

OCTUBRE 2012

Conducción y Visión nocturna



Fundación
ALAIN AFFLELOU

**RACE**



Fundación
ALAIN AFFLELOU

INFORME RACE - FUNDACIÓN ALAIN AFFLELOU

Conducción y Visión nocturna





Índice

1. INTRODUCCIÓN	6
2. NORMATIVA QUE REGULA LA CAPACIDAD VISUAL	7
3. ESTADÍSTICAS DE SINISTRALIDAD VIAL NOCTURNA	8
4. LA VISIÓN DURANTE LA CONDUCCIÓN NOCTURNA	11
5. OTROS FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A LA VISIBILIDAD	22
6. METODOLOGÍA DE LA ENCUESTA	25
7. RESULTADOS	26
8. CONCLUSIONES	36
9. RECOMENDACIONES	38
10. BIBLIOGRAFÍA	39

1. Introducción

La conducción durante la noche o en horas crepusculares representa, en sí mismo, un factor de riesgo. Así lo evidencian los datos de siniestralidad vial en nuestro país, donde aproximadamente el 40% de las víctimas mortales se produce durante esta franja horaria, a pesar de ser las horas con menor intensidad de tráfico. Entre todos los factores concurrentes en la siniestralidad vial nocturna, encontramos un factor transversal a todos, como es la pérdida de capacidad visual de los conductores en condiciones de visión mesópica (con poca luz).

Como analizamos en **el informe Visión y Seguridad Vial en España (RACE-Fundación Alain Afflelou, 2010)**, la salud del sistema visual es de vital importancia para la seguridad en la conducción de vehículos, el 90% de la información que necesita el conductor llega a través de este sentido, a partir de aquí entra en juego una compleja coordinación de aptitudes cognitivas y psicomotrices que hace posible la tarea de conducir. Por tanto, cualquier factor que afecte al sistema visual influirá en todo el proceso hasta concluir en la toma de decisiones del conductor, y la posterior ejecución de la maniobra concreta, como por ejemplo, frenar una vez visto a un peatón invadiendo la calzada. Si trasladamos esta maniobra a la conducción nocturna, el sistema visual humano tiene que adaptarse a las condiciones de baja luminosidad, en este tipo de visión se produce una pérdida natural de la agudeza visual, y se manifiestan algunos defectos en la visión, como la miopía nocturna y la sensibilidad al contraste, es decir, la dificultad de distinguir una figura sobre un fondo del mismo color, como puede ser un peatón o un animal que invade la vía. Este umbral de contraste aumenta con la edad y se ve agravado por enfermedades oculares como cataratas, (Puell et al., 2004; Owsley, 2001).

El presente informe tiene como objetivo analizar la visión nocturna como factor de riesgo en la conducción de vehículos. Para abordar este amplio tema, se analizarán los siguientes puntos:

- 1) Análisis de la normativa legal que regula la capacidad visual requerida para la conducción.
- 2) Análisis de la siniestralidad vial nocturna.
- 3) Análisis del sistema visual durante la conducción nocturna.
- 4) Análisis de los hábitos de higiene visual, hábitos de conducción nocturna, y percepción del riesgo de la población española de conductores, a través de una encuesta a una muestra representativa.

El Real Automóvil Club de España (RACE) y la Fundación Alain Afflelou desarrollan por tercera edición consecutiva la campaña de prevención **“Cuida tus ojos, ellos también conducen”**. En la primera edición, el objetivo de la campaña fue analizar el estado de la salud visual de la población española de conductores, así como sus hábitos de higiene y cuidado de la visión. La segunda edición se centró en la importancia de la protección visual de los conductores ante los efectos de la radiación solar.

El objetivo de esta nueva edición es analizar la importancia del sistema visual para la conducción de vehículos durante la noche. La campaña pondrá a disposición de los usuarios la información y los consejos necesarios para identificar los riesgos asociados a la conducción y a la visión nocturna.

2. Normativa que regula la capacidad visual

En España, las aptitudes psicofísicas requeridas para la obtención y prórroga del permiso o licencia de conducción están reguladas por el Reglamento General de Conductores, aprobado por el Real Decreto 818/2009, de 8 de Mayo, que ha sido modificado recientemente por la Orden PRE/2356/2010, de 3 Septiembre por la que se modifica el Anexo IV de dicho reglamento con el fin de incorporar a nuestro ordenamiento la Directiva 2009/113/CE.

Para la capacidad visual, dicho reglamento establece que... ***“Si para alcanzar la agudeza visual requerida es necesaria la utilización de lentes correctoras, deberá expresarse, en el informe de aptitud psicofísica, la obligación de su uso durante la conducción. Dichas lentes deberán ser bien toleradas. A efectos de este anexo, las lentes intraoculares no deberán considerarse como lentes correctoras, y se entenderá como visión monocular toda agudeza visual igual o inferior a 0,10 en un ojo, con o sin lentes correctoras, debida a pérdida anatómica o funcional de cualquier etiología”.***

Así mismo, el reglamento contempla la exploración de las siguientes capacidades visuales:

- 1) Agudeza visual
- 2) Campo visual
- 3) Afaquias y pseudofaquias
- 4) Sensibilidad al contraste
- 5) Motilidad palpebral
- 6) Motilidad del globo ocular
- 7) Deterioro progresivo de la capacidad visual
- 8) Deterioro agudo de la capacidad visual

Para cada función visual establece unos criterios de aptitud y las adaptaciones, restricciones y limitaciones, en su caso, para la obtención o prórroga. El Reglamento establece dos grupos de permisos y licencias de conducción:

GRUPO 1: Licencias de ciclomotor, y permisos de conducción de motocicletas y turismos. Clases: AM, A1, A2, A, B, B+E, y LCC)

GRUPO 2: Permisos de conducción de camiones, autobuses, y vehículos de servicio público. Clases: BTP, C1, C1+E, C, C+E, D1, D1+E, D, D+E.

La última modificación del Real Decreto viene a trasponer la legislación europea a la española, uno de los cambios afecta a la agudeza visual requerida para los conductores profesionales (**GRUPO 2**), dejándola menos restrictiva que la anterior legislación nacional, concretamente permitiendo la visión con una agudeza visual con o sin corrección óptica de, al menos, 0,8 y, al menos, 0,1 para el ojo con mejor agudeza y con peor agudeza respectivamente. Si se precisa corrección con gafas, la potencia de éstas no podrá exceder de + 8 dioptrías. En la anterior normativa se exigía 0,8 y 0,5 respectivamente. Teniendo en cuenta que durante la noche la agudeza visual disminuye, este nuevo criterio resulta más permisivo que el anterior.

3. Estadísticas de siniestralidad vial nocturna

Según los últimos datos definitivos (fallecidos a 30 días), disponibles por la **Dirección General de Tráfico**¹, la noche (entre las 20:00 y las 8:00) es el periodo del día con más baja intensidad de tráfico, sin embargo, es el más peligroso, produciéndose el 39% de las víctimas mortales. El índice de gravedad varía bastante entre la noche y el día, mientras que por el día es de 2.5 muertos por cada 100 accidentes, por la noche dicho índice asciende hasta el 3.8. Ver Tabla 1.

	Intervalo 8.00 h a 19.00 h	Intervalo 20.00 h a 7.00 h	TOTAL
MUERTOS	1.509	969	2478
PORCENTAJE	61%	39%	100%
ACCIDENTES	60.258	25.245	85.503
PELIGROSIDAD*	2,5	3,8	2,9

Tabla 1. *Fallecidos por cada 100 accidentes. Fuente: DGT

En **carretera**, se registraron más víctimas mortales durante las horas diurnas, con 1.175 fallecidos (el 61% del total), frente a las 753 víctimas mortales que han tenido lugar en las horas nocturnas. Por el contrario, el índice de gravedad es mayor en el tramo horario nocturno, 6,3 muertos por cada 100 accidentes, frente a 4,3 fallecidos por cada 100 accidentes para el resto del día. Ver Tabla 2.

En **zona urbana**, el 39% de las víctimas mortales se registró en accidentes ocurridos entre las 20 horas y las 8 del día siguiente. De igual manera el índice de gravedad es mayor en ese tramo horario, 1,6 fallecidos por cada 100 accidentes.

CARRETERA			ZONA URBANA		
MUERTOS	1.175	753	MUERTOS	334	216
PORCENTAJE	61%	39%	PORCENTAJE	61%	39%
ACCIDENTES	27.230	11.944	ACCIDENTES	33.028	13.301
PELIGROSIDAD*	4,3	6,3	PELIGROSIDAD*	1,0	1,6

Tabla 2. *Fallecidos por cada 100 accidentes. Fuente: DGT

¹ Datos correspondientes al año 2010, últimos datos disponibles a fecha de cierre de la edición del informe.

Como podemos observar, durante la noche se produce la tasa de peligrosidad más alta, tanto en carretera como en zona urbana.

Si analizamos los datos del conjunto de países de la UE (**CARE-Database-European Comisión, 2011**) los fallecidos en carreteras convencionales, durante la noche y el crepúsculo, representan el 42% del total de fallecidos en ese tipo de vías, en autopistas representan el 50,2% y en zonas urbanas, el 47%.

Siniestralidad por tipo de colisión

La siguiente tabla muestra el número y porcentaje de accidentes mortales en función del tipo de colisión según la luminosidad y el tipo de vía.

Tipo de vía	Luminosidad	Tipo colisión													
		Uno o más vehículos		Obstáculo en calzada		Atropello Peatones		Atropello Animales		Vuelco en calzada		Salida de vía		Otro Tipo	
CARRETERA	Día	911	59%	460	68%	43	28%	1	17%	32	82%	309	54%	47	70%
	Crepúsculo Noche	636	41%	212	32%	110	72%	5	83%	7	18%	264	46%	20	30%
TOTAL		1547	100%	672	100%	153	100%	6	100%	39	100%	573	100%	67	100%
ZONA URBANA	Día	232	57%	55	65%	12	50%	119	60%	8	61%	24	43%	14	48%
	Crepúsculo Noche	174	43%	30	35%	12	50%	80	40%	5	39%	32	57%	15	52%
TOTAL		406	100%	85	100%	24	100%	199	100%	13	100%	56	100%	29	100%

Tabla 3. Fuente: DGT (2010)

En carretera, por tipología del accidente mortal, observamos que los atropellos a peatones y animales, representan el mayor porcentaje en relación al mismo tipo de accidente ocurrido durante el día.

En zona urbana, observamos que los accidentes mortales por salida de la vía representan mayor porcentaje por la noche. En cuanto a los atropellos a peatones, se produce el mismo número por el día que por la noche.

Si analizamos los peatones fallecidos en carretera, según las mismas fuentes, fallecieron 197 peatones. El 65% de los mismos (128 casos), ocurrió durante la noche y el crepúsculo, y el 35%, ocurrió en pleno día (69 casos). Consideramos por tanto a los peatones, especialmente durante la noche, como unos de los usuarios más vulnerables de la vía (RACE, 2009).

Dada la importancia del concepto “Ver y ser vistos”, en los últimos años se ha desarrollado una normativa sobre el uso de material retrorreflectante para los peatones que circulan por la noche fuera de poblado, así como para los conductores que tienen que bajarse del vehículo ante una situación de avería y/o emergencia. Ver figura 1.

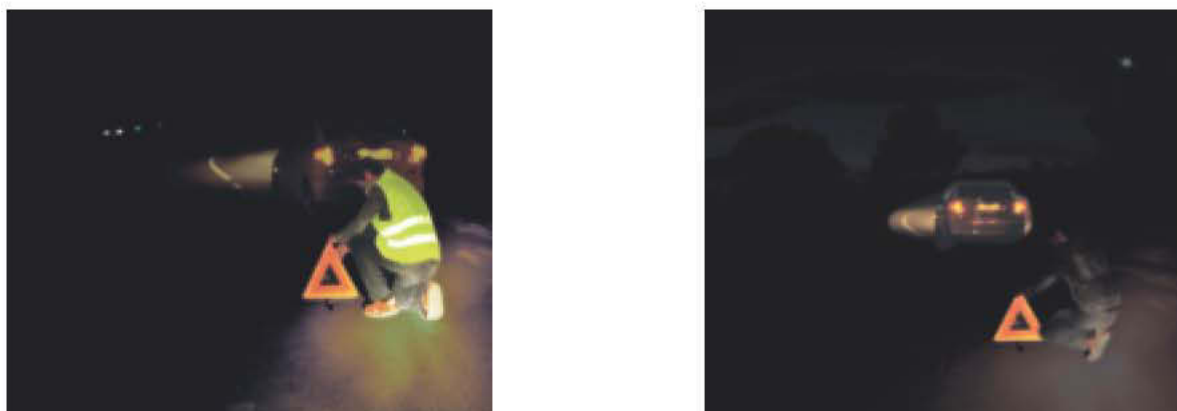


Figura 1. Observamos la importancia del uso de material retrorreflectante para una mejor percepción del peatón situado dentro de la vía.

Según algunos estudios, los peatones tienden a sobrestimar la distancia por la que creen ser vistos por los conductores, siendo esta mucho menor de la que los peatones estiman (Allen et al., 1970; Tyrrel et al., 2004).

Siniestralidad por meses y luminosidad

La siguiente tabla muestra el número de accidentes y porcentaje de fallecidos por meses del año, según la luminosidad.

Periodo del año	% de fallecidos según luminosidad	
	Día	Noche y crepúsculo
Periodo con horario de verano (Abril a Octubre)	Nº total de accidentes	
	39.332	12.121
	% fallecidos	
	(1038) 67%	(519) 33%
Periodo con horario de invierno (Noviembre a Marzo)	Nº total de accidentes	
	20.128	13.932
	% fallecidos	
	(444) 48%	(480) 52%

Tabla 4. Fuente: DGT (2010)

Con el cambio de horario, los fallecidos en tráfico durante la noche pasan de ser 33 de cada 100 en horario de verano, a 52 de cada 100 en horario de invierno. Este incremento en el porcentaje de fallecidos se produce, incluso, teniendo en cuenta que hay más accidentes durante el día, por lo que se deduce la mayor gravedad de los accidentes que se producen durante la noche.

4. La visión durante la conducción nocturna²

4.1 Diferencias entre la visión diurna y nocturna

El sistema visual humano está principalmente preparado para poder observar una gran cantidad de colores y detalles de los objetos durante el día. Esto es así, porque la retina dispone de tres tipos de conos diferentes hallándose una alta densidad de los mismos en la parte central de la misma, la fovea. Comparándola con una cámara fotográfica digital, podemos decir, que la retina presenta una gran cantidad de “megapixels” en su zona foveal. Los conos, aunque nos proporcionan una gran información durante el día, tienen un umbral de detección limitado, es decir, necesitan una cierta cantidad de luz para que funcionen adecuadamente. Esto hace que durante la noche, donde, en principio, la luz existente debe tener niveles mucho más bajos que los diurnos, estos fotorreceptores no sean suficientemente sensibles y la estrategia seguida por nuestro sistema visual para poder apreciar los objetos sea muy diferente. La visión se realiza a través de otros fotorreceptores denominados bastones, que nos permiten apreciar luces mucho más tenues que durante el día (Oyster, 1999). Por otro lado, los bastones no se utilizan durante el día por estar saturados debido a la gran cantidad de luz existente. El hecho de dejar de usar los conos en condiciones de muy baja iluminación tiene dos inconvenientes: por un lado, dejamos de apreciar los colores y por otro, perdemos gran parte de los detalles de los objetos, (en el supuesto de que fuese una cámara, tendríamos fotos en blanco y negro y de muy pocos megapixels).

Oficialmente, se habla de visión fotópica cuando sólo usamos los conos, esto ocurre cuando la luminancia³ de los objetos percibidos es mayor o igual que 1 cd/m^2 . Hablamos de visión escotópica cuando la luminancia de los objetos queda por debajo de los 0.01 cd/m^2 . En este rango de luminancias el sistema visual sólo hace uso de los bastones. Cuando la luminancia de los objetos está entre el mínimo fotópico y el máximo escotópico, hablamos de visión mesópica o condiciones mesópicas de visión (Artigas, et al., 1995)⁴.

² Este epígrafe ha sido desarrollado con el asesoramiento científico del Dr. Norberto López-Gil, investigador especialista en Visión. Profesor de Óptica de la Universidad de Murcia.

³ La luminancia es una unidad fotométrica que indica el flujo luminoso emitido por unidad de superficie en una cierta dirección (ángulo sólido). Usualmente se expresa en cd/m^2 . (López Gil N. y J. Bueno, 2001). Viene a representar la mayor o menor cantidad de luz que muestra un objeto cuando lo miramos.

⁴ Estos valores pueden cambiar ligeramente en función de la literatura utilizada.

Ver figura 2. En condiciones mesópicas de luz, el sistema visual usa todos sus tipos de fotorreceptores.

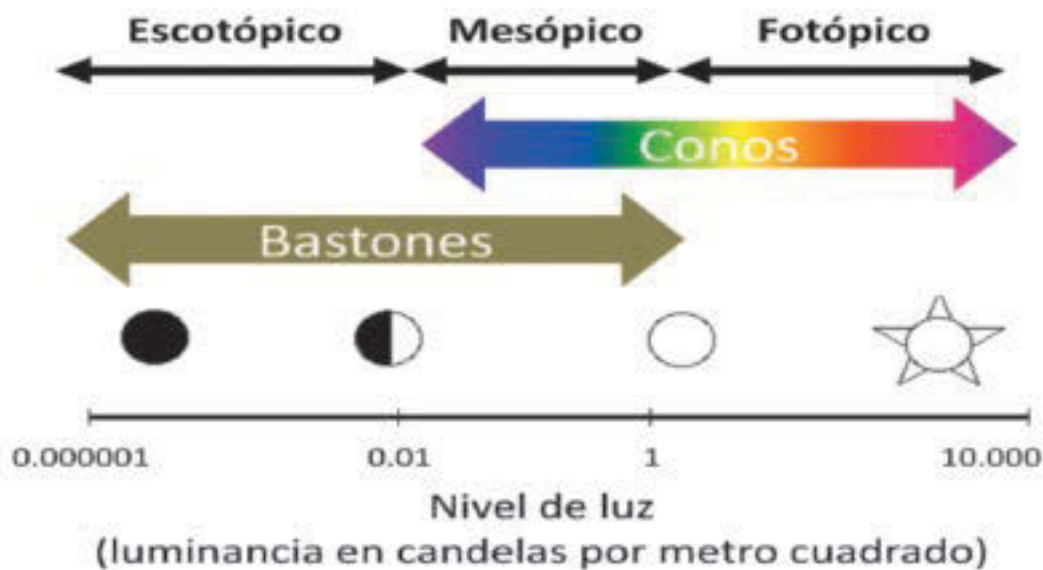


Figura 2: Diagrama esquemático de los diferentes tipos de visión en función de los rangos de luminancias (en candelas por metro cuadrado).

Es importante destacar que la distinción oficial de estos tres tipos de condiciones de visión se realiza en función de la luminancia exterior, pero suponiendo que dichas cantidades de luminancias se encuentran por doquier. Sin embargo, el uso de luces artificiales por la noche origina que dichas condiciones no se cumplan de forma homogénea y existan zonas con una gran luminancia (por ejemplo las luces de los coches que se aproximan por el carril contrario) junto con otras de muy baja luminancia (por ejemplo el fondo que rodea al coche que se nos aproxima). Por tanto, podemos afirmar que las condiciones de luz durante la conducción nocturna son las típicas de la visión fotópica, mesópica y escotópica pero solo localmente, es decir, dependiendo de la zona a la que dirijamos nuestra mirada. El simple hecho de poder reconocer los colores al observar un semáforo por la noche, nos está indicando que claramente nuestra visión no es escotópica para esa dirección. Debido a que cuando los bastones dejan de funcionar (se saturan en condiciones fotópicas), y necesitan varios minutos para desaturarse, durante la conducción nocturna, es muy común tener una buena parte de los bastones saturados o parcialmente saturados, ya que al mover los ojos, las diferentes luces de la calzada (con luminancias en el rango fotópico) los saturan parcial o totalmente.

La principal diferencia entre la conducción diurna y la nocturna es que en esta última existen enormes diferencias entre las luminancias de los objetos que podemos llegar a apreciar. Por ejemplo, entre observar los faros de un coche que se aproxima (con 50000 candelas) o fijarnos en una zona relativamente oscura de la calzada (0.03 candelas), tenemos una relación de 16 millones a uno. Esos cambios tan altos y bruscos de luminancias no se dan ni mucho menos en condiciones de conducción diurnas donde las diferencias en luminancia, normalmente encontradas, son como mucho de 100 a 1.



Figura 3: Típico escenario encontrado durante la conducción nocturna. Obsérvese la diferencia tan grande en iluminación entre unos puntos y otros.

Es lógico pensar que el ojo humano no ha evolucionado para adaptarse a unos cambios tan drásticos de luminancias. **La aparición de luz artificial es muy reciente en la historia de la evolución humana y el ojo no ha tenido tiempo de generar un mecanismo que permita una perfecta adaptación a cambios tan bruscos.** Existen tres mecanismos fisiológicos usados por el sistema visual humano para adaptarse a los enormes cambios en luminancia. El mecanismo más efectivo para poder observar objetos muy tenues es, como se ha indicado previamente, el del uso de bastones. Sin embargo, el proceso de desaturación (adaptación a la oscuridad) de los bastones es del orden de minutos (Artigas, 1995). Con luz solar esto se consigue de forma natural gracias a la disminución lenta de la luminancia externa durante el crepúsculo, pero el uso de luces artificiales brillantes por la noche hace que este mecanismo no sea realmente útil en la conducción nocturna.

Esto es lógico porque es necesario poder apreciar un mínimo de detalles (agudeza visual⁵ de 0.5 según el Reglamento General de Conductores) que no pueden ser observados en visión escotópica. Afortunadamente, el sistema visual cuenta con otros dos mecanismos para adaptarse a los cambios súbitos de intensidad y no percibir un fuerte deslumbramiento, que se realizan de forma mucho más rápida en el rango mesópico y fotópico. Uno se produce en el rango de las décimas de segundo y basa su mecanismo en el cambio del tamaño pupilar (con lo que consigue una disminución de cambio máximo de 16 a 1). El otro se realiza en el rango de los microsegundos y se produce gracias a un procesado de adaptación neuronal a la señal, produciendo una adaptación máxima de varios millones. Estos dos mecanismos son continuamente usados durante la conducción nocturna siendo de especial importancia el último de ellos.

Podemos concluir, por tanto, este apartado, indicando que la característica más importante de la visión nocturna durante la conducción es la enorme variación en luminancias que podemos encontrar localmente en la escena, es decir, en posiciones diferentes de la vía por la que vamos circulando. Dichas condiciones de luminosidad corresponden al rango de visión mesópica ya que el sistema visual usa ambos tipos de fotorreceptores, si bien los rangos de luminancia no corresponden con los estrictamente mencionados anteriormente (figura 2) y descritos en la literatura. El sistema visual se adapta a esos cambios de luminosidad mediante variaciones del tamaño pupilar y sobretodo mediante el procesado neuronal de las diferentes señales recibidas.

4.2 Relación entre visión y accidentes de tráfico

Existen varios enfoques para estudiar el impacto de la calidad de la visión en la conducción. En primer lugar, los métodos epidemiológicos retrospectivos se pueden utilizar para descubrir si los conductores con una reducción de la visión han tenido más accidentes automovilísticos, o por el contrario, los que tienen una mejor visión tienen menos accidentes. En segundo lugar, los conductores pueden tener su visión y su capacidad de conducción monitorizados y de esta manera, se pueden estudiar correlaciones entre la visión y la conducción. El tercero, y tal vez el más valioso, se trata de manipular experimentalmente la calidad de la visión en un determinado sujeto y evaluar el impacto de estas manipulaciones en la conducción, siempre para el mismo observador. Con este método se elimina la importante variabilidad entre observadores que existe en los otros dos métodos. Dicho tercer método se puede implementar en un circuito de conducción real (circuito cerrado de conducción) igual que el utilizado por el profesor Wood en Australia (Woods, 1998), o mediante el uso de un simulador de conducción. Los tres métodos han sido empleados, y todos apuntan a la realidad de que la calidad de visión reducida compromete el rendimiento de conducción.

⁵ La agudeza visual (AV) es una medida de la calidad visual usada comúnmente en Optometría que se relaciona con el ángulo de la letra más pequeña que podemos llegar a leer en un test que debe cumplir unas determinadas condiciones. El valor AV decimal de un ojo normal corregido es la unidad (Artigas, 1995).

Los estudios realmente importantes para la conducción nocturna son los que demuestran la mala calidad óptica del ojo en condiciones de bajos niveles de luz y visión mesópica, que pueden poner en peligro la seguridad de la conducción. Los datos epidemiológicos indican que los accidentes automovilísticos son de 2 a 4 veces más probables por la noche que durante el día (National Safety Council, 1990-1998, 1999-2004, citado por Owens et al, 2007). Además, los peatones tienen una mayor probabilidad de sufrir un accidente por la noche (entre 3 y 7 veces más probable que durante el día según Sullivan y Flannagan (2002)). La conclusión subyacente de estos estudios es que la reducción de la visibilidad por la noche produce un aumento alarmante del índice de accidentes automovilísticos. Los estudios epidemiológicos también muestran que los accidentes en los que están involucradas personas con edades avanzadas aumentan desproporcionalmente con la conducción nocturna (Evans, 1987, Wood, 1998) lo que pone de manifiesto que la edad es un factor importante en la seguridad vial nocturna.

Son relativamente escasos los estudios experimentales de conducción por la noche. Tal vez uno de los más importantes es el estudio de Allen (Allen, 1979) en el que se mide la disminución de la distancia de detección de objetos en la carretera, en función de la disminución en la iluminación de la retina causados por las lentes fotocromáticas. Con una transmitancia en torno al 70%, se observó una disminución significativa en la distancia de detección por la noche. Este resultado hizo hincapié en que incluso pequeñas reducciones en la iluminación vial tendrían efectos medibles sobre la detección de los peligros del camino. En un estudio similar realizado por un grupo de investigación alemán (Waetjen, et al., 1992), se midió el efecto de los parabrisas tintados (transmisión reducida) en la detección de riesgos durante la conducción nocturna. Los resultados de este estudio muestran que el tintado reduce la distancia de detección de los objetos en un 10%.

Las lentes oftálmicas (gafas) típicas presentan un índice de reflectancia en torno al 6-9% de la luz incidente. Tales reflexiones de baja intensidad no tienen en principio impacto en la visión durante el día, pero pueden llegar a ser visibles durante la noche por los reflejos de luces muy brillantes (por ejemplo, faros de coche) sobre fondos oscuros. Por lo tanto, cuando se trata de ver las calles iluminadas tenuemente, la presencia de faros muy brillantes pueden producir reflexiones que podrían interferir con la visión de la carretera.

El porcentaje de reflectancia de las lentes oftálmicas en el rango visible del espectro electromagnético puede ser reducido por debajo del 4% mediante el uso de recubrimientos antirreflejantes (RA). Consecuentemente, la transmitancia en el visible de las lentes con RA se ve incrementada pero no es el incremento de la transmitancia la que más afecta a la conducción, sino la reducción de la reflectancia (Ross & Bradley, 1997; Bachman & Weaver, 1999). La propia luz difundida por la iluminación de nuestros párpados es reflejada en ambas caras de la lente oftálmica creando un fondo levemente iluminado que reduce el contraste (Ross & Bradley, 1997). Existen varios estudios que indican una mejora en la visión al usar gafas con RA (Coupland & Kirkham, 1981; Preston, et al., 1996; Ross & Bradley, 1997). En general estos estudios subjetivos del uso de RA son positivos, aunque es probable que el impacto visual de los reflejos en las superficies de las lentes oftálmicas se limiten a circunstancias especiales, lo que explicaría por qué un estudio realizado no encontró efectos del RA en la visión durante la conducción nocturna simulada (Ginsburg, 1997).

Existen muchos otros estudios sobre detección de riesgos al conducir por la noche que muestran la importancia del color de la ropa que llevan los peatones (ropas oscuras son mucho más difíciles de ser detectadas), o la cantidad de iluminación usada por los vehículos (Olson & Sivak, 1983a; Olson & Sivak, 1983b; Olson & Sivak, 1983c; Harrell, 1994; Wood et al, 2005). El mensaje principal de todos estos estudios es que la detección (riesgos, peatones, señales de tráfico) se deteriora con el nivel de luminosidad y en concreto el estudio de Allen muestra que, por la noche, pequeños cambios en la luminosidad suponen un cambio no despreciable en la distancia de detección de los objetos.

4.3. Deslumbramiento durante la conducción nocturna

Debido a la difusión y dispersión de la luz que atraviesa la óptica ocular, una fuente de luz pequeña y de gran intensidad sobre un fondo oscuro, como es el caso de los faros de un coche o el de una farola, puede crear un deslumbramiento (en inglés “*glare*”) en forma de halo luminoso que disminuya el contraste e incluso impida la visibilidad completa de objetos situados en el entorno de la fuente de luz.



Figura 4: Imágenes de dos escenas diferentes de conducción nocturna. A la izquierda se muestra la escena observada por un ojo normal y a la derecha la de un ojo que presenta deslumbramiento. Imágenes ofrecidas por el Dr. Van den Berg.

La dispersión de la luz puede ser debida principalmente a dos motivos:

- La existencia de partículas en suspensión en los humores y/o la falta de transparencia que puede presentar la córnea y el cristalino que producen lo que se denomina en términos anglosajones “scattering” ocular, es decir una combinación de dispersión y difusión de la luz que los atraviesa.
- La existencia de aberraciones oculares de alto orden⁶ (como son la aberración esférica, el coma, el astigmatismo triangular,..) (López-Gil, 2006).

⁶ Las aberraciones de alto orden son básicamente desviaciones de los rayos oculares en la formación de la imagen en la retina que no pueden ser corregidas por una refracción convencional esfero-cilíndricas. Es decir, defectos de la óptica ocular que no pueden ser corregidos mediante gafas o lentes de contacto.

4.3.1 Difusión intraocular

Estudios realizados por el Dr. Van der Berg y colaboradores han mostrado que, en ojos normales que no hayan sufrido ningún tipo de cirugía refractiva, la principal razón de la pérdida de contraste corresponde al primer factor (Van den Berg, 2007).

Es muy común que la difusión intraocular aumente con la edad. Esto se debe principalmente a que el cristalino humano tiende a opacificarse con el paso del tiempo, pudiendo generar una catarata. La figura 5 muestra diversos cristalinios humanos sanos de diferentes edades. Obsérvese como el cristalino va perdiendo transparencia con la edad y se va volviendo más amarillo.

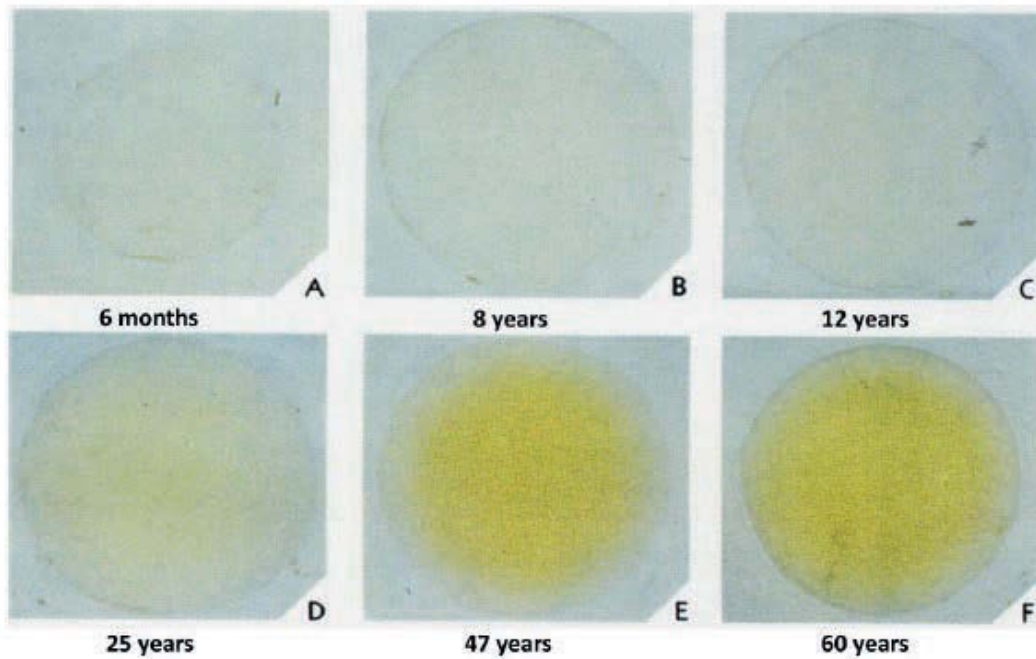


Figura 5: Pérdida de transparencia del cristalino sano con la edad.

La figura 6 muestra el efecto de la difusión producida por el cristalino en la imagen retiniana.

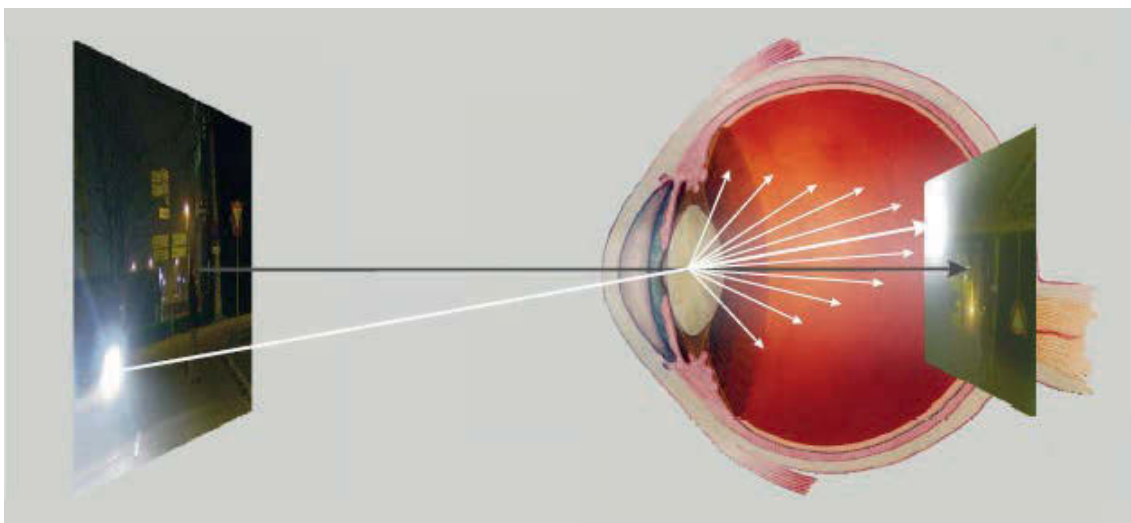


Figura 6: Dibujo esquemático del efecto de la difusión ("scattering") intraocular producido por el cristalino en la imagen retiniana de una escena durante la conducción nocturna. Nótese la pérdida de contraste al comparar la imagen retiniana con la escena observada (Van den Berg, 2007).

Un caso extremo de difusión intraocular ocurre con la aparición de la catarata, en cuya circunstancia el deslumbramiento y la subsiguiente pérdida de contraste son tan altos que impide la conducción.

Al producirse dentro de los medios oculares, la difusión intraocular no tiene una solución simple. Como la mayor parte de la difusión, se genera por un cristalino cataratoso, la manera más simple y común de solucionarlo es mediante la sustitución del cristalino por una lente intraocular (LIO). Existen diversos tipos de LIOs que pueden sustituir al cristalino, la mayoría de ellas son monofocales, pero también existen un buen número de LIOs multifocales basadas en la formación de dos o más imágenes en la retina correspondientes a objetos situados a diferentes distancias, lo que teóricamente mejora la visión cercana con lo que se reducen los efectos de la presbicia (o vista cansada). Si bien, las LIOs multifocales pueden posibilitar una mejor imagen de la información de nuestro salpicadero (velocidad del vehículo, chivatos de luces, etc.), es bien sabido que reducen el contraste de los objetos situados a cierta distancia (por ejemplo personas en la calzada) y en el caso de la visión nocturna limitan más el contraste de los objetos cercanos a las fuentes de luz intensas como son los faros de los demás coches que circulan por el carril contrario. No obstante, hay diferentes estudios que muestran que la difusión producida por LIOs multifocales no es excesivamente grande en comparación con las LIOs monofocales (Hofmann et al., 2009).

La difusión intraocular puede también ser producida por un edema corneal, que hace que el epitelio corneal pierda transparencia debido a la presencia de pequeñas concentraciones de agua, originando por difracción un halo de difusión similar al mostrado en la figura 7 en el caso de que la fuente de luz observada sea policromática (si la fuente de luz es monocromática, no aparecerían diferentes colores).

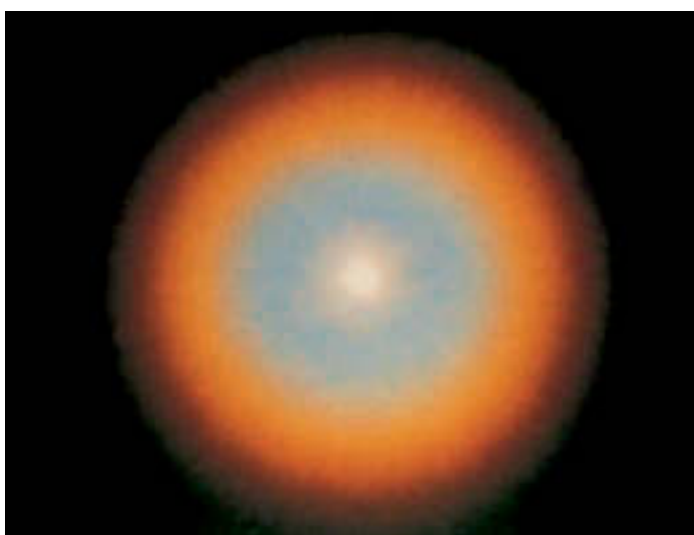


Figura 7. Halo luminoso percibido por una persona con edema corneal que observe una fuente puntual intensa de luz blanca.

También se sabe que incluso un cristalino sano no cataratoso, alguna de las fibras más periféricas que forman el cristalino tienen núcleo. Si bien durante el día con una pupila pequeña, la luz no atraviesa esas fibras, por la noche, con la pupila dilatada se producen fenómenos de difracción de la luz que las atraviesa, y que pueden ser apreciados gracias a un buen contraste entre las fuentes de luz y su fondo. El observador (normalmente no muy joven) ve entonces lo que se conoce como corona ciliar (figura 8) y cuyo fenómeno ha sido explicado recientemente por el Dr. van den Berg (Van den Berg, 2005). La corona ciliar reduce el contraste y hace los objetos cercanos a una luz brillante y con una iluminación tenue puedan pasar desapercibidos.



Figura 8: Apariencia de la corona ciliar cuando en la escena existe un punto muy brillante. Obsérvese la pérdida de contraste de los objetos de la escena.

La corona ciliar sólo puede evitarse mediante la sustitución del cristalino o en el caso de que la pupila se reduzca mediante algún tipo de miótico.

4.3.2. Aberraciones oculares

Existe una serie de sujetos para los que la difusión generada por las aberraciones de alto-orden es muy alta. Se trata de sujetos que bien poseen una patología corneal que le induce una fuerte deformación corneal (como es el caso del queratocono⁷ o la queratoplastia penetrante⁸ (López-Gil et al. 2003)) o bien son personas que han sido intervenidas de cirugía refractiva (como son el LASIK, PRK,..) y poseen unos valores muy altos de aberración esférica. Dichos ojos si bien tienen una buena visión en condiciones diurnas (pupilas relativamente pequeñas), presentan una importante difusión cuando sus pupilas se hacen grandes, como ocurre por la noche (López-Gil, 1999; Fernández-Sánchez, et al., 2008) (ver figura 9). Existen muchos estudios que muestran que el LASIK aumenta la difusión intraocular (ver por ejemplo el artículo publicado por Villa Collar y colaboradores en 2007). Bailey y colaboradores (Bailey, 2007) muestran que un 19.3% de los operados muestra problemas en la conducción por la noche incluso 6 meses después de la operación.

⁷ Deformación corneal normalmente en forma de cono.

⁸ Transplante de córnea



Figura 9: Simulación de una posible imagen percibida por un operado de cirugía refractiva por la noche.

La forma de evitar el deslumbramiento en estos casos consiste en, o bien anular las aberraciones de alto orden mediante el uso de lentes de contacto permeables al gas o semirígidas (López-Gil, 2006), o bien en disminuir el tamaño pupilar mediante el uso de mióticos. Es importante hacer notar que la normativa de regulación de la conducción en España impedía hasta hace poco la conducción nocturna durante 6 meses tras una operación de cirugía refractiva. Este periodo ha cambiado y en la última reforma del Reglamento de Conductores que entró en vigor en el 2009 (BOE 10/09/2010) se dice textualmente que en el caso de los conductores del grupo 1 (básicamente permisos de tipo A y B): “Tras un mes de efectuada cirugía refractiva, aportando informe de la intervención, se podrá obtener o prorrogar el permiso o licencia, con período de vigencia máximo de un año. Transcurrido un año desde la fecha de la intervención, y teniendo en cuenta el defecto de refracción pre-quirúrgico, la refracción actual y la posible existencia de efectos secundarios no deseados, a criterio oftalmológico se fijará el período de vigencia posterior”.

4.4 Corrección visual y miopía nocturna

Un gran porcentaje de la población tiene ciertas dificultades para poder ver nítidamente durante la noche y realizar tareas como conducir y apreciar nítidamente los faros de otros coches o letreros luminosos. Si bien esas personas tienen una buena visión durante el día (ya sea con corrección o si ella), por la noche, se vuelven miopes y no son capaces de distinguir nítidamente objetos alejados. El valor de dicha miopía varía de un individuo a otro y mientras que algunos no la tienen, en otros puede llegar a ser de 2 y 3 D, siendo 1 D su valor medio (López-Gil, 2012). Dicha miopía puede afectar la conducción nocturna (Cohen, et al., 2009) y como cualquier miopía puede corregirse con lentes oftálmicas o de contacto. Este fenómeno ha sido estudiado por un gran número de científicos y ha creado una gran controversia a lo largo de la historia. Numerosos trabajos han mostrado que no se trata de una auténtica miopía si no que el ojo tiende a acomodar involuntariamente en condiciones de baja luminosidad (Otero et al., 1943). La mayoría de los trabajos

se centran principalmente cuando las condiciones de visión son escotópicas, y como se ha indicado al principio de este informe, en dichas condiciones el ojo no es capaz de resolver los detalles. Por tanto, una incorrecta graduación a una miopía (por ejemplo de 2 D) apenas sería percibida por la persona.

Sin embargo, como también se ha indicado al principio de este informe, las verdaderas condiciones de visión al conducir por la noche son mesópicas, y por tanto una correcta corrección esfero-cilíndrica beneficia claramente la conducción como han indicados diversos autores. Una reciente investigación (López-Gil, 2012), ha podido comprobar que la corrección necesaria para visualizar objetos que vemos durante la noche es en general diferente (más miópica) que la necesaria para visualizar objetos durante el día. Esto no sólo es debido a que las características de la óptica ocular cambian por la noche (como es el caso del diámetro pupilar), sino porque las características luminosas de los objetos que se aprecian por la noche son también diferentes a la de los objetos vistos durante el día. **Por el día, los objetos que apreciamos no suelen emitir luz propia sino que simplemente la reflejan de la recibida de objetos que emiten por sí mismos o que también difunden a su vez luz. Por la noche, y en especial durante la conducción nos encontramos con la situación diferente en la que observamos carteles luminosos o faros de coches sobre un fondo mucho más oscuro. En ese caso los objetos observados pueden presentar un contraste mucho mayor que el contraste observado durante el día. Esta situación junto con el hecho de que la pupila es mayor y aumenta la aberración esférica, hace que la mayor parte de los ojos necesiten una corrección más negativa (seamos más miopes) para apreciar más nítidamente los objetos luminosos.** La figura 10 muestra los resultados de la comprobación experimental de este hecho (López-Gil, 2012).

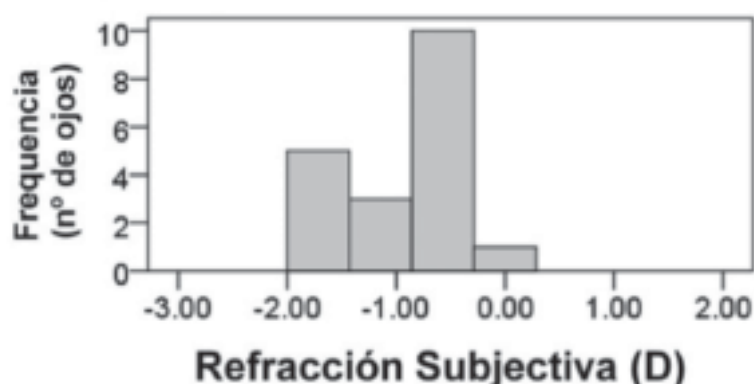


Figura 10. En el eje horizontal se presenta la diferencia entre la refracción obtenida usando un objeto blanco luminoso alejado (LED) sobre un fondo oscuro y la requerida por un optotipo (refracción estándar realizada en el gabinete). El eje vertical representa el número de pacientes que presentaba dicha diferencia. Los valores negativos del eje horizontal indican que para la correcta observación de un punto luminoso como un LED hace falta usar lentes negativas (las personas eran más miopes) que para observar objetos durante el día. El valor medio obtenido de la miopía nocturna fue de 0.9 D.

5. Otros factores asociados a la visibilidad del conductor

Además de la visión del conductor, en la conducción nocturna intervienen otros factores, que junto al anterior, son claves para la visibilidad y la seguridad. Estos son, entre otros, los factores asociados al vehículo, los factores asociados a la iluminación de las infraestructuras, y los factores ambientales (condiciones meteorológicas adversas).

El vehículo

Siendo **la iluminación uno de los sistemas de seguridad más importantes del vehículo, es quizás uno de los dispositivos de seguridad a los que menos atención se les presta, en cuanto a mantenimiento y control se refiere.**

Con mucha frecuencia el conductor no es consciente de circular con un proyector fuera de servicio, o cuya intensidad luminosa es deficiente. En la mayoría de los casos, este hecho no es achacable a la inexperiencia del conductor, sino a que simplemente se ha ido adaptando a una merma de visibilidad que aportan los proyectores, llegando a considerarla como normal.

El sistema de alumbrado del vehículo es el elemento fundamental de seguridad activa en la conducción nocturna. Su función es iluminar durante la noche el camino que recorre el vehículo, y señalar su posición y los cambios de dirección.

Un buen sistema de alumbrado refuerza y posibilita las funciones visuales del conductor. Entre las que se incluyen la captación de brillo, color y espacio, la percepción de forma y movimiento, y el reconocimiento de las diferencias de densidad luminosa y de color. Este es el motivo por el que las ópticas de los vehículos deban cumplir unos requisitos luminotécnicos estrictos.

En los últimos años, se han desarrollado tecnologías que permiten una mejora significativa del alumbrado del automóvil. Entre otras, el desarrollo de lámparas halógenas que proyectan la luz sobre la vía con una graduación diferenciada según la zona de la calzada de que se trate, aumentando la seguridad en la conducción. Este sistema es conocido como NightGuide. Así también, el desarrollo de la tecnología LED, o la aparición de las ópticas de descarga de gas o Xenon. Éstas se caracterizan porque producen una mejor iluminación de la calzada con una superficie de salida de luz más intensa y parecida a la luz natural, así como por una mayor duración.



Figura 11: En la imagen de la izquierda se muestra un alumbrado convencional y en la imagen de la derecha un sistema de alumbrado de xenon.

Por último, es importante destacar la importancia que tiene realizar un mantenimiento periódico del sistema de alumbrado, no sólo en cuanto a la limpieza, sino también a su reglaje. Cuando los proyectores están regulados correctamente, proyectan un haz de luz con una inclinación hacia el suelo comprendida entre -1% y -1.5% con relación a la horizontal que pasa por el centro del proyector. Una inclinación inferior al 0.5% proyecta un haz de luz demasiado alto, provocando un deslumbramiento que produce una disminución durante varios segundos de las facultades de visión del conductor que circula en sentido contrario. En cambio, un haz de luz con una inclinación superior al 2.5% proyecta un haz demasiado bajo, disminuyendo notablemente la zona iluminada y por lo tanto la visibilidad. Ambas irregularidades son fuente de riesgo de accidentes de tráfico.

Además del sistema de alumbrado, existen otros elementos que facilitan al conductor la visibilidad durante la noche. Estos son el sistema de espejos retrovisores y los parabrisas del vehículo. Un reglaje correcto de los espejos, tanto interior como exteriores, evitará reflejos molestos del haz de luz de otros vehículos. Una adecuada limpieza de lunas y parabrisas ayudará a mejorar la visibilidad y reducirá los efectos molestos de posibles reflejos.

Las infraestructuras

Aunque no es objeto del presente informe, hay que recordar la importancia de la iluminación de las infraestructuras en la prevención de los accidentes de tráfico. Según la DGT, durante el año 2010, el 17% de los accidentes mortales se han producido por la noche en vías sin iluminar. La red viaria española es extensa y compleja, en los próximos años uno de los retos de las diferentes Administraciones Públicas será el mantenimiento y la inversión en medidas de seguridad, donde el factor iluminación debería ser una de las prioridades a abordar.

Factores ambientales

Si a la conducción durante la noche, le unimos condiciones meteorológicas adversas, como la nieve, la niebla o la lluvia, las condiciones de visibilidad se reducen de forma significativa, haciéndose más importante, si cabe, una correcta visión del conductor y un buen funcionamiento del sistema de alumbrado del vehículo. En el caso de la lluvia, existen una serie de factores adicionales que reducen considerablemente la visibilidad durante la conducción, dependientes únicamente de la intensidad de la misma.

Estos factores son:

- 1) La capa de agua acumulada sobre el parabrisas, que depende principalmente de la intensidad de la lluvia, de la velocidad del vehículo, de la inclinación del parabrisas, del estado de los limpiaparabrisas y de la velocidad de funcionamiento de estos últimos.
- 2) Suciedad, pequeñas roturas y otros defectos en el parabrisas.
- 3) Tamaño, color y reflectividad natural del objeto a identificar y de su entorno.
- 4) Interacciones con el resto del tráfico, que pueden provocar acumulaciones puntuales de agua.

Mediante la realización de ensayos experimentales (Ivey, 1975), se llegó a obtener una relación empírica, ver la ecuación 1, entre la distancia de visibilidad media para un conductor bajo condiciones de lluvia, en función de la intensidad de la lluvia y de la velocidad de circulación.

$$D_{VISIBILIDAD} (m) = \frac{353954,88}{\left[I \left(\frac{mm}{h} \right) \right]^{0,68} V \left(\frac{km}{h} \right)}$$

Ecuación 1. Como puede observarse en la ecuación, la distancia de visibilidad es inversamente proporcional a la intensidad de lluvia, expresada en milímetros por hora e inversamente proporcional a la velocidad de circulación del vehículo expresada en kilómetros por hora.

Además de la lluvia, las condiciones de niebla intensa, limitan la capacidad visual del conductor, los contrastes se reducen, y la pérdida de control del tráfico circundante se incrementa. En estas circunstancias, algunos estudios evidencian que el conductor percibe la realidad del tráfico de manera más lenta de lo que realmente acontece, reduciendo su velocidad, pero no lo suficiente para garantizar un margen de seguridad adecuado. (Anstis, 2003)

6. Metodología de la encuesta

Con el objetivo de evaluar el estado de salud de los conductores, los hábitos de conducción nocturna y el riesgo percibido, se ha realizado una encuesta a una muestra de la población española de conductores, cuya ficha técnica se detalla a continuación.

FICHA TÉCNICA

Universo: Población española de conductores

Tamaño de la muestra: 1.342

Método: Cuestionario semi-estructurado con preguntas abiertas

Error muestral: Para un nivel de confianza del 95% y $P=Q$, el margen de error es de $<2,675\%$ para el conjunto de la muestra, y en el supuesto de muestreo aleatorio simple

Fecha de realización: Agosto y Septiembre 2012

Variables registradas:

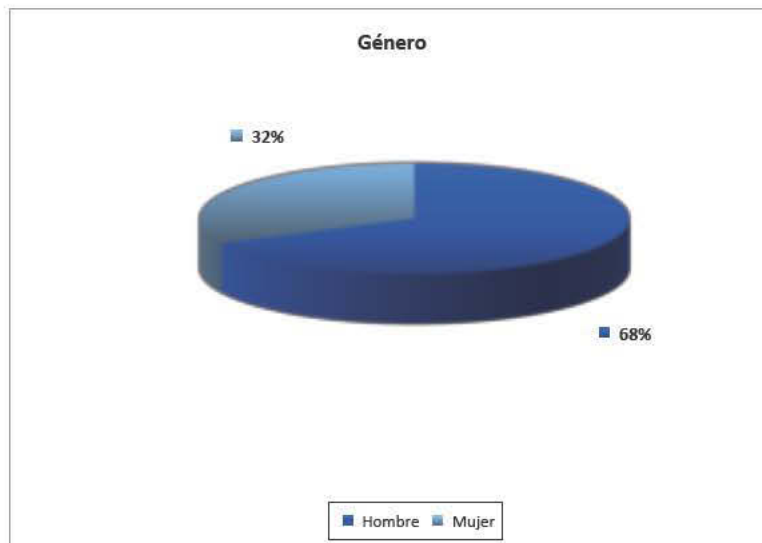
- Descriptivos: género, edad.
- Exposición a la conducción.
- Exposición a la conducción nocturna.
- Salud visual y afectación a la conducción nocturna.
- Hábitos de higiene visual.
- Capacidad visual en la conducción nocturna.
- Percepción del riesgo durante la conducción nocturna.
- Opinión sobre las revisiones periódicas obligatorias.

7. Resultados

Bloque I. Descriptivos

1. Género de los conductores

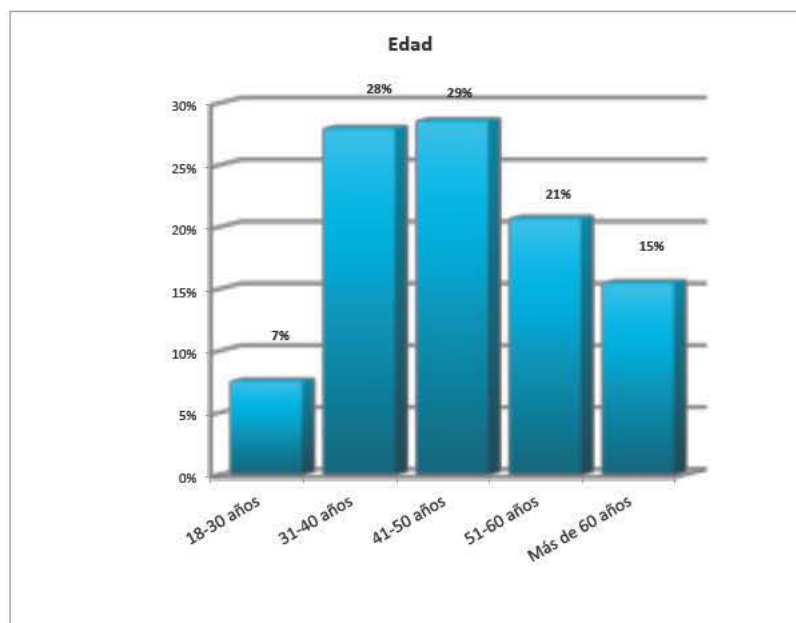
Gráfico 1



Observamos en el gráfico 1 la distribución de la muestra según el género de los conductores, siendo el 68% hombres y el 33% mujeres.

2. Edad

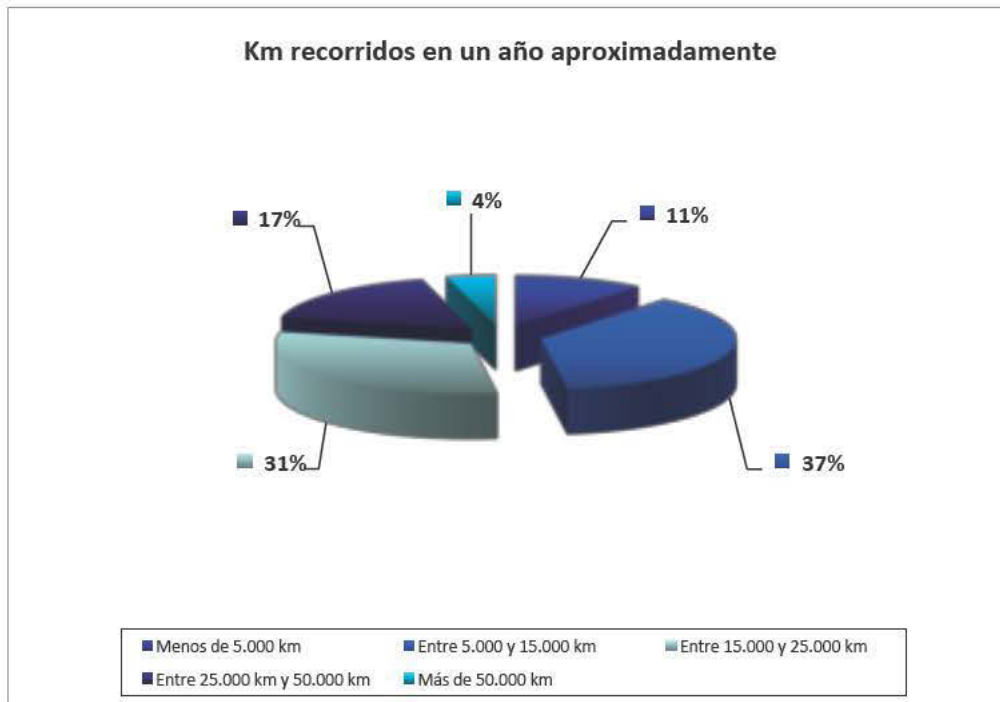
Gráfico 2



El gráfico 2 representa la distribución de la muestra según la edad de los conductores, representando la franja de edad entre 31 y 50 años el 57% de la muestra.

3. Exposición al riesgo (Km recorridos en un año)

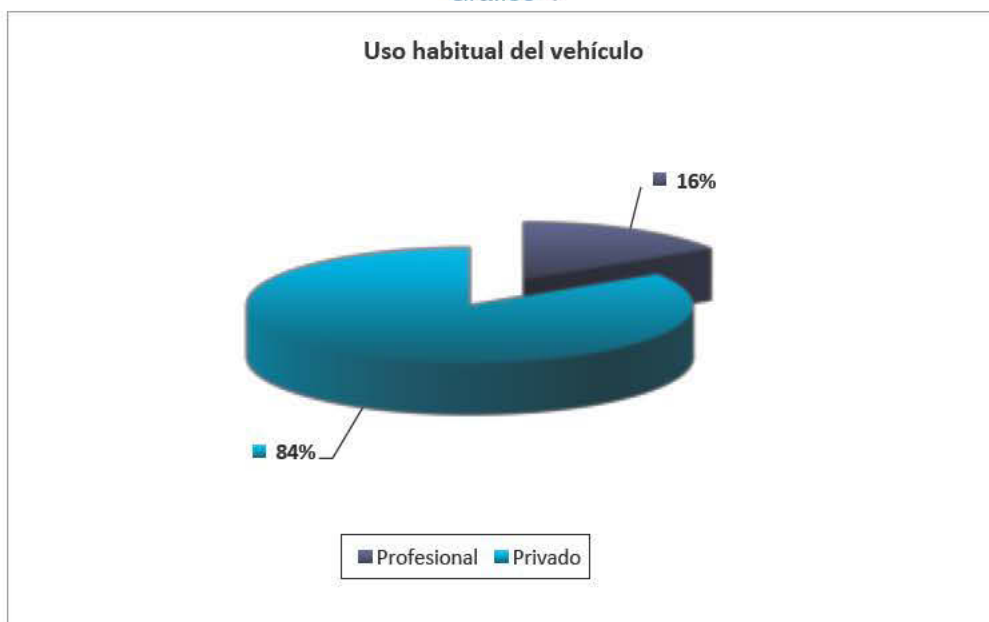
Gráfico 3



Como parámetro de exposición al riesgo, la encuesta ha recogido el número de kilómetros recorridos por los conductores en un año, observamos como dato destacado que más de la mitad de la muestra recorre más de 15.000 km al año.

4. Uso habitual del vehículo

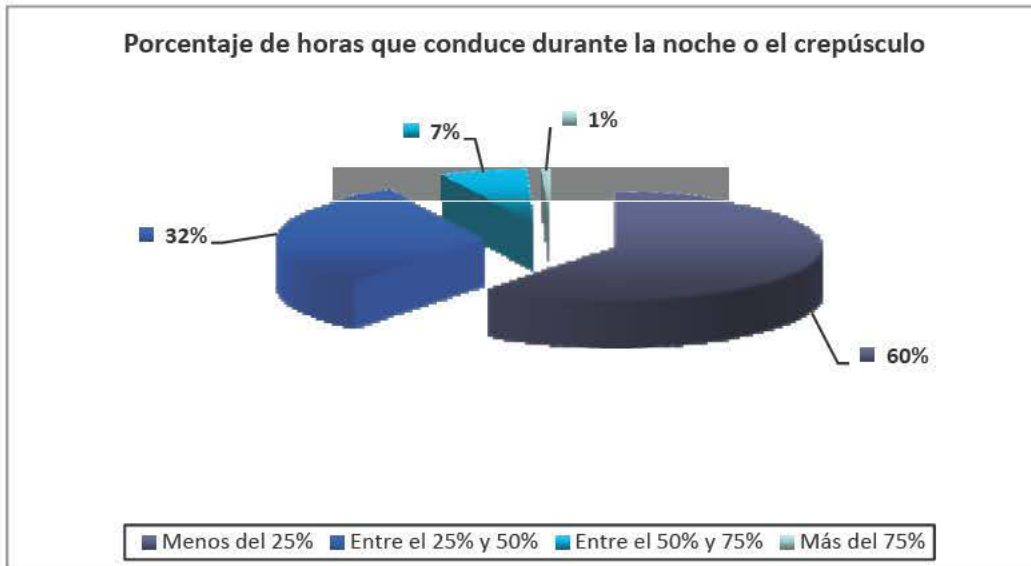
Gráfico 4



El 84% de los encuestados hace un uso privado del vehículo, frente a un 16% que hace un uso profesional.

5. Horas de conducción nocturna

Gráfico 5



El 60% de los conductores conduce más horas diurnas, en cambio, el 31% de los conductores realiza entre el 25% y el 50% de sus horas de conducción por la noche o el crepúsculo.

Bloque II. Conductores con problemas de visión

1. Conductores diagnosticados por problemas de visión

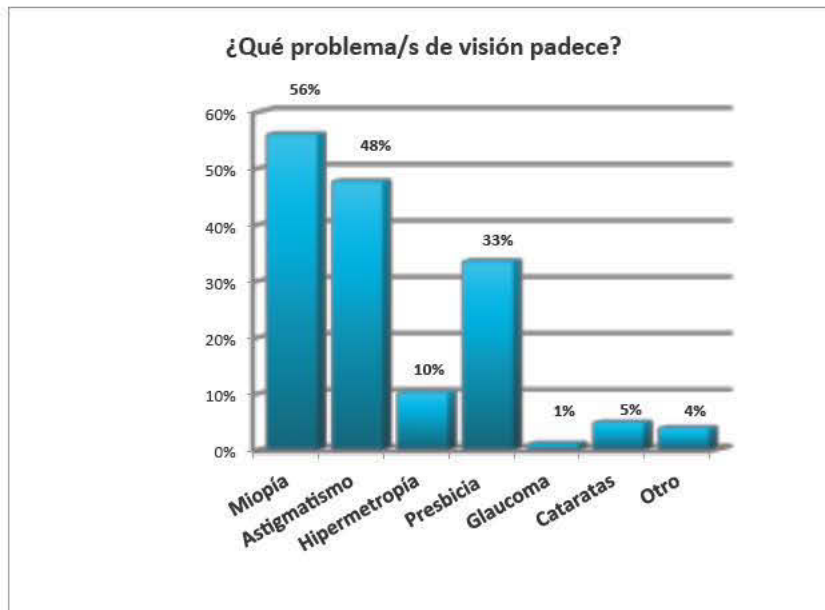
Gráfico 6



El 56% de los conductores encuestados ha sido diagnosticado de algún problema en la visión .

5. Problemas de visión

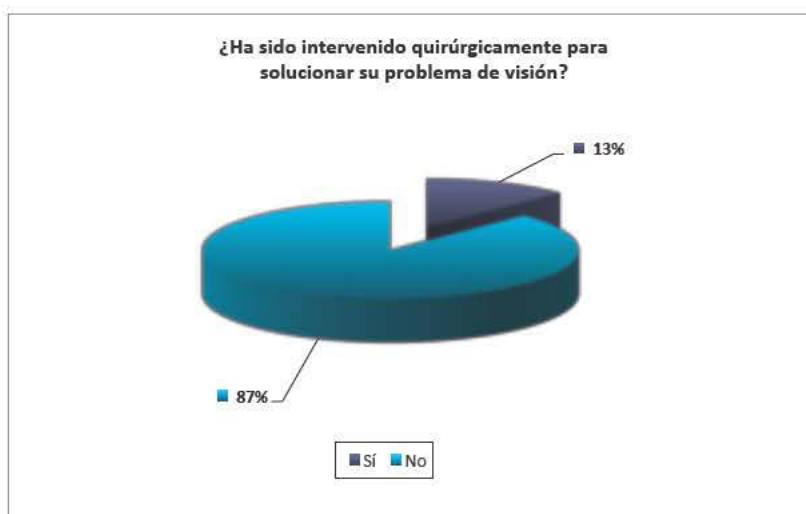
Gráfico 7



Observamos en el gráfico 7 la incidencia de los problemas de visión en la muestra analizada, el problema más frecuente es la miopía (56% de los conductores), seguido de astigmatismo (48%) y presbicia o vista cansada (33%). Si analizamos los problemas de la visión cuando se presentan de manera conjunta, el 51% de los conductores con miopía también padece astigmatismo. En el caso de los hipermétropes el porcentaje alcanza el 66%. Entre los conductores que manifiestan presbicia (vista cansada), el 26% padece astigmatismo, el 25% es miope y el 10% ha sido también diagnosticado de hipermetropía.

5. Intervención quirúrgica

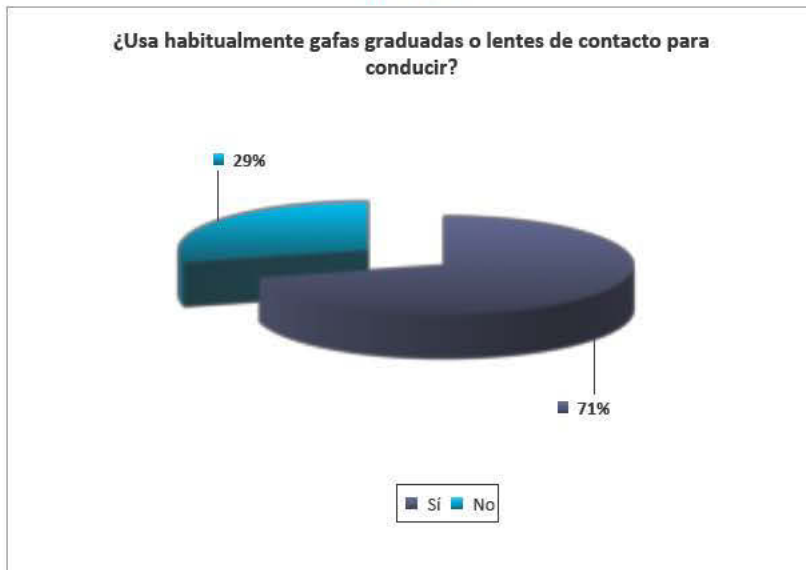
Gráfico 8



Como muestra el gráfico 8, el 13% de los conductores diagnosticados ha corregido sus problemas de visión mediante una intervención quirúrgica.

4. Uso de gafas

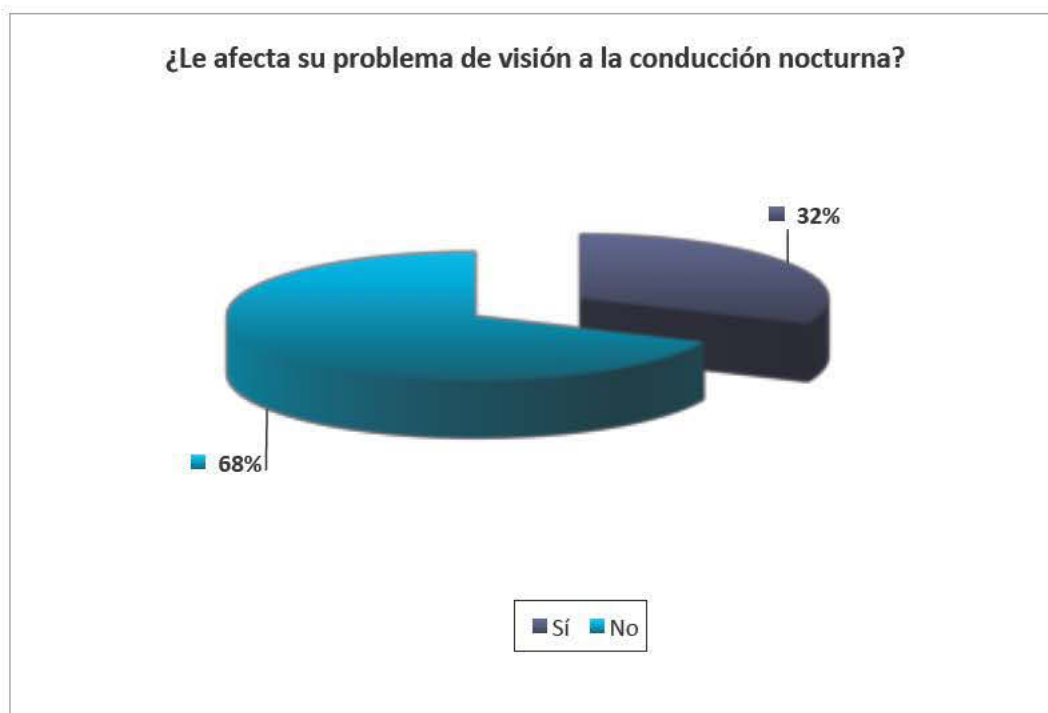
Gráfico 9



El 71% de los conductores diagnosticados con problemas de visión usa gafas correctoras o lentes de contacto para conducir.

5. Problema de visión y conducción nocturna

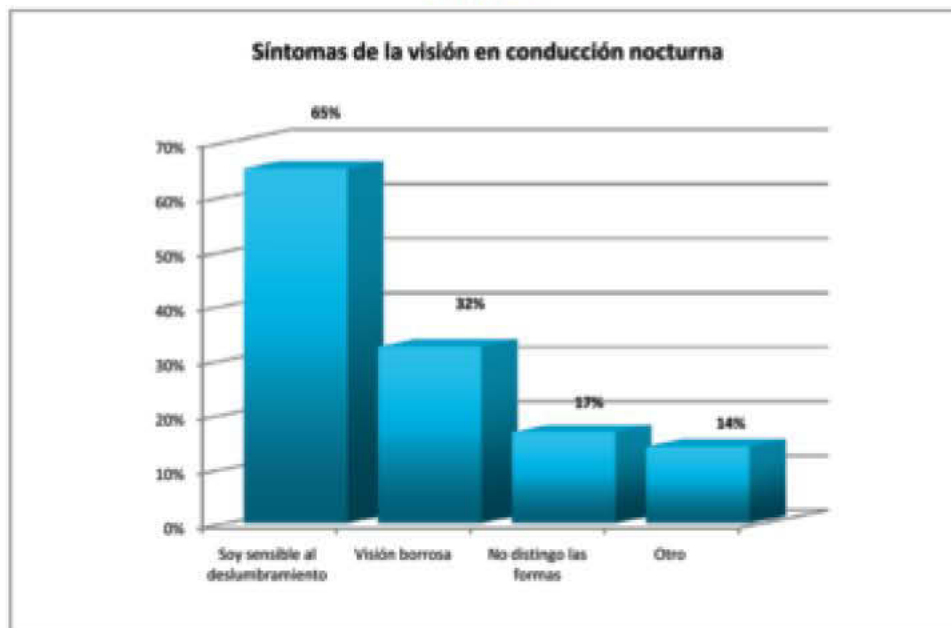
Gráfico 10



Como observamos en el gráfico 10, al 32% de los conductores le afecta su problema de visión durante la conducción nocturna.

En el gráfico 11, observamos que tipo de problemas manifiestan.

Gráfico 11

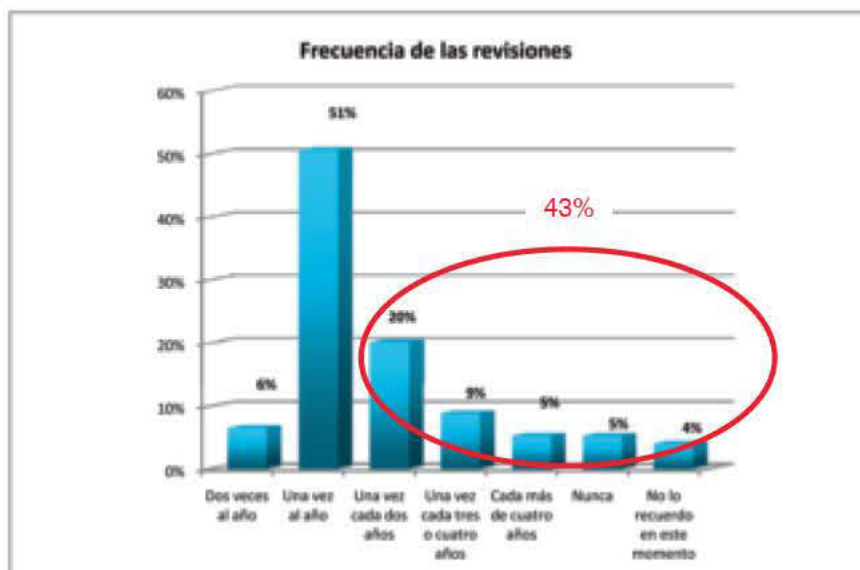


El 65% de los conductores manifiesta que es muy sensible al deslumbramiento, el 32% tiene problemas de visión borrosa y el 17% no distingue bien las formas. Cuando la opción de respuesta es abierta (el 14% de los casos), las respuestas más frecuentes de los conductores son problemas para calcular las distancias, y problemas para leer la información de las señales de tráfico.

Bloque III. Hábitos de higiene visual

1. Frecuencia de las revisiones periódicas por un especialista (oftalmólogo u óptico-optometrista)

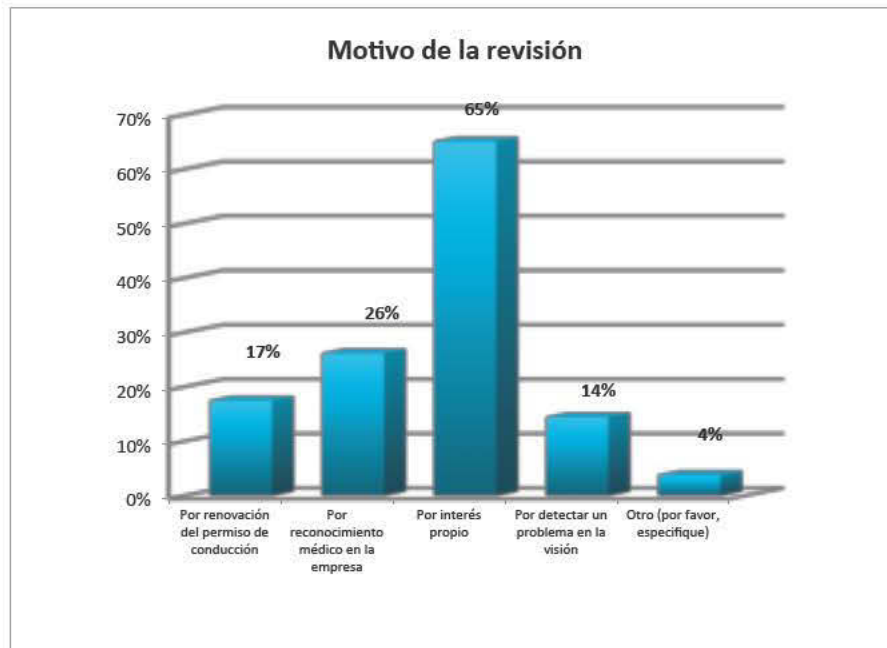
Gráfico 12



El 51% de los conductores afirma revisarse la visión al menos una vez al año, sin embargo, el 43% de la muestra lo hace con menor frecuencia, no lo recuerda o nunca se ha realizado una revisión por el especialista.

2. Motivo por el que acude a la revisión

Gráfico 13



Entre los motivos que aducen los conductores para acudir a revisión, se encuentran el interés propio (65%), por reconocimiento médico de la empresa (26%), por renovación del permiso de conducción (17%) y por detectar un problema en la visión, el 14% de los casos.

Bloque IV. Percepción del riesgo

1. Seguridad en la conducción nocturna

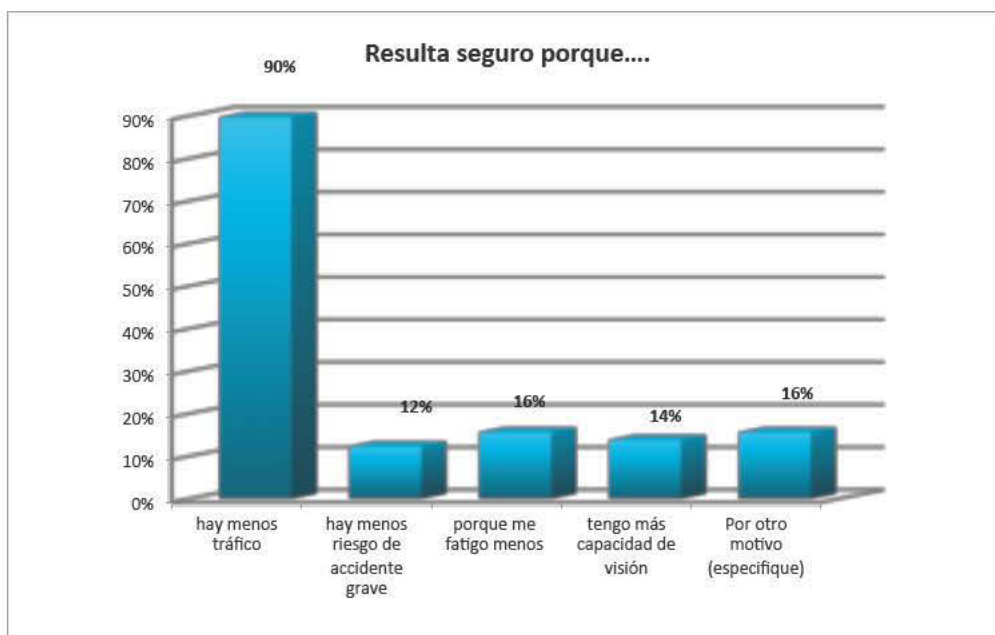
Gráfico 14



Al 73% de los conductores no le resulta seguro conducir por la noche, frente a un 27% que sí le ofrece seguridad.

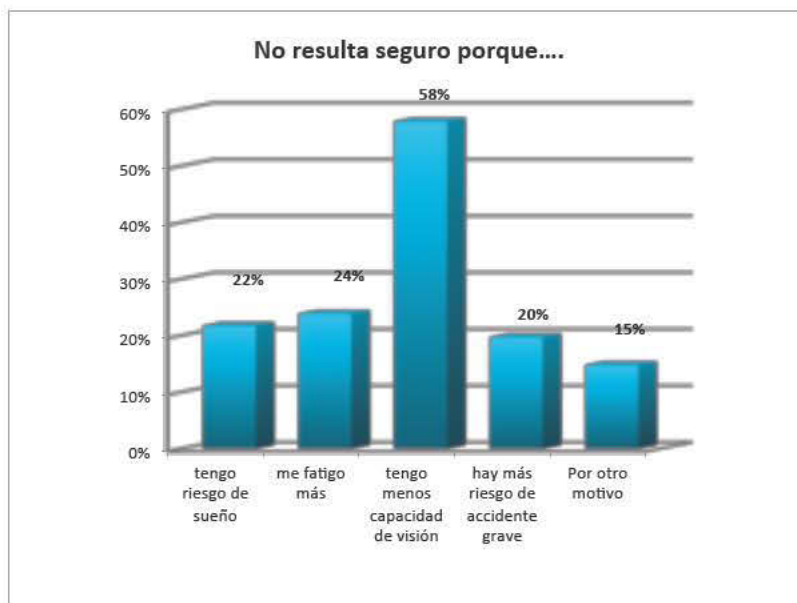
Los motivos que argumentan, tanto un grupo como otro de conductores, se pueden observar en el gráfico 15 y gráfico 16.

Gráfico 15



Al 90% de los conductores que le resulta seguro conducir por la noche, lo atribuye a que hay menos tráfico.

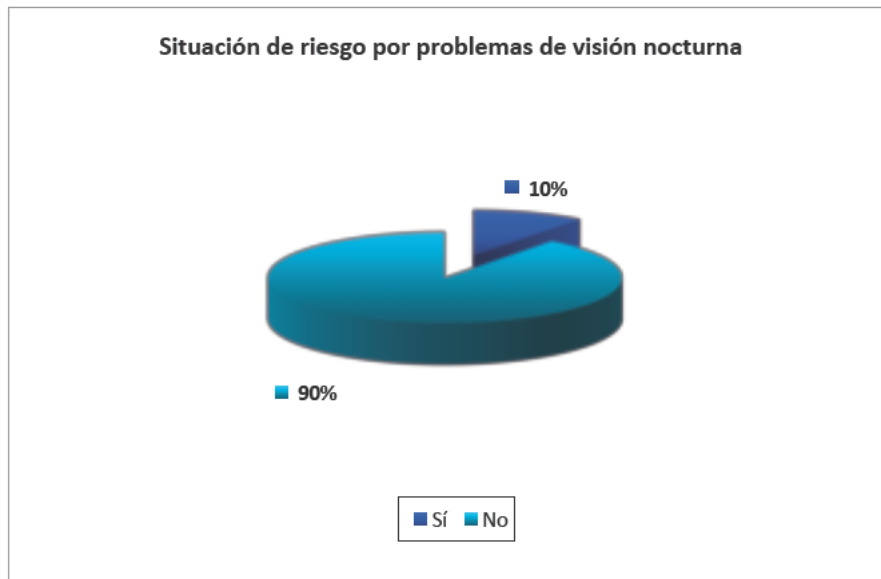
Gráfico 16



La pérdida de capacidad de visión aparece como el motivo más frecuente entre los conductores que no le resulta seguro conducir por la noche. Así lo afirman en el 58% de los casos.

1. Situaciones de riesgo de accidente grave por problemas achacables a la visión del conductor

Gráfico 17



El 10% de los conductores manifiesta haber sufrido situaciones de riesgo mientras conducía por la noche por algún problema relacionado con su visión.

Según el análisis cualitativo de las situaciones de riesgo sufridas por los conductores, durante la conducción nocturna, las podemos agrupar en cuatro grupos:

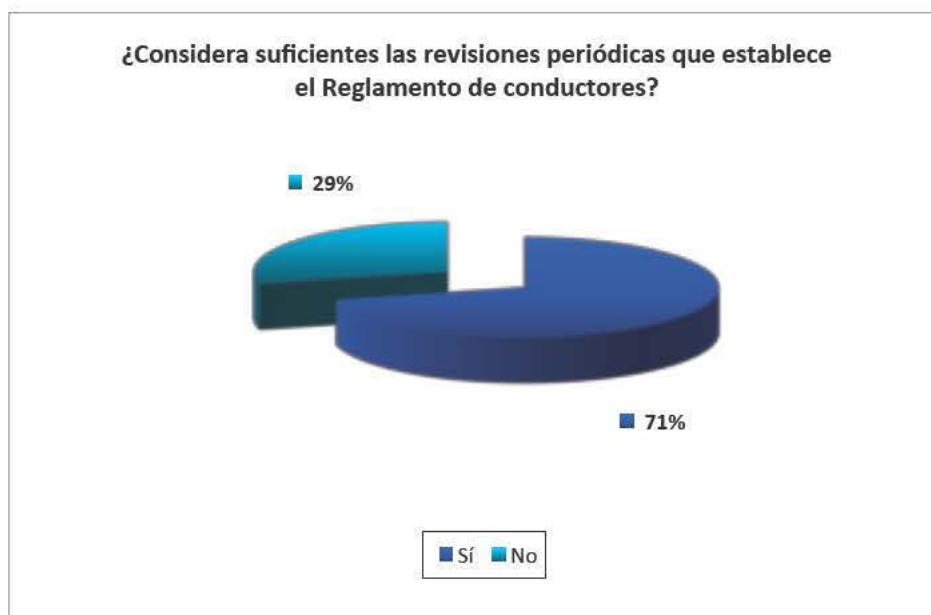
- Riesgo de atropello a un peatón invadiendo la calzada.
- Riesgo de atropello a un animal invadiendo la calzada.
- Riesgo de colisión por alcance a vehículo parado en la calzada, generalmente por avería.
- Riesgo de no percibir la información de las señales de tráfico.



Figura 12. Observamos las cuatro situaciones de riesgo más frecuentes para los conductores, durante la conducción nocturna, y que éstos atribuyen a un problema de la capacidad visual.

4. Control de la capacidad visual

Gráfico 18



El 71% de los conductores no considera suficientes las revisiones periódicas de la capacidad visual que establece el Reglamento General de Conductores para la obtención o prórroga del permiso o licencia de conducción.

8. Conclusiones

1. Siniestralidad vial durante la noche

El análisis de la siniestralidad indica que durante la noche se producen menos accidentes de tráfico que durante el día, pero su lesividad es mucho mayor. Si durante el día se producen 2,5 fallecidos por cada 100 accidentes, durante la noche, la tasa asciende a 3,8 fallecidos por cada 100 accidentes. **La peligrosidad más alta se produce por la noche en carretera. En este contexto, la tasa de fallecidos por cada 100 accidentes asciende a 6,3.** Por tipología de accidente, **los accidentes que mayor tasa representan durante la noche son los atropellos a peatones y a animales, siendo la carretera el escenario donde más diferencias se dan entre ambas franjas horarias.** En carretera, durante la noche se producen el 72% de los atropellos a peatones, y el 83% de los atropellos a animales. En zona urbana, se produce el mismo número de accidentes mortales con peatones implicados durante el día que durante la noche. Ver Tabla 3.

Con el cambio horario (de horario de verano a horario de invierno), los fallecidos durante la noche pasan de ser el 33% al 52%, este incremento se produce teniendo en cuenta que hay más accidentes durante el día, lo que viene a demostrar la gravedad de los accidentes ocurridos por la noche.

2. Análisis del sistema visual durante la conducción nocturna

La característica más importante de la visión nocturna durante la conducción es la enorme variación en luminancias que podemos encontrar localmente en la escena, es decir, en posiciones diferentes de la vía por la que vamos circulando, como ejemplo, el haz de luz de los faros de un vehículo y el borde de la calzada. **La aparición de luz artificial es muy reciente en la historia de la evolución humana y el ojo no ha tenido tiempo de generar un mecanismo que permita una perfecta adaptación a cambios tan bruscos.**

3. Causas del deslumbramiento

Debido a la difusión y dispersión de la luz que atraviesa la óptica ocular, una fuente de luz pequeña y de gran intensidad sobre un fondo oscuro, como es el caso de los faros de un coche o el de una farola, puede crear un deslumbramiento en forma de halo luminoso que disminuya el contraste e incluso impida la visibilidad completa de objetos situados en el entorno de la fuente de luz. Ésta puede ser debida principalmente a dos motivos:

- **La existencia de partículas en suspensión en los humores y/o la falta de transparencia que puede presentar la córnea y el cristalino. Es muy común que la difusión intraocular aumente con la edad (formación de catarata).**
- **La existencia de aberraciones oculares como son la aberración esférica, el coma, el astigmatismo triangular, etc...**

4. Miopía nocturna

Un gran porcentaje de la población tiene ciertas dificultades para poder ver nítidamente durante la noche y realizar tareas como conducir y apreciar nítidamente los faros de otros coches. **Si bien esas personas tienen una buena visión durante el día (ya sea con corrección o si ella), por la noche, se vuelven miopes y no son capaces de distinguir nítidamente objetos con una alta iluminación alejados.** El valor de dicha miopía varía de un individuo a otro y mientras que algunos no la tienen, en otros puede llegar a ser de 2 y 3 Dioptrías, siendo 1 Dioptría su valor medio. Dicha miopía

puede afectar la conducción nocturna y como cualquier miopía puede corregirse con lentes oftálmicas o de contacto.

De la encuesta realizada a una muestra representativa de la población española de conductores, se desprenden las siguientes conclusiones:

5. Salud visual de los conductores

El 56% de los conductores ha sido diagnosticado de algún problema de visión.

Los problemas de visión que mayor incidencia tienen entre los conductores son la **miopía** (56% de los conductores la padece), seguido del **astigmatismo** (con un 48% de incidencia) y la **presbicia o vista cansada** (el 33% de los casos). Si analizamos los problemas de visión cuando se manifiestan de forma conjunta, el 51% de los conductores con miopía también padece astigmatismo. Entre los conductores que manifiestan presbicia (vista cansada), el 26% también padece astigmatismo, y el 25% es miope.

El 13% de los conductores diagnosticados con problemas de visión ha sido **intervenido quirúrgicamente** para corregir su problema. Hay evidencias científicas que constatan que hasta el 19% de las personas intervenidas con cirugía refractiva **presenta problemas de visión durante la conducción nocturna. Ver figura 9.**

El 71% de los conductores diagnosticados con problemas de visión usa gafas correctoras o lentes de contacto para conducir.

De los conductores diagnosticados, **al 32% le afecta su problema de visión especialmente durante la conducción nocturna**, manifestando como problemas más frecuentes **sensibilidad al deslumbramiento y visión borrosa**. Ver gráfico 11.

6. Hábitos de higiene visual

El 51% afirma revisarse la visión al menos una vez al año, sin embargo, **el 34% de los conductores lo hace con menor frecuencia, el 5% no lo recuerda y el 4% afirma que nunca** se ha realizado una revisión por el especialista (oftalmólogo u óptico-optometrista). Entre los principales motivos por los que acuden son el interés propio (65% de los conductores) y por reconocimiento médico en la empresa (26% de los conductores).

7. Percepción del riesgo

Al 73% de los conductores no le resulta seguro conducir por la noche, frente a un 27% de conductores que sí le ofrece seguridad la conducción nocturna. **La pérdida de capacidad visual aparece como el motivo de inseguridad más frecuente** entre los primeros, y la poca intensidad de tráfico, como el motivo de seguridad más frecuente entre los segundos.

El 10% de los conductores afirma haber sufrido situaciones de riesgo de accidente mientras conducía por la noche por algún problema relacionado con su visión.

Entre las situaciones de riesgo más frecuentes, se encuentra:

- **Riesgo de atropello a un peatón que invade la calzada.**
- **Riesgo de atropello a un animal que invade la calzada.**
- **Riesgo de colisión por alcance a un vehículo parado, generalmente por avería.**
- **Riesgo de no percibir la información de las señales de tráfico.**

El 71% de la muestra no considera suficientes las revisiones periódicas que establece el Reglamento General de Conductores para la renovación del permiso o licencia de conducción.

9. Recomendaciones

Para una correcta visión nocturna del conductor y un desempeño de la conducción en condiciones de óptima seguridad durante la noche, a continuación detallamos una serie de consejos y recomendaciones.

Consejos de salud visual

- 1) No esperar a la renovación del permiso de conducción, el conductor debe hacerse una revisión de la vista, al menos, una vez al año.
- 2) Si el conductor detecta alteraciones o pérdida de la visión durante la conducción nocturna debe acudir a su oftalmólogo u óptico-optometrista.
- 3) Si el conductor nota pérdida de campo visual, o tras una operación de cirugía refractiva tiene especialmente molestias ante el deslumbramiento de otros vehículos, debe acudir a su oftalmólogo u óptico-optometrista.
- 4) Si se utilizan gafas para conducir, es importante mantener bien limpios los cristales, se recomienda que éstos sean antirreflejantes.

Consejos durante la conducción nocturna

- 1) Durante la noche, es importante moderar la velocidad y aumentar la distancia de seguridad para poder detener el vehículo ante un obstáculo, dentro del campo de alcance de las luces del mismo.
- 2) El conductor debe utilizar el alumbrado al menos una hora antes de la puesta de sol.
- 3) Hacer un uso adecuado de la luz de cruce y carretera evitará deslumbramientos a otros vehículos.
- 4) El conductor debe permanecer atento a la aparición de molestias oculares, como lagrimeo o picor de ojos, son los primeros síntomas de somnolencia y cansancio.
- 5) El reglaje correcto de los espejos, tanto el espejo interior como los espejos exteriores, permitirá minimizar los reflejos molestos del alumbrado de otros vehículos.
- 6) Se debe evitar la conducción con las luces interiores encendidas, ya que la diferencia de contrastes, entre el interior y exterior del vehículo, reducirá visión al conductor.

Consejos de mantenimiento del vehículo

- 1) Una limpieza periódica de lunas y parabrisas evitará reflejos molestos. Para ello, el estado de las escobillas y el nivel del líquido lavaparabrisas debe ser el óptimo.
- 2) El reglaje adecuado de las ópticas del vehículo permitirá una proyección adecuada sobre la carretera, optimizará la visión del conductor y minimizará las molestias a los otros vehículos.
- 3) La limpieza de las ópticas del vehículo permitirá una proyección más eficiente y una mejor visión del conductor.

10. Bibliografía

Allen, M. J., Hazlett, R. D., Tacker H.L. y Graham B. L. (1970). Actual Pedestrian Visibility and the Pedestrian's Estimate of His Own Visibility. American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry, vol 47, pp. 44-49

Allen, M. J. (1979). Highway tests of photochromic lenses. Journal of the American Optometric Association 50: 1023-1027.

Anstis, S. (2003). Moving in a Fog. Contrast Affects the Perceived Speed And Direction of Motion, Proceedings of the Conference on Neural Networks, Portland, Oregon, 2003.

Artigas J.M., Capilla P., Felipe A., y Pujol J. Óptica Fisiológica. McGraw-Hill-Interamericana de España, Madrid, 1995.

Bachman, W. y Weaver, J. (1999). Comparison between anti-reflection-coated and uncoated spectacle lenses for presbyopic Highway Patrol troopers. Journal of the American Optometric Association 70: 103-108.

Bailey MD y Zadnik K. (2007). Outcomes of LASIK for myopia with FDA-approved lasers Cornea, Apr;26(3):246-54.

BOE 06-06-1997. Reglamento General de Conductores. Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo. MODIFICADO POR REAL DECRETO 1598/2004, de 2 de Julio . BOE 19- julio – 2004.

BOE 10-09-2010. Modificación del Anexo IV del Reglamento General de Conductores, aprobado por el Real Decreto 818/2009, de 8 de mayo.

<http://www.boe.es/boe/dias/2010/09/10/pdfs/BOE-A-2010-13946.pdf>

Care-Database European Commission. http://ec.europa.eu/transport/road_safety/index_en.htm

Chaparro, A., J. M. Wood, et al. (2005). Effects of age and auditory and visual dual tasks on closed-road driving performance. Optom Vis Sci 82(8): 747-54.

Clyde W. Oyster (1999). The human Eye. Sinauer Associates, Inc.

Cohen Y., Zadok D., Barkana Y., Shochat Z., Ashkenazi I., Avni I. y Mo Y. Relación entre la miopía nocturna y los accidentes automovilísticos. Noticias de la Gaceta Óptica Jul. 2009. (En referencia al artículo publicado en ACTA OphthAlmol. ScAnd. 2007: 85: 367–370). <http://www.cnoo.es/modulos/gaceta/actual/gaceta439/noticias.pdf>

Coupland, S. y Kirkhanm, T. (1981). Improved contrast sensitivity with antireflective coated lenses in the presence of glare. *Can. J. Ophthalmol.* 16: 136-140.

Dirección General de Tráfico (2011): Las principales cifras de siniestralidad. España 2010. www.dgt.es

Dirección General de Tráfico. Anuario estadístico de accidentes de tráfico 2010.

Evans, K. (1987). Uncorrected Refractive Error Among A Hospital Population. *Ophthalmic & Physiol. Optics* 7: 245-247.

Fernández-Sánchez V., Ponce M.E., Lara F., Montés-Micó R., Castejón-Mochón J.F. and López-Gil N. Effect of 3rd-order aberrations on human vision *Cataract Refract Surg* 2008; 34:1339–1344.

Ginsburg, A. (1997). A Functional Vision Analysis of Invisibles Plus Anti-Reflective Lens Coating. San Ramon, CA, Vision Sciences Research Corporation: 3-14.

Harrell, W. A. (1994). Effects of Pedestrians' Visibility and Signs of Motorists' Yielding. *Percetual and Motor Skills* 78: 355-362.

Hofmann T, Zuberbuhler B, Cervino A, Montés-Micó R, Haefliger E. Retinal straylight and complaint scores 18 months after implantation of the AcrySof monofocal and ReSTOR diffractive intraocular lenses. *J Refract Surg.* 2009 Jun;25(6):485-92.

Ivey, D.L. Lehtipuu, E.K. & UTTON, J.W. (1975). Rainfall and visibility- The view from behind the wheel. *Journal of Safety Research*, Vol. 7, No 4, pp. 156-169. 1975

López Gil N. (2006). Aberraciones oculares: aspectos clínicos. (Capítulos 2 y 5). Ed. ICM, ISBN: 84-933569-6-4.

N. López-Gil, N. Chateau, J.F. Castejón-Mochón, P. Artal & A. Benito (2003). Correcting ocular aberrations by soft contact lenses. *J. South African Optom*, 62, 4, 173-177.

N. López-Gil (1999). Spherical aberration and coma on spatial vision. *Digest of the PhO'99 EOS Topical Meeting on Physiological Optics*. 40-41. ISSN 1167-5357.

López-Gil N. y González-Méijome J.M. (2012). Noticias de Investigación. *Gaceta Óptica* . Sept., 2012. (En referencia al artículo publicado en *J.Vis.*12(5):4; 1-9, <http://www.cnoo.es/modulos/gaceta/actual/gaceta473/Noticias.pdf>

López-Gil, N., Peixoto-de-Matos, S. C., Thibos, L. N., & González-Méijome, J. M. (2012). Shedding light on night myopia. *Journal of Vision*, 12(5):4, 1–9, <http://www.journalofvision.org/content/12/5/4>, doi:10.1167/12.5.4

Olson, P. and M. Sivak (1983a). Automotive Headlighting: Effect OF Foreground Illumination. *Perceptual and Motor Skills* 57: 1036-1038.

Olson, P. L. and M. Sivak (1983b). Comparison of Headlamp Visibility Distance and Stopping Distance. *Perceptual and Motor Skills* 57: 1177-1178.

Olson, P. L. and M. Sivak (1983c). Automotive Headlighting: Effect of Foreground Illumination. *Perceptual and Motor Skills* 57: 1036-1038.

Otero, J. M., & Duran, A. (1943). Influencia del efecto de Purkinje combinado con la aberración cromática del ojo en la miopía nocturna. *Anales de Física y Química*, 39:567–578.

Owens, D. A., J. M. Wood, et al. (2007). Effects of age and illumination on night driving: a road test. *Hum Factors* 49(6): 1115-31.

Owsley C. (2001). Visual risk factors for crash involvement in older drivers with cataract. *Arch Ophthalmol* 119: 881-887

Preston, J., G. Pierce, et al. (1996). Anti-Reflective Coating Reduces The Effect of Glare On Contrast Sensitivity. *Optom Vision Science*.

Puell M.C., Palomo C., Sánchez-Ramos C., Villena C. (2004). Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population Graefe's *Arch Clin Exp Ophthalmol* 242:755–761

RACE (2009). Informe sobre comportamientos peatonales en España

RACE-Fundación Alain Afflelou (2010). Informe Visión y Seguridad vial en España

Ross, J. y Bradley, A. (1997). Visual performance and patient preference: a comparison of anti-reflection coated and uncoated spectacle lenses. *Journal Of The American Optometric Association* 68: 361-366.

Sullivan, J. M. y Flanagan, M. J. (2002). The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions. *Accid Anal Prev* 34(4): 487-98.

Tyrrel, R., Wood, J. y Carberry, T. (2004). On-road Measures of Pedestrian's Estimates of Their Own Nighttime Conspicuity. *Journal of Safety Research*, vol. 35. nº 5, pp. 483-490

Van Den Berg TJ, Van Rijn LJ, Michael R, Heine C, Coeckelbergh T, Nischler C, Wilhelm H, Grabner G, Emesz M, Barraquer RI, Coppens JE, Franssen L. Straylight effects with aging and lens extraction. *Am J Ophthalmol*. 2007 Sep;144(3):358-363. Epub 2007 Jul 25.

Van den Berg. T. 2007. Introduction to retinal straylight. <http://www.nin.knaw.nl/Portals/0/Department/Berg/Documents/Straylight.pdf>

Van den Berg TJ, Hagenouw MP, Coppens JE. The ciliary corona: physical model and simulation of the fine needles radiating from point light sources. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005 Jul;46(7):2627-32.

Villa Collar C, Gutierrez R, Jimenez JR, Gonzalez-Meijome JM. Night Vision Disturbances after Successful LASIK Surgery. *Br J Ophthalmol.* 2007. Aug;91(8):1031-7.

Waetjen, R., U. Schiefer, et al. (1992). Influence of windshield tint and tilt on recognition distance under mesopic conditions. *German J Ophthalmology* 1: 424-8.

Wood, J. (1998). Vision research, driving and the elderly. *Ophthalmic Physiol Opt* 18(6): 469-70.

Wood, J. M., R. A. Tyrrell, et al. (2005). Limitations in drivers' ability to recognize pedestrians at night. *Human Factors* 47(3)_644-53



Fundación
ALAIN AFFLELOU



REAL AUTOMÓVIL CLUB DE ESPAÑA, RACE, DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD VIAL
Isaac Newton 4, 28760 Tres Cantos, Madrid
www.race.es 902 40 45 45