23±0,66	1,71±0,82	2,892	0,011

* Wilcoxon test. AV, agudeza visual; SC, sensibilidad al contraste.

La sensibilidad al contraste media se redujo en un 8,3% tras el consumo de THC, siendo este deterioro significativo para las frecuencias espaciales de 0,75 cpg ($p=0,039$) y 12 cpg ($p=0,017$). Por último, para estímulos a 0,4 y 0,2 m (2,5 y 5D) la precisión de la respuesta acomodativa se vio reducida. Así, los participantes mostraron mayores lags de acomodación después de fumar cannabis (un 29% y un 39% más alto a 0,4 y 0,2 m, respectivamente), aunque sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas para 0,2 m ($p=0,011$).

6.3.2. Análisis de la conducción

El consumo de cannabis también supuso un deterioro en el rendimiento en la conducción simulada, como se muestra en la Tabla 6.2.

En la autovía, los participantes mostraron una velocidad un 2,5% mayor bajo los efectos del cannabis, y recorrieron más distancia invadiendo el arcén (71,9%), aunque ninguna de estas variables han mostrado diferencias estadísticamente significativas con la sesión sin consumo.

En la carretera de montaña, al igual que en la autovía, los participantes adoptaron una velocidad un 1,4% mayor tras fumar cannabis. Sin embargo, mostraron tener más dificultades en el mantenimiento de la posición del vehículo en el carril, ya que recorrieron una mayor distancia invadiendo el carril contrario y el arcén, suponiendo un aumento del 50,7% en la distancia total recorrida fuera del carril ($p=0,048$) (Tabla 6.2). Del mismo modo, la SDLP aumentó significativamente en la condición de consumo de cannabis, indicando también que tras consumir esta sustancia, los conductores tenían una posición menos estable en su carril, zigzagueando en mayor medida. El tiempo de reacción de frenada fue 0,08 segundos mayor en la sesión con THC, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa.

En la ciudad, los conductores bajo el efecto del cannabis adoptaron una velocidad ligeramente mayor, pero la diferencia no era estadísticamente significativa. Finalmente, para el circuito total, los participantes necesitaron menos tiempo para terminar el recorrido en la sesión con THC y el número medio de colisiones fue mayor que en la sesión sin consumo. En general fumar cannabis afectó negativamente al rendimiento en la conducción, como demostró la reducción del ODPS, lo cual podría disminuir la seguridad.

Tabla 6.2. Comparación de los parámetros de conducción en la sesión sin consumo y después de fumar cannabis (THC). Se muestra la media y DE y los resultados del test de comparaciones.

		Sesión sin consumo (media ± DE)	Sesión THC (media ± DE)	t/Z	p-valor
Autovía	Velocidad media (km/h)	115,54±7,13	118,47±10,92	-1,515	0,146
	Distancia recorrida invadiendo el arcén (m)*	71,44±84,47	122,83±105,26	-1,61	0,107
Carretera de montaña	Velocidad media (km/h)	55,08±1,55	55,86±1,76	-1,77	0,092
	Distancia recorrida invadiendo el carril contrario (m)*	322,09±221,91	458,87±512,76	-1,493	0,135
	Distancia recorrida invadiendo el arcén (m)*	16,96±15,92	52,14±69,07	-3,219	0,001
	Distancia total recorrida fuera del carril (m)*	339,04±222,99	511,01±502,09	-1,979	0,048
	SDLP (m)	0,52±0,09	0,57±0,08	-3,10	0,006
	Tiempo de reacción (s)*	0,84±0,14	0,92±0,18	-0,312	0,755
Ciudad	Velocidad media (km/h)	29,34±4,64	29,94±4,64	-0,66	0,518
Círculo completo	Tiempo total (s)	794,38±54,19	784,61±48,52	0,906	0,376
	Colisiones*	0,50±0,61	0,70±1,17	-1,068	0,286
	ODPS*	0,21±0,57	-0,29±0,54	-3,114	0,002

*Wilcoxon test. SDLP, desviación estándar de la posición lateral

6.3.3. Relación entre los parámetros visuales y el rendimiento en la conducción

El análisis de correlaciones mostró la asociación más fuerte entre la distancia recorrida invadiendo el arcén en la carretera de montaña y la estereoagudeza en visión cercana ($\rho=0,504$; $p=0,001$) y lejana ($\rho=0,408$; $p=0,011$). Una peor estereoagudeza en visión cercana también demostró estar significativamente correlacionada con una mayor

distancia recorrida invadiendo el arcén en la autovía ($\rho=0,373$; $p=0,018$) y con una mayor SDLP ($\rho=0,315$; $p=0,048$), lo que indica que una buena estereoaquidez asiste en el control del vehículo en el carril, permitiendo juzgar las distancias entre el coche y los límites de la vía de una forma más correcta. Otros parámetros significativamente asociados fueron la agudeza visual con la SDLP ($\rho=0,372$; $p=0,018$), y la sensibilidad al contraste con la distancia recorrida invadiendo el arcén en la carretera de montaña ($\rho=0,377$; $p=0,016$). Por último, cabe señalar que el ODPS estaba significativamente asociado con la agudeza visual, de modo que una peor agudeza visual suponía tener un peor rendimiento en la conducción ($\rho=-0,370$; $p=0,022$).

6.3.4. Conducción bajo la influencia del cannabis (DUIC): riesgo percibido y comportamientos al volante

6.3.4.1. Perfil general de consumo y percepción del riesgo en la conducción

Los resultados de los cuestionarios demostraron que la mayoría de los participantes eran “fumadores sociales de cannabis”, ya que el 100% indicó fumar acompañado de más gente mientras que un 5% lo hacía también solo. Tres participantes indicaron que habían tenido un accidente durante el año anterior, todos ellos sin víctimas o heridos.

Con respecto a la frecuencia en la conducción bajo los efectos del alcohol, más de la mitad de los participantes (65%) indicaron haberlo hecho cuando iban levemente intoxicados (después de beber menos de 4 unidades de alcohol), y una gran proporción (52,6%) también lo había hecho tras un consumo más fuerte de alcohol (más de cuatro unidades) (Figura 6.2). De acuerdo con el test AUDIT, una unidad de alcohol corresponde a distintas cantidades dependiendo del tipo de bebida alcohólica del que se trate). En cuanto al cannabis, los resultados fueron similares, con un 55% indicando que había conducido tras fumar esta sustancia. Tal es la situación, que un 15% dijo haber fumado cannabis incluso mientras conducía. En cuanto a la combinación de alcohol y cannabis, el 25% dijo haber conducido tras consumir ambas sustancias, aunque en estas ocasiones, el 100% de los participantes consumía menos de cuatro unidades de alcohol (Figura 6.2).

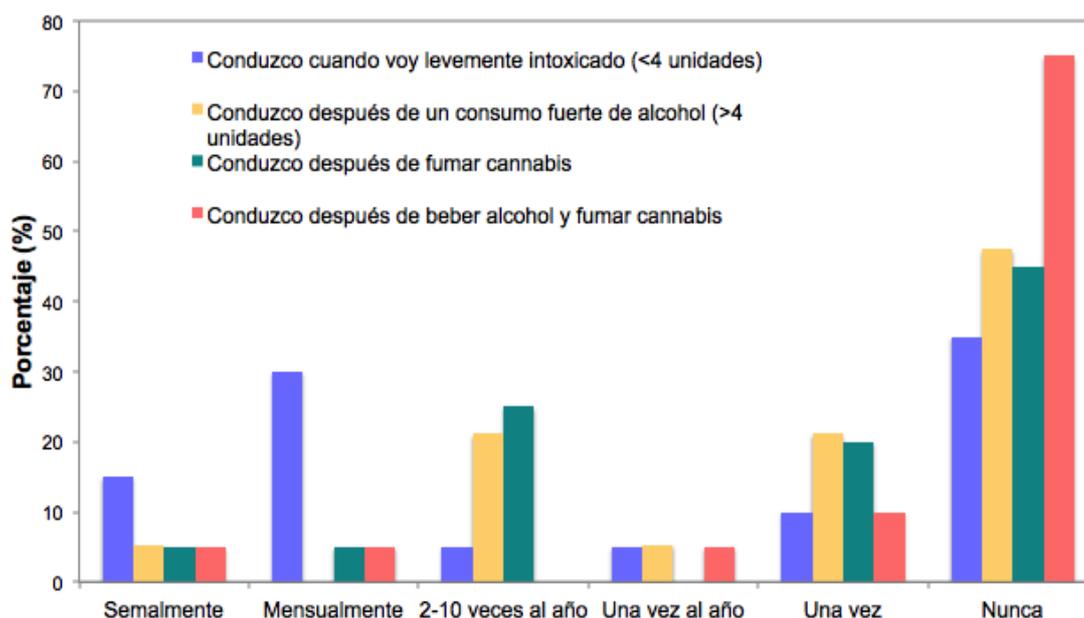


Figura 6.2. Frecuencia con la que los participantes de la muestra dijeron conducir bajo los efectos del alcohol o el cannabis.

A pesar del alto porcentaje de personas que consumen alcohol y conducen en nuestra muestra, el 100% opinaba que consumir más de 4 unidades afecta negativamente a su conducción; un 55% dijo que empeoraba un poco, mientras que un 45% opinaba que empeoraba mucho. En cuanto al cannabis, la percepción de riesgo es menor, un 5% opinaba que su conducción no empeora tras consumir cannabis, mientras que un 65% piensa que empeora un poco y un 30% que empeora mucho. Además, estos dos últimos grupos consideran que tras el consumo su conducción se vería afectada durante una media de dos horas. Durante la intoxicación experimentan menor velocidad de reacción (79%), problemas de concentración y atención (63,3%), somnolencia (58,1%), fatiga (15,8%), problemas de visión (10,6%), sensibilidad a la luz (5,30%), problemas en la visión del color (5,3%), peor coordinación (5,3%) y conductas agresivas (5,3%).

6.3.4.2. Índice de Conducción de Riesgo Dula (Dula Dangerous Driving Index, DDDI)

Dentro de las cuestiones realizadas en el DDDI, el ítem con mayor puntuación fue

“considero las acciones de otros conductores inapropiadas o estúpidas” ($2,85 \pm 0,67$), correspondiente a la subescala NCE (Conducción Cognitiva/Emocional Negativa - Negative Cognitive/Emotional Driving). Por otro lado, el ítem con menor puntuación fue el correspondiente a la subescala RD (Conducción de Riesgo - Risky Driving), *“compito con otros conductores para salir antes de los semáforos”* ($1,05 \pm 0,22$).

Si analizamos por subescalas, para la NCE, el sentimiento negativo más frecuente fue *“considero las acciones de otros conductores inapropiadas o estúpidas”*, mientras que el hecho menos frecuente fue *“los pasajeros de mi coche me dicen que me tranquilice”*. Para la subescala de Conducción Agresiva (AD), los comportamientos más frecuentes fueron *“insulto verbalmente a los conductores que me enfandan o molestan”* y *“me enfado mucho cuando me quedo atrapado en un atasco”*. El comportamiento con menor puntuación en esta escala fue *“podría seguir a conductores que me enfadan”*. Por último, para la subescala RD (Conducción de Riesgo), el comportamiento más frecuente fue *“cuando el tráfico es lento, me voy moviendo a carriles más rápidos”* mientras que el menos frecuente fue *“conduzco por el arcén o la mediana para salir de un atasco”*. La puntuación media por subescala fue más alta para NCE ($2,08 \pm 0,59$), seguida de la subescala RD ($1,55 \pm 0,66$) y por último AD ($1,42 \pm 0,36$). Esto indica que en nuestra muestra existe una mayor incidencia de pensamientos o sentimientos negativos durante la conducción que de comportamientos de riesgo o agresivos (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Puntuaciones obtenidas en los ítems del cuestionario Índice de Conducción de Riesgo de Dula (DDDI). Para cada ítem se indican los porcentajes según frecuencia y la puntuación media \pm DE. Para cada subescala se muestra la puntuación total promedio \pm DE.

	Índice de conducción de riesgo Dula (DDDI)	1=Nunca					2					3					4					5=Siempre					Media \pm DE					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5						
NCE1	Conduzco cuando estoy enfadado o alterado	30%	15%	20%	15%	20%	30%	35%	5%	0%	0%	60%	15%	70%	10%	0%	85%	10%	0%	5%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	45%	30%	15%	5%	5%	1,80 \pm 1,54
NCE2	Pierdo los papeles cuando conduzco	60%	35%	5%	0%	0%	60%	35%	5%	0%	0%	60%	35%	5%	0%	0%	60%	35%	5%	0%	0%	60%	35%	5%	0%	0%	60%	35%	5%	0%	0%	1,45 \pm 0,61
NCE3	Considero las acciones de otros conductores inapropiadas o estúpidas	5%	15%	70%	10%	0%	5%	15%	70%	10%	0%	5%	15%	70%	10%	0%	5%	15%	70%	10%	0%	5%	15%	70%	10%	0%	5%	15%	70%	10%	0%	2,85 \pm 0,67
AD4	Echo las luces para indicar a otros conductores que estoy irritado	85%	10%	0%	5%	0%	85%	10%	0%	5%	0%	85%	10%	0%	5%	0%	85%	10%	0%	5%	0%	85%	10%	0%	5%	0%	85%	10%	0%	5%	0%	1,25 \pm 0,72
AD5	Hago gestos groseros (ej. hacer "una peineta", gritar insultos o maldiciones) hacia los conductores que me molestan	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	75%	25%	0%	0%	0%	1,25 \pm 0,44
AD6	Insulto verbalmente a los conductores que me enfadan o molestan	45%	30%	15%	5%	5%	45%	30%	15%	5%	5%	45%	30%	15%	5%	5%	45%	30%	15%	5%	5%	45%	30%	15%	5%	5%	45%	30%	15%	5%	5%	1,95 \pm 1,15
AD7	Uso mi coche para bloquear deliberadamente a los conductores que me siguen	80%	15%	5%	0%	0%	80%	15%	5%	0%	0%	80%	15%	5%	0%	0%	80%	15%	5%	0%	0%	80%	15%	5%	0%	0%	80%	15%	5%	0%	0%	1,25 \pm 0,55
AD8	Podría seguir a conductores que me enfadan	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	1,10 \pm 0,45
RD9	Compio con otros conductores para salir antes de los semáforos	95%	5%	0%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%	95%	5%	0%	0%	0%	1,05 \pm 0,22
RD10	Adelantaría ilegalmente a un vehículo que va demasiado lento	30%	45%	25%	0%	0%	30%	45%	25%	0%	0%	30%	45%	25%	0%	0%	30%	45%	25%	0%	0%	30%	45%	25%	0%	0%	30%	45%	25%	0%	0%	1,95 \pm 0,76
AD11	Creo que es mi derecho responder de alguna forma si otro conductor se muestra agresivo conmigo	30%	50%	15%	5%	0%	30%	50%	15%	5%	0%	30%	50%	15%	5%	0%	30%	50%	15%	5%	0%	30%	50%	15%	5%	0%	30%	50%	15%	5%	0%	1,95 \pm 0,83
NCE12	Me enfado mucho cuando me quedo atrapado en un atasco	45%	35%	10%	10%	0%	45%	35%	10%	10%	0%	45%	35%	10%	10%	0%	45%	35%	10%	10%	0%	45%	35%	10%	10%	0%	45%	35%	10%	10%	0%	1,85 \pm 0,99
RD13	Intento llegar antes que un tren que va lento hacia un paso de vía	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	95%	0%	5%	0%	0%	1,10 \pm 0,45
RD14	Cuando el tráfico es lento, me voy moviendo a carriles más rápidos	25%	40%	20%	10%	5%	25%	40%	20%	10%	5%	25%	40%	20%	10%	5%	25%	40%	20%	10%	5%	25%	40%	20%	10%	5%	25%	40%	20%	10%	5%	2,30 \pm 1,13
RD15	Conduzco si estoy levemente intoxicado o borracho	45%	35%	20%	0%	0%	45%	35%	20%	0%	0%	45%	35%	20%	0%	0%	45%	35%	20%	0%	0%	45%	35%	20%	0%	0%	45%	35%	20%	0%	0%	1,75 \pm 0,79
AD16	Cuando alguien me bloquee, siento que puedo castigarle o "devolvérsela"	90%	0%	10%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	1,20 \pm 0,62
NCE17	Me siento impaciente y enfadado cuando me retraso o llego tarde conduciendo	10%	45%	35%	5%	5%	10%	45%	35%	5%	5%	10%	45%	35%	5%	5%	10%	45%	35%	5%	5%	10%	45%	35%	5%	5%	10%	45%	35%	5%	5%	2,50 \pm 0,95
NCE18	Los pasajeros de mi coche me dicen que me tranquilice	80%	20%	0%	0%	0%	80%	20%	0%	0%	0%	80%	20%	0%	0%	0%	80%	20%	0%	0%	0%	80%	20%	0%	0%	0%	80%	20%	0%	0%	0%	1,20 \pm 0,41
NCE19	Me enfado cuando el vehículo de delante va más despacio o freno sin razón	15%	45%	25%	10%	5%	15%	45%	25%	10%	5%	15%	45%	25%	10%	5%	15%	45%	25%	10%	5%	15%	45%	25%	10%	5%	15%	45%	25%	10%	5%	2,45 \pm 1,10
RD20	Cruzo la línea continua para ver si puedo adelantar a un vehículo lento	50%	40%	10%	0%	0%	50%	40%	10%	0%	0%	50%	40%	10%	0%	0%	50%	40%	10%	0%	0%	50%	40%	10%	0%	0%	50%	40%	10%	0%	0%	1,60 \pm 0,68
RD21	Pienso que estoy en mi derecho de llegar lo antes posible a mi destino	65%	25%	10%	0%	0%	65%	25%	10%	0%	0%	65%	25%	10%	0%	0%	65%	25%	10%	0%	0%	65%	25%	10%	0%	0%	65%	25%	10%	0%	0%	1,45 \pm 0,69

Tabla 6.3 (continuación). Puntuaciones obtenidas en los ítems del cuestionario Índice de Conducción de Riesgo de Dula (DDD). Para cada ítem se indican los porcentajes según frecuencia y la puntuación media \pm DE. Para cada subescala se muestra la puntuación total promedio \pm DE

	Índice de conducción de riesgo Dula (DDD)	1=Nunca	2	3	4	5=Siempre	Media \pm DE
NCE22	<i>Creo que los conductores pasivos deberían aprender a conducir o quedarse en casa</i>	45%	40%	5%	5%	5%	1,85\pm1,01
RD23	<i>Conduzco por el arcén o la mediana para salir de un atasco</i>	100%	0%	0%	0%	0%	1,00\pm0,00
RD24	<i>Cuando adelanto en una carretera de doble carril, no me doy cuenta si viene un coche por el carril contrario</i>	70%	20%	10%	0%	0%	1,40\pm0,68
RD25	<i>Conduzco cuando estoy bebido</i>	70%	25%	0%	5%	0%	1,40\pm0,75
NCE26	<i>Creo que puedo perder los nervios si tengo que enfrentarme a otro conductor</i>	45%	40%	10%	5%	0%	1,75\pm0,85
RD27	<i>Considero que corro riesgos</i>	40%	25%	25%	5%	5%	2,10\pm1,17
RD28	<i>Creo que la mayoría de las leyes de tráfico podrían ser consideradas como sugerencias</i>	50%	45%	5%	0%	0%	1,55\pm0,61
PUNTUACIÓN TOTAL							47,70\pm10,04
PUNTUACIÓN NCE (Conducción Cognitiva/Emocional negativa)							14,30\pm3,92
PUNTUACIÓN AD (Conducción Agresiva)							9,95\pm3,10
PUNTUACIÓN RD (Conducción de Riesgo)							19,05\pm3,53

6.3.4.3 Correlaciones entre los datos de los cuestionarios

La Tabla 6.4 muestra las correlaciones de Spearman para los datos obtenidos sobre el perfil demográfico y de consumo, y la incidencia de comportamientos de riesgo al volante. Se han obtenido correlaciones significativas entre el uso de cannabis y el género, existiendo una relación entre el género masculino y una mayor frecuencia de consumo de cannabis ($\rho=-0,509$; $p=0,022$). Confirmando este hallazgo, los resultados también muestran que ser un hombre estaba significativamente asociado con una mayor puntuación en el test CUDIT-R ($\rho=-0,047$; $p=0,048$). Además, aquellos que más conducen son los que lo hacen más a menudo bajo los efectos del cannabis (DUIC) ($\rho=0,481$; $p=0,032$).

Por otro lado, cabe destacar que un consumo más fuerte de cannabis estaba significativamente correlacionado con una puntuación total más alta en el DDDI ($\rho=0,591$; $p=0,006$) y en particular, con la subescala de *Conducción Cognitiva/Emocional Negativa (NCE)* ($\rho=0,591$; $p=0,006$). Además, una mayor puntuación en el test AUDIT estaba significativamente correlacionado con una mayor puntuación en la subescala de *Conducción de Riesgo (RD)* ($\rho=0,670$; $p=0,001$), indicando que las personas con un consumo de alcohol más pernicioso adoptan comportamientos de riesgo al volante con mayor frecuencia. Del mismo modo, la puntuación obtenida del CUDIT-R mostró una correlación significativa con la puntuación global del DDDI ($\rho=0,674$; $p=0,001$), indicando que los sujetos con un consumo más fuerte de cannabis muestran más comportamientos peligrosos al volante. En concreto, aquellas personas con mayores puntuaciones en el CUDIT-R adoptaban con mayor frecuencia los comportamientos englobados en las subescalas *Conducción Cognitiva/Emocional Negativa* ($\rho=0,524$; $p=0,018$) y *Conducción de Riesgo* ($\rho=0,476$; $p=0,034$). Finalmente, es importante destacar que el número de accidentes declarados estaba significativamente correlacionado con la subescala del DDDI sobre *Conducción Agresiva* ($\rho=0,469$; $p=0,037$), por lo que este tipo de comportamientos al volante podrían ser los más peligrosos.

Tabla 6.4. Correlaciones de Spearman obtenidas para los datos de los cuestionarios.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Edad	-											
2 Género	-0,113	-										
3 Uso de cannabis (mensual)	-0,214	-0,509*	-									
4 Años antigüedad permiso	0,909**	-0,020	-0,242	-								
5 Frecuencia de conducción (mensual)	-0,188	0,138	0,029	-0,219	-							
6 Frecuencia DUIIC	0,052	-0,213	0,559*	0,060	0,481*							
7 AUDIT	-0,177	-0,071	0,332	-0,038	-0,459*	-0,250	-					
8 CUDIT-R	0,054	-0,447*	0,735**	0,001	-0,233	0,295	0,549*	-				
9 Accidentes (año anterior)	0,099	-0,243	0,101	0,122	-0,219	-0,142	0,135	0,012	-			
10 Puntuación DDDI	-0,074	-0,241	0,591**	-0,063	-0,199	-0,024	0,553*	0,674**	0,377	-		
11 Puntuación NCDE	-0,131	-0,344	0,591**	-0,154	-0,313	-0,044	0,369	0,524*	0,356	0,644**	-	
12 Puntuación AD	-0,006	-0,031	0,278	0,107	0,024	-0,046	0,248	0,289	0,469*	0,611**	0,293	-
13 Puntuación RD	-0,127	-0,131	0,371	-0,009	-0,255	-0,097	0,670**	0,476*	0,392	0,852**	0,415	0,540*

Notas: Género: hombre = 1; mujer = 2; AUDIT = Test de detección de desórdenes en el consumo de alcohol; CUDIT-R = Test revisado de detección

de desórdenes en el consumo de cannabis; DDDI = Índice de conducción peligrosa; NCDE = Conducción Cognitiva/Emocional Negativa;

AD = Conducción Agresiva; RD = Conducción de Riesgo

*p< 0,05; **p< 0,01

6.4. Discusión y conclusiones

6.4.1. Conducción bajo los efectos del cannabis. Efectos visuales y consecuencias para la conducción

Los datos presentados en este estudio sugieren que fumar cannabis deteriora significativamente el rendimiento en la conducción, principalmente la habilidad para mantener la posición del coche en el carril. En trabajos anteriores la SDLP ha mostrado ser una medida válida para reflejar el grado de empeoramiento en la conducción (Ramaekers et al., 2006; Verster y Roth, 2014), y específicamente aquel asociado al consumo de THC (Hartman et al., 2015; Micallef et al., 2018; Ramaekers et al., 2000). Otros autores han presentado aumentos en esta variable de entre 2,5 y 3,5 cm en conducción real (Ramaekers et al., 2000), y sobre 2,5 cm en conducción simulada (Hartman et al., 2015). En nuestro trabajo, fumar cannabis suponía un aumento de la SDLP más acentuado (5 cm), cantidad que podría considerarse como un empeoramiento severo según otros autores (Oviedo-Trespalacios et al., 2018a; Ramaekers et al., 2000; Robbe, 1998). Es importante mencionar que los distintos estudios no emplean la misma metodología en cuanto a la dosis, vía de administración y los tiempos transcurridos tras el consumo, causando así la falta de uniformidad en los resultados obtenidos. Además, las características del recorrido empleado también influyen, con SDLPs mucho mayores para vías con trazados sinuosos (Downey et al., 2013; Papafotiou et al., 2005). El empeoramiento en la estabilidad aumentó la distancia recorrida fuera del carril, lo cual es consistente con trabajos anteriores (Downey et al., 2013). Esta cuestión puede ser especialmente peligrosa en vías estrechas o sinuosas, con tráfico en el sentido contrario, como las vías interurbanas o las rurales, suponiendo un mayor riesgo de accidentes.

A pesar de ello, en nuestro estudio las colisiones no aumentaron de manera significativa, confirmando el hallazgo de un estudio anterior realizado con simulador (Downey et al., 2013). Dos recientes meta-análisis de estudios epidemiológicos observacionales han encontrado que el uso de cannabis dobla el riesgo de accidentes (Asbridge et al., 2012; Hostiuc et al., 2018). Sin embargo un meta-análisis posterior incluyendo, entre otros, los dos estudios anteriormente citados, no encontró esta asociación (Ramaekers et al., 2000; Robbe, 1998), por lo que esta cuestión aún requiere más investigaciones.

Los resultados de este trabajo confirman los obtenidos por otros estudios, ya que encontramos que fumar THC no induce un aumento significativo en el tiempo de reacción (Ramaekers et al., 2000; Robbe, 1998). La velocidad media fue similar en ambas condiciones para todo el recorrido, incluso con leves aumentos en la condición de consumo de THC, al contrario que en otros estudios donde su consumo estaba asociado con una disminución en la velocidad, quizás como un mecanismo compensatorio para reducir el riesgo asociado (Downey et al., 2013). Finalmente, el índice general de rendimiento en la conducción mostró un deterioro significativo con el consumo de cannabis, en contra del resultado encontrado en otro trabajo que empleaba otro tipo de puntuación general para la conducción, basada en errores (Downey et al., 2013).

La mayoría de los trabajos enfocados en las consecuencias visuales derivadas del consumo de cannabis discuten sus implicaciones para la conducción, sin embargo no existen estudios que hayan analizado la relación entre ambos aspectos. La visión es esencial para conducir, y nuestros resultados sugieren que este mecanismo sensorial no está exento de los efectos de esta droga. Su consumo redujo de forma significativa la agudeza visual estática, al contrario de lo que encontraron Adams et al., (1975a). Sin embargo, estos autores encontraron reducciones en la agudeza visual dinámica tras el consumo de alcohol y cannabis (Adams et al., 1975b), y en el mismo año otros autores indicaron que el cannabis podría generar vision borrosa (Noyes et al., 1975). Nuestros resultados apoyan esta idea y, además, la AV ha sido significativamente correlacionada con el rendimiento general en la conducción (ODPS). El entorno de la conducción se compone de diferentes estímulos, y su dinamismo hace que estos cambien constantemente, presentando distintos tamaños y contrastes. Estudios anteriores en sujetos con agudeza visual alterada han encontrado una relación entre el deterioro de este parámetro visual y una peor ejecución en tareas de la conducción como la detección de señales y obstáculos (Higgins et al., 1998; Higgins y Wood, 2005; Owsley y McGwin, 2010), o la SDLP (Szlyk et al., 1995a). El deterioro en la agudeza visual tras el consumo podría afectar a la correcta integración de la información visual de la carretera, empeorando así la estabilidad en el carril. La agudeza visual permite una correcta discriminación de los estímulos, sin embargo, para la conducción también es fundamental su correcta localización espacial. Esta cuestión se confirmó con nuestros resultados respecto a la estereoagudeza, que además de empeorar significativamente tras fumar cannabis, ha mostrado correlaciones significativas con varios parámetros (SDLP y distancia recorrida fuera de los límites del carril). Aunque no existen datos anteriores sobre el efecto del

THC en la estereoagudeza, varios estudios han indicado una influencia de esta droga en la aparición de un fenómeno relacionado con la visión tridimensional, la ilusión de inversión de profundidad binocular (BDII) (Yellott, 1981). Los resultados encontrados con respecto a la BDII han mostrado una reducción de su aparición bajo los efectos del cannabis (Emrich et al., 1997; Emrich et al., 1991; Leweke et al., 1999) y en consumidores regulares de esta droga (Semple et al., 2003). Aunque a día de hoy no es conocida la causa, se ha sugerido que esta reducción podría deberse a un cambio en el funcionamiento de distintas estructuras cerebrales involucradas en el proceso de gestión de la información sensorial para su interpretación (Lundqvist et al., 2001; Yazulla, 2008). Estos mismos cambios podrían ser los responsables del empeoramiento de la visión tridimensional (estereoagudeza) encontrado en este estudio. Si le añadimos el efecto que produce en las habilidades motoras (Huestegge et al., 2010), se podría esperar el aumento encontrado en la distancia recorrida fuera del carril, resultado que es congruente con estudios anteriores (Downey et al., 2013; Gupta et al., 2005; Papafotiou et al., 2005).

El último parámetro visual significativamente correlacionado con la conducción fue la sensibilidad al contraste. Específicamente, la SC estaba significativamente correlacionada con la distancia recorrida invadiendo el arcén. Bajo los efectos del cannabis, los participantes mostraron una reducción media del 8% en la SC ($p < 0,05$). Este resultado está en la misma línea que los de dos recientes trabajos que han indicado deterioros permanentes en la SC de consumidores de cannabis (Lalanne et al., 2017; Mikulskaya y Martin, 2018). Por lo tanto, las evidencias sugieren que el THC impacta en las primeras etapas del procesamiento de la información visual, debido quizás a la presencia de receptores cannabinoideos CB1 en la retina (Schwitzer et al., 2015; Straiker et al., 1999). Trabajos anteriores han demostrado que la SC es de gran importancia en la conducción, encontrando una relación entre ambos aspectos (Wood, 2002; Wood y Carberry, 2006). En los conductores con SC disminuida destacan los problemas en el reconocimiento de estímulos de la carretera (Wood, 2002; Wood y Carberry, 2006), y en otro de nuestros trabajos, hemos encontrado correlaciones significativas entre una SC más pobre y peor SDLP (*Capítulo 5*).

Aunque la precisión en la respuesta acomodativa disminuyó después de fumar cannabis, no encontramos ninguna correlación con los parámetros de conducción. Puede que esta falta de correlaciones significativas se deba a que fumar cannabis sólo alteró significativamente la

acomodación para 0,2 m, una distancia menos relevante para la conducción. Sin embargo, se considera que una adecuada respuesta acomodativa es importante para esta tarea porque un conductor está continuamente acomodando y desacomodando, por ejemplo, para enfocar a la carretera y el salpicadero. De hecho, se ha visto que conducir durante un periodo prolongado de tiempo disminuye la respuesta acomodativa (aumentando el lag acomodativo), como consecuencia de la fatiga visual (Vera et al., 2016). Finalmente, fumar THC redujo significativamente el tamaño pupilar en el nivel escotópico. Brown et al., (1977) encontraron también un menor tamaño pupilar en un nivel de iluminación fotópico bajo, pero otros trabajos han encontrado mayores tamaños de pupila (Korzyn, 1980). Esta cuestión necesita ser aclarada para poder discutir sus potenciales efectos en la conducción, específicamente en condiciones nocturnas (Castro et al., 2014b).

6.4.2. Conducción bajo el efecto del cannabis (DUIC): riesgo percibido y comportamientos al volante

Nuestros resultados reflejan que el 65% de los participantes indicaron haber conducido tras consumir pequeñas cantidades de alcohol (menos de cuatro unidades), y un 52,5% lo había hecho incluso después de un consumo fuerte (más de cuatro unidades). Sin embargo, el 100% de ellos pensaba que su conducción se ve negativamente afectada por el alcohol. Curiosamente, los datos revelan que la percepción de riesgo asociado al consumo de cannabis en la conducción es menor, ya que aunque el 55% de los participantes ha conducido tras consumir cannabis (DUIC), un 5% pensaba que su conducción no empeora y un 65% pensaba que empeora sólo un poco. En España, el porcentaje de personas que conducen en estas circunstancias (DUIC) parece ser más alto que en otros países como Estados Unidos o Canadá, aunque en este último se ha visto que entre los jóvenes es más común conducir bajo los efectos del cannabis que después de haber tomado alcohol (Berning et al., 2015; Fergusson et al., 2008).

Algunos estudios han encontrado una vinculación entre DUIC y un estilo de conducción peligroso en su vida diaria (Bergeron y Paquette, 2014). En general, las puntuaciones promedio encontradas para cada subescala del DDDI en nuestro estudio son más bajas que las encontradas por otros autores (Anderson et al., 2010; Zhang et al., 2018). No obstante, el análisis de correlaciones de los datos obtenidos en los cuestionarios mostró algunas asociaciones

interesantes. Nuestros resultados confirman que los hombres presentan un consumo más fuerte de cannabis, algo que ya era conocido (Calakos et al., 2017). Además las correlaciones indicaron que aquellas personas con un uso más fuerte de alcohol y cannabis adoptan un estilo de conducción más arriesgado. En concreto, los consumidores más frecuentes de cannabis mostraron tener más comportamientos que implican negatividad cognitiva/emocional durante la conducción, y los consumidores más frecuentes de alcohol eran más propensos a mostrar comportamientos de riesgo. Estos hallazgos coinciden con los de otros autores, en cuyos trabajos han encontrado que las personas que conducen bajo los efectos del cannabis (DUIC), tienen un estilo de conducción más arriesgado en su vida diaria (Bédard et al., 2007; Fergusson et al., 2008), empleando también el DDDI (Bergeron y Paquette, 2014). En el trabajo de Bergeron y Paquette, (2014), los autores no encontraron una relación entre el aumento de comportamientos de riesgo y los accidentes de tráfico. Sin embargo, en nuestro estudio la puntuación de la subescala de Conducción Agresiva estaba correlacionada positivamente con el número de accidentes en el año anterior. Un reciente estudio que empleó el DDDI concluyó que los sesgos emocionales negativos podían explicar una tendencia hacia un estilo de conducción peligrosa y un mayor riesgo de accidentes (Chai et al., 2016). Nuestros resultados además sugieren que algunos comportamientos peligrosos están más unidos a los accidentes de tráfico que otros.

6.4.3. Limitaciones del estudio

Este estudio tiene una serie de limitaciones metodológicas que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados. Primero, como se ha descrito en capítulos anteriores el uso de un simulador de conducción hace imposible capturar con total fidelidad el realismo de la conducción. No obstante, existen evidencias que apoyan la validez de los simuladores con respecto a la conducción real (Bédard et al., 2010; Meuleners y Fraser, 2015). Estos dispositivos permiten trabajar en condiciones adecuadas de seguridad y con situaciones completamente controladas, lo cual sería imposible en condiciones reales y es de gran importancia en estudios como éste por razones éticas. En segundo lugar, el hecho de que cada participante consumiera el cigarillo con THC como lo hacían habitualmente no nos permite establecer una relación entre dosis y efecto. No medir la concentración en sangre tampoco nos permite relacionarlo con el efecto en la visión y conducción. Sin embargo, la relación entre dosis, concentración en sangre y efecto no es lineal (Grotenhermen, 2003; Hunault et al., 2008). Además, nuestro objetivo era

estudiar las consecuencias que tiene sobre la visión y la conducción un consumo habitual que cualquier participante podría realizar en un día normal, pudiendo así relacionar ambos aspectos desde una perspectiva real. Nuestros resultados podrían servir como punto de partida para futuros trabajos que incluyan distintas dosis, o diferentes vías de administración.

6.4.4. Conclusiones

En resumen, este trabajo muestra que el consumo de cannabis tiene un efecto negativo en la función visual y el rendimiento en la conducción. En parte, el deterioro observado en la conducción podría ser debido al empeoramiento visual, dado que la mayor parte de la información integrada en la conducción es capturada por el sistema visual. Se han encontrado algunas correlaciones significativas entre los parámetros visuales y de conducción, la mayoría respecto a la estabilidad en el carril. En esta actividad, un estado visual apropiado es esencial y nuestros resultados destacan la importancia de parámetros como la agudeza visual, la sensibilidad al contraste o la estereogageza para mantener una posición apropiada del vehículo en el carril, una tarea importante para mantener la seguridad. Por otro lado, aunque las puntuaciones obtenidas en las diferentes subescalas del Índice de Conducción de Riesgo de Dula (DDDI) son más bajas que en otros trabajos, los datos demográficos y de perfil de consumo han revelado asociaciones significativas entre un uso más fuerte de cannabis y comportamientos peligrosos al volante. Los resultados también sugieren una falta de conciencia de los riesgos asociados al consumo de cannabis en la conducción, dado que una parte considerable de la muestra ha conducido tras fumar cannabis, y la mayoría piensa que éste sólo afecta un poco a su capacidad para conducir. Por ello, las campañas de concienciación e información siguen siendo muy necesarias en la población, así como realizar investigaciones en este área que permitan conocer adecuadamente cómo afecta esta droga tanto a la visión, a corto y largo plazo, como a la seguridad en la conducción.

CAPÍTULO 7

Factores que determinan la autorregulación de la velocidad durante la conducción bajo distracción (WhatsApp). Influencia de la calidad visual (Estudio 5)

7.1. Introducción

Para conducir un vehículo hemos de gestionar de manera dinámica nuestras habilidades cognitivas, motoras y visuales. Las distracciones irrumpen en esta tarea frecuentemente, mientras que el conductor tiene que distribuir sus recursos para promover la seguridad. Existen distintas fuentes de distracción, desde dentro del propio vehículo (Horberry et al., 2006) hasta en el entorno por el que circulamos (Edquist et al., 2011; Horberry et al., 2006). En España, la distracción causó el 32% de los accidentes registrados en 2018, destacando el uso del teléfono móvil como el principal distractor (DGT, 2019). Alrededor del 40% de los conductores españoles admiten enviar mensajes mientras conducen (Prat et al., 2017), aunque éste es un problema muy extendido, ya que también se han encontrado altos porcentajes en otros países como Estados Unidos (~60%) (Gliklich et al., 2016) o Australia (33.5%) (Oviedo-Trespalacios, 2018). A pesar de estar prohibido su uso durante la conducción, se espera que esta tendencia continúe e incluso aumente en los próximos años. Esto es debido a la emergencia de las aplicaciones de mensajería instantánea como WhatsApp, que han asumido un papel principal en nuestras comunicaciones diarias, ofreciendo al usuario un dinamismo mucho mayor que los antiguos mensajes de texto (SMS) (Montag et al., 2015).

Las investigaciones realizadas en este campo han destacado de forma reiterada los efectos negativos de escribir mensajes sobre el rendimiento en la conducción (Caird et al., 2014; Ortiz et al., 2018; Yannis et al., 2014). Este comportamiento dobla el riesgo de accidente (Yannis et al., 2016), a pesar de que los conductores suelen auto-regular su conducción en estas circunstancias. La auto-regulación es la estrategia dinámica que usan los conductores para gestionar la demanda de recursos requerida para controlar el vehículo y realizar la tarea secundaria, dando prioridad a la primera y minimizando así el riesgo en la medida de lo posible (Becic et al., 2010). Auto-regular la conducción durante la distracción incluye operaciones como prestar menos atención a la tarea secundaria (Becic et al., 2010), sobre-correr la posición del vehículo (Ortiz et al., 2018; Oviedo-Trespalacios et al., 2018a), y sobre-correr o reducir la velocidad (Becic et al., 2010; Oviedo-Trespalacios et al., 2018a; Yannis et al., 2014). La reducción de la velocidad es una estrategia comúnmente observada en todos los tipos de distracción por el teléfono móvil (Caird et al., 2014; Choudhary y Velaga, 2017; Törnros y Bolling, 2005; Yannis et al., 2014), debido a

la dificultad que se experimenta para conducir el vehículo cuando se está realizando esta tarea secundaria (Lewis-Evans y Rothengatter, 2009).

Sin embargo, parece que existen otros factores que influyen en la gestión de recursos durante la distracción y los comportamientos resultantes. El modelo para la interfaz tarea-capacidad, desarrollado por Fuller et al., (2008) indicaba que la gestión de la velocidad es el resultado de combinar la influencia del vehículo, el entorno y el conductor. Con respecto al entorno, algunos estudios han mostrado que los conductores reducen su velocidad en función de ciertas características de la carretera (Charlton et al., 2014; Oviedo-Trespalacios et al., 2017b; Oviedo-Trespalacios, 2018), en situaciones de mucho tráfico (Fitch et al., 2017, 2015), y en entornos con gran carga de información visual, como las vías urbanas (Oviedo-Trespalacios et al., 2017b; Yannis et al., 2014). De forma similar, algunos hallazgos han sugerido que características del conductor como la edad, el género u otras cuestiones personales también determinan la selección de la velocidad (Horberry et al., 2006; Oviedo-Trespalacios et al., 2017b). Cuando conducimos, tenemos que realizar búsquedas precisas en entornos cargados de información (y/o ruido) visual para responder de forma rápida y efectiva, lo cual puede ser vital para preservar nuestra seguridad. También auto-regulamos la velocidad de acuerdo a la información visual que encontramos en el entorno, por ejemplo, para ajustarnos a las señales, anticiparnos a posibles peligros, o adaptarnos a las condiciones del tráfico. Los conductores que tienen una capacidad visual reducida podrían tener más dificultad para detectar información visual dentro de un escenario complejo, por ejemplo, con cantidades considerables de “ruido” o desorden visual (Ho et al., 2001). El deterioro visual asociado al envejecimiento (Artal et al., 1993; Ortiz et al., 2013b; Owsley et al., 1983), aún cuando la agudeza visual es mucho mayor al límite legal requerido para conducir, podría tener un efecto. De hecho, distintos trabajos han mostrado que entre los conductores de edad avanzada, el deterioro visual es una de las principales causas de auto-regulación de la conducción. Estos conductores limitan su exposición a situaciones que perciben como más difíciles, como conducir en condiciones meteorológicas adversas, en vías con mucho tráfico o en vías de alta velocidad (Ball et al., 1998; Fraser et al., 2013b). Cuando escribimos un mensaje, un peor estado visual podría implicar perder la atención de la carretera durante más tiempo. Para compensarlo, los conductores con peor visión podrían reducir su velocidad en mayor medida como mecanismo compensatorio. Esta cuestión no ha sido explorada en las investigaciones anteriores sobre este tema.

El objetivo de este estudio fue investigar los comportamientos de auto-regulación, más específicamente la selección de la velocidad, cuando los conductores están distraídos por el uso de WhatsApp. Usar esta aplicación mientras se opera un vehículo en movimiento implica interacciones visuo-manuales, por lo que se estudió la influencia de distintos entornos y características del conductor, introduciendo por primera vez el estado visual como uno de los factores que pueden afectar a la gestión de la distracción al volante.

7.2. Metodología

7.2.1. Participantes

Setenta y cinco conductores (19-68 años) fueron incluidos en este estudio. Todos tenían buen estado de salud general y ninguna patología ocular. Los participantes debían tener una agudeza visual binocular igual o superior a 20/40, el límite legal establecido para conducir. Además, debían tener un permiso de conducir vigente con una antigüedad superior a un año y haber conducido al menos 1000 km durante el año anterior. Del mismo modo, todos los participantes eran usuarios habituales de la aplicación de mensajería instantánea WhatsApp (≥ 30 mensajes por día). La Tabla 7.1 muestra algunas características demográficas de los conductores incluidos en el estudio.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada (180/CEIH/2016). Antes de las sesiones experimentales todos los sujetos firmaron un consentimiento informado siguiendo las recomendaciones de la Declaración de Helsinki.

Tabla 7.1. Características socio-demográficas de la muestra (la variable continua edad se muestra como media \pm DE).

Características socio-demográficas		Media \pm DE / N (%)
Edad (años)		38,7 \pm 15,0
Género		
	Hombre	53 (70,7)
	Mujer	22 (29,3)
Experiencia escribiendo mensajes al volante		
0	<i>Nunca</i>	45 (60)
1	<i>1-2 veces al año</i>	6 (8)
2	<i>1-2 veces al mes</i>	10 (13,3)
3	<i>1-2 veces a la semana</i>	8 (10,7)
4	<i>A diario</i>	6 (8)
Incremento en el riesgo percibido durante la conducción		
0	<i>Nada</i>	0 (0)
1	<i>Ligeramente</i>	0 (0)
2	<i>Un poco</i>	1 (1,3)
3	<i>Bastante</i>	13 (17,3)
4	<i>Mucho</i>	61 (81,4)

7.2.2. Evaluación visual

La función visual de los participantes se evaluó con dos pruebas: agudeza visual (POLA VistaVision®, DMD Med Tech srl. Torino, Italy) y sensibilidad al contraste (CSV-1000, VectorVision, Ohio, USA). Los instrumentos y procedimientos empleados han sido descritos en capítulos anteriores. Todas las pruebas fueron realizadas con la corrección óptica que empleaban habitualmente para conducir.

7.2.3. Análisis de la conducción en el simulador: escenarios de carretera

La evaluación del rendimiento en la conducción se realizó con el simulador descrito en el *Capítulo 3*. Para el análisis de la influencia del entorno en la auto-regulación de la conducción, se

seleccionaron 10 escenarios dentro de las tres vías que componen el recorrido (autovía, carretera de montaña y ciudad). Estos escenarios combinaban distinta geometría de la carretera y diferente complejidad en el tráfico (Tabla 7.2 y Figura 7.1).

Tabla 7.2. Características de los diferentes escenarios de conducción seleccionados para el análisis.

Escenario	Tipo de carretera	Límite de velocidad (km/h)	Geometría de la carretera y complejidad del tráfico			
			Sentido del tráfico	Geometría de la carretera		Coches aparcados alrededor
				Trazado	Pendiente	
<i>1</i>	Autovía	120	Único	Recto	No	No
<i>2</i>	Autovía	120	Único	Curva suave	No	No
<i>3</i>	Carretera de montaña	90	Doble	Recto	Suave/ascendente	No
<i>4</i>	Carretera de montaña	90	Doble	Curva pronunciada	Suave/ascendente	No
<i>5</i>	Carretera de montaña	40	Doble	Recto	Suave/ascendente	No
<i>6</i>	Carretera de montaña	40	Doble	Curva pronunciada	Suave/ascendente	No
<i>7</i>	Carretera de montaña	90	Doble	Recto	Fuerte/ascendente	No
<i>8</i>	Carretera de montaña	90	Doble	Recto	Fuerte/descendente	No
<i>9</i>	Ciudad	50	Único	Recto	No	Si
<i>10</i>	Ciudad	50	Único	Recto	No	No

Los distintos tipos de carretera tenían diferentes límites de velocidad. La complejidad del tráfico hace referencia a la presencia de coches circulando en el mismo sentido y en sentido contrario. Por otro lado, la geometría de la carretera hace referencia al tipo de trazado (recto, curva suave,

curva cerrada) y a la presencia y tipo de pendiente (sin pendiente, pendiente suave, pendiente fuerte, ascendente o descendente). En el tramo de ciudad, se tuvo en cuenta si existían o no coches aparcados alrededor.

Para el análisis del rendimiento en la conducción, se seleccionó una longitud representativa de 100 m a lo largo de cada escenario. Este tipo de análisis ha sido aplicado previamente (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a) con éxito, ya que asegura que las condiciones de tráfico y la geometría de la carretera sean lo más uniformes posible a lo largo del segmento analizado, garantizando así que la conducción era estudiada bajo condiciones específicas. Además, debía existir una separación suficiente entre los distintos segmentos del recorrido empleados en el análisis, para asegurar que no exista una influencia del segmento anterior cuando el conductor se enfrenta al proceso de adaptación de su conducción a un nuevo escenario.

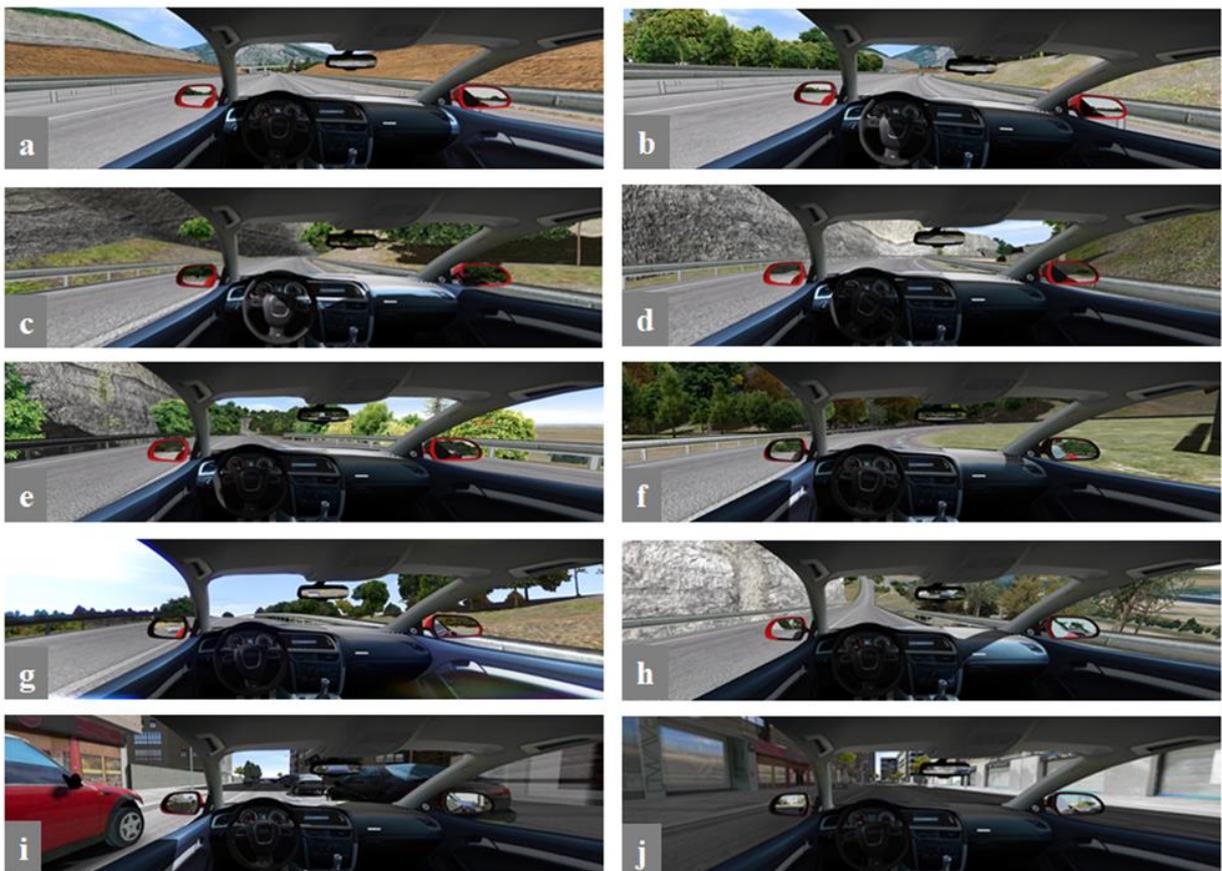


Figura 7.1. Imágenes de los diferentes escenarios de conducción seleccionados para el análisis (a-j corresponde con los escenarios 1-10).

7.2.3. Procedimiento

El entrenamiento, organización de las sesiones y características de los mensajes de WhatsApp enviados son los mismos que han sido descritos en el *Capítulo 5*. Estos mensajes (preguntas de conocimiento general), que requerían teclear entre 2 y 16 caracteres para su respuesta, eran enviados en puntos de la ruta estratégicamente seleccionados para que los participantes realizaran la tarea secundaria a lo largo de los 10 escenarios elegidos. Durante la sesión con distracción, el momento y punto de la ruta donde el conductor comenzaba y terminaba su interacción con el Smartphone era registrado. Así, nos asegurábamos de que los datos analizados en cada escenario correspondían con el momento en el que se estaba realizando la tarea secundaria. Los participantes conducían con el móvil apoyado en una plataforma a la derecha del volante cuando no interactuaban con él. Sin embargo, cuando leían o escribían mensajes, eran libres de manipularlo como lo hacieran habitualmente, por ejemplo, sujetándolo con las manos. Esto aumenta de forma importante la validez externa del experimento, ya que pretendíamos simular un uso real del teléfono durante la conducción. Además, empleaban su propio teléfono móvil para estar familiarizados con su manipulación y manejo.

7.2.4. Análisis estadístico

La auto-regulación de la velocidad fue estudiada por medio de la variable adaptación de la velocidad. Esta variable se extrajo para los diferentes escenarios y en ambas condiciones (sesiones sin y con distracción). Para este fin, se calculó la diferencia de la velocidad con respecto al límite en el tramo en el que circulaban (velocidad a la que circula – velocidad límite). Así, un valor negativo indica que el conductor circulaba por debajo de la velocidad límite, lo que sugiere una intención de preservar la seguridad (Oviedo-Trespalacios et al., 2017b).

El análisis de datos se completó en dos fases, con el software estadístico SPSS v.24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). En primer lugar, se realizó un análisis de conglomerados (clústers) en dos fases para clasificar a los participantes en distintas categorías de calidad visual. Esta técnica asigna a los participantes a un conglomerado minimizando la varianza dentro del propio conglomerado y maximizando la varianza entre los distintos conglomerados. El número de conglomerados fue seleccionado usando el criterio de información Aikake (AIC). La segunda fase del análisis estudió la reacción de los conductores en las distintas geometrías de carretera/complejidad del

tráfico usando un modelo mixto lineal generalizado (GLMM) con medidas repetidas (escenarios de carretera en la sesiones sin y con distracción). La variable dependiente “adaptación de la velocidad” no seguía una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov test), lo que motivó el uso de este tipo de análisis. La condición (sin y con distracción), el escenario de carretera, género, grupo de calidad visual, experiencia en escribir mensajes durante la conducción y el incremento percibido en el riesgo al escribir mensajes fueron incluidos como factores, y la edad como covariable. El uso de este modelo como una aproximación para analizar el rendimiento en la conducción ha sido verificado anteriormente (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a). El modelo mencionado tiene en cuenta las correlaciones resultantes de las múltiples observaciones de un mismo conductor, como es el caso de los datos experimentales de este estudio.

7.3. Resultados

7.3.1. Calidad visual: análisis de conglomerados (clúster)

El análisis de conglomerados en dos fases identificó dos grupos según su calidad visual. El valor de la silueta de cohesión y separación indicó una buena calidad del clúster, como muestra la Figura 7.2, obtenida al realizar el análisis estadístico. En la Tabla 7.3 se muestran los resultados, por los cuales la muestra fue clasificada en dos grupos de tamaño similar según su agudeza visual y sensibilidad al contraste: grupo de mejor y peor calidad visual. El t-test para muestras independientes reveló diferencias significativas entre los dos grupos identificados tanto para la agudeza visual como para la sensibilidad al contraste.

Tabla 7.3. Resultados del análisis de conglomerados (clúster) y el t-test comparando los dos grupos identificados.

Variables visuales	Análisis de conglomerados (clúster)		T-test		
	Mejor calidad visual	Peor calidad visual	t	gl	p-valor
Agudeza visual	-0,01 ± 0,04	-0,10 ± 0,02	-13,473	73	<0,001
Sensibilidad al contraste	1,80 ± 0,14	1,91 ± 0,09	4,179	65,46	<0,001
Tamaño del grupo	39 (52%)	36 (48%)	-	-	-

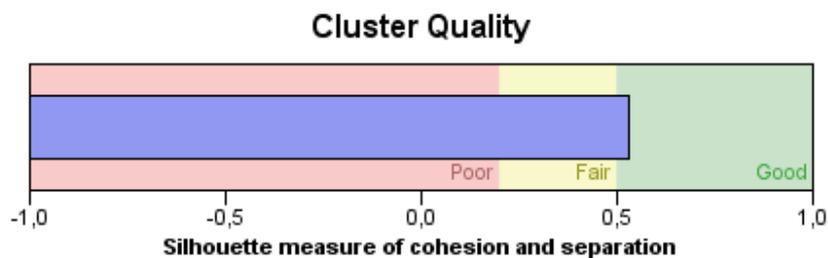


Figura 7.2. Medida de la calidad del clúster según la silueta de cohesión y separación.

7.3.2. Adaptación de la velocidad en las distintas condiciones y escenarios de carretera

En primer lugar se realizó un análisis descriptivo para comparar la adaptación de la velocidad en las distintas condiciones de conducción (sin y con distracción) y los escenarios en carretera. Estos resultados quedan resumidos en la Tabla 7.4.

Los participantes condujeron más despacio con respecto al límite de velocidad a lo largo de dos segmentos que tenían lugar en la carretera de montaña, los escenarios 3 y 4, lo que indica que no se sentían seguros circulando cerca de la velocidad límite (90 km/h). Sin embargo, el único momento en el que circularon por encima del límite de velocidad fue también en la carretera de montaña (escenario 5), un segmento recto con un límite de 40 km/h.

Tabla 7.4. Media \pm DE y t-test asociado comparando la adaptación de la velocidad en los diferentes escenarios de carretera en las sesiones sin y con distracción.

	(1) Sin distracción (km/h)	(2) Con distracción (km/h)	Diferencia de medias (1-2)	t	p-valor
Escenario 1: autovía, recto, VL 120 km/h	-1,05 \pm 11,87	-17,09 \pm 17,46	16,04	8,256	<0,001**
Escenario 2: autovía, curva suave, VL 120 km/h	-10,70 \pm 13,95	-17,46 \pm 15,05	6,76	3,462	0,001*
Escenario 3: montaña, recto, VL 90 km/h	-29,66 \pm 13,78	-38,77 \pm 11,52	9,11	4,484	<0,001**
Escenario 4: montaña, curva pronunciada, VL 90 km/h	-23,62 \pm 9,65	-31,94 \pm 11,18	8,32	5,512	<0,001**
Escenario 5: montaña, recto, VL 40 km/h	2,19 \pm 9,26	2,57 \pm 9,83	-0,38	-0,241	0,810
Escenario 6: montaña, curva pronunciada, VL 40 km/h	-0,99 \pm 6,49	-2,89 \pm 5,65	1,90	2,011	0,048*
Escenario 7: montaña, ascendente, VL 90 km/h	-17,41 \pm 6,49	-24,53 \pm 12,01	9,02	5,202	<0,001**
Escenario 8: montaña, descendente, VL 90 km/h	-0,98 \pm 12,07	-8,36 \pm 15,29	7,38	3,824	<0,001**
Escenario 9: ciudad, coches aparcados, VL 50 km/h	-17,37 \pm 8,28	-24,66 \pm 8,77	7,29	5,980	<0,001**
Escenario 10: ciudad, sin coches aparcados, VL 50 km/h	-8,45 \pm 13,58	-7,30 \pm 12,56	-1,15	-0,689	0,493

*p<0,05; **p<0,001; VL, velocidad límite;

Paradójicamente, en la autovía circularon más lentamente en el segmento con una curva suave (escenario 2) que en el segmento recto (escenario 1), aunque mientras iban distraídos condujeron a velocidades similares en ambas geometrías de carretera.

En los escenarios 7 y 8, los resultados mostraron que los conductores reducían sus velocidades en mayor medida para el segmento ascendente que para el descendente. Del mismo modo, los escenarios 9 y 10 evidenciaron que los participantes seleccionaron velocidades por debajo del límite en las zonas urbanas, conduciendo más lento en el segmento con coches aparcados alrededor (escenario 9).

Las diferencias entre sesiones (sin y con distracción) fueron analizadas con un t-test para muestras relacionadas. Los resultados (Tabla 7.4) indicaron que en general los participantes adaptaban su velocidad en mayor medida cuando estaban distraídos, conduciendo más lento que en la sesión sin distracción y, por tanto, más por debajo del límite de velocidad. Los únicos escenarios en los cuales no redujeron la velocidad de forma significativa e incluso la aumentaron mientras escribían mensajes fueron el escenario 5 (carretera de montaña, recto, VL 40 km/h) y el 10 (ciudad, recto, sin coches aparcados), los cuales podrían ser considerados los más simples del recorrido. Por otro lado, las diferencias de medias indicaron que el escenario que generó la mayor reducción de velocidad cuando se escribían mensajes de WhatsApp comparado con la sesión sin distracción fue el escenario 1 (autovía, recto, VL 120 km/h).

7.3.3. Influencia de la distracción, complejidad del tráfico y características del conductor: resultados del modelo mixto lineal generalizado (GLMM)

El GLMM fue empleado para identificar los posibles predictores de la auto-regulación de la velocidad. La variable dependiente incluida en el modelo fue la adaptación de la velocidad, y los posibles predictores eran los siguientes: la condición de conducción (sin y con distracción), el escenario de carretera (1-10) y las características del conductor (edad, género, calidad visual, experiencia escribiendo mensajes al volante e incremento en el riesgo percibido cuando se escriben mensajes). Para identificar si la calidad visual podría ser un predictor de la auto-regulación o adaptación de la velocidad, la calidad visual fue incluida como una variable categórica con los sujetos clasificados de acuerdo a los resultados del análisis de conglomerados.

Las estimaciones de los parámetros y los resultados del t-test se muestran en la Tabla 7.5. Con respecto a la condición de distracción, el modelo mostró que escribir mensajes de WhatsApp al volante era un predictor significativo de la adaptación de la velocidad, con los participantes adoptando velocidades más lentas cuando estaban realizando la tarea secundaria (-5.08 km/h). Dentro de los distintos escenarios de carretera, el modelo indicó que todos ellos, excepto el escenario 1, tenían características que les hacían predictores significativos del manejo de la velocidad. Comparado con la categoría de referencia (escenario 10), el escenario donde los participantes mostraron la mayor adaptación de la velocidad fue el escenario 3 (montaña, recto, VL 90 km/h), donde redujeron la velocidad aproximadamente -26.99 km/h. Del mismo modo, la segunda mayor reducción de la velocidad (sobre -12.82 km/h) se dio en el escenario 4, el cual tiene las mismas características que el 3, pero con un trazado curvo. Aunque los otros dos escenarios de la carretera de montaña (5 y 6) eran también predictores significativos de la adaptación de la velocidad, los participantes condujeron más rápido que en la categoría de referencia (escenario 10), con velocidades estimadas 10.06 y 5.98 km/h superiores, respectivamente.

Los escenarios que incluían pendiente (7 y 8), mostraron ser predictores significativos de la adaptación de la velocidad. En este caso, una pendiente ascendente estaba asociada con velocidades considerablemente inferiores a la de la categoría de referencia (-12.82 km/h), pero los participantes tendían a descender a velocidades superiores a la adoptada en la categoría de referencia (3.20 km/h). Finalmente, la existencia de coches aparcados alrededor mientras se conduce en la ciudad resultó ser también un predictor significativo, con velocidades -13.56 km/h más lentas que en la categoría de referencia, un tramo de ciudad sin coches aparcados.

Tabla 7.5. Modelo mixto lineal generalizado (GLMM). Estimaciones de la adaptación de la velocidad.

Parámetros	Coefficiente	DE	t	p-valor	95% IC
Condición					
Sin distracción	----°	----°	----°	----°	----°
Con distracción	-5,08	0,53	-9,56	<0,001**	[-4,04, -6,12]
Escenario en carretera/complejidad					
1) Autovía, recto, VL 120 km/h	0,73	1,59	0,46	0,647	[-2,41, 3,86]
2) Autovía, curva suave, VL 120 km/h	-6,40	1,58	-4,06	<0,001**	[-9,50, -3,29]
3) Montaña, recto, VL 90 km/h	-26,99	1,46	-18,43	<0,001**	[-29,87, -24,10]
4) Montaña, curva pronunciada, VL 90 km/h	-19,94	1,35	-14,78	<0,001**	[-22,60, -17,28]
5) Montaña, recto, VL 40 km/h	10,06	1,34	7,50	<0,001**	[7,42, 12,70]
6) Montaña, curva pronunciada, VL 40 km/h	5,98	1,18	5,07	<0,001**	[3,65, 8,31]
7) Montaña, ascendente, VL 90 km/h	-12,82	1,26	-10,18	<0,001**	[-15,30, -10,34]
8) Montaña, descendente, VL 90 km/h	3,20	1,52	2,11	0,036*	[0,21, 6,19]
9) Ciudad, coches aparcados, VL 50 km/h	-13,56	1,28	-10,56	<0,001**	[-16,09, -11,03]
10) Ciudad, sin coches aparcados, VL 50 km/h	----°	----°	----°	----°	----°
Características del conductor					
<i>Edad</i>	-0,09	0,02	-3,98	<0,001**	[-0,13, -0,04]
Género					
<i>Hombre</i>	1,35	0,66	2,05	0,041*	[0,056, 2,65]
<i>Mujer</i>	----°	----°	----°	----°	----°
Calidad Visual					
<i>Mejor</i>	----°	----°	----°	----°	----°
<i>Peor</i>	0,19	0,55	0,35	0,727	[-0,89, 1,28]

----° categoría de referencia; ^a Escala: (0) Nunca – (4) A diario; ^b Escala: (0) Nada – (4) Mucho; *p<0,05; **p<0,001. VL, velocidad límite.

Tabla 7.5 (continuación). Modelo mixto lineal generalizado (GLMM). Estimaciones de la adaptación de la velocidad.

Parámetros	Coefficiente	DE	t	p-valor	95% IC
Características del conductor					
<i>Experiencia escribiendo mensajes al volante^a</i>					
0 - Nunca	-1,68	1,04	-1,61	0,108	[-3,73, 0,35]
1 - 1 o 2 veces al año	-2,43	1,33	-1,82	0,069	[-5,05, 0,19]
2 - 1 o 2 veces al mes	-0,09	1,18	-0,08	0,937	[-2,40, 2,22]
3 - 1 o 2 veces a la semana	-3,38	1,24	-2,71	0,007*	[-5,82, -0,93]
4 - A diario	---- ^o				
<i>Incremento en el riesgo percibido durante la conducción^b</i>					
2 - Algo	9,51	2,32	4,10	<0,001**	[4,96, 14,08]
3 - Bastante	1,74	0,78	2,22	0,026*	[0,20, 3,28]
4 - Mucho	---- ^o				
Intercepto	-6,50	1,58	-4,12	<0,001**	[-9,60 -3,40]
Número de observaciones	1.500				
AIC	11.343,84				
BIC	11.449,72				

----^o categoría de referencia; ^a Escala: (0) Nunca – (4) A diario; ^b Escala: (0) Nada – (4) Mucho; *p<0,05; **p<0,001; VL, velocidad límite.

Algunas características del conductor también resultaron ser predictores significativos de la adaptación de la velocidad en los distintos escenarios. Los participantes más mayores condujeron más por debajo del límite de velocidad, reduciendo -0.09 km/h por cada año de incremento en la edad. Por otro lado, las mujeres condujeron más lentamente que los hombres, con una diferencia de -1.35 km/h. Los resultados también revelaron que la experiencia escribiendo mensajes al volante era un predictor significativo del manejo de la velocidad, siendo los conductores que usan WhatsApp a diario en sus coches el grupo que más rápido conducía. La percepción del aumento en el riesgo cuando se realiza esta tarea al volante también era un predictor significativo. En este caso, aquellos conductores que pensaban que es un comportamiento arriesgado condujeron a velocidades más bajas. Finalmente, la pertenencia al grupo de mejor o peor calidad visual no resultó ser un predictor significativo de la velocidad a la que circulaban.

7.4. Discusión y conclusiones

Este estudio ha investigado la auto-regulación de la conducción en condiciones de distracción (uso de WhatsApp) a través de la adaptación de la velocidad. Este análisis se ha realizado en distintos escenarios de carretera, con un amplio rango de características. También se ha analizado la influencia de las características del conductor, incluyendo la calidad visual como uno de los factores que podrían determinar la elección de la velocidad.

7.4.1. Efecto de la interacción con el Smartphone

Nuestros resultados han mostrado que interactuar con la aplicación de mensajería instantánea WhatsApp durante la conducción tenía un efecto en la adaptación de la velocidad. El escenario que causó una mayor reducción de la misma mientras escribían mensajes comparado con la sesión sin distracción fue el escenario 1 (autovía, recto, VL 120 km/h). Este resultado podría deberse al hecho de que los participantes recibieron y respondieron al primer mensaje de la sesión durante este escenario, pudiendo haber actuado más cautelosamente que en el resto de mensajes. De hecho, en el escenario 2 (autovía, curva suave, VL 120 km/h), el cual tenía las mismas características que el escenario 1, excepto por el trazado con curva suave, los participantes redujeron su velocidad en menor medida que en el escenario 1 durante la sesión con distracción (Tabla 7.4).

Según el GLMM, escribir mensajes mientras conducimos implica una reducción de la velocidad de aproximadamente 5 km/h con respecto a conducir sin distracción. Se sabe que los mecanismos de auto-regulación, como reducir la velocidad, dependen de la modalidad de interacción con el teléfono móvil (Horberry et al., 2006; Huth et al., 2015; Oviedo-Trespalacios et al., 2017a; Törnros y Bolling, 2005). Las conversaciones con manos libres son el tipo que requiere una menor demanda, implicando sólo distracción cognitiva. Sin embargo, hablar sosteniendo el teléfono implica añadir distracción manual y escribir mensajes combina los tres tipos: visual, manual y cognitiva. Recientes meta-análisis y revisiones sistemáticas han mostrado que conversar con manos libres o sosteniendo el teléfono tienen un efecto menor en el riesgo de accidentes (Oviedo-Trespalacios et al., 2016; Simmons et al., 2016; Young, 2017), mientras que escribir y leer mensajes parece comprometer seriamente la seguridad, a pesar de que los conductores circulan más lento (Caird et al., 2014). La distracción de tipo visual es un factor

clave para la reducción de la velocidad, ya que los conductores se ven obligados a dejar de mirar a la carretera por períodos de tiempo considerables, permaneciendo ciegos a lo que ocurre en el entorno de la conducción. Durante este tiempo, Yannis et al., (2014) mostraron disminuciones de la velocidad de 10 y 14 km/h mientras los conductores leían y escribían SMS respectivamente. Como en nuestro caso, estas disminuciones eran mayores que las encontradas en otros estudios en los que el distractor era una conversación telefónica, lo cual indica que las tareas visuo-manuales imponen una demanda mayor (Hosking et al., 2009; Young et al., 2014). En nuestro trabajo, los participantes redujeron su velocidad en menor medida que en el de Yannis et al., (2014), quizás porque el entorno de WhatsApp podría resultar más familiar, considerando la revolución que esta aplicación ha supuesto para los mensajes de texto como forma de comunicación. Todos los participantes eran usuarios habituales de WhatsApp y enviaban al menos 30 mensajes diarios. Esto podría hacerles tener una cierta sensación de seguridad cuando envían un mensaje de WhatsApp si lo comparamos con escribir un mensaje de texto en cualquier otra interfaz mientras conducen.

7.4.2. Efecto del entorno de la conducción

La complejidad de la conducción determina la demanda que requiere realizar esta tarea de una forma segura (Paxion et al., 2014; Stinchcombe et al., 2011), causando comportamientos de autorregulación entre los conductores. En nuestro estudio, los participantes mostraron la mayor reducción de la velocidad con respecto a la sesión sin distracción en la carretera de montaña, durante los segmentos donde el límite de velocidad era 90 km/h, lo cual indica que sentían que la geometría de la carretera era demasiado complicada para conducir cerca del límite. Esta sección de la ruta (carretera de montaña) es considerada como relativamente compleja debido a su trazado y a la presencia de tráfico en sentido contrario.

Además, los resultados mostraron que, como se esperaba, los trazados curvos requieren mayores adaptaciones que los rectos. Así, bajo distracción, los participantes condujeron más despacio en los segmentos curvos comparado con los rectos, tanto en la autovía (escenarios 1 y 2), como en la carretera de montaña cuando el límite de velocidad era de 40 km/h (escenarios 5 y 6) (Tabla 4). Trabajos anteriores han encontrado resultados similares (Oviedo-Trespalcios et al., 2018a), lo que sugiere que el trazado curvo se considera una característica peligrosa (Charlton et al.,

2014). Sorprendentemente, observamos el caso contrario cuando comparamos los escenarios 3 y 4 (carretera de montaña, VL 90 km/h) bajo distracción, aunque la causa de este resultado puede ser que el segmento recto estaba situado entre dos curvas pronunciadas, y esto podría haber influido en el resultado. Además, en estos dos escenarios los participantes respondieron al mensaje con mayor carga cognitiva del recorrido, una operación matemática, lo que posiblemente provocó que condujeran bastante por debajo de la velocidad límite (Cnossen et al., 2000).

Por otro lado, la pendiente ascendente generó que redujeran su velocidad en las dos sesiones (con y sin distracción). Sin embargo, cuando la pendiente era descendente, prácticamente sólo condujeron por debajo del límite de velocidad mientras estaban distraídos. Esto puede ser porque esta característica haga que el conductor monitorice en menor medida el velocímetro y la influencia de este tipo de pendiente le haga conducir a una mayor velocidad (Young et al., 2014). Finalmente, los participantes condujeron considerablemente por debajo del límite de velocidad cuando estaban en la ciudad (9 y 10). Además, cuando estaban distraídos, la influencia de los coches aparcados alrededor en el entorno urbano conllevó a circular considerablemente más despacio que en el escenario donde no había coches aparcados. Se considera que los escenarios urbanos son los que implican una mayor demanda porque son los que contienen más cantidad de “ruido” visual. El exceso de información que contiene la ciudad (presencia de flujo de tráfico, señales, rotondas, paneles publicitarios, áreas comerciales, peatones, etc.) implica que el conductor perciba una gran carga de estímulos visuales que tiene que gestionar mientras conduce el vehículo para obtener la información relevante en esta tarea. Igualmente, investigaciones previas han encontrado una mayor auto-regulación de la velocidad mientras se escriben mensajes en escenarios urbanos (Michaels et al., 2017; Oviedo-Trespalacios et al., 2017a; Yannis et al., 2014). La presencia de coches aparcados alrededor podría desencadenar también adaptaciones de la velocidad, ya que generan una sensación de aglomeración o “desorden” visual. El hecho de que haya coches estacionados supone una mayor interacción de tráfico y un aumento en la sensación de peligro. Así, la mayoría de estudios sobre distracción por teléfono móvil han observado cambios en el manejo de la velocidad cuando otros vehículos están presentes (Fitch et al., 2017, 2015).

7.4.3. Efecto de las características del conductor

La edad del conductor es otro predictor significativo de la adaptación de la velocidad, siendo los mayores los que más la reducen. Este resultado coincide con otros publicados anteriormente (Michaels et al., 2017), que han reflejado que son los conductores de edad avanzada quienes conducen más por debajo de los límites de velocidad establecidos (Horberry et al., 2006; Oviedo-Trespalacios et al., 2017b). Además, estos trabajos han destacado que tanto la interacción con el teléfono como el entorno de la conducción tienen un efecto más pronunciado en la velocidad elegida por los conductores mayores. Existen investigaciones que sugieren que este grupo de edad es más eficiente estimando riesgos, posiblemente porque son conscientes del deterioro en las capacidades motoras, visuales y cognitivas que conlleva el envejecimiento, por lo que tratan de compensarlo en las situaciones más exigentes. Aunque es menos frecuente, también se ha encontrado el resultado contrario, pero esto puede ser debido a la inclusión de muestras compuestas sólo por jóvenes (< 30 años), y en estos grupos una mayor experiencia en la conducción puede conllevar a que adopten velocidades más altas por una cuestión de confianza (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a).

El género también fue un predictor significativo de la adaptación de la velocidad en nuestra muestra. Así, los hombres redujeron su velocidad menos que las mujeres (condujeron 1,53 km/h más rápido). Algunos estudios han mostrado que los hombres tienden a tener más comportamientos de riesgo al volante, como conducir por encima del límite de velocidad (Factor, 2018; Rhodes y Pivik, 2011; Varet et al., 2018). Las mujeres han mostrado menor confianza con respecto a sus habilidades, o una mayor conciencia de sus limitaciones, por lo que perciben el riesgo de manera distinta. Por ejemplo, un estudio que analizaba los comportamientos de autorregulación en conductores mayores con problemas visuales encontró que las mujeres autorregulan su conducción en mayor medida que los hombres (Agramunt et al., 2017). Sin embargo, a pesar de mostrar una mayor precaución, en el trabajo de Li et al., (2019) el estilo de conducción de las mujeres estaba asociado con un mayor riesgo de accidentes.

El análisis de conglomerados identificó con éxito dos grupos con diferente calidad visual (mejor y peor calidad visual). Pese a ello, el GLMM indicó que la pertenencia a uno de estos grupos no era un predictor significativo de la velocidad, a pesar de que tanto escribir mensajes de WhatsApp como conducir son tareas dependientes de la visión. Este es el primer trabajo en el que la calidad visual ha sido incluida como un posible predictor de la adaptación de la velocidad

en condiciones de distracción, pero la influencia de este sistema sensorial en la auto-regulación de conductores mayores sí ha sido estudiada anteriormente. Es sabido que los conductores mayores con deterioro visual auto-regulan su conducción de forma habitual, evitando situaciones más complicadas como las condiciones meteorológicas con mala visibilidad, conducir en hora punta o en vías de alta velocidad (Ball et al., 1998; Owsley et al., 1999). Nuestra hipótesis de partida era que las dificultades visuales podían aumentar la demanda requerida por la doble tarea (escribir y conducir), lo cual podría ser gestionado por los conductores adoptando mecanismos compensatorios para reducir el riesgo asociado. Esperábamos que estas adaptaciones fueran más marcadas en los escenarios con mayor “ruido” en la información visual, como los urbanos. No obstante, no encontramos esta tendencia, posiblemente porque todos los participantes tenían visión normal, con una agudeza visual muy por encima del límite requerido para conducir. Quizás la diferencia en la calidad visual de los dos grupos identificados por el clúster no es suficiente para que los participantes del grupo con peor calidad visual perciban dificultades visuales, por lo que no tendría una influencia en su gestión del riesgo durante la conducción. Por otro lado, existe la posibilidad de que el simulador aporte un entorno visual menos complejo que aquellos que podemos encontrar en condiciones reales. La fidelidad de los entornos ofrecidos por los simuladores de conducción es cada día más realista, sin embargo, todavía no es tan variada como en el mundo real, donde podemos encontrar un rango muy amplio y diverso de información y estímulos visuales. Por ejemplo, el simulador empleado en este estudio no incluye señales de tráfico, obstáculos o peatones con contraste reducido, lo cual es común en condiciones reales. Las señales pueden deteriorarse por el paso del tiempo y la ropa de los peatones puede tener un nivel bajo de saliencia. Futuros estudios deberían incluir estímulos con distintos niveles de contraste en la ruta para determinar si en estas condiciones, la capacidad visual influye en el comportamiento del conductor cuando existe distracción.

Escribir mensajes al volante está prohibido en España, pero a pesar de ello una gran parte de los participantes admitieron que lo hacen con bastante frecuencia (Tabla 7.1). En nuestro trabajo, este factor presentó una asociación significativa con el manejo de la velocidad, siendo aquellos que nunca escriben mensajes al volante los que auto-regularon en mayor medida. De hecho, puntuaciones más elevadas en el riesgo percibido con respecto a la tarea secundaria estaban relacionadas con una conducción más lenta. Es de esperar que la experiencia escribiendo mensajes al volante pueda llevar hacia una actitud de seguridad y auto-eficacia hacia el uso del

móvil. Los conductores que dicen estar en contacto diario con la aplicación en su smartphone perciben mayor auto-eficacia, ya que por ejemplo consideran teclear como una tarea sencilla y rápida. Estos podrían ser los mas jóvenes, quienes normalmente realizan la mayor parte de sus comunicaciones diarias a través de esta aplicación (Montag et al., 2015). Todo esto hace que perciban menor riesgo y conduzcan más rápido (Oviedo-Trespalacios et al., 2017a).

7.4.4. Limitaciones del estudio

Los hallazgos de este estudio deben ser interpretados de forma cautelosa debido a las limitaciones de la metodología empleada. En primer lugar, el uso de un simulador de conducción implica una cierta falta de realismo, como hemos discutido en anteriores capítulos, pero aporta unas condiciones controladas y un entorno seguro. Por otro lado, los mensajes enviados durante el recorrido pretendían generar una tarea de cierta complejidad cognitiva/manual/visual, asegurando así un cierto nivel de distracción en los participantes, pero siendo a su vez realista en cuanto a ser un mensaje que un conductor podría responder al volante en una situación real. Sin embargo, las diferencias en las preguntas enviadas en los distintos puntos y la artificialidad del contenido podrían de algún modo tener una influencia en los resultados obtenidos, por lo que ha de tenerse en cuenta a la hora de ser interpretados.

Finalmente, aunque este estudio incluye una muestra relativamente amplia y en un gran rango de edades, deberían tenerse en cuenta algunos aspectos. Uno de ellos es la distinta distribución en género, y otro es los diferentes hábitos de uso de WhatsApp entre los participantes (Montag et al., 2015). Aunque uno de los criterios de inclusión establecidos era que debían ser usuarios habituales, es imposible controlar que todos ellos empleen durante el mismo tiempo esta aplicación en sus comunicaciones diarias. Esto podría tener una influencia en los resultados, ya que los usuarios más frecuentes podrían responder más fácilmente a los mensajes y tener una percepción de menor riesgo.

7.4.5. Conclusiones

En nuestro estudio hemos encontrado que la adaptación de la velocidad está asociada con la realización de la tarea secundaria, el entorno de la conducción y las características del conductor. En general, los conductores reducen sus velocidades cuando se enfrentan con situaciones que

implican una mayor demanda de sus recursos, cuando responden a un mensaje de WhatsApp, o en las situaciones mas complicadas como los trazados curvos o con mucho tráfico. La velocidad también fue modulada según características del conductor como la edad o la experiencia en la doble tarea, y también según factores humanos como el riesgo percibido. Sin embargo, nuestro estudio no pudo demostrar diferencias en el manejo de la velocidad según la calidad visual, quizás porque todos los participantes tenían una agudeza visual superior al límite legal establecido para conducir. Sería interesante en futuros estudios explorar el manejo de la velocidad en diferentes poblaciones con visión alterada por patologías u otras condiciones.

CAPÍTULO 8

RESUMEN Y CONCLUSIONES

8.1. Resumen y principales hallazgos de los experimentos

- Impacto del envejecimiento visual en la conducción (Estudio 1)

En este estudio se examinó la relación entre los cambios visuales asociados a la edad y el rendimiento en la conducción simulada, estudiando cuáles son los parámetros visuales más significativos a la hora de evaluar la visión de los conductores de edad avanzada.

Los resultados obtenidos reflejaron un deterioro significativo del estado visual y del rendimiento en la conducción en el grupo de conductores mayores comparado con el grupo joven ($p < 0,05$). Además, se obtuvieron correlaciones significativas entre un mejor valor de todos los parámetros visuales estudiados y un mejor rendimiento en la conducción. Sin embargo, los resultados del modelo de regresión mostraron que la medida del nivel de straylight era el predictor más eficiente del rendimiento en la conducción, explicando este parámetro visual un 51,3% de su variabilidad. Por tanto, incluir la medida del straylight junto con el resto de funciones visuales podría ser un indicador importante del estado visual general de un conductor, especialmente cuando los efectos de la edad comienzan a aparecer.

- El scattering intraocular como predictor del rendimiento en la conducción en sujetos mayores con catarata (Estudio 2)

Las cataratas pueden limitar la capacidad para realizar tareas cotidianas de forma segura, afectando a la calidad de vida de las personas que las padecen. En este estudio se examinó la relación entre la función visual y la conducción, estudiando qué parámetros visuales podrían ser importantes para predecir el rendimiento en la conducción de las personas mayores con y sin catarata.

Los resultados obtenidos mostraron que los conductores con catarata veían afectada significativamente su función visual ($p < 0,05$), con un Índice Objetivo de Scattering (OSI) 3,5 veces mayor que en el grupo control. El rendimiento en la conducción simulada también estaba significativamente deteriorado en este grupo ($p < 0,05$), con una notable disminución en la capacidad para mantener el vehículo en el carril. Además, el análisis de correlaciones mostró una

asociación significativa entre un mejor estado visual y un mejor rendimiento en la conducción para todos los parámetros visuales estudiados. No obstante, el análisis de regresión destacó el Índice Objetivo de Scattering (OSI) como el único parámetro visual capaz de predecir el rendimiento en la conducción, explicando el 51,3% de su variabilidad. Por tanto, según estos resultados, la inclusión del OSI podría ayudar a discriminar a aquellos conductores de edad avanzada (con y sin catarata) que pudieran estar en riesgo por su deterioro visual.

- Distracción al volante por el uso del Smartphone (WhatsApp) en diferentes grupos de edad. Influencia de los cambios visuales asociados al envejecimiento (Estudio 3)

En este trabajo investigamos el efecto de escribir mensajes de WhatsApp, una de las aplicaciones de mensajería instantánea más empleadas, sobre el rendimiento en la conducción en distintos grupos de edad. Para ello, se estudiaron 4 grupos de distintas edades, en los que se analizó la relación entre su función visual y la capacidad para conducir, tanto en condiciones normales como con distracción.

Los resultados mostraron que los cambios fisiológicos asociados a la edad, como la disminución en la sensibilidad al contraste o el mayor nivel de straylight estaban correlacionados con un mayor número de colisiones, mayores distancias recorridas fuera del carril y una menor estabilidad en la posición lateral del vehículo (mayor SDLP). Escribir mensajes de WhatsApp durante la conducción empeoró el rendimiento en esta tarea de todos los grupos de edad, aunque de forma más notable en los mayores. Como consecuencia, este grupo fue el que tuvo más accidentes mientras escribían mensajes de texto, aumentando en un 134% con respecto a la sesión sin distracción. Finalmente, los resultados de los cuestionarios indicaron que los conductores más jóvenes muestran actitudes peligrosas al volante con más frecuencia ($p < 0,05$). Este estudio demuestra que escribir mensajes de WhatsApp mientras se conduce deteriora significativamente la capacidad para conducir de forma segura, siendo los conductores de edad avanzada los más afectados (independientemente de que presenten una buena agudeza visual). Según nuestros resultados sería recomendable tener en cuenta algunos test visuales no estandarizados para evaluar a los conductores, ya que han mostrado una relación significativa con el rendimiento en la conducción. Esto podría ayudar a aumentar la conciencia de los

conductores mayores en cuanto a sus limitaciones visuales, permitiéndoles adoptar mecanismos compensatorios para mejorar su seguridad. No obstante, también es necesario aumentar la conciencia de los más jóvenes de los riesgos que acompañan a ciertos comportamientos al volante.

- Efectos de fumar cannabis en la función visual y en el rendimiento en la conducción (Estudio 4)

Este trabajo examinó el efecto de fumar cannabis en la visión y en el rendimiento en la conducción simulada. Además, se estudió la relación existente entre sus efectos en distintos parámetros visuales y los observados en la conducción. Por último, se realizó un análisis del perfil de consumo y los comportamientos de los participantes, relacionando ambos aspectos.

Los resultados que obtuvimos en este experimento mostraron que bajo los efectos del cannabis, distintos parámetros visuales como la agudeza visual, la sensibilidad al contraste o la estereoagudeza empeoraban significativamente ($p < 0,05$). Además, existía un deterioro general en el rendimiento en la conducción, principalmente para el mantenimiento de la posición del vehículo en el carril ($p < 0,05$). Un peor rendimiento en distintas tareas de la conducción mostró correlaciones significativas con el deterioro en algunos parámetros visuales, como son la estereoagudeza, la agudeza visual y la sensibilidad al contraste. Por último, los resultados de los cuestionarios indicaron que los participantes con un consumo más fuerte de cannabis adoptan más conductas de riesgo al volante, y que tener algún accidente en el año anterior estaba relacionado con una tendencia hacia conductas agresivas durante la conducción. En conclusión, nuestros resultados muestran que el cannabis deteriora tanto la visión como la capacidad para conducir de forma segura, e indican que podría existir una relación entre ambos aspectos.

- Factores que determinan la auto-regulación de la velocidad durante la conducción bajo distracción (WhatsApp). Influencia de la calidad visual (Estudio 5)

El objetivo de este trabajo fue investigar los comportamientos de auto-regulación, particularmente la adaptación de la velocidad, en condiciones de distracción por el uso del WhatsApp al volante. También se estudió la influencia de los distintos entornos de carretera y las características del conductor, introduciendo el estado visual como una de ellas.

Los resultados mostraron que los conductores reducían la velocidad en presencia de distintas condiciones que suponían una mayor demanda: mientras respondían a un mensaje de WhatsApp, en carreteras con curvas o cuando había coches aparcados alrededor. Encontramos que la velocidad seleccionada por el conductor también estaba asociada a características propias como la edad o la experiencia enviando mensajes de WhatsApp al volante, o a factores humanos como el riesgo percibido. Aunque existían diferencias significativas entre la calidad visual de los dos grupos identificados por el clúster, pertenecer a un grupo u otro no era un predictor significativo de la adaptación de la velocidad. Nuestros resultados podrían ayudar a una mejor comprensión de los mecanismos compensatorios que usan los conductores cuando usan WhatsApp al volante y cuáles son los entornos y condiciones del conductor que influyen en la adopción de dichos mecanismos.

8.2. Trabajos futuros

Nuestros resultados podrían tener una aplicación clínica inmediata, dado que hemos demostrado que estudiar determinadas funciones visuales que no se evalúan usualmente en los conductores, proporciona información significativa relacionada con la capacidad de conducir de forma segura. La inclusión de estas pruebas tendría un impacto social importante, pues permitiría identificar a aquellos que no tengan las capacidades visuales necesarias para la conducción y que supongan un riesgo potencial para los usuarios de la carretera.

Los resultados obtenidos en los estudios sobre envejecimiento y patología ocular (catarata) ilustran la importancia de parámetros que evalúan la influencia del scattering intraocular, por lo que futuros estudios deberían ampliar estos hallazgos evaluando cómo afecta el deterioro de este parámetro visual en tareas de reconocimiento durante la conducción (ej. detección de señales, peatones u obstáculos). Además, sería interesante relacionar el nivel de scattering intraocular con conducción real, y también en condiciones nocturnas, donde podría tener su mayor impacto. Por

otro lado, podrían plantearse estudios en otro tipo de patologías oculares que aumenten el nivel de scattering intraocular, como la queratitis.

En el estudio realizado en conductores de distintas edades, se ha encontrado un deterioro en la conducción en personas mayores que no alcanzan el valor límite para el straylight referido previamente en la literatura. Por ello, sería interesante realizar estudios que comparen a conductores mayores con distintos niveles de straylight intraocular y que permitan aclarar cuál es el límite o valor de corte en este parámetro que supone una pérdida de capacidad para conducir y su relación con el riesgo de accidentes.

En el caso del estudio de la distracción, se ha observado un deterioro general de la conducción. Además, los conductores mayores, con una peor calidad visual, son los más afectados cuando escriben mensajes de texto mientras conducen, teniendo que dividir su atención. En futuros trabajos sería interesante poder comparar la conducción bajo atención dividida de conductores de edad avanzada sin y con patología ocular. De este modo, podría comprobarse si un deterioro más severo de la visión afectaría en mayor medida al rendimiento en la conducción y al riesgo de accidente. Además, sería necesario explorar la incidencia de comportamientos relacionados con la distracción al volante en estas poblaciones. Al igual que los sujetos con patología ocular auto-regulan su conducción en mayor medida, podrían asumir tareas secundarias al volante con menor frecuencia, reflejando conciencia de la reducción en sus capacidades.

En cuanto al estudio del efecto del cannabis, los resultados obtenidos suponen un punto de partida en el que futuros trabajos deberían profundizar. Sería interesante ampliar estos resultados con estudios sobre los efectos visuales de esta sustancia en muestras más grandes, con distintas dosis, vías de administración y con sujetos que tengan distintas frecuencias de consumo. Cabe destacar que algunos de los resultados de este trabajo son totalmente novedosos, por ejemplo, no existe bibliografía en la que se evalúe la función acomodativa bajo los efectos del cannabis. Por ello, sería importante profundizar en el análisis para comprender cómo la acomodación y otras variables visuales pueden afectarse por el consumo de cannabis.

A pesar del deterioro observado en el rendimiento en la conducción tras fumar cannabis, hemos visto que los participantes circularon incluso a velocidades más altas en estas circunstancias. Otros estudios han encontrado reducciones en la velocidad como mecanismo compensatorio. Por ello, sería importante profundizar en este aspecto, y estudiar los mecanismos de auto-regulación

que adoptan los conductores bajo la influencia del cannabis, y qué características personales los determinan. Estos resultados aportarían más información sobre la percepción del riesgo que tienen estos conductores, ayudando a reforzar las campañas de concienciación que podrían centrarse en aquellos aspectos que determinen que un conductor no se ponga al volante bajo los efectos del cannabis.

Aunque el estudio sobre auto-regulación en condiciones de distracción no ha mostrado un efecto de la calidad visual sobre la adaptación de la velocidad, estudios anteriores indicaron que los conductores mayores con patologías oculares evitan conducir en vías de alta velocidad. Por ello, sería interesante investigar si en estos conductores, el estado visual podría ser uno de los factores que determinen la auto-regulación de la velocidad. Además, en caso de que así fuera, sería interesante identificar qué test es el mejor para predecir este tipo de comportamientos, para así conocer qué tipo de prueba sería la más adecuada para evaluar el estado visual en relación con las dificultades que experimenta un conductor de manera subjetiva durante la conducción.

8.3. Conclusiones

De los resultados de esta Tesis Doctoral Internacional se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1** El envejecimiento provoca un deterioro significativo de la función visual y del rendimiento en la conducción simulada. Además, este deterioro se ve exacerbado cuando aparecen patologías oculares como la catarata, muy común entre los conductores de edad avanzada. El deterioro visual debido al envejecimiento y a la catarata, está además asociado con una disminución en la capacidad para conducir. Por ello, la inclusión de test visuales no estandarizados relacionados con la evaluación del nivel de scattering intraocular, como el Índice Objetivo de Scattering (OSI) o la medida del straylight, podría ayudar a identificar a conductores de edad avanzada que no tengan las capacidades visuales necesarias para una conducción segura, incluso cuando la agudeza visual está dentro de los límites legales para realizar esta tarea.

- 2** Escribir mensajes de WhatsApp al volante deteriora significativamente la habilidad para conducir de forma segura, siendo los conductores de edad avanzada aquellos más negativamente afectados. Conducir bajo distracción conlleva a un peor control de la posición del vehículo en el carril y un mayor número de accidentes, a pesar de reducir la velocidad como mecanismo compensatorio. Sería recomendable incluir en el examen visual de los conductores algunos test no estandarizados como la medida del straylight y la sensibilidad al contraste, los cuales han mostrado correlaciones significativas con el rendimiento en la conducción.

- 3** Es necesario aumentar el esfuerzo para concienciar por un lado a los conductores de mayor edad de sus limitaciones visuales, y por otro lado a los más jóvenes de las consecuencias de ciertas actitudes de riesgo al volante.

- 4** Fumar cannabis altera significativamente la función visual, reflejándose en distintos parámetros visuales que evalúan capacidades necesarias para una conducción segura. Del mismo modo, el consumo de cannabis ha mostrado tener un efecto negativo en la conducción, con un deterioro de la capacidad para mantener el vehículo dentro del propio carril. Este deterioro podría estar provocado, entre otras causas, por una disminución en funciones visuales necesarias para la conducción, como la estereoagudeza, la agudeza visual y la sensibilidad al contraste.

- 5** La conducción bajo los efectos del cannabis es un comportamiento relativamente frecuente entre los consumidores. Además, un consumo más fuerte de cannabis está asociado con una mayor incidencia de conductas de riesgo al volante, adoptando conductas más agresivas que pueden terminar en un accidente.

6 Los conductores que escriben mensajes de WhatsApp al volante auto-regulan su conducción a través de la adaptación de la velocidad. En general, reducen la velocidad a la que circulan ante situaciones que generan un aumento en la demanda de la tarea: mientras escriben un mensaje, en carreteras con trazado curvo o cuando hay más interacción de tráfico. La velocidad está también modulada por características del conductor como la edad, la experiencia enviando mensajes o el riesgo percibido. No obstante, el estado visual no parece tener un efecto en la selección de la velocidad cuando el conductor tiene una agudeza visual por encima del límite legal para conducir.

7 En general, los resultados de este trabajo han demostrado que la inclusión de pruebas visuales no estandarizadas, como las relacionadas con la medida del scattering intraocular, pueden aportar información de gran valor sobre las capacidades visuales requeridas para conducir. Por tanto, son necesarias más investigaciones en esta línea, abarcando diferentes poblaciones, diferentes tests visuales y condiciones, especialmente aquellas en las que un nivel elevado de scattering pueda afectar. Ejemplo de ello son sujetos con patologías oculares que afecten a la córnea, o condiciones de iluminación nocturna, donde trabajos previos han mostrado que los distintos test de sensibilidad al deslumbramiento no consiguen detectar conductores en riesgo de una forma adecuada.

8.3. Conclusions

The following conclusions can be drawn from this international doctoral thesis:

- 1** Ageing significantly impairs visual function and simulated driving performance. Moreover, this deterioration is exacerbated when the driver suffers ocular pathologies, such as cataracts, a very common condition in older adults. Age- and cataract-related visual impairment are also associated with decreased driving ability. Thus, including non-standardised visual tests that evaluate the level of intraocular scattering, such as the objective scatter index or straylight measurement, could help identify older drivers who no longer have the visual capacities needed for safe driving, even when their visual acuity is within the legal limits required for this task.
- 2** WhatsApp messaging while driving significantly impairs a person's ability to drive safely, with older drivers being the most negatively affected. Distracted driving leads to worse control of lane position and a greater number of accidents, although these drivers tended to reduce their speed as a compensatory mechanism. It would be advisable to include some non-standardised visual tests, such as straylight and contrast sensitivity evaluations, in driver visual assessment protocols, as these have shown significant correlation with driving performance.
- 3** It is necessary to increase efforts aimed at raising awareness among older drivers with regard to their visual limitations, and among younger drivers about the consequences of certain risky behaviours behind the wheel.
- 4** Smoking cannabis significantly alters visual function; this is manifested in various visual parameters (visual acuity, stereoacuity, contrast sensitivity, and accommodative response) that evaluate the visual capacities necessary for safe driving. Likewise, cannabis use has been shown to have negative consequences on driving, including

impaired ability to keep the car within the lane. This impairment could be induced, among other reasons, by reduced levels of the visual functions required for driving.

- 5** Driving under the influence of cannabis (DUIC) is a relatively frequent behaviour among users. Furthermore, heavier cannabis use is associated with higher incidences of risky behaviours behind the wheel, including more aggressive attitudes that can result in traffic accidents.

- 6** Drivers who text WhatsApp messages at the wheel self-regulate their driving through speed adaptation. Generally, drivers reduce their driving speed when faced with more demanding driving situations: while texting; on curved roads; and when there are more traffic interactions. Speed is also modulated by driver characteristics such as age, experience in texting while driving, and self-perceived risk. Nevertheless, visual quality does not seem to affect speed selection when the visual acuity of the driver is above the legal limit for driving.

- 7** Overall, the results of this work demonstrate that including non-standardised visual tests, such as scattering-related measurements, can provide valuable information on the visual capacities needed for driving. For this reason, further research on the topic is required, including different populations and conditions in which an increased level of intraocular scattering could have a more exaggerated effect. Examples of these circumstances are subjects with ocular pathologies affecting the cornea, or night-time conditions, where previous work has shown that various disability glare tests fail to properly detect at-risk drivers.

BIBLIOGRAFÍA

- Abib, F.C., Barreto, J., 2001. Behavior of corneal endothelial density over a lifetime. *J. Cataract Refract. Surg.* 27 (10), 1574-1578. doi:10.1016/S0886-3350(01)00925-7
- Adams, A., Brown, B., Flom, M., Jones, R., Jampolsky, A., 1975a. Alcohol and marijuana effects on static visual acuity. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 52 (11), 729-735.
- Adams, A., Haegerstrom-Portnoy, G., Jones, R., Flom, M., 1975b. Effects of alcohol and marijuana on dynamic visual acuity: I. Threshold measurements. *Percept. Psychophys.* 18 (6), 441-446.
- Adams, A.J., Brown, B., Haegerstrom-Portnoy, G., Flom, M.C., Jones, R.T., 1978. Marijuana, Alcohol, and Combined Drug Effects on the Time Course of Glare Recovery. *Psychopharmacology (Berl)*. 56, 81-86.
- Adams, A.J., Flom, M.C., Jones, R.T., 1976. Evidence for acute effects of alcohol and marijuana on color discrimination. *Percept. Psychophys.* 20 (2), 119-124.
- Adamson, S.J., Kay-Lambkin, F.J., Baker, A.L., Lewin, T.J., Thornton, L., Kelly, B.J., et al., 2010. An improved brief measure of cannabis misuse: The Cannabis Use Disorders Identification Test-Revised (CUDIT-R). *Drug Alcohol Depend.* 110 (1-2), 137-143. doi:10.1016/J.DRUGALCDEP.2010.02.017
- Adlaf, E.M., Mann, R.E., Paglia, A., 2003. Drinking, cannabis use and driving among Ontario students. *C. Can. Med. Assoc. J.* 168 (5), 565-566.
- Adler, G., Bauer, M., Rottunda, S., Kuskowski, M., 2004. Driving habits and patterns in older men with glaucoma. *Soc. Work Health Care* 40 (3), 75-87. doi:10.1300/J010v40n03_05
- Agramunt, S., Meuleners, L.B., Fraser, M.L., Chow, K.C., Ng, J.Q., Raja, V., 2018. First and second eye cataract surgery and driver self-regulation among older drivers with bilateral cataract: A prospective cohort study. *BMC Geriatr.* 18 (1), 51. doi:10.1186/s12877-018-0743-1
- Agramunt, S., Meuleners, L.B., Fraser, M.L., Chow, K.C., Ng, J.Q., Raja, V., et al., 2017. Do older drivers with bilateral cataract self-regulate their driving while waiting for first eye cataract surgery? *Clin. Interv. Aging* 12, 1911-1920. doi:10.2147/CIA.S148037
- Agramunt, S., Meuleners, L.B., Fraser, M.L., Morlet, N., Chow, K.C., Ng, J.Q., 2016. Bilateral cataract, crash risk, driving performance, and self-regulation practices among older drivers. *J. Cataract Refract. Surg.* 42 (5), 788-794. doi:10.1016/j.jcrs.2016.02.023
- Akano, O.F., 2017. Marijuana use and self-reported quality of eyesight. *Optom. Vis. Sci.* 94 (5), 630-633. doi:10.1097/OPX.0000000000001069
- Albert, G., Lotan, T., 2018. How many times do young drivers actually touch their smartphone screens while driving? *IET Intell. Transp. Syst.* 12 (6), 414-419. doi:10.1049/iet-

its.2017.0208

- Alosco, M.L., Spitznagel, M.B., Fischer, K.H., Miller, L.A., Pillai, V., Hughes, J., et al., 2012. Both texting and eating are associated with impaired simulated driving performance. *Traffic Inj. Prev.* 13 (5), 468-475. doi:10.1080/15389588.2012.676697
- Alvarez, L., Classen, S., 2018. Driving with Parkinson's disease: Cut points for clinical predictors of on-road outcomes. *Can. J. Occup. Ther.* 85 (3), 232- 241. doi:10.1177/0008417418755458
- Anderson, B.M., Rizzo, M., Block, R.I., Pearlson, G.D., O'Leary, D.S., 2010. Sex differences in the effects of marijuana on simulated driving performance. *J. Psychoactive Drugs* 42 (1), 19-30. doi:10.1080/02791072.2010.10399782
- Andrews, E.C., Westerman, S.J., 2012. Age differences in simulated driving performance: Compensatory processes. *Accid. Anal. Prev.* 45, 660-668. doi:10.1016/j.aap.2011.09.047
- Anera, R.G., Castro, J.J., Jiménez, J.R., Villa, C., Alarcón, A., 2011. Optical Quality and Visual Discrimination Capacity After Myopic LASIK With a Standard and Aspheric Ablation Profile. *J. Refract. Surg.* 27 (8), 597-601. doi:10.3928/1081597X-20110303-01
- Anstey, K.J., Horswill, M.S., Wood, J.M., Hatherly, C., 2012. The role of cognitive and visual abilities as predictors in the Multifactorial Model of Driving Safety. *Accid. Anal. Prev.* 45, 766–774. doi:10.1016/j.aap.2011.10.006
- Anstey, K.J., Wood, J., Lord, S., Walker, J.G., 2005. Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clin. Psychol. Rev.* 25 (1), 45-65. doi:10.1016/j.cpr.2004.07.008
- Artal, P., Benito, A., Pérez, G.M., Alcón, E., de Casas, Á., Pujol, J., et al., 2011. An objective scatter index based on double-pass retinal images of a point source to classify cataracts. *PLoS One* 6 (2), 1-7. doi:10.1371/journal.pone.0016823
- Artal, P., Ferro, M., Miranda, I., Navarro, R., 1993. Effects of aging in retinal image quality. *J. Opt. Soc. Am. A.* 10 (7), 1656-1662. doi:10.1364/JOSAA.10.001656
- Artal, P., Guirao, A., Berrio, E., Piers, P., Norrby, S., 2003. Optical aberrations and the aging eye. *Int. Ophthalmol. Clin.* 43 (2), 63-77. doi:10.1097/00004397-200343020-00008
- Asbridge, M., Hayden, J.A., Cartwright, J.L., 2012. Acute cannabis consumption and motor vehicle collision risk: systematic review of observational studies and meta-analysis. *Bmj* 344 (6), e536. doi:10.1136/bmj.e536
- Aslam, T.M., Haider, D., Murray, I.J., 2007. Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. *Acta Ophthalmol. Scand.* 85 (4), 354-360. doi:10.1111/j.1600-0420.2006.00860.x

- Atchison, D.A., Girgenti, C.C., Campbell, G.M., Dodds, J.P., Byrnes, T.M., Zele, A.J., 2011. Influence of field size on pupil diameter under photopic and mesopic light levels. *Clin. Exp. Optom.* 94 (6), 545-548. doi:10.1111/j.1444-0938.2011.00636.x
- Atchley, P., Atwood, S., Boulton, A., 2011. The choice to text and drive in younger drivers: Behavior may shape attitude. *Accid. Anal. Prev.* 43 (1), 134-142. doi:10.1016/j.aap.2010.08.003
- Babizhayev, M.A., Minasyan, H., Richer, S.P., 2009. Cataract halos: A driving hazard in aging populations. Implication of the Halometer DG test for assessment of intraocular light scatter. *Appl. Ergon.* 40 (3), 545-553. doi:10.1016/j.apergo.2007.09.003
- Babor, T.F., Higgins-Biddle, J.C., Saunders, J.B., Monteiro, M.G., 2001. The Alcohol Use Disorders Identification Test Guidelines for Use in Primary Care. World Health Organization.
- Bal, T., Coeckelbergh, T., Van Looveren, J., Rozema, J.J., Tassignon, M.J., 2010. Influence of Cataract Morphology on Straylight and Contrast Sensitivity and Its Relevance to Fitness to Drive. *Ophthalmologica* 225 (2), 105-111. doi:10.1159/000317076
- Ball, K., Owsley, C., 1993. The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function. *J. Am. Optom. Assoc.* 64, 71-79.
- Ball, K., Owsley, C., 1991. Identifying correlates of accident involvement for the older driver. *Hum. Factors.* 33 (5), 583-595. doi:10.1177/001872089103300509
- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M.E., Roenker, D.L., Bruni, J.R., 1993. Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 34 (11), 3110-3123.
- Ball, K., Owsley, C., Stalvey, B., Roenker, D.L., Sloane, M.E., Graves, M., 1998. Driving avoidance and functional impairment in older drivers. *Accid. Anal. Prev.* 30 (3), 313-322. doi:10.1016/s0001-4575(97)00102-4
- Ball, K.K., Roenker, D.L., Bruni, J.R., 1990. Developmental Changes in Attention and Visual Search throughout Adulthood, en: Enns, J. (Ed.), *The Development of Attention: Research and Teory.* Elsevier Science Publishers B. V, North-Holland, pp. 489-507. doi:10.1016/S0166-4115(08)60472-0
- Béchettille, A., Arnould, B., Bron, A., Baudouin, C., Renard, J.P., Sellem, E., et al., 2008. Measurement of health-related quality of life with glaucoma: Validation of the Glau-QoL© 36-item questionnaire. *Acta Ophthalmol.* 86 (1), 71-80. doi:10.1111/j.1600-0420.2007.00999.x
- Becic, E., Dell, G.S., Bock, K., Garnsey, S.M., Kubose, T., Kramer, A.F., 2010. Driving impairs

- talking. *Psychon. Bull. Rev.* 17 (1), 15–21. doi:10.3758/PBR.17.1.15
- Bédard, M., Dubois, S., Weaver, B., 2007. The impact of cannabis on driving. *Can. J. Public Health* 98 (1), 6-11. doi:10.1007/BF03405376
- Bédard, M., Parkkari, M., Weaver, B., Riendeau, J., Dahlquist, M., 2010. Assessment of driving performance using a simulator protocol: Validity and reproducibility. *Am. J. Occup. Ther.* 64 (2), 336-340. doi:10.5014/ajot.64.2.336
- Bergeron, J., Paquette, M., 2014. Relationships between frequency of driving under the influence of cannabis, self-reported reckless driving and risk-taking behavior observed in a driving simulator. *J. Safety Res.* 49, 19-24. doi:10.1016/j.jsr.2014.02.002
- Berning, A., Compton, R., Wochinger, K., 2015. Results of the 2013-2014 National Roadside Survey of Alcohol and Drug Use by Drivers. Washington.
- Bhorade, A.M., Yom, V.H., Barco, P., Wilson, B., Gordon, M., Carr, D., 2016. On-road Driving Performance of Patients with Bilateral Moderate and Advanced Glaucoma. *Am. J. Ophthalmol.* 166, 43-51. doi:10.1016/j.ajo.2016.02.031
- Blanchard, R.A., Myers, A.M., Porter, M.M., 2010. Correspondence between self-reported and objective measures of driving exposure and patterns in older drivers. *Accid. Anal. Prev.* 42 (2), 523–529. doi:10.1016/j.aap.2009.09.018
- Bolla, K.I., Brown, K., Eldreth, D., Tate, K., Cadet, J.L., 2002. Dose-related neurocognitive effects of marijuana use. *Neurology* 59 (9), 1337-1343. doi:10.1212/01.WNL.0000031422.66442.49
- Bondallaz, P., Favrat, B., Chtioui, H., Fornari, E., Maeder, P., Giroud, C., 2016. Cannabis and its effects on driving skills. *Forensic Sci. Int.* 268, 92-102. doi:10.1016/j.forsciint.2016.09.007
- Bonnel, S., Mohand-Said, S., Sahel, J.A., 2003. The aging of the retina. *Exp. Gerontol.* 38 (8): 825-831. doi:10.1016/S0531-5565(03)00093-7
- Bourne, R.R.A., Stevens, G.A., White, R.A., Smith, J.L., Flaxman, S.R., Price, H., et al., 2013. Causes of vision loss worldwide, 1990-2010: A systematic analysis. *Lancet Glob. Heal.* 1 (6). doi:10.1016/S2214-109X(13)70113-X
- Bowden, V.K., Loft, S., Wilson, M.D., Howard, J., Visser, T.A.W., 2019. The long road home from distraction: Investigating the time-course of distraction recovery in driving. *Accid. Anal. Prev.* 124, 23-32. doi:10.1016/j.aap.2018.12.012
- Bowers, A., Peli, E., Elgin, J., McGwin, G., Owsley, C., 2005. On-road driving with moderate visual field loss. *Optom. Vis. Sci.* 82 (8), 657-67. doi:10.1097/01.opx.0000175558.33268.b5
- Bowers, A.R., 2016. Driving with homonymous visual field loss: a review of the literature. *Clin.*

Exp. Optom. 99 (5), 402-418. doi:10.1111/cxo.12425

BP, Castrol, Race, 2019. Apaga y vámonos.

Bromberg, S., Oron-Gilad, T., Ronen, A., Borowsky, A., Parmet, Y., 2012. The perception of pedestrians from the perspective of elderly experienced and experienced drivers. *Accid. Anal. Prev.* 44 (1), 48-55. doi:10.1016/J.AAP.2010.12.028

Bron, A.M., Viswanathan, A.C., Thelen, U., de Natale, R., Ferreras, A., Gundgaard, J., et al., 2010. International vision requirements for driver licensing and disability pensions: Using a milestone approach in characterization of progressive eye disease. *Clin. Ophthalmol.* 4 (1), 1361-1369. doi:10.2147/OPHTH.S15359

Bronstad, P.M., Albu, A., Bowers, A.R., Goldstein, R., Peli, E., 2015. Driving with Central Visual Field Loss II: How Scotomas above or below the Preferred Retinal Locus (PRL) Affect Hazard Detection in a Driving Simulator. *PLoS One* 10 (9), e0136517. doi:10.1371/journal.pone.0136517

Bronstad, P.M., Albu, A., Goldstein, R., Peli, E., Bowers, A.R., 2016. Driving with central field loss III: vehicle control. *Clin. Exp. Optom.* 99 (5), 435-440. doi:10.1111/cxo.12432

Bronstad, P.M., Bowers, A.R., Albu, A., Goldstein, R., Peli, E., 2013. Driving with central field loss I: Effect of central scotomas on responses to hazards. *JAMA Ophthalmol.* 131 (3), 303-309. doi:10.1001/jamaophthalmol.2013.1443

Brooks, J.O., Goodenough, R.R., Crisler, M.C., Klein, N.D., Alley, R.L., Koon, B.L., et al., 2010. Simulator sickness during driving simulation studies. *Accid. Anal. Prev.* 42 (3), 788-796. doi:10.1016/J.AAP.2009.04.013

Brown, B., Adams, A.J., Haegerstrom-Portnoy, G., Jones, R.T., Flom, M.C., 1977. Pupil Size After Use of Marijuana and Alcohol. *Am. J. Ophthalmol.* 83 (3), 350-354. doi:10.1016/0002-9394(77)90732-2

Bunce, D., Young, M.S., Blane, A., Khugpath, P., 2012. Age and inconsistency in driving performance. *Accid. Anal. Prev.* 49, 293-299. doi:10.1016/j.aap.2012.01.001

Burg, A., 1967. The relationship between test scores and driving records: general findings. Los Angeles: Department of Engineering, University of California.

Burg, A., 1968. Vision test scores and driving records: Additional findings. Los Angeles: Department of Engineering, University of California.

Caird, J.K., Johnston, K.A., Willness, C.R., Asbridge, M., Steel, P., 2014. A meta-analysis of the effects of texting on driving. *Accid. Anal. Prev.* 71, 311-318. doi:10.1016/J.AAP.2014.06.005

- Caird, J.K., Willness, C.R., Steel, P., Scialfa, C., 2008. A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accid. Anal. Prev.* 40 (4), 1282-1293. doi:10.1016/j.aap.2008.01.009
- Calakos, K.C., Bhatt, S., Foster, D.W., Cosgrove, K.P., 2017. Mechanisms Underlying Sex Differences in Cannabis Use. *Curr. Addict. reports* 4 (4), 439-453. doi:10.1007/s40429-017-0174-7
- Casadio, P., Fernandes, C., Murray, R.M., Di Forti, M., 2011. Cannabis use in young people: The risk for schizophrenia. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 35 (8), 1779-1787. doi:10.1016/j.neubiorev.2011.04.007
- Castilla-Marti, M., van den Berg, T.J.T.P., De Smet, M.D., 2015. Effect of vitreous opacities on straylight measurements. *Retina* 35 (6), 1240–1246. doi:10.1097/IAE.0000000000000456
- Castro, J.J., Jiménez, J.R., Ortiz, C., Alarcón, A., Anera, R.G., 2011. New testing software for quantifying discrimination capacity in subjects with ocular pathologies. *J. Biomed. Opt.* 16 (1), 015001. doi:10.1117/1.3526702
- Castro, J.J., Ortiz, C., Pozo, A.M., Anera, R.G., Soler, M., 2014a. A visual test based on a freeware software for quantifying and displaying night-vision disturbances: Study in subjects after alcohol consumption. *Theor. Biol. Med. Model.* 11 (SUPPL.1), S1. doi:10.1186/1742-4682-11-S1-S1
- Castro, J.J., Pozo, A.M., Rubiño, M., Anera, R.G., Jiménez del Barco, L., 2014b. Retinal-Image Quality and Night-Vision Performance after Alcohol Consumption. *J. Ophthalmol.* 2014, 1-7. doi:10.1155/2014/704823
- Castro-Torres, J., González-Anera, R., Jiménez-Cuesta, J., Alarcón-Heredia, A., Soler-Fernández, M., 2013. Visión nocturna y consumo de alcohol: riesgo en la conducción, en: *Avances En Seguridad Vial. Libro de Capítulos Del Congreso Internacional de Seguridad Vial.* pp. 17–24.
- Chai, J., Qu, W., Sun, X., Zhang, K., Ge, Y., 2016. Negativity Bias in Dangerous Drivers. *PLoS One* 11 (1), e0147083. doi:10.1371/journal.pone.0147083
- Chaparro, A., Wood, J.M., Carberry, T., 2005. Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance. *Optom. Vis. Sci.* 82 (8), 747-754. doi:10.1097/01.opx.0000174724.74957.45
- Charman, W.N., 1989. The path to presbyopia: straight or crooked? *Ophthalmic Physiol. Opt.* 9 (4), 424-430.

- Charlton, J.L., Oxley, J., Fildes, B., Oxley, P., Newstead, S., Koppel, S., et al., 2006. Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 9 (5), 363–373.
- Charlton, S.G., Starkey, N.J., Perrone, J.A., Isler, R.B., 2014. What’s the risk? A comparison of actual and perceived driving risk. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 25, 50–64. doi:10.1016/J.TRF.2014.05.003
- Chevalier, A., Coxon, K., Rogers, K., Chevalier, A.J., Wall, J., Brown, J., et al., 2016. A longitudinal investigation of the predictors of older drivers’ speeding behaviour. *Accid. Anal. Prev.* 93, 41–47. doi:10.1016/j.aap.2016.04.006
- Chihuri, S., Mielenz, T.J., Dimaggio, C.J., Betz, M.E., Diguseppi, C., Jones, V.C., Li, G., 2016. Driving cessation and health outcomes in older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* 64 (2). doi:10.1111/jgs.13931
- Chisholm, S.L., Caird, J.K., Lockhart, J., 2008. The effects of practice with MP3 players on driving performance. *Accid. Anal. Prev.* 40, 704-713. doi:10.1016/j.aap.2007.09.014
- Choudhary, P., Velaga, N.R., 2017. Mobile phone use during driving: Effects on speed and effectiveness of driver compensatory behaviour. *Accid. Anal. Prev.* 106, 370–378. doi:10.1016/J.AAP.2017.06.021
- Classen, S., Holmes, J.D., Alvarez, L., Loew, K., Mulvagh, A., Rienas, K., et al., 2015. Clinical Assessments as Predictors of Primary On-Road Outcomes in Parkinson’s Disease. *OTJR Occup. Particip. Heal.* 35 (4), 213-220. doi:10.1177/1539449215601118
- Clay, O.J., Wadley, V.G., Edwards, J.D., Roth, D.L., Roenker, D.L., Ball, K.K., 2005. Cumulative meta-analysis of the relationship between useful field of view and driving performance in older adults: Current and future implications. *Optom. Vis. Sci.* 82 (8), 724-731. doi:10.1097/01.opx.0000175009.08626.65
- Cnossen, F., Rothengatter, T., Meijman, T., 2000. Strategic changes in task performance in simulated car driving as an adaptive response to task demands. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 3 (3), 123–140. doi:10.1016/S1369-8478(00)00021-8
- Cohen, J.E., 2003. Human Population: The Next Half Century. *Science* 302 (5648):1172-1175. doi:10.1126/science.1088665
- Colijn, J.M., Buitendijk, G.H.S., Prokofyeva, E., Alves, D., Cachulo, M.L., Khawaja, A.P., et al., 2017. Prevalence of Age-Related Macular Degeneration in Europe: The Past and the Future. *Ophthalmology.* 124 (12): 1753-1763. doi:10.1016/j.ophtha.2017.05.035
- Collet, C., Guillot, A., Petit, C., 2010. Phoning while driving I: a review of epidemiological , psychological , behavioural and physiological studies. *Ergonomics* 53 (5), 589-601.

doi:10.1080/00140131003672023

- Compton, W.M., Volkow, N.D., Lopez, M.F., 2017. Medical Marijuana laws and cannabis use: Intersections of health and policy. *JAMA Psychiatry* 74 (6), 559-560. doi:10.1001/jamapsychiatry.2017.0723
- Congdon, N.G., Friedman, D.S., Lietman, T., 2003. Important Causes of Visual Impairment in the World Today. *J. Am. Med. Assoc.* 290 (15), 2057-2060. doi:10.1001/jama.290.15.2057
- Cooper, P.J., 1990. Elderly drivers' views of self and driving in relation to the evidence of accident data. *J. Safety Res.* 21 (3), 103-113. doi:10.1016/0022-4375(90)900187
- Coppens, J.E., Franssen, L., van Rijn, L.J., van den Berg, T.J.T.P., 2006. Reliability of the compensation comparison stray-light measurement method. *J. Biomed. Opt.* 11 (3), 034027. doi:10.1117/1.2209555
- Cordazzo, S.T.D., Scialfa, C.T., Ross, R.J., 2016. Modernization of the Driver Behaviour Questionnaire. *Accid. Anal. Prev.* 87, 83-91. doi:10.1016/j.aap.2015.11.016
- Costa, M., Bonetti, L., Vignali, V., Bichicchi, A., Lantieri, C., Simone, A., 2019. Driver's visual attention to different categories of roadside advertising signs. *Appl. Ergon.* 78, 127-136. doi:10.1016/j.apergo.2019.03.001
- Coyne, K.S., Kay Margolis, M., Kennedy-Martin, T., Baker, T.M., Klein, R., Paul, M.D., et al., 2004. The impact of diabetic retinopathy: perspectives from patient focus groups. *Fam. Pract.* 21 (4). doi:10.1093/fampra/cmh417
- Cross, J.M., McGwin, G., Rubin, G.S., Ball, K.K., West, S.K., Roenker, D.L., et al., 2009. Visual and medical risk factors for motor vehicle collision involvement among older drivers. *Br. J. Ophthalmol.* 93 (3), 400-4. doi:10.1136/bjo.2008.144584
- Curcio, C.A., Millican, C.L., Allen, K.A., Kalina, R.E., 1993. Aging of the human photoreceptor mosaic: Evidence for selective vulnerability of rods in central retina. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 34 (12), 3278-3296.
- Dasilva, M., Grieve, K.L., Rivadulla, C., 2016. Cannabis, Endocannabinoid CB1 Receptors, and the Neuropathology of Vision, en: *Neuropathology of Drug Addictions and Substance Misuse*. Elsevier, pp. 738-748. doi:10.1016/B978-0-12-800213-1.00069-9
- Dawson, W.W., Jiménez-Antillon, C.F., Perez, J.M., Zeskind, J.A., 1977. Marijuana and vision-after ten years' use in Costa Rica. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 16 (8), 689-699.
- De Waard, P.W.T., Ijspeert, J.K., van den Berg, T.J.T.P., De Jong, P.T.V.M., 1992. Intraocular light scattering in age-related cataracts. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 33 (3), 618-625.
- DeCarlo, D.K., Scilley, K., Wells, J., Owsley, C., 2003. Driving habits and health-related quality

- of life in patients with age-related maculopathy. *Optom. Vis. Sci.* 80 (3), 207-213. doi:10.1097/00006324-200303000-00010
- Decina, L.E., Staplin, L., 1993. Retrospective evaluation of alternative vision screening criteria for older and younger drivers. *Accid. Anal. Prev.* 25 (3), 267-275. doi:10.1016/0001-4575(93)90021-N
- Deshmukh, S., 2015. Analysis of WhatsApp Users and Its Usage worldwide. *Int. J. Sci. Res. Publ.* 5 (8), 2-4.
- Devlin, A., McGillivray, J.A., 2014. Self-regulation of older drivers with cognitive impairment: A systematic review. *Australas. J. Ageing.* 33(2). doi:10.1111/ajag.12061
- Dewar, R., Kline, D., Scheiber, F., Swanson, A., 1997. Symbol signing design for older drivers. Report No. FHWA-RD-94-069 4.
- DGT, 2019. Las principales cifras de la siniestralidad en 2018. Dirección General de Tráfico, Madrid.
- DGT, 2018. Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España 2017. Dirección General de Tráfico, Madrid.
- DGT, 2016. Conducir sin red/es. *Tráfico y Seguridad Vial.* Dirección General de Tráfico, Madrid. doi:10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178
- Díaz-Doutón, F., Benito, A., Pujol, J., Arjona, M., Güell, J.L., Artal, P., 2006. Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 47 (4), 1710-1716. doi:10.1167/iovs.05-1049
- Diniz-Filho, A., Boer, E.R., Elhosseiny, A., Wu, Z., Nakanishi, M., Medeiros, F.A., 2016. Glaucoma and driving risk under simulated fog conditions. *Transl. Vis. Sci. Technol.* 5 (6), 5. doi:10.1167/tvst.5.6.15
- Domingo-Salvany, A., Herrero, M.J., Fernandez, B., Perez, J., del Real, P., González-Luque, J.C., et al., 2017. Prevalence of psychoactive substances, alcohol and illicit drugs, in Spanish drivers: A roadside study in 2015. *Forensic Sci. Int.* 278, 253-259. doi:10.1016/J.FORSCIINT.2017.07.005
- Downey, L.A., King, R., Papafotiou, K., Swann, P., Ogden, E., Boorman, M., et al., 2013. The effects of cannabis and alcohol on simulated driving: Influences of dose and experience. *Accid. Anal. Prev.* 50, 879-886. doi:10.1016/j.aap.2012.07.016
- Drance, S.M., Berry, V., Hughes, A., 1967. Studies on the effects of age on the central and peripheral isopters of the visual field in normal subjects. *Am. J. Ophthalmol.* 63 (6), 1667-1672. doi:10.1016/0002-9394(67)93644-6

- Drews, F.A., Yazdani, H., Godfrey, C.N., Cooper, J.M., 2009. Text Messaging During Simulated Driving. *Hum. Factors* 51 (5), 762-770. doi:10.1177/0018720809353319.
- Dukic, T., Ahlstrom, C., Patten, C., Kettwich, C., Kircher, K., 2013. Effects of Electronic Billboards on Driver Distraction. *Traffic Inj. Prev.* 14 (5), 469-476. doi:10.1080/15389588.2012.731546
- Dula, C.S., Ballard, M.E., 2003. Development and Evaluation of a Measure of Dangerous, Aggressive, Negative Emotional, and Risky Driving1. *J. Appl. Soc. Psychol.* 33 (2), 263-282. doi:10.1111/j.1559-1816.2003.tb01896.x
- EDADES, 2017. Encuesta sobre alcohol y otras drogas en España (EDADES), 1995-2017. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social.
- Edquist, J., Horberry, T., Hosking, S., Johnston, I., 2011. Effects of advertising billboards during simulated driving. *Appl. Ergon.* 42 (4), 619-626. doi:10.1016/j.apergo.2010.08.013
- Edwards, J.D., Wadley, V.G., Vance, D.E., Wood, K., Roenker, D.L., Ball, K.K., 2005. The impact of speed of processing training on cognitive and everyday performance. *Aging Ment. Health.* 9 (3), 262-271. doi:10.1080/13607860412331336788
- Ehrenreich, H., Rinn, T., Kunert, H.J., Moeller, M.R., Poser, W., Schilling, L., et al., 1999. Specific attentional dysfunction in adults following early start of cannabis use. *Psychopharmacology (Berl).* 142 (3), 295-301. doi:10.1007/s002130050892
- Elliott, D.B., Situ, P., 1998. Visual acuity versus letter contrast sensitivity in early cataract. *Vision Res.* 38 (13), 2047-2052. doi:10.1016/S0042-6989(97)00382-9
- Elliot, D.B., Yang, K.C.H., Whitaker, D., 1995. Visual acuity changes throughout adulthood in normal, healthy eyes: Seeing beyond 6/6. *Optom. Vis. Sci.* 72 (3), 186-191. doi:10.1097/00006324-199503000-00006
- Elliott, D.B., Bullimore, M.A., 1993. Assessing the reliability, discriminative ability, and validity of disability glare tests. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 34 (1), 108-119.
- EMCDDA, 2019. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2019). European Drug Report 2019: Trends and Developments. Publications Office of the European Union, Luxembourg. doi:10.2810/295940
- EMCDDA, 2018. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction and Canadian Centre on Substance Use and Addiction (2018), Cannabis and driving: questions and answers for policymaking, Publications Office of the European Union, Luxembourg. doi:10.2810/729865
- EMCDDA, 2012. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (2012). The State of the Drugs Problem in Europe. Annual Report 2012. Publications Office of the European

Union, Luxembourg. doi:10.2810/64775

- Emrich, H.M., Leweke, F.M., Schneider, U., 1997. Towards a Cannabinoid Hypothesis of Schizophrenia: Cognitive Impairments Due to Dysregulation of the Endogenous Cannabinoid System. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 56 (4), 803-807. doi:10.1016/S0091-3057(96)00426-1
- Emrich, H.M., Weber, M.M., Wendl, A., Zihl, J., Von Meyer, L., Hanisch, W., 1991. Reduced binocular depth inversion as an indicator of cannabis-induced censorship impairment. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 40 (3), 689-690. doi:10.1016/0091-3057(91)90383-D
- Evans, L., 1988. Older driver involvement in fatal and severe traffic crashes. *J. Gerontol.* 43 (6), S186-93.
- Factor, R., 2018. An empirical analysis of the characteristics of drivers who are ticketed for traffic offences. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 53, 1–13. doi:10.1016/J.TRF.2017.12.001
- Ferdinand, A.O., Menachemi, N., 2014. Associations between driving performance and engaging in secondary tasks: a systematic review. *Am. J. Public Health* 104 (3), e39-48. doi:10.2105/AJPH.2013.301750
- Fergusson, D.M., Horwood, L.J., Boden, J.M., 2008. Is driving under the influence of cannabis becoming a greater risk to driver safety than drink driving? Findings from a longitudinal study. *Accid. Anal. Prev.* 40 (4), 1345-1350. doi:10.1016/j.aap.2008.02.005
- Fernández, J., Rodríguez-Vallejo, M., Martínez, J., Tauste, A., Piñero, D.P., 2018. From Presbyopia to Cataracts: A Critical Review on Dysfunctional Lens Syndrome. *J. Ophthalmol.* 2018, 4318405. doi:10.1155/2018/4318405
- Fitch, G., Toole, L., Grove, K., Soccolich, S., Hanowski, R.J., 2017. Investigating Drivers' Compensatory Behavior when Using a Mobile Device. Blacksburg, Virginia.
- Fitch, G.M., Grove, K., Hanowski, R.J., Perez, M.A., 2014. Compensatory Behavior of Drivers When Conversing on a Cell Phone. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2434 (1), 1–8. doi:10.3141/2434-01
- Fitch, G.M., Hanowski, R.J., Guo, F., 2015. The Risk of a Safety-Critical Event Associated With Mobile Device Use in Specific Driving Contexts. *Traffic Inj. Prev.* 16 (2), 124–132. doi:10.1080/15389588.2014.923566
- Fofanova, J., Vollrath, M., 2011. Distraction while driving : The case of older drivers. *Transp. Res. Part F Psychol. Behav.* 14 (6), 638-648. doi:10.1016/j.trf.2011.08.005
- Fonda, S.J., Wallace, R.B., Herzog, A.R., 2001. Changes in driving patterns and worsening depressive symptoms among older adults. *Journals Gerontol. B Psychol Sci Soc Sci.* 56 (6),

s343-351. doi:10.1093/geronb/56.6.S343

- Fraser, M.L., Meuleners, L.B., Lee, A.H., Ng, J.Q., Morlet, N., 2013a. Which visual measures affect change in driving difficulty after first eye cataract surgery? *Accid. Anal. Prev.* 58, 10-14. doi:10.1016/j.aap.2013.04.015
- Fraser, M.L., Meuleners, L.B., Ng, J.Q., Morlet, N., 2013b. Driver self-regulation and depressive symptoms in cataract patients awaiting surgery: a cross-sectional study. *BMC Ophthalmol.* 13 (45). doi:10.1186/1471-2415-13-45
- Freeman, E.E., Muñoz, B., Turano, K.A., West, S.K., 2006. Measures of visual function and their association with driving modification in older adults. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 47 (2), 514-520. doi:10.1167/iovs.05-0934
- Freeman, E.E., Muñoz, B., West, S.K., Jampel, H.D., Friedman, D.S., 2008. Glaucoma and Quality of Life. The Salisbury Eye Evaluation. *Ophthalmology* 115 (2), 233-238. doi:10.1016/j.optha.2007.04.050
- Fuller, R., 2000. The task-capability interface model of the driving process. *Rech. - Transp. - Secur.* 66, 47-57. doi:10.1016/S0761-8980(00)90006-2
- Fuller, R., McHugh, C., Pender, S., 2008. Task difficulty and risk in the determination of driver behaviour. *Rev. Eur. Psychol. Appliquée/European Rev. Appl. Psychol.* 58 (1), 13-21. doi:10.1016/J.ERAP.2005.07.004
- Fuller, R., Santos, J.A., 2002. Psychology and the Highway Engineer, in: Human Factors for Highway Engineers. doi:10.1016/b978-008043412-4/50003-5
- Galliot, F., Patel, S.R., Cochener, B., 2016. Objective Scatter Index: Working Toward a New Quantification of Cataract? *J. Refract. Surg.* 32 (2) , 96-102. doi:10.3928/1081597X-20151222-02
- Galván, G., Guerrero-Martelo, M., Vásquez De la Hoz, F., 2017. Cannabis: una ilusión cognitiva. *Rev. Colomb. Psiquiatr.* 46 (2), 95-102. doi:10.1016/j.rcp.2016.04.002
- Gaoni, Y., Mechoulam, R., 1964. Isolation, Structure, and Partial Synthesis of an Active Constituent of Hashish. *J. Am. Chem. Soc.* 86 (8), 1646-1647. doi:10.1021/ja01062a046
- Gilhotra, J.S., Mitchell, P., Ivers, R., Cumming, R.G., 2001. Impaired vision and other factors associated with driving cessation in the elderly: The Blue Mountains Eye Study. *Clin Exp Ophthalmol.* 29 (3): 104-107. doi:10.1046/j.14429071.2001.00411.x
- Gjerde, H., Mørland, J., 2016. Risk for involvement in road traffic crash during acute cannabis intoxication. *Addiction* 111 (8), 1492-1495. doi:10.1111/add.13435
- Gjerde, H., Strand, M.C., Mørland, J., 2015. Driving Under the Influence of Non-Alcohol Drugs-

- An Update Part I: Epidemiological Studies. *Forensic Sci. Rev.* 27 (2), 89-113.
- Glasser, A., 2011. Accommodation, in: Levin, L., Nilsson, S., Ver Hoeve, J., Wu, S., Alm, A., Kaufman, P. (Eds.), *Adler's Physiology of the Eye*. Saunders, London. U.K., pp. 40–70.
- Glen, F.C., Smith, N.D., Crabb, D.P., 2015. Impact of superior and inferior visual field loss on hazard detection in a computer-based driving test. *Br. J. Ophthalmol.* 99 (5), 613-617. doi:10.1136/bjophthalmol-2014-305932
- Gliklich, E., Guo, R., Bergmark, R.W., 2016. Texting while driving: A study of 1211 U.S. adults with the Distracted Driving Survey. *Prev. Med. Reports* 4, 486-489. doi:10.1016/j.pmedr.2016.09.003
- Gómez-Talegón, T., Fierro, I., González-Luque, J.C., Colás, M., López-Rivadulla, M., Javier Álvarez, F., 2012. Prevalence of psychoactive substances, alcohol, illicit drugs, and medicines, in Spanish drivers: A roadside study. *Forensic Sci. Int.* 223 (1-3), 106-113. doi:10.1016/j.forsciint.2012.08.012
- Gras, M.E., Cunill, M., Sullman, M.J.M., Planes, M., Aymerich, M., Font-Mayolas, S., 2007. Mobile phone use while driving in a sample of Spanish university workers. *Accid. Anal. Prev.* 39 (2), 347-355. doi:10.1016/j.aap.2006.08.006
- Gray, R., Regan, D., 2007. Glare susceptibility test results correlate with temporal safety margin when executing turns across approaching vehicles in simulated low-sun conditions. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 27 (5), 440-450. doi:10.1111/j.1475-1313.2007.00503.x
- Gregersen, N.P., 1996. Young drivers' overestimation of their own skill - An experiment on the relation between training strategy and skill. *Accid. Anal. Prev.* 28 (2), 243-250. doi:10.1016/0001-4575(95)00066-6
- Grotenhermen, F., 2003. Pharmacokinetics and Pharmacodynamics of Cannabinoids. *Clin Pharmacokinet* 42 (4), 327–360. doi: 10.2165/00003088-200342040-00003
- Guirao, A., Manuel, G., Geraghty, E., Norrby, S., Artal, P., 1999. Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 40 (1), 203-213.
- Gupta, B., Paliga, J., Laderman, D.J., Szlyk, J.P., 2005. The effect of occlusive patching on visually-directed tasks. *J AAPOS* 9 (5), 485-492. doi:10.1016/j.jaapos.2005.04.002
- Haegerstrom-Portnoy, G., Schneck, M.E., Brabyn, J.A., 1999. Seeing into old age: Vision function beyond acuity. *Optom. Vis. Sci.* 76 (3), 141-158. doi:10.1097/00006324-199903000-00014
- Hancox, G., Richardson, J., Morris, A., 2013. Drivers' willingness to engage with their mobile phone: The influence of phone function and road demand. *Intell. Transp. Syst. IET* 7, 215–

222. doi:10.1049/iet-its.2012.0133

- Harbluk, J.L., Burns, P.C., Lochner, M., Trbovich, P.L., 2007. Using the Lane-Change Test (LCT) to Assess Distraction: Tests of Visual-Manual and Speech-Based Operation of Navigation System Interfaces. The University of Iowa, pp. 16-22. doi:10.17077/drivingassessment.1208
- Hartman, R.L., Brown, T.L., Milavetz, G., Spurgin, A., Pierce, R.S., Gorelick, D.A., et al., 2016. Cannabis effects on driving longitudinal control with and without alcohol. *J. Appl. Toxicol.* 36 (11), 1418-1429. doi:10.1002/jat.3295
- Hartman, R.L., Brown, T.L., Milavetz, G., Spurgin, A., Pierce, R.S., Gorelick, D.A., et al., 2015. Cannabis Effects on Driving Lateral Control With and Without Alcohol. *Drug Alcohol Depend.* 154, 25-37. doi:10.1016/j.drugalcdep.2015.06.015
- Hartman, R.L., Huestis, M.A., 2013. Cannabis Effects on Driving Skills. *Clin. Chem.* 59 (3), 478-492. doi:10.1373/CLINCHEM.2012.194381
- Hashash, M., Abou Zeid, M., Moacdieh, N.M., 2019. Social media browsing while driving: Effects on driver performance and attention allocation. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 63, 67-82. doi:10.1016/j.trf.2019.03.021
- Haymes, S.A., LeBlanc, R.P., Nicolela, M.T., Chiasson, L.A., Chauhan, B.C., 2008. Glaucoma and on-road driving performance. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 49 (7), 3035-3041. doi:10.1167/iovs.07-1609
- Haymes, S.A., LeBlanc, R.P., Nicolela, M.T., Chiasson, L.A., Chauhan, B.C., 2007. Risk of falls and motor vehicle collisions in glaucoma. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 48 (3), 1149-1155. doi:10.1167/iovs.06-0886
- Hennelly, M.L., Barbur, J.L., Edgar, D.F., Woodward, E.G., 1998. The effect of age on the light scattering characteristics of the eye. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 18 (2), 197-203.
- Higgins, K.E., Wood, J., Tait, A., 1998. Vision and Driving: Selective Effect of Optical Blur on Different Driving Tasks. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 40 (2), 224-232. doi:10.1518/001872098779480415
- Higgins, K.E., Wood, J.M., 2005. Predicting components of closed road driving performance from vision tests. *Optom. Vis. Sci.* 82 (8), 647-656. doi:10.1097/01.opx.0000174725.32907.86
- Hills, B.L., Burg, A., 1977. A reanalysis of California driver vision data: general findings. Transport and Road Research Laboratory. Department of the Environment. Department of Transport. TRRL LABORATORY REPORT 768. Crowthorne, Berkshire.
- Hirai, F.E., Tielsch, J.M., Klein, B.E.K., Klein, R., 2011. Ten-year change in vision-related

- quality of life in type 1 diabetes: Wisconsin Epidemiologic study of diabetic retinopathy. *Ophthalmology* 118 (2), 353-358. doi:10.1016/j.ophtha.2010.06.022
- Ho, G., Scialfa, C.T., Caird, J.K., Graw, T., 2001. Visual Search for Traffic Signs: The Effects of Clutter, Luminance, and Aging. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 43 (2), 194-207. doi:10.1518/001872001775900922
- Hofstetter, H.W., 1976. Visual acuity and highway accidents. *J. Am. Optom. Assoc.* 47 (7), 887-893.
- Holland, C., Rathod, V., 2013. Influence of personal mobile phone ringing and usual intention to answer on driver error. *Accid. Anal. Prev.* 50, 793-800. doi:10.1016/j.aap.2012.07.004
- Holland, C.A., Rabbitt, P.M.A., 1992. People's awareness of their age-related sensory and cognitive deficits and the implications for road safety. *Appl. Cogn. Psychol.* 6 (3), 217-231. doi:10.1002/acp.2350060304
- Horberry, T., Anderson, J., Regan, M.A., Triggs, T.J., Brown, J., 2006. Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accid. Anal. Prev.* 38 (1), 185-191. doi:10.1016/j.aap.2005.09.007
- Hosking, S.G., Young, K.L., Regan, M.A., 2009. The Effects of Text Messaging on Young Drivers. *Hum. Factors* 51 (4), 582-592. doi:10.1177/0018720809341575.
- Hostiuc, S., Moldoveanu, A., Negoii, I., Drima, E., 2018. The Association of Unfavorable Traffic Events and Cannabis Usage: A Meta-Analysis. *Front. Pharmacol.* 9, 99. doi:10.3389/fphar.2018.00099
- Huestegge, L., Kunert, H.-J., Radach, R., 2010. Long-term effects of cannabis on eye movement control in reading. *Psychopharmacology (Berl)*. 209 (1), 77-84. doi:10.1007/s00213-009-1769-z
- Huisinigh, C., McGwin, G., Wood, J., Owsley, C., 2015. The Driving Visual Field and a History of Motor Vehicle Collision Involvement in Older Drivers: A Population-Based Examination. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 56 (1), 132-138. doi:10.1167/iovs.14-15194
- Hunault, C.C., Mensinga, T.T., De Vries, I., Kelholt-Dijkman, H.H., Hoek, J., Kruidenier, et al., 2008. Delta-9-tetrahydrocannabinol (THC) serum concentrations and pharmacological effects in males after smoking a combination of tobacco and cannabis containing up to 69 mg THC. *Psychopharmacology* 201 (2), 171-181. doi:10.1007/s00213-008-1260-2
- Huth, V., Sanchez, Y., Brusque, C., 2015. Drivers' phone use at red traffic lights: A roadside observation study comparing calls and visual – manual interactions. *Accid. Anal. Prev.* 74, 42-48. doi:10.1016/j.aap.2014.10.008
- Hwang, J.S., Lee, Y.P., Bae, S.H., Kim, H.K., Yi, K., Shin, Y.J., 2018. Utility of the optical

- quality analysis system for decision-making in cataract surgery. *BMC Ophthalmol.* 18 (1), 231. doi:10.1186/s12886-018-0904-1
- Hyman, L., 1987. Epidemiology of eye disease in the elderly. *Eye* 1 (2), 330-341. doi:10.1038/eye.1987.53
- Irwin, C., Monement, S., Desbrow, B., Irwin, C., Monement, S., Desbrow, B.E.N., 2015. The Influence of Drinking , Texting , and Eating on Simulated Driving Performance. *Traffic Inj. Prev.* 16 (2), 116-123. doi:10.1080/15389588.2014.920953
- Ivers, R.Q., Mitchell, P., Cumming, R.G., 1999. Sensory impairment and driving: the Blue Mountains Eye Study. *Am. J. Public Health* 89 (1), 85-87. doi:10.2105/AJPH.89.1.85
- Janz, N.K., Musch, D.C., Gillespie, B.W., Wren, P.A., Niziol, L.M., 2009. Evaluating clinical change and visual function concerns in drivers and nondrivers with glaucoma. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 50 (4), 1718-1725. doi:10.1167/iovs.08-2575
- Jiménez, J.R., Villa, C., Anera, R.G., Gutiérrez, R., del Barco, L.J., 2006. Binocular visual performance after LASIK. *J. Refract. Surg.* 22 (7), 679-88.
- Johnson, C.A., Adams, A.J., Lewis, R.A., 1989. Evidence for a neural basis of age-related visual field loss in normal observers. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 30 (9), 2056-2064.
- Johnson, C.A., Keltner, J.L., 1983. Incidence of Visual Field Loss in 20,000 Eyes and Its Relationship to Driving Performance. *Arch. Ophthalmol.* 101 (3), 371-375. doi:10.1001/archopht.1983.01040010371002
- Kasneci, E., Sippel, K., Aehling, K., Heister, M., Rosenstiel, W., Schiefer, U., et al., 2014. Driving with binocular visual field loss? A study on a supervised on-road parcours with simultaneous eye and head tracking. *PLoS One* 9 (2) e87470. doi:10.1371/journal.pone.0087470
- Keay, L., Munoz, B., Turano, K.A., Hassan, S.E., Munro, C.A., Duncan, D.D., et al., 2009. Visual and cognitive deficits predict stopping or restricting driving: The salisbury eye evaluation driving study (SEEDS). *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 50 (1), 107–113. doi:10.1167/iovs.08-2367
- Keay, L., Palagyi, A., Do, V., White, A., Lamoureux, E., Ivers, R.Q., et al., 2016. Vision and driving status of older Australians with cataract: an investigation of public hospital waiting lists. *Clin. Exp. Optom.* 99 (5), 449-455. doi:10.1111/cxo.12414
- Kimlin, J.A., Black, A.A., Wood, J.M., 2017. Nighttime Driving in Older Adults: Effects of Glare and Association With Mesopic Visual Function. *Investig. Ophthalmology Vis. Sci.* 58 (5), 2796. doi:10.1167/iovs.16-21219
- Klein, R., 1991. Age-related eye disease, visual impairment, and driving in the elderly. *Hum.*

Factors 33 (5), 521-525. doi:10.1177/001872089103300504

- Kline, D.W., Birren, J.E., 1975. Age differences in backward dichoptic masking. *Exp. Aging Res.* 1 (1), 17-25. doi:10.1080/03610737508257943
- Kline, D.W., Kline, T.J.B., Fozard, J.L., Kosnik, W., Schieber, F., Sekuler, R., 1992. Vision, Aging, and Driving: The Problems of Older Drivers. *J. Gerontol.* 47 (1), 27-34. doi:10.1093/geronj/47.1.P27
- Korczyn, A.D., 1980. The ocular effects of cannabinoids. *Gen Pharmacol.* 11, 419-423. doi:10.1016/0306-3623(80)90026-9
- Kuehn, B., 2020. Dangers of Driving While High. *JAMA* 323 (6), 500. doi:10.1001/jama.2020.0073
- Kunimatsu-Sanuki, S., Iwase, A., Araie, M., Aoki, Y., Hara, T., Fukuchi, T., et al., 2017. The role of specific visual subfields in collisions with oncoming cars during simulated driving in patients with advanced glaucoma. *Br. J. Ophthalmol.* 101 (7), 896-901. doi:10.1136/bjophthalmol-2016-308754
- Kwon, M., Huisinigh, C., Rhodes, L.A., McGwin, G., Wood, J.M., Owsley, C., 2016. Association between Glaucoma and At-fault Motor Vehicle Collision Involvement among Older Drivers: A Population-based Study. *Ophthalmology* 123 (1), 109-116. doi:10.1016/j.ophtha.2015.08.043
- Lachenmayr, B., Berger, J., Buser, A., Keller, O., 1998. Reduced visual capacity increases the risk of accidents in street traffic. *Ophthalmologie.* 95 (1), 44-50.
- Layfield, S., Burge, W., Mitchell, W., Ross, L., Denning, C., Amthor, F., et al., 2014. The effect of speed of processing training on microsaccade amplitude. *PloS One* 9 (9), e107808. doi:10.1371/journal.pone.0107808.
- Laitinen, A., Laatikainen, L., Härkänen, T., Koskinen, S., Reunanen, A., Aromaa, A., 2010. Prevalence of major eye diseases and causes of visual impairment in the adult Finnish population: A nationwide population-based survey. *Acta Ophthalmol.* 88 (4), 463-471. doi:10.1111/j.1755-3768.2009.01566.x
- Lalanne, L., Ferrand-Devouge, E., Kirchherr, S., Rauch, L., Koning, E., Speeg, C., et al., 2017. Impaired contrast sensitivity at low spatial frequency in cannabis users with early onset. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 27 (12), 1289-1297. doi:10.1016/j.euroneuro.2017.09.006
- Lee, J.D., Roberts, S.C., Hoffman, J.D., Angell, L.S., 2012. Scrolling and driving: how an MP3 player and its aftermarket controller affect driving performance and visual behavior. *Hum. Factors* 54 (2), 250-263. doi:10.1177/0018720811429562
- Lee, S.S.-Y., Black, A.A., Wood, J.M., 2019. Eye Movements of Drivers with Glaucoma on a

- Visual Recognition Slide Test. *Optom. Vis. Sci.* 96 (7), 484-491. doi:10.1097/OPX.0000000000001395
- Lee, S.S.-Y., Black, A.A., Wood, J.M., Wood, J., Black, A., 2018. Scanning behaviour and daytime driving performance of older adults with glaucoma. *J. Glaucoma* 27 (6), 558-565. doi:10.1097/IJG.0000000000000962
- Lenné, M.G., Dietze, P.M., Triggs, T.J., Walmsley, S., Murphy, B., Redman, J.R., 2010. The effects of cannabis and alcohol on simulated arterial driving: Influences of driving experience and task demand. *Accid. Anal. Prev.* 42 (3), 859-866. doi:10.1016/j.aap.2009.04.021
- Lerner, A.G., Goodman, C., Rudinski, D., Bleich, A., 2011. Benign and time-limited visual disturbances (flashbacks) in recent abstinent high-potency heavy cannabis smokers: a case series study. *Isr. J. Psychiatry Relat. Sci.* 48 (1), 25-29.
- Leweke, F.M., Schneider, U., Thies, M., Münte, T.F., Emrich, H.M., 1999. Effects of synthetic Δ 9 -tetrahydrocannabinol on binocular depth inversion of natural and artificial objects in man. *Psychopharmacology (Berl)*. 142 (3), 230-235. doi:10.1007/s002130050884
- Lewis-Evans, B., Rothengatter, T., 2009. Task difficulty, risk, effort and comfort in a simulated driving task—Implications for Risk Allostasis Theory. *Accid. Anal. Prev.* 41 (5), 1053–1063. doi:10.1016/J.AAP.2009.06.011
- Li, M.-C., Brady, J.E., DiMaggio, C.J., Lusardi, A.R., Tzong, K.Y., Li, G., 2012. Marijuana use and motor vehicle crashes. *Epidemiol. Rev.* 34 (1), 65-72. doi:10.1093/epirev/mxr017
- Li, X., Oviedo-Trespalacios, O., Rakotonirainy, A., Yan, X., 2019. Collision risk management of cognitively distracted drivers in a car-following situation. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 60, 288-298. doi:10.1016/j.trf.2018.10.011
- Liang, K.Y., Zeger, S.L., 1986. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika* 73 (1), 13–22. doi:10.1093/biomet/73.1.13
- Liang, Y., Lee, J.D., 2009. Combining cognitive and visual distraction : Less than the sum of its parts. *Accid. Anal. Prev.* 42 (3), 881-890. doi:10.1016/j.aap.2009.05.001
- Lipovac, K., Đerić, M., Tešić, M., Andrić, Z., Marić, B., 2017. Mobile phone use while driving—literary review. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 47, 132-142. doi:10.1016/j.trf.2017.04.015
- Liu, Y.-C., Ou, Y.-K., 2011. Effects of age and the use of hands-free cellular phones on driving behavior and task performance. *Traffic Inj. Prev.* 12 (6), 550-558. doi:10.1080/15389588.2011.607197
- Liu, Y.-C., Wilkins, M., Kim, T., Malyugin, B., Mehta, J.S., 2017. Cataracts. *Lancet* 390

(10094), 600-612. doi:10.1016/S0140-6736(17)30544-5

- Lotfipour, S., Patel, B.H., Grotzky, T.A., Anderson, C.L., Carr, E.M., Ahmed, S.S., et al., 2010. Comparison of the visual function index to the snellen visual acuity test in predicting older adult self-restricted driving. *Traffic Inj. Prev.* 11 (5), 503–507. doi:10.1080/15389588.2010.488494
- Lundqvist, T., Jönsson, S., Warkentin, S., 2001. Frontal lobe dysfunction in long-term cannabis users. *Neurotoxicol. Teratol.* 23 (5), 437-443. doi:10.1016/S0892-0362(01)00165-9
- Maïssa, C., Guillon, M., 2010. Tear film dynamics and lipid layer characteristics-Effect of age and gender. *Contact Lens Anterior Eye* 33 (4), 176-182. doi:10.1016/j.clae.2010.02.003
- Martínez-Roda, J., Vilaseca, M., Ondategui, J., Almudí, L., Asaad, M., Mateos-Pena, L., et al., 2016a. Double-pass technique and compensation-comparison method in eyes with cataract. *J. Cataract Refract. Surg.* 42 (10), 1461-1469. doi:10.1016/J.JCRS.2016.08.015
- Martínez-Roda, J.A., Vilaseca, M., Ondategui, J.C., Aguirre, M., Pujol, J., 2016b. Effects of aging on optical quality and visual function. *Clin. Exp. Optom.* 99 (6), 518-525. doi:10.1111/cxo.12369
- Martínez-Roda, J.A., Vilaseca, M., Ondategui, J.C., Giner, A., Burgos, F.J., Cardona, G., et al., 2011. Optical quality and intraocular scattering in a healthy young population. *Clin. Exp. Optom.* 94 (2), 223-229. doi:10.1111/j.1444-0938.2010.00535.x
- Martinussen, L.M., Hakamies-Blomqvist, L., Møller, M., Ozkan, T., Lajunen, T., 2013. Age, gender, mileage and the DBQ: the validity of the Driver Behavior Questionnaire in different driver groups. *Accid. Anal. Prev.* 52, 228-236. doi:10.1016/j.aap.2012.12.036
- McCloskey, L.W., Koepsell, T.D., Wolf, M.E., Buchner, D.M., 1994. Motor vehicle collision injuries and sensory impairments of older drivers. *Age Ageing* 23 (4), 267-273. doi:10.1093/ageing/23.4.267
- McEvoy, S.P., Stevenson, M.R., Woodward, M., 2006. Phone use and crashes while driving: a representative survey of drivers in two Australian states. *Med. J. Aust.* 185 (11), 630-634. doi:10.5694/J.1326-5377.2006.TB00734.X
- McGwin, G., Chapman, V., Owsley, C., 2000. Visual risk factors for driving difficulty among older drivers. *Accid. Anal. Prev.* 32 (6), 735-744. doi:10.1016/S0001-4575(99)00123-2
- McGwin, G., Huisinigh, C., Jain, S.G., Girkin, C.A., Owsley, C., 2015. Binocular visual field impairment in glaucoma and at-fault motor vehicle collisions. *J. Glaucoma* 24 (2), 138-143. doi:10.1097/IJG.0b013e3182a0761c
- McGwin, G., Mays, A., Joiner, W., Decarlo, D.K., McNeal, S., Owsley, C., 2004. Is glaucoma associated with motor vehicle collision involvement and driving avoidance? *Investig.*

- Ophthalmol. Vis. Sci.* 45 (11), 3934-3939. doi:10.1167/iovs.04-0524
- McGwin, G., Mitchell, B., Searcey, K., Albert, M.A., Feist, R., Mason, J.O., et al., 2013. Examining the association between age-related macular degeneration and motor vehicle collision involvement: a retrospective cohort study. *Br. J. Ophthalmol.* 97 (9), 1173-1176. doi:10.1136/bjophthalmol-2013-303601
- McGwin, G., Sims, R. V, Pulley, L., Roseman, J.M., 1999. Diabetes and automobile crashes in the elderly. A population-based case-control study. *Diabetes Care* 22 (2), 220-227. doi:10.2337/diacare.22.2.220
- McGwin, G., Xie, A., Mays, A., Joiner, W., DeCarlo, D.K., Hall, T.A., et al., 2005. Visual field defects and the risk of motor vehicle collisions among patients with glaucoma. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 46 (12), 4437-4441. doi:10.1167/iovs.05-0750
- McNabb, J., Gray, R., 2016. Staying Connected on the Road : A Comparison of Different Types of Smart Phone Use in a Driving Simulator. *PLoS One* 11 (2), 1-12. doi:10.1371/journal.pone.0148555
- Mechoulam, R., Gaoni, Y., 1967. The absolute configuration of δ^1 -tetrahydrocannabinol, the major active constituent of hashish. *Tetrahedron Lett.* 12, 1109-1111. doi:10.1016/S0040-4039(00)90646-4
- Mechoulam, R., Shvo, Y., 1963. Hashish-I. The structure of Cannabidiol. *Tetrahedron.* 19 (12), 2073-2078. doi:10.1016/0040-4020(63)85022-X
- Megías, A., Maldonado, A., Catena, A., Di Stasi, L.L., Serrano, J., Cándido, A., 2011. Modulation of attention and urgent decisions by affect-laden roadside advertisement in risky driving scenarios. *Saf. Sci.* 49 (10), 1388-1393. doi:10.1016/j.ssci.2011.06.001
- Meier, M.H., Caspi, A., Ambler, A., Harrington, H., Houts, R., Keefe, R.S.E., et al., 2012. Persistent cannabis users show neuropsychological decline from childhood to midlife. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109 (40), E2657-64. doi:10.1073/pnas.1206820109
- Mennemeyer, S.T., Owsley, C., McGwin, G., 2013. Reducing older driver motor vehicle collisions via earlier cataract surgery. *Accid. Anal. Prev.* 61, 203-211. doi:10.1016/j.aap.2013.01.002
- Metz, B., Landau, A., Hargutt, V., 2015. Frequency and impact of hands-free telephoning while driving - Results from naturalistic driving data. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 29, 1-13. doi:10.1016/j.trf.2014.12.002
- Meuleners, L.B., Brameld, K., Fraser, M.L., Chow, K., 2019. The impact of first- and second-eye cataract surgery on motor vehicle crashes and associated costs. *Age Ageing.* 48 (1), 128-133. doi:10.1093/ageing/afy156

- Meuleners, L.B., Hendrie, D., Lee, A.H., Ng, J.Q., Morlet, N., 2012. The effectiveness of cataract surgery in reducing motor vehicle crashes: A whole population study using linked data. *Ophthalmic Epidemiol.* 19 (1), 23-28. doi:10.3109/09286586.2011.628776
- Meuleners, L., Fraser, M., 2015. A validation study of driving errors using a driving simulator. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 29, 14–21. doi:10.1016/J.TRF.2014.11.009
- Micallef, J., Dupouey, J., Jouve, E., Truillet, R., Lacarelle, B., Taillard, J., et al., 2018. Cannabis smoking impairs driving performance on the simulator and real driving: a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial. *Fundam. Clin. Pharmacol.* 32 (5), 558-570. doi:10.1111/fcp.12382
- Michael, R., van Rijn, L.J., van den Berg, T.J.T.P., Barraquer, R.I., Grabner, G., Wilhelm, et al., 2009. Association of lens opacities, intraocular straylight, contrast sensitivity and visual acuity in European drivers. *Acta Ophthalmol.* 87 (6), 666-671. doi:10.1111/j.1755-3768.2008.01326.x
- Michaels, J., Chaumillon, R., Nguyen-Tri, D., Watanabe, D., Hirsch, P., Bellavance, F., et al., 2017. Driving simulator scenarios and measures to faithfully evaluate risky driving behavior: A comparative study of different driver age groups. *PLoS One* 12 (10), 1–24. doi:10.1371/journal.pone.0185909
- Mikulskaya, E., Martin, F.H., 2018. Contrast sensitivity and motion discrimination in cannabis users. *Psychopharmacology* 235 (8), 2459-2469. doi:10.1007/s00213-018-4944-2
- Mitzner, T.L., Boron, J.B., Fausset, C.B., Adams, A.E., Czaja, S.J., Dijkstra, K., et al., 2010.. *Comput. Human Behav.* 26 (6), 1710-1721. doi:10.1016/j.chb.2010.06.020.Older
- Molnar, L.J., Charlton, J.L., Eby, D.W., Bogard, S.E., Langford, J., Koppel, S., et al., 2013. Self-regulation of driving by older adults: Comparison of self-report and objective driving data. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 20, 29–38. doi:10.1016/j.trf.2013.05.001
- Molnar, L.J., Eby, D.W., 2008. The Relationship between Self-Regulation and Driving-Related Abilities in Older Drivers: An Exploratory Study. *Traffic Inj. Prev.* 9 (4), 314–319. doi:10.1080/15389580801895319
- Mönestam, E., 2005. Visual function and car driving: longitudinal results 5 years after cataract surgery in a population. *Br. J. Ophthalmol.* 89 (4), 459-463. doi:10.1136/bjo.2004.051151
- Montag, C., Błaszkiwicz, K., Sariyska, R., Lachmann, B., Andone, I., Trendafilov, B., et al., 2015. Smartphone usage in the 21st century: who is active on WhatsApp? *BMC Res. Notes* 8, 331. doi:10.1186/s13104-015-1280-z
- Montana, C.L., Bhorade, A.M., 2018. Glaucoma and quality of life: Fall and driving risk. *Curr. Opin. Ophthalmol.* 29 (2), 135-140. doi:10.1097/ICU.0000000000000455

- Moore, L.W., Miller, M., 2005. Driving strategies used by older adults with macular degeneration: Assessing the risks. *Appl. Nurs. Res.* 18 (2), 110-116. doi:10.1016/j.apnr.2004.06.014
- Moore, T.H.M., Zammit, S., Lingford-Hughes, A., Barnes, T.R.E., Jones, P.B., Burke, M., et al., 2007. Cannabis use and risk of psychotic or affective mental health outcomes: a systematic review. *Lancet* 370 (9584), 319-328. doi:10.1016/S0140-6736(07)61162-3
- Navarro, R., Rozema, J.J., Tassignon, M.-J., 2013a. Optical changes of the human cornea as a function of age. *Optom. Vis. Sci.* 90 (6), 587-598. doi:10.1097/OPX.0b013e3182928bc6
- Navarro, R., Rozema, J.J., Tassignon, M.J., 2013b. Orientation changes of the main corneal axes as a function of age. *Optom. Vis. Sci.* 90 (1), 23-30. doi:10.1097/OPX.0b013e3182780f88
- NHTSA, 2015. Distracted Driving 2015. U.S. DOT HS 812 381. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. New Jersey, Washington.
- Nischler, C., Michael, R., Wintersteller, C., Marvan, P., Emesz, M., Van Rijn, L.J., et al., 2010. Cataract and Pseudophakia in Elderly European Drivers. *Eur J Ophthalmol* 20 (5), 892-901.
- Noyes, R., Brunk, S.F., Avery, D.H., Canter, A., 1975. The analgesic properties of delta-9-tetrahydrocannabinol and codeine. *Clin. Pharmacol. Ther.* 18 (1), 84-89. doi:10.1002/cpt197518184
- Ogata, N.G., Daga, F.B., Jammal, A.A., Boer, E.R., Hill, L.L., Stringham, J.M., et al., 2019. Mobile Telephone Use and Reaction Time in Drivers With Glaucoma. *JAMA Netw. open* 2 (4), e192169. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.2169
- Okonkwo, O.C., Crowe, M., Wadley, V.G., Ball, K., 2008. Visual attention and self-regulation of driving among older adults. *Int. Psychogeriatrics* 20 (1), 162-173. doi:10.1017/S104161020700539X
- Olsen, T., 1982. Light scattering from the human cornea. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 23 (1), 81-86.
- OMS, 2018. Informe global del estado de la seguridad vial 2018. Organización Mundial de la Salud. Ginebra (Suiza)
- OMS, 2016. Drug use and road safety: A Policy Brief. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- OMS, 2011. Uso del celular al volante: un problema creciente de distracción del conductor. Organización Mundial de la Salud. Ginebra (Suiza).
- Ortiz, C., Castro, J.J., Alarcón, A., Soler, M., Anera, R.G., 2013. Quantifying age-related differences in visual-discrimination capacity: Drivers with and without visual impairment.

Appl. Ergon. 44 (4), 523-531. doi:10.1016/J.APERGO.2012.11.006

- Ortiz, C., Ortiz-Peregrina, S., Castro, J.J., Casares-López, M., Salas, C., 2018. Driver distraction by smartphone use (WhatsApp) in different age groups. *Accid. Anal. Prev.* 117, 239-249. doi:10.1016/J.AAP.2018.04.018
- Oviedo-Trespalacios, O., 2018. Getting away with texting: Behavioural adaptation of drivers engaging in visual-manual tasks while driving. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 116, 112-121. doi:10.1016/j.tra.2018.05.006
- Oviedo-Trespalacios, O., Haque, M., King, M., Washington, S., 2017a. Effects of road infrastructure and traffic complexity in speed adaptation behaviour of distracted drivers. *Accid. Anal. Prev.* 101, 67-77. doi:10.1016/j.aap.2017.01.018 LK
- Oviedo-Trespalacios, O., Haque, M., King, M., Washington, S., 2017b. Self-regulation of driving speed among distracted drivers: An application of driver behavioral adaptation theory. *Traffic Inj. Prev.* 18 (6), 599–605. doi:10.1080/15389588.2017.1278628
- Oviedo-Trespalacios, O., Haque, M.M., King, M., Demmel, S., 2018a. Driving behaviour while self-regulating mobile phone interactions: A human-machine system approach. *Accid. Anal. Prev.* 118, 253-262. doi:10.1016/j.aap.2018.03.020
- Oviedo-Trespalacios, O., Haque, M.M., King, M., Washington, S., 2018b. Should I Text or Call Here? A Situation-Based Analysis of Drivers' Perceived Likelihood of Engaging in Mobile Phone Multitasking. *Risk Anal.* 38 (10), 2144–2160. doi:10.1111/risa.13119
- Oviedo-Trespalacios, O., Haque, M.M., King, M., Washington, S., 2016. Understanding the impacts of mobile phone distraction on driving performance: A systematic review. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 72, 360-380. doi:10.1016/J.TRC.2016.10.006
- Oviedo-Trespalacios, O., King, M., Haque, M.M., Washington, S., 2017c. Risk factors of mobile phone use while driving in Queensland: Prevalence, attitudes, crash risk perception, and task-management strategies. *PLoS One* 12 (9), e0183361. doi:10.1371/journal.pone.0183361
- Oviedo-Trespalacios, O., Truelove, V., Watson, B., Hinton, J.A., 2019. The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 122, 85-98. doi:10.1016/j.tra.2019.01.012
- Owsley, C., 2011. Aging and Vision. *Vision Res.* 51 (13), 1610-1622. doi:10.1016/j.visres.2010.10.020
- Owsley, C., Ball, K., McGwin, J.G., et al, 1998. Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA* 279 (14), 1083-1088. doi:10.1001/jama.279.14.1083

- Owsley, C., Ball, K., Sloane, M.E., Roenker, D.L., Bruni, J.R., 1991. Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychol. Aging* 6 (3), 403-415. doi:10.1037/0882-7974.6.3.403
- Owsley, C., McGwin, G., 2010. Vision and Driving. *Vision Res.* 50 (23), 2348-2361. doi:10.1016/j.visres.2010.05.021
- Owsley, C., McGwin, G., Sloane, M., Wells, J., Stalvey, B.T., Gauthreaux, S., 2002. Impact of cataract surgery on motor vehicle crash involvement by older adults. *JAMA* 288 (7), 841-849. doi:10.1001/jama.288.7.841
- Owsley, C., Sekuler, R., Siemsen, D., 1983. Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Res.* 23 (7), 689-699. doi:10.1016/0042-6989(83)90210-9
- Owsley, C., Stalvey, B., Wells, J., Sloane, M.E., 1999. Older Drivers and Cataract: Driving Habits and Crash Risk. *Journals Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* 54 (4), M203-M211. doi:10.1093/gerona/54.4.M203
- Owsley, C., Stalvey, B.T., Wells, J., Sloane, M.E., McGwin, G., 2001. Visual Risk Factors for Crash Involvement in Older Drivers With Cataract. *Arch. Ophthalmol.* 119 (6), 881-887. doi:10.1001/archophth.119.6.881
- Owsley, C., Wood, J.M., McGwin, G., 2015. A roadmap for interpreting the literature on vision and driving. *Surv. Ophthalmol.* 60 (3), 250-262. doi:10.1016/j.survophthal.2015.01.005
- Ozdemir, M., Temizdemir, H., 2010. Age- and gender-related tear function changes in normal population. *Eye* 24 (1), 79-83. doi:10.1038/eye.2009.21
- Papadakaki, M., Tzamalouka, G., Gnardellis, C., Juhani, T., Chliaoutakis, J., 2016. Driving performance while using a mobile phone : A simulation study of Greek professional drivers. *Transp. Res. Part F Psychol. Behav.* 38, 164-170. doi:10.1016/j.trf.2016.02.006
- Papafotiou, K., Carter, J.D., Stough, C., 2005. The relationship between performance on the standardised field sobriety tests, driving performance and the level of Δ^9 -tetrahydrocannabinol (THC) in blood. *Forensic Sci. Int.* 155 (2-3), 172-178. doi:10.1016/J.FORSCIINT.2004.11.009
- Papantoniou, P., Papadimitriou, E., Yannis, G., 2017. Review of driving performance parameters critical for distracted driving research, en: *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., pp. 1796-1805. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.148
- Parc, C., Tiberghien, E., Pierre-Kahn, V., 2012. Driving habits in glaucoma patients. *J. Fr. Ophthalmol.* 35 (4), 235-241. doi:10.1016/j.jfo.2011.06.007
- Pascolini, D., Mariotti, S.P., 2012. Global estimates of visual impairment: 2010. *Br. J. Ophthalmol.* 96 (5), 614-618. doi:10.1136/bjophthalmol-2011-300539

- Paxion, J., Galy, E., Berthelon, C., 2014. Mental workload and driving. *Front. Psychol.* 5, 1344. doi:10.3389/fpsyg.2014.01344
- Perryman, K.M., Jaime Fitten, L., 1996. Effects of normal aging on the performance of motor-vehicle operational skills. *J. Geriatr. Psychiatry Neurol.* 9 (3), 136–141. doi:10.1177/089198879600900306
- Pesudovs, K., 2007. Takagi Glare Tester CGT-1000 for contrast sensitivity and glare testing in normal individuals and cataract patients. *J. Refract. Surg.* 23 (5), 492-498.
- Piñero, D.P., Ortiz, D., Alio, J.L., 2010. Ocular Scattering. *Optom. Vis. Sci.* 87 (9), E682-E696. doi:10.1097/OPX.0b013e3181e87da6
- Pino, M.J., Herruzo, C., Raya, A., Herruzo, J., 2016. Legal and Illegal Substance Consumption and Traffic Accident Risk Perception Among Spanish Young People. *Soc. Indic. Res.* 129 (2), 835-845. doi:10.1007/s11205-015-1121-4
- Poltavski, D.V., Biberdorf, D., Petros, T.V., 2012. Accommodative response and cortical activity during sustained attention. *Vision Res.* 63, 1-8. doi:10.1016/j.visres.2012.04.017
- Pomerance, G.N., Evans, D.W., 1994. Test-retest reliability of the CSV-1000 contrast test and its relationship to glaucoma therapy. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 35 (9), 3357-3361. doi:10.2214/AJR.07.3515
- Pope, C.N., Bell, T.R., Stavrinou, D., 2017. Mechanisms behind distracted driving behavior: The role of age and executive function in the engagement of distracted driving. *Accid. Anal. Prev.* 98, 123-129. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.030
- Potter, D.J., Clark, P., Brown, M.B., 2008. Potency of Δ 9-THC and other cannabinoids in cannabis in England in 2005: Implications for psychoactivity and pharmacology. *J. Forensic Sci.* 53 (1), 90-94. doi:10.1111/j.1556-4029.2007.00603.x
- Prado Vega, R., van Leeuwen, P.M., Rendón Vélez, E., Lemij, H.G., de Winter, J.C.F., 2013. Obstacle Avoidance, Visual Detection Performance, and Eye-Scanning Behavior of Glaucoma Patients in a Driving Simulator: A Preliminary Study. *PLoS One* 8 (10). doi:10.1371/journal.pone.0077294
- Prat, F., Gras, M.E., Planes, M., Font-Mayolas, S., Sullman, M.J.M., 2017. Driving distractions: An insight gained from roadside interviews on their prevalence and factors associated with driver distraction. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 45, 194-207. doi:10.1016/J.TRF.2016.12.001
- Preusser, D.F., Williams, A.F., Ferguson, S.A., Ulmer, R.G., Weinstein, H.B., 1998. Fatal crash risk for older drivers at intersections. *Accid. Anal. Prev.* 30 (2), 151-159. doi:10.1016/S0001-4575(97)00090-0

- Qin, L., Li, Z.R., Chen, Z., Andi Bill, M.S., Noyce, D.A., 2019. Understanding driver distractions in fatal crashes: An exploratory empirical analysis. *J. Safety Res.* 69, 23-31. doi:10.1016/j.jsr.2019.01.004
- Quigley, H., Broman, A.T., 2006. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br. J. Ophthalmol.* 90 (3), 262-267. doi:10.1136/bjo.2005.081224
- Quigley, H.A., 2011. Glaucoma. *Lancet* 377 (9774), 1367-1377. doi:10.1016/S0140-6736(10)61423-7
- Quillian, W.C., Cox, D.J., Kovatchev, B.P., Phillips, C., 1999. The effects of age and alcohol intoxication on simulated driving performance, awareness and self-restraint. *Age Ageing* 28 (1), 59-66. doi:10.1093/ageing/28.1.59
- Rakauskas, M.E., Gugerty, L.J., Ward, N.J., 2004. Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance. *J. Safety Res.* 35 (4), 453-464. doi:10.1016/j.jsr.2004.06.003
- Ramaekers, J.G., 2018. Driving Under the Influence of Cannabis. *JAMA* 319 (14), 1433. doi:10.1001/jama.2018.1334
- Ramaekers, J.G., Kuypers, K.P.C., Samyn, N., 2006. Stimulant effects of 3,4-methylenedioxymethamphetamine (MDMA) 75 mg and methylphenidate 20 mg on actual driving during intoxication and withdrawal. *Addiction* 101 (11), 1614-1621. doi:10.1111/j.1360-0443.2006.01566.x
- Ramaekers, J.G., Robbe, H.W.J., O'Hanlon, J.F., 2000. Marijuana, alcohol and actual driving performance. *Hum. Psychopharmacol. Clin. Exp.* 15 (7), 551-558. doi:10.1002/1099-1077(200010)15:7<551::AID-HUP236>3.0.CO;2-P
- Ramulu, P.Y., West, S.K., Munoz, B., Jampel, H.D., Friedman, D.S., 2009. Driving Cessation and Driving Limitation in Glaucoma. The Salisbury Eye Evaluation Project. *Ophthalmology* 116 (10), 1846-1853. doi:10.1016/j.optha.2009.03.033
- Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., Campbell, K., 1990. Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics* 33 (10-11), 1315-1332. doi:10.1080/00140139008925335
- Regan, M., A Lee, M., D. Young, J., 2008. Driver Distraction: Theory, Effects and Mitigation. *CRC Press*.
- Regan, M.A., Hallett, C., Gordon, C.P., 2011. Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy. *Accid. Anal. Prev.* 43 (5), 1771-1781. doi:10.1016/j.aap.2011.04.008
- Reimer, B., Donmez, B., Lavallière, M., Mehler, B., Coughlin, J.F., Teasdale, N., 2013. Impact

- of age and cognitive demand on lane choice and changing under actual highway conditions. *Accid. Anal. Prev.* 52, 125-132. doi:10.1016/j.aap.2012.12.008
- Rhodes, N., Pivik, K., 2011. Age and gender differences in risky driving: The roles of positive affect and risk perception. *Accid. Anal. Prev.* 43 (3), 923–931. doi:10.1016/J.AAP.2010.11.015
- Richer, I., Bergeron, J., 2009. Driving under the influence of cannabis: Links with dangerous driving, psychological predictors, and accident involvement. *Accid. Anal. Prev.* 41 (2), 299-307. doi:10.1016/j.aap.2008.12.004
- Rius, A., Artazcoz, L., Guisasola, L., Benach, J., 2014. Visual Impairment and Blindness in Spanish Adults: Geographic Inequalities Are Not Explained by Age or Education. *Ophthalmology* 121 (1) , 408-416. doi:10.1016/J.OPHTHA.2013.07.017
- Robbe, H., 1998. Marijuana’s impairing effects on driving are moderate when taken alone but severe when combined with alcohol. *Hum. Psychopharmacol. Clin. Exp.* 13 (52), 70-78. doi:10.1002/(SICI)1099-1077(1998110)13:2+<S70::AID-HUP50>3.0.CO;2-R
- Robertson, R.D., Mainegra Hing, M., Pashley, C.R., Brown, S.W., Vanlaar, W.G.M., 2017. Prevalence and trends of drugged driving in Canada. *Accid. Anal. Prev.* 99, 236-241. doi:10.1016/J.AAP.2016.12.008
- Romano, E., Voas, R.B., Camp, B., 2017. Cannabis and crash responsibility while driving below the alcohol per se legal limit. *Accid. Anal. Prev.* 108, 37-43. doi:10.1016/j.aap.2017.08.003
- Romoser, M.R.E., Pollatsek, A., Fisher, D.L., Williams, C.C., 2013. Comparing the glance patterns of older versus younger experienced drivers: Scanning for hazards while approaching and entering the intersection. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 16, 104-116. doi:10.1016/j.trf.2012.08.004
- Rosenbloom, S., 2001. Sustainability and automobility among the elderly: An international assessment. *Transportation* 28, 375-408. doi:10.1023/A:1011802707259
- Rosenbloom, S., 2013. Roadblocks Ahead for Seniors Who Don’t Drive. Washington DC: Urban Institute
- Rubin, G., West, S.K., Muñoz, B., Bandeen-Roche, K., Zeger, S., Schein, O., et al., 1997. A comprehensive assessment of visual impairment in a population of older americans. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 38 (3), 557-568.
- Rubin, G.S., Adamsons, I.A., Stark, W.J., 1993. Comparison of Acuity, Contrast Sensitivity, and Disability Glare Before and After Cataract Surgery. *Arch. Ophthalmol.* 111 (1), 56. doi:10.1001/archopht.1993.01090010060027
- Rubin, G.S., Ng, E.S.W., Bandeen-Roche, K., Keyl, P.M., Freeman, E.E., West, S.K., 2007. A

- Prospective, Population-Based Study of the Role of Visual Impairment in Motor Vehicle Crashes among Older Drivers: The SEE Study. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 48 (4), 1483. doi:10.1167/iovs.06-0474
- Rumschlag, G., Palumbo, T., Martin, A., Head, D., George, R., Commissaris, R.L., 2015. The effects of texting on driving performance in a driving simulator: The influence of driver age. *Accid. Anal. Prev.* 74, 145-149. doi:10.1016/j.aap.2014.10.009
- Rusch, M.L., Schall, M.C., Lee, J.D., Dawson, J.D., Edwards, S. V., Rizzo, M., 2016. Time-to-contact estimation errors among older drivers with useful field of view impairments. *Accid. Anal. Prev.* 95, 284-291. doi:10.1016/j.aap.2016.07.008
- Russo, E., Merzouki, A., Mesa, J., Frey, K., Bach, P., 2004. Cannabis improves night vision: A case study of dark adaptometry and scotopic sensitivity in kif smokers of the Rif mountains of northern Morocco. *J. Ethnopharmacol.* 93 (1), 99-104. doi:10.1016/j.jep.2004.03.029
- Sagberg, F., 2006. Driver health and crash involvement: A case-control study. *Accid. Anal. Prev.* 38 (1), 28-34. doi:10.1016/j.aap.2005.06.018
- Saifuzzaman, M., Haque, M.M., Zheng, Z., Washington, S., 2015. Impact of mobile phone use on car-following behaviour of young drivers. *Accid. Anal. Prev.* 82, 10-19. doi:10.1016/j.aap.2015.05.001
- Sainz-Gómez, C., Fernández-Robredo, P., Salinas-Alamán, A., Montañés, J.M., Escudero-Berasategui, J.M., Guillén-Grima, F., et al., 2010. Prevalence and causes of bilateral blindness and visual impairment among institutionalized elderly people in Pamplona, Spain. *Eur. J. Ophthalmol.* 20 (2), 442-450.
- Salvucci, D., Markley, D., Zuber, M., Brumby, D., 2007. iPod distraction: Effects of portable music-player use on driver performance, Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings. doi:10.1145/1240624.1240665
- Sample, P.A., Quirante, J.S., Weinreb, R.N., 1991. Age-related changes in the human lens: Clinical assessment of age-related changes in the human lens. *Acta Ophthalmol.* 69 (3), 310-314. doi:10.1111/j.1755-3768.1991.tb04820.x
- Sanders, A.F., 1970. Some aspects of the selective process in the functional visual field. *Ergonomics* 13 (1), 101-117. doi:10.1080/00140137008931124
- Sandlin, D., McGwin, G., Owsley, C., 2014. Association between vision impairment and driving exposure in older adults aged 70 years and over: A population-based examination. *Acta Ophthalmol.* 92 (3), e207-12. doi:10.1111/aos.12050
- Schwitzer, T., Schwan, R., Albuissou, E., Giersch, A., Lalanne, L., Angioi-Duprez, K., et al., 2017. Association between regular cannabis use and ganglion cell dysfunction. *JAMA*

Ophthalmol. 135 (1), 54-60. doi:10.1001/jamaophthalmol.2016.4761

- Schwitzer, T., Schwan, R., Angioi-Duprez, K., Ingster-Moati, I., Lalanne, L., Giersch, A., et al., 2015. The cannabinoid system and visual processing: A review on experimental findings and clinical presumptions. *Eur. Neuropsychopharmacol.* 25 (1), 100-112. doi:10.1016/J.EURONEURO.2014.11.002
- Sebag, J., 1987. Age-related changes in human vitreous structure. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 225 (2), 89-93. doi:10.1007/BF02160337
- Simple, D.M., Ramsden, F., McIntosh, A.M., 2003. Reduced binocular depth inversion in regular cannabis users. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 75, 789-793. doi:10.1016/S0091-3057(03)00140-0
- Sengupta, S., Van Landingham, S.W., Solomon, S.D., Do, D. V., Friedman, D.S., Ramulu, P.Y., 2014. Driving habits in older patients with central vision loss. *Ophthalmology* 121 (3), 727-732. doi:10.1016/j.ophtha.2013.09.042
- Sexton, B.F., Tunbridge, R.J., Brook-Carter, N., Jackson, P.G., Wright, K., Stark, M.M., et al., 2000. The influence of cannabis on driving. Road Safety Division. Department of the Environment, Transport and the Regions. TRL Report 477.
- Sheppard, A.L., Davies, L.N., 2010. Clinical evaluation of the Grand Seiko Auto Ref/Keratometer WAM-5500. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 30 (2), 143-151. doi:10.1111/j.1475-1313.2009.00701.x
- Shinar, D., Schieber, F., 1991. Visual Requirements for Safety and Mobility of Older Drivers. *Hum. Factors* 33 (5), 507-519.
- Simmons, S.M., Hicks, A., Caird, J.K., 2016. Safety-critical event risk associated with cell phone tasks as measured in naturalistic driving studies: A systematic review and meta-analysis. *Accid. Anal. Prev.* 87, 161-169. doi:10.1016/j.aap.2015.11.015
- Sims, R. V., McGwin, G., Allman, R.M., Ball, K., Owsley, C., 2000. Exploratory study of incident vehicle crashes among older drivers. *Journals Gerontol. - Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* 55 (1), M22-M27. doi:10.1093/gerona/55.1.M22
- Sivak, M., 1996. The Information That Drivers Use: Is it Indeed 90% Visual? *Perception* 25 (9), 1081-1089. doi:10.1068/p251081
- Solowij, N., 1995. Do cognitive impairments recover following cessation of cannabis use? *Life Sci.* 56 (23-24), 2119-2126. doi:10.1016/0024-3205(95)00197-E
- Solowij, N., Battisti, R., 2008. The chronic effects of cannabis on memory in humans: a review. *Curr. Drug Abuse Rev.* 1 (1), 81-98. doi:10.2174/1874473710801010081

- Spear, P.D., 1993. Neural bases of visual deficits during aging. *Vision Res.* 33 (18), 2589-2609. doi:10.1016/0042-6989(93)90218-L
- Spry, P.G.D., Johnson, C.A., 2001. Senescent changes of the normal visual field: An age-old problem. *Optom. Vis. Sci.* 78 (6), 436-441. doi:10.1097/00006324-200106000-00017
- Stamatiadis, N., Deacon, J.A., 1995. Trends in highway safety: Effects of an aging population on accident propensity. *Accid. Anal. Prev.* 27 (4), 443-459. doi:10.1016/0001-4575(94)00086-2
- Stephens, A.N., Fitzharris, M., 2016. Validation of the Driver Behaviour Questionnaire in a representative sample of drivers in Australia. *Accid. Anal. Prev.* 86, 186-198. doi:10.1016/j.aap.2015.10.030
- Stinchcombe, A., Gagnon, S., Zhang, J.J., Montembeault, P., Bedard, M., 2011. Fluctuating attentional demand in a simulated driving assessment: the roles of age and driving complexity. *Traffic Inj. Prev.* 12 (6), 576–587. doi:10.1080/15389588.2011.607479
- Straiker, A.J., Maguire, G., Mackie, K., Lindsey, J., 1999. Localization of Cannabinoid CB1 Receptors in the Human Anterior Eye and Retina. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 40 (10), 2442-2448.
- Strayer, D.L., Cooper, J.M., Goethe, R.M., McCarty, M.M., Getty, D.J., Biondi, F., 2019. Assessing the visual and cognitive demands of in-vehicle information systems. *Cogn. Res. Princ. Implic.* 4 (1). doi:10.1186/s41235-019-0166-3
- Subzwari, S., Desapriya, E., Scime, G., Babul, S., Jivani, K., Pike, I., 2008. Effectiveness of cataract surgery in reducing driving-related difficulties: a systematic review and meta-analysis. *Inj. Prev.* 14 (5), 324-328. doi:10.1136/ip.2007.017830
- Sullivan, K.A., Smith, S.S., Horswill, M.S., Lurie-Beck, J.K., 2011. Older adults' safety perceptions of driving situations: Towards a new driving self-regulation scale. *Accid. Anal. Prev.* 43 (3), 1003–1009. doi:10.1016/j.aap.2010.11.031
- Szlyk, J., Taglia, D., Paliga, J., Edward, D., Wilensky, J., 2002. Driving performance in patients with mild to moderate glaucomatous clinical vision changes. *J. Rehabil. Res. Dev.* 39 (4), 467-482.
- Szlyk, J.P., Mahler, C.L., Seiple, W., Edward, D.P., Wilensky, J.T., 2005. Driving performance of glaucoma patients correlates with peripheral visual field loss. *J. Glaucoma* 14 (2), 145-150. doi:10.1097/01.ijg.0000151686.89162.28
- Szlyk, J.P., Pizzimenti, C.E., Fishman, G.A., Kelsch, R., Wetzel, L.C., Kagan, S., et al., 1995a. A Comparison of Driving in Older Subjects With and Without Age-Related Macular Degeneration. *Arch. Ophthalmol.* 113 (8), 1033-1040.

doi:10.1001/archophth.1995.01100080085033

- Szlyk, J.P., Seiple, M., Viana, M., 1995b. Relative Effects of Age and Compromised Vision on Driving Performance. *Hum. Factors* 37 (2), 430-436.
- Tabernerero, J., Benito, A., Alcón, E., Artal, P., 2007. Mechanism of compensation of aberrations in the human eye. *J. Opt. Soc. Am. A* 24 (10), 3274-3283. doi:10.1364/josaa.24.003274
- Tam, A.L.C., Trope, G.E., Buys, Y.M., Yang, Y., Shen, C., Jin, Y.P., 2018. Self-perceived Impact of Glaucomatous Visual Field Loss and Visual Disabilities on Driving Difficulty and Cessation. *J. Glaucoma* 27 (11), 981-986. doi:10.1097/IJG.0000000000001079
- Tanabe, S., Yuki, K., Ozeki, N., Shiba, D., Abe, T., Kouyama, K., et al., 2011. The association between primary open-angle glaucoma and motor vehicle collisions. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.* 52 (7), 4177-4181. doi:10.1167/iovs.10-6264
- Tatham, A.J., Boer, E.R., Gracitelli, C.P.B., Rosen, P.N., Medeiros, F.A., 2015. Relationship Between Motor Vehicle Collisions and Results of Perimetry, Useful Field of View, and Driving Simulation in Drivers With Glaucoma. *Transl. Vis. Sci. Technol.* 4 (3), 5. doi:10.1167/tvst.4.3.5
- Thapa, R., Codjoe, J., Ishak, S., Mccarter, K.S., 2015. Post and During Event Effect of Cell Phone Talking and Texting on Driving Performance — A Driving Simulator Study. *Traffic Inj. Prev.* 16 (5). doi:10.1080/15389588.2014.969803
- Tomlinson, A., Craig, M., 2002. Time and the tear film, in *The Tear Film*, eds. D.R. Korb, J. Craig, M. Doughty, J.-P. Guillon, G. Smith, and A.Tomlinson. London, U.K. Butterworth-Heinemann, pp. 83-103.
- Törnros, J.E.B., Bolling, A.K., 2005. Mobile phone use - Effects of handheld and handsfree phones on driving performance. *Accid. Anal. Prev.* 37 (5), 902-909. doi:10.1016/j.aap.2005.04.007
- Truelove, V., Freeman, J., Davey, J., 2019. “I Snapchat and Drive!” A mixed methods approach examining snapchat use while driving and deterrent perceptions among young adults. *Accid. Anal. Prev.* 131, 146-156. doi:10.1016/j.aap.2019.06.008
- Tucker, S., Pek, S., Morrish, J., Ruf, M., 2015. Prevalence of texting while driving and other risky driving behaviors among young people in Ontario, Canada: Evidence from 2012 and 2014. *Accid. Anal. Prev.* 84, 144-152. doi:10.1016/j.aap.2015.07.011
- Uc, E.Y., Rizzo, M., Anderson, S.W., Dastrup, E., Sparks, J.D., Dawson, J.D., 2009. Driving under low-contrast visibility conditions in Parkinson disease. *Neurology* 73 (14), 1103-1110. doi:10.1212/WNL.0b013e3181bacf6e
- van den Berg, T.J., 1986. Importance of pathological intraocular light scatter for visual disability.

- Doc. Ophthalmol.* 61 (3–4), 327–333.
- van den Berg, T.J., 1995. Analysis of intraocular straylight, especially in relation to age. *Optom. Vis. Sci.* 72 (2), 52-59.
- van Den Berg, T.J.T.P., 2017a. Scattering, straylight, and glare, en: Artal, P. (Ed.), Handbook of Visual Optics, Volume One: Fundamentals and Eye Optics. Taylor & Francis, pp. 349-362. doi:10.1201/9781315373034
- van den Berg, T.J.T.P., 2017b. The (lack of) relation between straylight and visual acuity. Two domains of the point-spread-function. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 37 (3), 333-341. doi:10.1111/opo.12368
- van den Berg, T.J.T.P., Coppens JE inventors, Konik, N.L., 2005. Akademie van Wetens Applicant. Method and Device for Measuring Retinal Straylight. European Patent EP 1659929. May 31
- van den Berg, T.J.T.P., Franssen, L., Kruijt, B., Coppens, J.E., 2013. History of ocular straylight measurement: A review. *Z. Med. Phys.* 23 (2013), 6-20. doi:10.1016/j.zemedi.2012.10.009
- van den Berg, T.J.T.P., van Rijn, L.J., Kaper-Bongers, R., Vonhoff, D.J., Völker-Dieben, H.J., Grabner, G., et al., 2009. Disability glare in the aging eye. Assessment and impact on driving. *J. Optom.* doi:10.3921/joptom.2009.112
- van Den Berg, T.J.T.P., Van Rijn, L.J.R., Michael, R., Heine, C., Coeckelbergh, T., Nischler, C., et al., 2007. Straylight Effects with Aging and Lens Extraction. *Am. J. Ophthalmol.* 144 (3), 358-363.e1. doi:10.1016/j.ajo.2007.05.037
- Van Landingham, S.W., Hochberg, C., Massof, R.W., Chan, E., Friedman, D.S., Ramulu, P.Y., 2013. Driving patterns in older adults with glaucoma. *BMC Ophthalmol.* 13 (1), 4. doi:10.1186/1471-2415-13-4
- van Rijn, L.J., Nischler, C., Gamer, D., Franssen, L., De Wit, G., Kaper, R., et al., 2005. Measurement of stray light and glare: Comparison of Nyktotest, Mesotest, stray light meter, and computer implemented stray light meter. *Br. J. Ophthalmol.* 89 (3), 345-351. doi:10.1136/bjo.2004.044990
- van Rijn, L.J., Nischler, C., Michael, R., Heine, C., Coeckelbergh, T., Wilhelm, H., et al., 2011. Prevalence of impairment of visual function in European drivers. *Acta Ophthalmol.* 20 (5), 892-901. doi:10.1111/j.1755-3768.2009.01640.x
- van Rijn, L.J., Wilhelm, H., Emesz, M., Kaper, R., Heine, S., Nitsch, S., et al., 2002. Relation between perceived driving disability and scores of vision screening tests. *Br. J. Ophthalmol.* 86 (11), 1262-1264.
- Varet, F., Granié, M.-A., Apostolidis, T., 2018. The role of individualism, gender and situational

- factors on probabilities of committing offences in a French drivers sample. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 56, 293–305. doi:10.1016/J.TRF.2018.04.020
- Veldstra, J.L., Bosker, W.M., de Waard, D., Ramaekers, J.G., Brookhuis, K.A., 2015. Comparing treatment effects of oral THC on simulated and on-the-road driving performance: testing the validity of driving simulator drug research. *Psychopharmacology (Berl)*. 232 (16), 2911-2919. doi:10.1007/s00213-015-3927-9
- Vera, J., Diaz-Piedra, C., Jiménez, R., Morales, J.M., Catena, A., Cardenas, D., Di Stasi, L.L., 2016. Driving time modulates accommodative response and intraocular pressure. *Physiol. Behav.* 164, 47–53. doi:10.1016/j.physbeh.2016.05.043
- Verdejo-García, A., Rivas-Pérez, C., López-Torrecillas, F., Pérez-García, M., 2006. Differential impact of severity of drug use on frontal behavioral symptoms. *Addict. Behav.* 31 (8), 1373-1382. doi:10.1016/j.addbeh.2005.11.003
- Verster, J.C., Roth, T., 2014. Excursions out-of-lane versus standard deviation of lateral position as outcome measure of the on-the-road driving test. *Hum. Psychopharmacol.* 29 (4), 322-329. doi:10.1002/hup.2406
- Vilaseca, M., Peris, E., Pujol, J., Borrás, R., Arjona, M., 2010. Intra- and intersession repeatability of a double-pass instrument. *Optom. Vis. Sci.* 87 (9), 675-681. doi:10.1097/OPX.0b013e3181ea1ad3
- Wallace, B., 2003. Driver distraction by advertising: genuine risk or urban myth. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 156 (ME3), 185-190. doi:10.1680/muen.2003.156.3.185
- Walsh, D.A., Williams, M. V, Hertzog, C.K., 1979. Age-related differences in two stages of central perceptual processes: the effects of short duration targets and criterion differences. *J. Gerontol.* 34 (2), 234-241.
- Wang, J.J., Foran, S., Mitchell, P., 2000. Age-specific prevalence and causes of bilateral and unilateral visual impairment in older Australians: the Blue Mountains Eye Study. *Clin. Exp. Ophthalmol.* 28 (4), 268-273. doi:10.1046/j.1442-9071.2000.00315.x
- Wang, X., Abdel-Aty, M., 2006. Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. *Accid. Anal. Prev.* 38 (6), 1137–1150. doi:10.1016/j.aap.2006.04.022
- Weale, R. A., 1992. The senescence of human vision. Oxford, UK: Oxford University Press.
- West, M.E., 1991. Cannabis and night vision. *Nature* 351 (6329), 703-704. doi:10.1038/351703b0
- West, C.G., Gildengorin, G., Haegerstrom-Portnoy, G., Lott, L.A., Schneck, M.E., Brabyn, J.A., 2003. Vision and driving self-restriction in older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* 51 (10), 1348–1355. doi:10.1046/j.1532-5415.2003.51482.x

- Willemsen, J., Dula, C.S., Declercq, F., 2008. The Dula Dangerous Driving Index: An Investigation of Reliability and Validity across Cultures. *Acc. Anal. Prev.* 40 (2), 798-806. doi: 10.1016/j.aap.2007.09.019
- Willstrand, T.D., Broberg, T., Selander, H., 2017. Driving Characteristics of Older Drivers and Their Relationship to the Useful Field of View Test. *Gerontology* 63 (2), 180-188. doi:10.1159/000448281
- Wilson, F.A., Stimpson, J.P., 2010. Trends in fatalities from distracted driving in the United States, 1999 to 2008. *Am. J. Public Health* 100 (11), 2213-2219. doi:10.2105/AJPH.2009.187179
- Wong, I.Y., Smith, S.S., Sullivan, K.A., Allan, A.C., 2016. Toward the multilevel older person's transportation and road safety model: A new perspective on the role of demographic, functional, and psychosocial factors. *Journals Gerontol. - Ser. B Psychol. Sci. Soc. Sci.* 71 (1), 71-86. doi:10.1093/geronb/gbu099
- Wong, W.L., Su, X., Li, X., Cheung, C.M.G., Klein, R., Cheng, C.Y., et al., 2014. Global prevalence of age-related macular degeneration and disease burden projection for 2020 and 2040: A systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob. Heal.* 2 (2), e106-116. doi:10.1016/S2214-109X(13)70145-1
- Wood, J., Carberry, T., 2004. Older Drivers and Cataracts: Measures of Driving Performance Before and After Cataract Surgery. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 1865, 7-13. doi:10.3141/1865-02
- Wood, J., Chaparro, A., Hickson, L., 2009. Interaction between visual status, driver age and distracters on daytime driving performance. *Vision Res.* 49 (17), 2225-2231. doi:10.1016/j.visres.2009.06.017
- Wood, J.M., 2002. Age and visual impairment decrease driving performance as measured on a closed-road circuit. *Hum. Factors.* 44 (3), 482-494. doi:10.1518/0018720024497664
- Wood, J.M., Anstey, K.J., Kerr, G.K., Lacherez, P.F., Lord, S., 2008. A Multidomain Approach for Predicting Older Driver Safety Under In-Traffic Road Conditions. *J. Am. Geriatr. Soc.* 56 (6), 986-993. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.01709.x
- Wood, J.M., Black, A.A., Mallon, K., Kwan, A.S., Owsley, C., 2018. Effects of Age-Related Macular Degeneration on Driving Performance. *Investig. Ophthalmol Vis Sci* 59 (1), 273-279. doi:10.1167/iovs.17-22751
- Wood, J.M., Black, A.A., Mallon, K., Thomas, R., Owsley, C., 2016. Glaucoma and Driving: On-Road Driving Characteristics. *PLoS One.* 11 (7), e0158318. doi:10.1371/journal.pone.0158318

- Wood, J.M., Carberry, T.P., 2006. Bilateral cataract surgery and driving performance. *Br. J. Ophthalmol.* 90 (10), 1277-1280. doi:10.1136/bjo.2006.096057
- Wood, J.M., Dique, T., Troutbeck, R., 1993. The effect of artificial visual impairment on functional visual fields and driving performance. *Clin. Vis. Sci.* 8 (6), 563-575.
- Wood, J.M., Mallon, K., 2001. Comparison of driving performance of young and old drivers (with and without visual impairment) measured during in-traffic conditions. *Optom. Vis. Sci.* 78 (5), 343-349. doi:10.1097/00006324-200105000-00018
- Wood, J.M., Owens, D.A., 2005. Standard Measures of Visual Acuity Do Not Predict Drivers' Recognition Performance Under Day or Night Conditions. *Optom. Vis. Sci.* 82 (8), 698-705. doi:10.1097/01.opx.0000175562.27101.51
- Wood, J.M., Owsley, C., 2014. Useful field of view test. *Gerontology* 60(4), 315-318. doi:10.1159/000356753
- Wood, J.M., Troutbeck, R., 1995. Elderly drivers and simulated visual impairment. *Optom. Vis. Sci.* 72 (2), 115-124. doi:10.1097/00006324-199502000-00010
- Wood, J.M., Troutbeck, R., 1994. Effect of Visual Impairment on Driving. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 36 (3), 476-487. doi:10.1177/001872089403600305
- Wood, J.M., Troutbeck, R., 1992. Effect of restriction of the binocular visual field on driving performance. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 12 (3), 291-298. doi:10.1111/j.1475-1313.1992.tb00400.x
- World Medical Association., 2001. World Medical Association Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Bull. World Health Organ.* 79 (4), 373-374.
- Yan, W., Wong, S.C., Li, Y.C., Sze, N.N., Yan, X., 2015. Young driver distraction by text messaging : A comparison of the effects of reading and typing text messages in Chinese versus English. *Transp. Res. Part F Psychol. Behav.* 31, 87-98. doi:10.1016/j.trf.2015.03.010
- Yannis, G., Laiou, A., Papantoniou, P., Christoforou, C., 2014. Impact of texting on young drivers' behavior and safety on urban and rural roads through a simulation experiment. *J. Safety Res.* 49, 25.e1-31. doi:10.1016/J.JSR.2014.02.008
- Yannis, G., Laiou, A., Papantoniou, P., Gkartzonikas, C., 2016. Simulation of texting impact on young drivers ' behavior and safety on motorways. *Transp. Res. Part F Psychol. Behav.* 41, 10-18. doi: 10.1016/j.jsr.2014.02.008.
- Yazulla, S., 2008. Endocannabinoids in the retina: From marijuana to neuroprotection. *Prog. Retin. Eye Res.* 27 (5), 501-526. doi:10.1016/j.preteyeres.2008.07.002

- Yellott, J.I., 1981. Binocular depth inversion. *Sci. Am.* 245 (1), 148-159. doi:10.1038/scientificamerican0781-148
- Young, K., Regan, M., Lee, J., 2008. Factors Moderating the Impact of Distraction on Driving Performance and Safety. pp. 335-351. doi:10.1201/9781420007497.pt6
- Young, K.L., Rudin-Brown, C.M., Patten, C., Ceci, R., Lenné, M.G., 2014. Effects of phone type on driving and eye glance behaviour while text-messaging. *Saf. Sci.* 68, 47-54. doi:10.1016/j.ssci.2014.02.018
- Young, M.S., Mahfoud, J.M., Stanton, N.A., Salmon, P.M., Jenkins, D.P., Walker, G.H., 2009. Conflicts of interest: The implications of roadside advertising for driver attention. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 12 (5), 381-388. doi:10.1016/j.trf.2009.05.004
- Young, R., 2017. Removing biases from crash odds ratio estimates of secondary tasks: A new analysis of the SHRP2 naturalistic driving study data (No. 2017-01-1380).
- Yuki, K., Asaoka, R., Tsubota, K., 2014. The relationship between central visual field damage and motor vehicle collisions in primary open-angle glaucoma patients. *PLoS One* 9 (12), e115572. doi:10.1371/journal.pone.0115572
- Zhang, Q., Ge, Y., Qu, W., Zhang, K., Sun, X., 2018. The traffic climate in China: The mediating effect of traffic safety climate between personality and dangerous driving behavior. *Accid. Anal. Prev.* 113, 213-223. doi:10.1016/j.aap.2018.01.031
- Zobor, D., Strasser, T., Zobor, G., Schober, F., Messias, A., Strauss, O., et al., 2015. Ophthalmological assessment of cannabis-induced persisting perception disorder: Is there a direct retinal effect? *Doc. Ophthalmol.* 130 (2), 121-130. doi:10.1007/s10633-015-9481-2

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

AD: aggressive driving; conducción agresiva

AUDIT: Alcohol Use Disorders Identification Test; Test de Identificación de Desórdenes en el Uso de Alcohol

AV: agudeza visual

BAT: Brightness Acuity Tester

BDII: binocular depth inversion illusion; ilusión de inversión de la profundidad binocular

BGT: Berkeley Glare Test

BrAc: contenido de alcohol en aire expirado

CBD: cannabidiol

CI: coeficiente intelectual

CUDIT-R: Cannabis Use Disorders Identification Test- Revised; Test Revisado de Identificación de Desórdenes en el Uso de Cannabis

CV: campo visual

DBQ: Driver Behaviour Questionnaire; Cuestionario de Comportamiento en la Conducción

DDDI: Dula Dangerous Driving Index: Índice de Conducción de Riesgo de Dula

DE: desviación estándar

DGT: Dirección General de Tráfico

DHQ: Driver Habits Questionnaire

DMAE: degeneración macular asociada a la edad

DUIC: driving under the influence of cannabis; conducción bajo el efecto del cannabis

FARS: Fatality Analysis Reporting System; Sistema de Información y Análisis de Fatalidad

GPS: Global Positioning System; Sistema de Posicionamiento Global

HPT: Hazard Perception Test

MTF: Modulation Transfer Function; Función de Transferencia de Modulación

NCDE: negative cognitive/emotional driving; conducción cognitiva/emocional negativa

NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration; Administración Nacional de Seguridad Vial

ODPS: overall driving performance score; índice general de rendimiento en la conducción

OSI: Objective Scatter Index; Índice Objetivo de Scattering

PSF: Point Spread Function; Función de Dispersion de Punto

RA: respuesta acomodativa

RD: retinopatía diabética

RD: risky driving; conducción de riesgo

SC: sensibilidad al contraste

SDLP: desviación estándar de la posición lateral en el carril

SMS: Short Message System; Servicio de Mensajes Cortos

TCI: Task Capability Interface; Interfaz Tarea-Capacidad

THC: Δ^9 -tetrahidrocannabinol

TR: tiempo de reacción

UFOV: Useful Field of View

VDI: visual disturbance index; índice de alteración visual

**ACTIVIDADES CIENTÍFICAS
DURANTE EL PERÍODO
DOCTORAL (2016-2020)**

1. Publicaciones asociadas a la tesis y difusión de resultados

Artículos científicos

- Ortiz, C; Ortiz-Peregrina, S; Castro-Torres, JJ; Casares-López, M; Salas, C. Driver distraction by smartphone use (WhatsApp) in different age groups. *Accident Analysis & Prevention*, 2018. 117, 239- 249.
- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Salas, C; Casares-López, M; Soler, M; Anera, RG. Intraocular Scattering as a predictor of driving performance in older adults with cataracts. *PloS One*, 2020. 15 (1): e0227892.
- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Casares-López, M; Castro, JJ; Jiménez-del-Barco, L; Anera, RG. Impact of visual function ageing on driving (*Acta Ophthalmologica*, en proceso de revisión)
- Ortiz-Pergrina, S; Oviedo-Trespalacios, O; Ortiz, C; Casares-López, M; Salas, C; Anera, RG. Factors determining speed management during distracted driving (WhatsApp messaging). The influence of drivers' visual status (*Scientific Reports*, en proceso de revisión).
- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Casares-López, M; Jiménez, JR; Anera, RG. Effects of cannabis on vision. The relationship between objective measures and self- perceived visual quality (Sometido en *Vision Research*)
- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Castro-Torres, JJ; Jiménez, JR; Anera, RG. Could smoking cannabis' visual effects suppose a risk for driving performance? A driving-simulator based study (Sometido en *JAMA Ophthalmology*)
- Older drivers and cataracts: self-regulation patterns and visual test useful to predict them (En preparación)
- Dynamics of the accommodative response after smoking cannabis (En preparación).

Capítulos de libro

- Sonia Ortiz-Peregrina, Carolina Ortiz Herrera. Efecto de los cambios visuales asociados a la edad en la conducción. Investigación en salud y envejecimiento. Volumen IV. pp. 435 - 442. 2017.

Comunicaciones en congresos y reuniones científicas

- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Hita, E; Jiménez-del-Barco, L; Anera, RG. Conductores mayores y catarata, ¿qué parámetros visuales son importantes? OPTOM, 2021. Madrid (España). Comunicación aceptada.

- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Jiménez-del-Barco, L; Anera, RG. Efectos en la visión del consumo de cannabis. Estudio preliminar en un grupo de fumadores. RNO, 2018. Castellón (España).

- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Salas, C; Casares-López, M; Anera, RG. Effects of age-related visual changes on distracted driving by WhatsApp. ARVO 2018. Honolulu (EEUU).

- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Salas, C; Casares-López, M; Anera, RG. Conducción nocturna: calidad visual, comportamientos y actitudes en conductores de distintas edades. OPTOM, 2018. Madrid (España).

- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Casares-López, M; Hita, E; Anera, RG. Visual age-related changes on driving behaviour. IV Congreso Internacional de Investigación en Salud y Envejecimiento y II Congreso Internacional de Investigación en Salud, 2017. Murcia (España).

- Ortiz, C; Ortiz-Peregrina, S; Anera, RG; Salas, C; Castro, JJ. Implications of visual age-related changes for driving performance: a preliminary study. VPO, 2016. Amberes (Bélgica).

- Ortiz-Peregrina, S; Ortiz, C; Casares-López, M; Castro, JJ. Efecto de la edad en la calidad óptica y rendimiento visual en distintos grupos de conductores. I JIFFI, 2016. Granada (España).

2. Estancias

Del 14-03-2019 al 14-06-2019. Grupo de investigación “Vision & Everyday Function”, dentro del proyecto “Vision and Driving”. Escuela de Optometría y Ciencias de la Visión del Instituto de Salud e Innovación Biomédica (IHBI), en la Universidad de Tecnología de Queensland (QUT) (Brisbane, Australia). Supervisora: Profesora Joanne Wood, Catedrática en QUT.

3. Experiencia docente asociada a la beca FPU

2016-2020: Docencia en grupos de prácticas en el Departamento de Óptica de la Universidad de Granada (UGR). Grado en Óptica y Optometría. Asignaturas: Contactología II, Prácticas Externas (Total hasta curso 19-20: 180 horas).

5. Becas durante la tesis

- 2016-2019 Beca de Formación de Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (FPU15/05571)
- . Proyecto de Tesis: Influencia del rendimiento visual y factores de accidentabilidad durante la conducción en sujetos con visión normal y con patología ocular. Directoras: Dra. Carolina Ortiz Herrera y Dra. Rosario González Anera. Departamento de Óptica, Universidad de Granada.
- 2019 Beca para Estancias Breves o Traslados Temporales (FPU) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (EST18/00364).

6. Otras actividades científicas

- Miembro de la Sociedad Española de Óptica desde 2016 hasta la actualidad.
- Miembro del comité Organizador de la 17 Conferencia del International Society for Quality-of-Life Studies, Granada, 4-7 Septiembre de 2019.

- Conferencia invitada “Cambios visuales asociados a la edad: influencia en la conducción de sujetos con y sin patología ocular” organizada por el Comité de Ciencias de la Visión de SEDOPTICA, 8-5-2019.
- Miembro de ARVO (The Association for Research in Vision and Ophthalmology) desde 2018 a 2019.
- Coordinación y docencia en el curso “Especialización en adaptación de lentes de contacto para córneas irregulares. Soluciones ópticas y oftalmológicas”. Centro Mediterráneo UGR. Salobreña, 5-9 de Septiembre de 2018.
- Participación como invitada en la mesa redonda “Investigación: seniors y juniors”, celebrada en el las IV Jornadas AEOPTOMETRISTAS, Madrid, 11-12 de Febrero de 2017.
- Participación en la Semana de la Ciencia organizada por la Facultad de Ciencias de la UGR en las ediciones de los años 2018, 2017 y 2016.
- Participación en La Noche Europea de los Investigadores en las ediciones de los años 2019, 2018, 2017, y 2016.