

## Exploración visual y movimientos oculares en conductores con distinta experiencia: Una revisión\*

Pilar Tejero Gimeno\*\*<sup>1</sup>, Gemma Pastor Cerezuela<sup>1</sup> y Antonio Crespo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dept. de Psicología Básica / Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial. Universidad de Valencia (Valencia, España).

<sup>2</sup> Laboratorio de Percepción, Departamento de Psicología Básica II. UNED (Madrid, España).

**Resumen:** Una deficiente exploración visual de la carretera y su entorno es uno de los factores que contribuyen a la siniestralidad del tráfico. Este artículo revisa los trabajos que han analizado la exploración visual de conductores con distinto grado de experiencia a partir del registro de sus movimientos oculares. Se incluyen estudios en entorno real de conducción, con simuladores y con escenas de tráfico proyectadas en vídeo. La revisión pone de manifiesto las diferencias entre conductores noveles y experimentados en medidas como la duración de las fijaciones oculares, la variabilidad de las posiciones de las fijaciones y el patrón de exploración sobre los objetos y lugares presentes en la situación de tráfico. Tomados en conjunto, los trabajos indican que la experiencia en la conducción permite desarrollar una mayor flexibilidad para obtener la información visual relevante con objeto de adaptarse a las condiciones de la situación de tráfico. Finalmente, se proponen ciertas mejoras metodológicas así como la necesidad de diseñar programas de intervención con objeto de mejorar la seguridad vial.

**Palabras clave:** Exploración visual; movimientos oculares; atención visual; conducción; seguridad vial.

**Title:** Visual search and eye movements in drivers with different experience. A review.

**Abstract:** Deficient visual scanning of road and its environment is an outstanding factor contributing to traffic accidents. This article reviews differences in visual behaviour between learner and experienced motor-vehicle drivers. Several eye-tracking techniques have been used to measure drivers' eye movements, both in real or laboratory conditions (simulators or video projection). Researcher's interest has been focused on several topics: eye fixations duration in several traffic settings, extend of visual scan, gaze duration toward irrelevant objects, tracking of road's trajectory when steering, and visual detection of dangerous events. Overall, there is an agreement to assert that experience allows the development of suitable visual strategies enabling drivers to perceive relevant information; therefore, a better adaptation to traffic settings may be obtained. Finally, some methodological suggestions –especially those concerning criteria to define *level of experience*– are discussed, as well as the necessity of an intervention policy to be applied when learning to improve traffic safety.

**Key words:** Visual search; eye movements; visual attention; driving; traffic safety.

### 1. Introducción

Conducir es una actividad compleja que exige la participación de procesos cognitivos y motores. Debido a la elevada cifra de siniestros ocasionados por accidentes de tráfico en los que se encuentran involucrados los conductores noveles, un ámbito que ha despertado el interés de los investigadores ha sido analizar las posibles diferencias de exploración visual entre éstos y los expertos. La adecuada percepción de la trayectoria, de las señales de tráfico, el uso de telé-

fonos móviles o la detección de eventos súbitos potencialmente peligrosos, son actividades que exigen el desarrollo de habilidades visuales exploratorias que garanticen una eficaz recogida de la información del medio.

En el contexto de la psicología experimental las diversas estrategias de exploración visual se han estudiado mediante el registro de movimientos oculares (Henderson y Hollingworth, 1998; Land, Mennie y Rusted, 1999). Estudiar las zonas donde se ubica la mirada del conductor en la carretera o el número de fijaciones que reciben determinadas zonas de interés (retrovisores, señales de tráfico, salpicadero, etc.) adquiere una gran importancia no sólo por las posibles implicaciones teóricas con vistas a la elaboración de modelos sobre control atencional y movimientos oculares, sino también por las repercusiones en el diseño de programas de formación y perfeccionamiento para conducto-

\* Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología (ref. BSO2002-01998).

\*\* **Dirección para correspondencia [Correspondence address]:** Pilar Tejero Gimeno, Departamento de Psicología Básica, Facultad de Psicología, Universidad de Valencia. Av. Blasco Ibáñez, 21. 46010 Valencia (España). E-mail: pilar.tejero@uv.es

res menos experimentados, todo ello en aras de la seguridad vial.

Este trabajo realiza una revisión de los estudios científicos centrados en las posibles diferencias en las estrategias de exploración visual entre conductores principiantes y experimentados. Se ha seleccionado exclusivamente aquellos que han utilizado alguna técnica objetiva de registro de movimientos oculares, desde la grabación con cámaras de vídeo de los ojos del conductor hasta los seguidores de movimientos oculares basados en imágenes de Purkinje o en reflexión corneo-pupilar. En consecuencia, se ha excluido la literatura que fundamenta sus aportaciones en la mera observación directa del movimiento ocular del sujeto por parte de un investigador debido a la falta de rigor de este tipo de medidas. La Tabla 1 describe sintéticamente, para cada estudio, sus objetivos específicos, la situación de evaluación (real o simulada), instrumentos empleados en el registro de

los movimientos oculares y características de los participantes. En lo que sigue expondremos los principales resultados obtenidos en relación con las variables dependientes analizadas en estos trabajos, a saber, la duración de las fijaciones oculares en la conducción, la variabilidad de las posiciones de la escena visual sobre las que se producen esas fijaciones y los objetos y zonas fijados, incluyendo las fijaciones sobre objetos irrelevantes para la conducción, la exploración visual para el seguimiento de la trayectoria de la vía y para la detección de eventos potencialmente peligrosos. Concretamente, expondremos los resultados obtenidos para aquellas medidas que se han mostrado sensibles a la variable experiencia en la conducción en, al menos, un trabajo. Es por ello que uno de los trabajos que aparecen en la tabla (Allen, Schroeder y Ball, 1978) no es comentado en ninguno de los siguientes apartados.

**Tabla 1:** Descripción esquemática de los objetivos, la situación de evaluación, los instrumentos utilizados para el registro de los movimientos oculares y las muestras utilizadas en las publicaciones revisadas en este trabajo, en lo que concierne a las características de la exploración ocular en conductores de diferente experiencia.

<i>Autores, Año</i>	<i>Título</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Situación de evaluación</i>	<i>Instrumento de registro</i>	<i>Características de la muestra</i>
Mourant y Rockwell, 1972	Strategies of visual search by novice and experienced drivers	Estudiar los cambios en los patrones de exploración visual con la experiencia en la conducción.	Entorno real	Un sistema de registro de movimientos oculares mediante televisión (no se especifica marca ni modelo)	10 hombres: •6 aspirantes al permiso de conducir, alumnos de un curso práctico (de 16-17 años) •4 conductores con más de 12.000 km anuales en los 5 años previos (entre 21 y 43 años)
Cohen y Studdach, 1977	Eye movements while driving cars around curves	Estudiar si el patrón de movimientos oculares en la conducción en curvas está influido por la experiencia en la conducción.	Entorno real	Equipo de registro de movimientos oculares NAC Eye-Mark-Recorder, III.	9 conductores estudiantes (edad media: 23,5): •5 con más de 20.000 km conducidos. •4 con menos de 20.000 km conducidos y más de 1 año de permiso de conducir.
Allen, Schroeder y Ball, 1978	Effects of experience and short-term practice on drivers' eye movements and errors in simulated dangerous situations	Estudiar los efectos de la experiencia en la conducción y de la práctica a corto plazo sobre los patrones de movimientos oculares.	Simulación de conducción	Equipo de registro de movimientos oculares Biometrics, Inc, Modelo SGH/V-2	20 mujeres, estudiantes: •10 con permiso de conducir (edad media: 20,5). •10 sin permiso de conducir (edad media: 20,6).
Miltenburg y Kuiken, 1990	The effect of driving experience on visual search strategies: results of a laboratory experiment	Estudiar si los conductores experimentados se fijan antes y durante menos tiempo en los estímulos relevantes que los menos experimentados, y si éstos últimos se fijan más cerca por delante del propio vehículo que los primeros.	Vídeo de secuencias de tráfico	Equipo de registro de movimientos oculares NAC Eye-Mark-Recorder, V.	47 conductores: •12 noveles: menos de 1 año de permiso (edad media: 22,5). •15 con poca experiencia: menos de 5 años de permiso y menos de 100.000 km; o más de 5 años de permiso y menos de 10.000 km (edad media: 27,1). •10 experimentados: menos de 5 años de permiso y más de 100.000 km; o

					bien, más de 5 años de permiso, más de 10.000 km y menos de 100.000 km en los últimos 5 años (edad media: 29,7). •10 muy experimentados: más de 5 años de permiso y más de 100.000 km en los últimos 5 años (edad media: 37,5).
Unema y Rötting, 1990	Differences in eye movements and mental workload between experienced and inexperienced motor-vehicle drivers	Estudiar si la experiencia en la conducción conlleva un aumento en la duración de las fijaciones oculares mientras se conduce.	Entorno real	Equipo de registro de movimientos oculares NAC Eye-Mark-Recorder, V.	12 conductores: •6 con más de 5 años de permiso y más de 15.000 km/año. •6 con menos de 6.000 km/año.
Velde y Lourens, 1991	Aspects of driving behaviour in learner and inexperienced drivers	Conocer cómo se desarrollan con la experiencia las estrategias de búsqueda visual en la conducción.	Entorno real	Cámara de video (no se especifica marca y modelo).	24 conductores, hombres: •8 (18-19 años) con poca experiencia (2-9 meses de permiso). •8 (22-23 años) inexperimentados (2-9 meses de permiso). •8 (22-23 años) experimentados (3-5 años de permiso).
Laya, 1992	Eye movements in actual and simulated curve negotiation tasks	Estudiar la distribución de las fijaciones oculares durante la conducción en curvas en función de la experiencia.	Entorno real y simulación de conducción	Equipo de registro de movimientos oculares NAC Eye-Mark-Recorder, V.	16 conductores: •8 con menos de 1 año de permiso. •8 con más de 50.000 km.
Summala, Nieminen y Punto, 1996	Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks	Evaluar cómo repercute sobre la conducción, en función de la experiencia en la misma, la realización de una tarea atencional que requiere fijar la mirada sobre posiciones alejadas de la línea de visión normal del conductor.	Entorno real	Dos cámaras de video Panasonic WV-CD2.	Dos grupos de conductores: • Conductores con menos de 10.000 km conducidos (media: 1.500 km) • Conductores que habían conducido entre 30.000 y 250.000 km (media: 50.000 km)
Carter y Laya, 1998	Drivers' visual search in a field situation and in a driving simulator	Estudiar las estrategias de exploración visual en diversas tareas de conducción en función de la experiencia.	Entorno real y simulación de conducción	Equipo de registro de movimientos oculares NAC Eye-Mark-Recorder V.	16 conductores: • 8 con menos de 1 año de permiso (edad media: 18,7) • 8 con más de 8 años de permiso (edad media: 38,5)
Chapman y Underwood, 1998a	Visual search of driving situations: danger and experience	Estudiar los movimientos oculares y las estrategias de búsqueda visual en función de la experiencia en la conducción, el tipo de vía y la peligrosidad de la situación de tráfico.	Vídeo de secuencias de tráfico	Equipo de registro de movimientos oculares SRI Dual Purkinje Generation 5.5 (Fourward Technologies)	77 conductores: •51 con menos de 3 meses de permiso, una media de 1.675 km (edad media: 18 años). •26 con 5-10 años de permiso, una media de 126200 km (edad media: 27 años).
Chapman y Underwood, 1998b	Visual search of dynamic scenes: event types and the role of experience in viewing driving situations	Estudiar la exploración visual de conductores con distinto grado de experiencia cuando han de detectar la aparición de eventos de tráfico peligrosos.	Vídeo de secuencias de tráfico	Equipo de registro de movimientos oculares SRI Dual Purkinje Generation 5.5 (Fourward Technologies)	Conductores de entre 17 y 44 años: • 83 con el permiso de conducir menos de 1 año (edad media: 21) • 29 con el permiso de conducir entre 5 y 10 años (edad media: 27)
Crundall y Underwood, 1998	Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers	Estudiar las estrategias de exploración visual de los conductores en diversas situaciones de tráfico, que plantean demandas de procesamiento de distinto nivel	Entorno real	Equipo de registro de movimientos oculares NAC Eye-Mark VII	32 conductores: • 16 experimentados (experiencia media: 9 años; edad media: 27,7) • 16 principiantes (experiencia media: 0.2 años; edad media: 17,9)
Crundall, Underwood y Chapman, 1998	How much do novice drivers see? The effects of demand on visual search strategies in novice and experienced drivers	Determinar las diferencias entre conductores con distinta experiencia respecto a sus estrategias de exploración visual en diferentes situaciones de conducción	Entorno real	Equipo de registro de movimientos oculares SRI Dual Purkinje Generation 5.5 (Fourward Technologies)	32 conductores: • 16 experimentados (experiencia media: 9 años; edad media: 27,7) • 16 principiantes (experiencia media: 0.2 años; edad media: 17,9)
Dishart y Land, 1998	The development of the eye movement strategies of	Estudiar los cambios en las características de la exploración visual de los conductores	Entorno real y simulación de	Equipo de registro de movimientos oculares (no se especifica marca)	Cuatro grupos (estudio en progreso, no se indica cuántos sujetos se habían evaluado hasta el momento):

	learner drivers	según adquieren experiencia.	conducción	ni modelo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductores experimentados (mínimo: 1 año de experiencia)</li> <li>• Sujetos sin ninguna experiencia en la conducción</li> </ul>
Summala, 1998	Forced peripheral vision driving paradigm: evidence for the hypothesis that car drivers learn to keep in lane with peripheral vision	Evaluar la hipótesis sugerida por Mourant y Rockwell (1972): los experimentados pueden controlar la posición del vehículo mediante la visión periférica, mientras que los inexpertos necesitan utilizar la visión foveal.	Entorno real	Dos cámaras de vídeo (no se especifica marca ni modelo)	<p>Experimento 1:</p> <p>Dos grupos de conductores (de entre 19 y 22 años):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con menos de 10.000 km (media: 1.500 km)</li> <li>• 30.000 - 250.000 km (media: 50.000 km)</li> </ul> <p>Experimento 2</p> <p>Dos grupos de conductores (de entre 19 y 22 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con menos de 45.000 km (media: 10.000 km)</li> <li>• Entre 50.000 y 250.000 km (media: 100.000 km)</li> </ul> <p>Experimento 3: tres grupos de conductores (de entre 21 y 49 años)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con menos de 10.000 km (media: 5.000 km)</li> <li>• Que habían conducido entre 15.000 y 50.000 km (media: 20.000 km)</li> <li>• Que habían conducido más de 50.000 km (media: 90.000 km)</li> </ul>
Wikman, Nieminen y Summala, 1998	Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width	Estudiar si los conductores con experiencia presentan una menor variabilidad en la duración de las miradas en una tarea secundaria a la conducción y menos miradas de larga duración, que los conductores noveles.	Entorno real	Cámara de vídeo (no se especifica marca ni modelo)	<p>47 conductores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 11 hombres con una media de 200.000 km (edad media: 36).</li> <li>• 12 mujeres con una media de 200.000 km (edad media: 36).</li> <li>• 10 hombres con una media de 2.000 km (edad media: 19).</li> <li>• 14 mujeres con una media de 2.000 km (edad media: 19).</li> </ul>
Crundall, Underwood y Chapman, 1999	Driving experience and the functional field of view	Estudiar las posibles diferencias en el campo visual funcional entre conductores con diferente experiencia, con diferentes demandas de procesamiento y con señales presentadas con diferente eccentricidad	Vídeo de secuencias de tráfico	Equipo de registro de movimientos oculares SRI Dual Purkinje Generation 5.5 (Fourward Technologies)	<p>60 sujetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 no conductores (13 mujeres y 7 hombres (edad media: 19 años y 5 meses)</li> <li>• 20 conductores noveles (12 mujeres y 8 hombres, experiencia media de 2.5 meses, edad media: 19 años y 3 meses)</li> <li>• 20 no conductores (12 mujeres y 8 hombres (experiencia media de 60 meses, edad media: 24 años y 1 mes)</li> </ul>
Underwood, Crundall y Chapman, 2002	Selective searching while driving: the role of experience in hazard detection and general surveillance	Estudiar si existen diferencias en el uso de los espejos retrovisores (interno y externo) en función de la experiencia en la conducción y de la complejidad de la carretera.	Entorno real	Dos cámaras de vídeo (no se especifica marca ni modelo)	<p>42 conductores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 21 conductores experimentados (experiencia media de 9 años y 14720 km por año; edad media de 27 años).</li> <li>- 21 conductores noveles (experiencia media de 7.8 semanas y 1336 km; edad media de 18 años).</li> </ul>

## 2. Movimientos oculares en conducción: registro y condiciones de estudio

Aunque existen diversos tipos de movimientos oculares, los más característicos de la conducta visual exploratoria son los *sacádicos*. Mediante ellos se dirige la mirada hacia las zonas de interés, permitiendo ubicar la imagen en la fovea. El área de cobertura de un sacádico abarca unos 30°, ángulo a partir del cual se hace preciso el movimiento de la cabeza para redirigir la mirada. Entre sacádicos se ubican las *fijaciones oculares*, periodos en los que el ojo permanece relativamente estacionario<sup>1</sup>, con lo que se consigue centrar la proyección de un objeto en la fovea. La duración media de una fijación oscila entre 200 y 350 milisegundos. Parte de este tiempo está determinado por un periodo refractario motor –o periodo de pausa mínimo– entre sacádicos consecutivos, que viene impuesto por las limitaciones propias de la respuesta neuronal motora (alrededor de 100-150 milisegundos; Leigh y Zee, 1991; Viviani, 1990). Desde un punto de vista cognitivo, es precisamente durante el tiempo que comprende una fijación cuando se produce la recogida efectiva de información del medio, se integra la información precedente con la venidera y se planifica a qué zonas de la periferia visual se dirigirá la siguiente fijación ocular.

La exploración visual durante conducción no sólo está determinada por la información foveal, sino también por la información periférica. Ésta, que puede aparecer súbitamente, debe identificarse con rapidez. Rantanen y Goldberg (1999) y Van Diepen, Wampers y d'Ydewalle (1998) entienden que, en el campo visual, es posible la detección de un *target* peri-

férico con sus características globales. Sin embargo, su identificación plena y su categorización sólo será posible si éste aparece en el *campo visual útil o funcional*. Se deduce, por tanto, que el campo visual útil coincide con el eje foveal y parte de la parafovea. Otros autores como Findlay y Gilchrist (1998) argumentan que cuando el evento que debe detectarse se ubica en una zona que no coincide con el campo visual útil la detección será factible, pero su reconocimiento específico exigirá redirigir continuamente la mirada hacia el mismo. Observaciones de este tipo son coherentes con los resultados obtenidos por Miura (1990), quien demuestra cómo un incremento de las demandas ambientales –e.g., aumento de la complejidad en el tráfico– tiene como consecuencia un estrechamiento del campo visual útil, lo que ocasiona un mayor número de movimientos oculares hacia la zona de la periferia en la que aparecen los eventos que deben detectarse.

Existen diversas técnicas para registrar los movimientos oculares. Todas presentan ventajas e inconvenientes y su utilización depende del objetivo de la investigación y del contexto psicológico o fisiológico específico (véase la revisión comparativa de Müller, Cavegn, d'Ydewalle y Groner, 1993, o la clásica de Young y Sheena, 1975 a y b). En el ámbito de la conducción, una de ellas ha sido la grabación directa del ojo con una videocámara colocada sobre el salpicadero del vehículo. Éste es un método no-invasivo, relativamente fácil de utilizar, aunque la precisión con la que se determina la posición de la mirada no alcanza el grado que se obtiene utilizando seguidores de movimientos oculares (*eye trackers*). El modo de operación de estos aparatos se fundamenta en determinadas propiedades óptico-físicas del ojo que aparecen como consecuencia de la emisión de un haz de luz infrarrojo.

Un primer tipo de seguidores son los que detectan el movimiento ocular mediante la diferencia de posición entre la primera y la cuarta imagen de Purkinje que genera el infrarrojo (*Purkinje eye trackers*): la primera se forma en la superficie convexa externa de la córnea y la cuarta en la superficie cóncava interna del cris-

<sup>1</sup> El ojo nunca está estático. Durante las denominadas “fijaciones oculares” se producen diversos micromovimientos de fijación, *drifts*, *flicks* y tremor ocular. Debido a ello, una vez realizado el registro ocular se hace necesario depurar los datos en bruto para calcular las fijaciones. Por norma general, teniendo en cuenta las propiedades motoras del ojo, las fijaciones oculares se calculan mediante algoritmos matemáticos que, en la actualidad, son incorporados en el software que suministran los fabricantes de *eye trackers*.

talino. Otro tipo de *eye trackers* son los que operan conforme al principio de *reflexión pupilo-corneal*. En éstos, la dirección de la mirada se determina mediante la diferencia existente entre la reflexión que un haz infrarrojo produce en la córnea y el punto central de reflexión retiniana que se manifiesta a través de la abertura pupilar. Tanto en un sistema como en otro, si la cámara que muestrea el ojo es de alta velocidad (superior a los 250 Hz<sup>2</sup>) impondrá o bien ciertas restricciones en el movimiento de la cabeza del conductor o bien la exigencia de llevar el sistema de registro en la cabeza, con la molestia que ello supone. En la actualidad, los avances tecnológicos han ocasionado que se diseñen *eye trackers* para su utilización en vehículos acondicionados, permitiendo el registro ocular del conductor de forma no-invasiva y altamente confortable.

Además de la tecnología utilizada, al estudiar la conducta exploratoria en conducción se debe decidir dónde se realizará la investigación: en contextos reales y/o en laboratorio. Los estudios en entorno real utilizan vehículos que el sujeto conduce por calles o carreteras abiertas al tráfico, o bien en circuitos cerrados. En el laboratorio, el registro ocular se obtiene, o bien utilizando simuladores de conducción, o bien observando escenas de tráfico proyectadas en vídeo. Con los simuladores de conducción se intenta producir en el conductor sensaciones semejantes a la que se obtiene en el entorno real. El sujeto "conduce" en la simulación, manejando los mandos básicos (volante, pedales...). En el caso de la observación de escenas de tráfico, generalmente se utilizan escenas filmadas desde la perspectiva del conductor y se pide a los sujetos que las observen como si estuvieran

conduciendo por el entorno grabado. Sea cual sea el entorno elegido, en todos ellos se instalan los correspondientes seguidores oculares para detectar el movimiento del ojo.

### 3. La exploración visual en conductores con distinto grado de experiencia

La conducción de un vehículo es una actividad compleja y heterogénea que incluye la realización coordinada de múltiples y diversas tareas en un entorno variable al que el conductor tiene que adaptar continuamente sus acciones. La mayor parte de la información relevante se obtiene a partir de la visión. A menudo, la velocidad del desplazamiento exige que esta información se reciba con cierta anticipación respecto a la ejecución de la acción. A ello unido, las modificaciones súbitas en la situación de tráfico exigen al conductor rápidos y amplios cambios de su atención visual. Por ello, aprender a conducir implica, entre otras muchas habilidades, la de aprender a explorar visualmente el entorno en el que se conduce, con el objetivo de detectar e identificar con rapidez y precisión los eventos potencialmente relevantes.

Los conductores noveles, con independencia de su edad, aparecen involucrados en más accidentes de tráfico que el resto de la población de conductores (Cooper, Pinili y Chen, 1995). Uno de los factores que subyace a numerosos siniestros de este tipo son las deficientes estrategias de exploración visual para anticiparse a posibles riesgos en la situación de tráfico. Mourant y Rockwell (1972) realizaron uno de los primeros trabajos para comprobar el comportamiento ocular exploratorio durante la conducción en un entorno real. Estos investigadores utilizaron una pequeña muestra de sujetos que realizaban un curso práctico para obtener el permiso de conducir y otra de sujetos que ya contaban con varios años de experiencia. Sus resultados indicaron que los conductores con más experiencia utilizaban patrones de exploración visual en el eje horizontal más amplios que los de los aspirantes al permiso.

<sup>2</sup> La velocidad de muestreo de las cámaras de registro ocular se designa en Hertzios. Una cámara de 50 Hz toma cincuenta instantáneas de la posición del ojo en un segundo, es decir, una cada veinte milisegundos. Los sistemas de 50 Hz y 60 Hz son los más habituales debido a que la óptica no impone restricciones al movimiento de la cabeza del sujeto. Conforme se incrementa la velocidad de la cámara las restricciones se hacen más acusadas, pues para realizar un adecuado registro ocular se obliga a inmovilizar al máximo la cabeza del observador. Algunos sistemas incorporan cámaras de 1000 Hz o superiores.

Además, en contra de lo esperado, también hallaron que la exploración visual de los aprendices parecía menos amplia cuanto más avanzado estaba el curso de conducción, lo que para estos autores significaba que la realización de ese curso no conseguía que los aprendices adoptaran las estrategias de exploración visual más adecuadas para conducir. Por otra parte, este trabajo parecía sugerir que los aprendices tendían a dirigir más fijaciones oculares hacia la derecha y hacia las zonas más próximas a la parte frontal de su vehículo que los experimentados. En cambio, en comparación con estos últimos, los aprendices dirigían muy pocas fijaciones al espejo retrovisor interior y muchas menos -y muy breves- al exterior izquierdo. En conclusión, Mourant y Rockwell sugirieron que los conductores inexpertos limitaban las estrategias de exploración visual casi en exclusiva a la obtención de información para seguir la trayectoria y, por tanto, podían fallar en la detección de eventos relevantes que ocurrieran fuera del marco de la exploración realizada.

En diversos trabajos realizados posteriormente se presentan las conclusiones del trabajo de Mourant y Rockwell como válidas y generales (e.g., Hills, 1980; Ranney, 1994; Berthelon et al., 1996; Gregersen y Bjurulf, 1996; Liu et al., 1998), a pesar de que los resultados no fueron estadísticamente significativos en todas las situaciones de conducción evaluadas. Ello podría deberse al reducido tamaño de las muestras -seis sujetos aprendices y cuatro con experiencia-, a la potencia de las pruebas estadísticas utilizadas o al tamaño del efecto de la variable experiencia en la población estudiada, aunque los autores no presentaron en ese trabajo datos al respecto. En cualquier caso, su importancia reside en ser un estudio pionero que ha servido para fomentar otras investigaciones más rigurosas en las que también se ha estudiado la exploración visual de los conductores inexpertos a través del análisis del comportamiento ocular exploratorio.

#### 4. Duración de las fijaciones oculares

La variabilidad de la duración de las fijaciones que se producen sobre distintas zonas de una escena visual puede ser relativamente grande. Las características visuales y el significado de la información de la zona de la escena sobre la que se produce una fijación concreta influyen en la duración de ésta (Henderson y Hollingworth, 1998). Así, la primera fijación en una zona de la escena visual dura más cuando se degrada la calidad visual de la imagen. De la misma manera, la duración total de las fijaciones dirigidas a una zona de la escena, desde que se produce la primera fijación sobre esa zona hasta que se produce la primera fijación sobre otra zona distinta, es mayor cuando se trata de objetos de alta significación en la escena, tales como objetos cuya probabilidad de aparecer en el entorno visualizado es relativamente baja.

En diversos estudios realizados en entorno real y/o en simulación se ha observado que las fijaciones oculares de los principiantes tienden a ser más breves que las de los conductores con mayor experiencia (Unema y Rötting, 1990; Carter y Laya, 1998; Dishart y Land, 1998), pero también se ha encontrado el patrón contrario (Laya, 1992; Crundall, Underwood y Chapman, 1999). Es posible que la razón de esta aparente incoherencia entre resultados resida en que las diferencias dependen de las demandas de procesamiento que la situación de tráfico plantea.

Un estudio de Crundall y Underwood (1998) puso de manifiesto hallazgos a favor de esta propuesta. Estos autores registraron las fijaciones oculares de conductores con una experiencia media de nueve años junto a conductores cuya experiencia media se reducía a menos de tres meses, en tres situaciones distintas: (a) en carretera rural de un único carril en cada sentido, (b) en carretera urbana, y (c) en carretera de doble carril con un tercer carril de incorporación de vehículos. Tanto noveles como experimentados tendían a realizar fijaciones oculares breves cuando conducían por la carre-

tera urbana; sin embargo, en el caso de los conductores con mayor experiencia, las fijaciones tendían a ser significativamente más largas en la carretera rural que en la urbana, mientras que en el caso de los conductores noveles, la mayor duración correspondía a las fijaciones realizadas en la carretera de doble carril. En línea con la hipótesis propuesta, los conductores expertos aumentaron –en términos comparativos– la duración de las fijaciones oculares en la carretera rural, lo que se ha explicado señalando que la rural planteaba menos demandas de procesamiento dada su baja intensidad de tráfico, la ausencia de vehículos aparcados, peatones y baja complejidad visual en general. Sin embargo, la duración de tales fijaciones fue menor en la carretera urbana y en la de doble carril, lo que se ha explicado señalando que estos entornos planteaban más demandas que obligaban a utilizar estrategias compensatorias: las fijaciones eran de menor duración porque así podían realizar un mayor número de ellas y por tanto, así podían obtener información a partir de distintas posiciones de la escena visual. Por su parte, los conductores noveles habrían aumentado la duración de las fijaciones en una carretera de doble carril porque en esta situación la información que se recibe fovealmente es más compleja y, por tanto, se necesita más tiempo para procesarla; pero no porque utilizaran la estrategia de compensar la cantidad de fijaciones y su duración, pues su escasa experiencia no les habría permitido desarrollar todavía tal estrategia.

Aunque los resultados de Crundall y Underwood (1998) y de Crundall, Underwood y Chapman (1999) no apoyan la existencia de diferencias significativas entre la duración media de las fijaciones de conductores noveles y conductores con más experiencia en un mismo tipo de entorno de tráfico –sea éste de carácter urbano, carretera rural o carretera de doble carril– al parecer, la duración media de las fijaciones oculares varía en diferentes entornos de tráfico de forma distinta entre noveles y experimentados. La experiencia parece afectar a la complejidad percibida en la situación de tráfico. Los principiantes tienden a realizar las fijacio-

nes relativamente más largas cuando conducen por un entorno que les resulta difícil (carretera de doble carril), forzados por la necesidad de disponer de más tiempo para procesar la información visual que reciben, mientras que los conductores con experiencia tienden a realizar las fijaciones relativamente más largas cuando conducen por un entorno que les resulta más bien fácil (carretera rural) y en cambio, tienden a acortarlas en entornos más complejos (carretera urbana y de doble carril) para extraer información visual a partir de un número mayor de posiciones de la escena (Crundall y Underwood, 1998).

### 5. Variabilidad de las posiciones de las fijaciones oculares

La variabilidad de las posiciones de las fijaciones oculares en el eje horizontal y en el eje vertical indica la amplitud de la exploración sobre la escena visual. La *ventana de exploración visual* mientras se conduce un vehículo tiende a ser más bien rectangular que circular, pues la variabilidad horizontal suele ser bastante mayor que la vertical. Una explicación plausible al respecto sostiene que la mayoría de los eventos relevantes que pueden ocurrir en una situación de conducción se producen en el eje horizontal (Recarte, Nunes, López y Recarte, 1998).

En general, la ventana de exploración visual se estrecha cuando se incrementa la complejidad de la situación de tráfico. Por ejemplo, se ha descubierto que la variabilidad de las posiciones de las fijaciones en el eje horizontal tiende a ser menor cuando se conduce en entorno real por carreteras viradas o por carreteras en las que el conductor encuentra un número relativamente grande de objetos visuales (vehículos en movimiento, vehículos aparcados, señales de tráfico, incluso comercios, etc.), en comparación con carreteras con menor complejidad visual (Recarte et al., 1998; Crundall y Underwood, 1998).

Más reveladora aún es la observación de que la realización de una tarea mental irrelevante para la conducción en entorno real produce



un estrechamiento significativo de la ventana de la exploración visual del conductor, que es independiente del tipo de vía (Recarte et al., 1998; Recarte y Nunes, 2000). Este estrechamiento se produce tanto en el eje vertical como en el horizontal (aunque especialmente en el vertical) y es más notorio cuando la tarea demanda explícitamente procesamiento de imágenes visuales que cuando demanda procesamiento verbal. También existe evidencia de que la amplitud de la búsqueda visual disminuye cuando aparecen eventos potencialmente peligrosos en situaciones de tráfico visualizadas mediante vídeo, tanto en el eje horizontal como en el vertical (Chapman y Underwood, 1998a). Así pues, aun considerando las diferencias en entorno y en método entre las investigaciones realizadas, los resultados parecen coincidir en apuntar que la amplitud de la exploración depende de la carga visual y/o mental que se le plantea al conductor.

La experiencia también parece afectar a la amplitud de la exploración visual en situaciones de tráfico. Ya se indicó que Mourant y Rockwell (1972) hallaron que los aprendices utilizaban patrones de exploración visual horizontalmente más reducidos que los de los experimentados, aunque no siempre se han obtenido resultados favorables a esta hipótesis. Por ejemplo, Crundall, Underwood y Chapman (1999) no encontraron diferencias en la amplitud de la exploración ocular ni en el eje vertical ni en el horizontal en función de la experiencia, aunque sugieren que ello pudo deberse a la estimulación secundaria presente en la situación experimental que utilizaron.

En esta línea, Crundall y Underwood (1998) apuntaron que en esta cuestión debe considerarse las características de la situación de tráfico. En su trabajo, los conductores con más experiencia mostraban una variabilidad significativamente mayor en las posiciones de las fijaciones oculares en el eje horizontal cuando conducían a través de una carretera de doble carril, respecto a cuando lo hacían en los otros dos tipos de carreteras. Sin embargo, la variabilidad de las posiciones de las fijaciones oculares en el eje horizontal de los conductores noveles

fue aproximadamente la misma en los tres tipos de carreteras. Las pruebas estadísticas indicaron que no había diferencias significativas entre ambos grupos en cuanto a la variabilidad de las posiciones de sus fijaciones oculares en el eje horizontal cuando circularon por la carretera urbana o por la rural, pero sí cuando lo hicieron por la carretera de doble carril, de manera que los conductores con más experiencia manifestaron una variabilidad significativamente mayor que los noveles en esa situación. En opinión de Crundall y Underwood, los conductores con poca experiencia habían utilizado una estrategia de búsqueda de información visual similar en las diferentes situaciones de tráfico, en el sentido de que la amplitud de su exploración parecía independiente de las características de cada situación. Por ello, califican esta estrategia como inflexible frente a los cambios en las demandas que planteaba cada tipo de vía. A la vez, resaltan que la dispersión horizontal de las fijaciones mostrada por los expertos tendía a ampliarse en la carretera de doble carril – respecto a la correspondiente a las otras dos situaciones evaluadas–, lo que, a su juicio, se producía para adaptar la búsqueda de información a la complejidad de la situación. Por ello, se ha sugerido que las estrategias de exploración visual de los conductores inexpertos pueden ser particularmente inapropiadas cuando las demandas de procesamiento de la situación de tráfico les resultan excesivas (Crundall, Underwood y Chapman, 1998).

## 6. Ubicación de las fijaciones oculares

Las fijaciones oculares no suelen distribuirse espacialmente de forma proporcional, ni tampoco aleatoriamente. Algunas zonas de la escena reciben un número considerablemente mayor de fijaciones que otras, y tales zonas suelen contener una alta carga informativa para la tarea que se está realizando (Henderson y Hollingworth, 1999). Durante la conducción son fuentes de información visual relevante los otros vehículos, los peatones, la calzada y sus

límites, las señales de tráfico, nuestros espejos retrovisores y los indicadores que nos informan acerca del estado de nuestro vehículo. Existe evidencia de que los conductores noveles manifiestan ciertas diferencias respecto a los conductores con más experiencia en cuanto a la frecuencia y la duración de sus fijaciones sobre algunas de esas fuentes de información visual. Las investigaciones al respecto se han centrado especialmente en las fuentes que proporcionan información relevante/irrelevante para la conducción, información para ajustar la trayectoria del vehículo e información indicativa de que puede ocurrir un evento peligroso.

#### 6.1. Fijaciones oculares sobre objetos irrelevantes

Los objetos irrelevantes para la conducción presentes en una situación de tráfico pueden captar la atención de los conductores (carteles de publicidad, construcciones, objetos ubicados en el interior del vehículo...). Miltenburg y Kuiken (1990) registraron los movimientos oculares de varios grupos de sujetos mientras visualizaban seis grabaciones de vídeo, en las que aparecían diversas maniobras y situaciones de conducción tomadas desde la perspectiva del conductor. Sus resultados indicaron que los conductores con experiencia media se fijaban en los objetos relevantes antes que los noveles y que los que tenían poca experiencia, y paradójicamente, también antes que los conductores con gran experiencia. Sin embargo, los conductores con poca o media experiencia se fijaban antes en los objetos irrelevantes que cualquier otro grupo, aunque las fijaciones más largas en objetos irrelevantes correspondieron al grupo de conductores con gran experiencia. Por añadidura, los conductores con experiencia media realizaron más fijaciones sobre señales de tráfico que los conductores de los demás grupos, entre los cuales no se hallaron diferencias significativas al respecto.

Al parecer los conductores menos expertos parecen fijarse relativamente tarde en los objetos relevantes, de manera que, en una situación de conducción real, pueden prescindir de la in-

formación relevante para tomar la decisión y seleccionar la acción correcta en situaciones críticas; esto explica que los errores perceptivos sean un factor importante a la hora de explicar los accidentes de tráfico sufridos por noveles. En cambio, los conductores experimentados parecen fijarse durante un tiempo comparativamente largo en objetos irrelevantes, por lo que en estos grupos podría tener mayor peso para explicar un siniestro los fallos en la detección de cambios relevantes inesperados en una situación de tráfico real.

Por su parte, Wikman, Nieminen y Summala (1998) se interesaron específicamente por la conducta visual cuando se realizan tareas que fuerzan a desviar la mirada desde la carretera hasta el interior del vehículo, para dirigirla a algún objeto irrelevante para la conducción. Su estudio registró la duración de las miradas en conductores que tenían que manipular un reproductor de casetes, una radio o un teléfono móvil (tareas secundarias) mientras conducían en entorno real. La duración media de las miradas a los objetos mencionados no difería para un grupo de conductores con bastante experiencia y otro compuesto por conductores con mucha menos experiencia, pero el porcentaje de sujetos que realizaron miradas de larga duración (superiores a 2,50 segundos) a los objetos implicados en las tareas secundarias fue claramente superior en el caso de los conductores con menos experiencia (el 46% ellos, frente a sólo el 13% de los conductores con más experiencia). Incluso, una buena parte de los conductores con poca experiencia realizaron miradas de muy larga duración -superiores a 3 segundos- a los objetos (concretamente, el 29% de estos sujetos), mientras que no ocurrió así en ninguno de los conductores que tenían más experiencia. Dado que estos objetos estaban ubicados en posiciones relativamente alejadas de las que proporcionan la información visual útil para ajustar la conducción a los cambios en la situación del tráfico, puede deducirse que el hecho de mirar durante dos o tres segundos a tales objetos aumenta la probabilidad de que esa información sea recibida con demora o incluso que no se llegue a advertir. Éste es uno

de los argumentos para recomendar que se limite el uso de los teléfonos móviles mientras se conduce un vehículo.

## 6.2. Seguimiento de la trayectoria

Una de las tareas básicas para conducir con seguridad un vehículo es la de ajustar la dirección de su movimiento a las variaciones en la curvatura de la vía por la que circulamos. Nuestra capacidad para realizar esta tarea depende en gran medida de la disponibilidad de información visual acerca de los cambios en la dirección de la vía (Land y Lee, 1994). De forma general, cuando se conduce a lo largo de un tramo básicamente rectilíneo, una gran parte de las fijaciones oculares tiende a acumularse en la zona de la calzada correspondiente al foco de expansión del flujo óptico, mientras que a lo largo de una curva se incrementan las fijaciones sobre el punto de la línea de visión que es tangencial al interior de la curva y también sobre zonas de la calzada más próximas al vehículo. Cuando se conduce en una curva, el conductor debe buscar la información relevante con la mayor anticipación posible, sin dejar de controlar la posición actual del vehículo en la calzada. Al fijar la mirada sobre el denominado *punto tangente* se obtiene información sobre el grado de curvatura de la vía. Ello permite ajustar adecuadamente la dirección del movimiento del vehículo, sin perder de vista la carretera que se extiende más allá de la curva y los posibles eventos que puedan aparecer súbitamente (Land y Furneaux, 1997).

Diversos trabajos ponen de relieve diferencias entre conductores noveles y expertos en lo que concierne a la conducta exploratoria para ajustarse a la trayectoria de la vía. Por ejemplo, Carter y Laya (1998) compararon la duración total de las fijaciones oculares de conductores noveles y experimentados en cada una de las zonas en las que dividieron las escenas visuales en dos situaciones de conducción: en un circuito cerrado delimitado en una carretera de dos carriles y en un simulador de conducción. Sus datos indicaron que los conductores con más experiencia tendían a realizar fijaciones ocula-

res más largas que los noveles en el foco de expansión y en el lado izquierdo de la carretera.

Asimismo, en un estudio realizado en entorno real, Cohen y Studach (1977) comprobaron que los conductores con más experiencia tendían a realizar fijaciones más largas y movimientos sacádicos más amplios en el eje horizontal cuando se trataba de una curva a la izquierda que cuando la curva giraba hacia la derecha, mientras que dentro del grupo de conductores sin experiencia no se observaban tales diferencias. En las curvas a la derecha, los conductores con más experiencia tendían a realizar fijaciones de menor duración que los inexpertos, pero no había diferencias al respecto entre ambos grupos en las curvas a la izquierda. Por el contrario, en las curvas a la derecha no se hallaron diferencias en cuanto a la amplitud horizontal de sus movimientos sacádicos, pero en las curvas a la izquierda, los conductores con más experiencia tendían a realizar movimientos horizontalmente más amplios. Cohen y Studach también destacaron que los conductores con más experiencia mostraron patrones diferentes en sus movimientos oculares en función de si la curva giraba hacia la derecha o hacia la izquierda. En una curva hacia la derecha, las fijaciones oculares tendían a acumularse fundamentalmente a lo largo de la línea blanca que delimitaba el lado derecho de la carretera, la parte media de la calzada recibía algunas fijaciones y sólo se realizaban fijaciones esporádicas sobre el lado izquierdo, mientras que en una curva hacia la izquierda, tanto la zona media de la carretera como ambos lados recibían fijaciones oculares. Sin embargo, los movimientos oculares de los conductores con poca experiencia en cada tipo de curva no parecían ajustarse a ningún patrón consistente y tampoco parecían diferir en función del tipo de curva.

Otro aspecto interesante radica en dónde y cuánto tiempo miran los conductores de distinta experiencia al realizar determinadas maniobras. Velde Harnsenhorst y Lourens (1991), en condiciones de tráfico real, utilizaron cámaras de vídeo instaladas en el interior del vehículo para determinar los movimientos oculares y ce-

fálicos mientras se realizan maniobras de giro y cruce en intersecciones. Estos investigadores señalaron que todos los conductores evaluados mostraron un déficit a la hora de comprobar visualmente el lado derecho de la situación de tráfico mientras realizaban maniobras de giro, pero especialmente los que eran noveles. Así, una cuarta parte de los noveles más jóvenes no miraban el tráfico que había a su derecha cuando realizaban un giro a la izquierda en una intersección; igualmente, una buena parte de los noveles (el 50% de los más jóvenes y el 30% de los más mayores) sólo lo hacían prematuramente cuando giraban a la izquierda en otra intersección.

Otra maniobra relevante para la seguridad es el cambio de carril. Underwood, Crundall y Chapman (2002), utilizando también cámaras de vídeo instaladas en un vehículo, hallaron que los sujetos experimentados utilizaban más el retrovisor externo que el interno a la hora de realizar un cambio de carril, mientras que los noveles los utilizaban por igual. Además, los experimentados miraban durante más tiempo que los noveles al retrovisor externo mientras realizaban la maniobra. Este dato puede ser importante para explicar la siniestralidad en maniobras como adelantamientos, en los que la información visual relevante aparece principalmente en el retrovisor exterior.

Otro importante aspecto estudiado en relación con el seguimiento de la trayectoria es el uso de la información periférica. En la conducción de un vehículo -como en otras muchas actividades humanas- la visión periférica es fundamental, pues permite que detectemos rápidamente información relevante que se encuentra distante de las zonas más próximas al punto en que fijamos la mirada en un momento dado. Esa información sirve como guía para la realización de movimientos oculares que consigan enfocar nuestros ojos sobre la zona que reclama nuestra atención. Mourant y Rockwell (1972) sugirieron la hipótesis de que los conductores inexpertos tendrían dificultades para controlar la trayectoria de su vehículo si no fijan la mirada sobre las zonas de la carretera que les informan de su posición en la misma, mien-

tras que los conductores expertos podrían hacerlo sin necesidad de estar mirando continuamente a tales zonas, obteniendo esa información en gran medida mediante su visión periférica, lo cual les reportaría la ventaja de que podrían controlar la trayectoria y, a la vez, obtener información detallada sobre otros aspectos del tráfico que pudieran ser relevantes. Los conductores inexpertos tendrían dificultades para controlar la trayectoria del vehículo mediante visión periférica, por lo que no podrían beneficiarse de las ventajas que ello supone a la hora de anticipar posibles eventos en la situación de tráfico. Sin embargo, ni estos autores ni otros publicaron resultados constatados, a favor o en contra de esta hipótesis, hasta que lo hizo el grupo de H. Summala, en la década de los noventa (Summala, 1998; Summala, Nieminen y Punto, 1996).

Este grupo se propuso evaluar esta hipótesis utilizando diversas situaciones experimentales en entorno real, en las que varios grupos de sujetos tenían que conducir durante un cierto tiempo sirviéndose exclusivamente de su visión periférica. Los sujetos tenían que intentar controlar la trayectoria del vehículo para seguir un tramo recto mientras fijaban su mirada sobre un dispositivo instalado en el interior del vehículo. El dispositivo presentaba series de dígitos con los que tenían que realizar diversas tareas mentales, tales como nombrar un cierto dígito cada vez que apareciera. Este dispositivo fue instalado en tres zonas del interior del vehículo con la finalidad de obligar a desviar en menor o en mayor medida la mirada respecto a la línea de visión considerada normal para conducir (en algunos ensayos se colocaba justo encima del panel de indicadores, en otros en el lugar que correspondía al indicador de la velocidad y en el resto, hacia la mitad de la consola, aproximadamente donde suelen instalarse los equipos de música). Para medir la ejecución de los sujetos en la tarea de seguimiento de la trayectoria, Summala utilizó la proporción de tramo que recorrió el sujeto antes de sobrepasar una de las marcas horizontales que delimitaban el carril o antes de dirigir su mirada a la carretera. Los análisis realizados con este tipo de datos indica-

ron que cuanto más alejado de la línea de visión se ubicara el dispositivo en el que se debía fijar la mirada, peor era la ejecución de los sujetos en la tarea de seguimiento de la trayectoria. Sin embargo, el deterioro era diferente en función de la experiencia: a mayor experiencia en la conducción, más alejado tenía que situarse el dispositivo para que se evidenciara un deterioro en el seguimiento de la trayectoria. Aunque ambos grupos podían controlar la trayectoria del vehículo fijando su mirada en un punto un poco alejado de la carretera (concretamente, justo encima del panel de indicadores), los más inexpertos mostraban dificultades para controlar la trayectoria cuando tenían que mirar a puntos algo más distantes (hacia la zona ocupada por el indicador de velocidad), mientras que los que tenían más experiencia no las mostraban hasta que tenían que dirigir su mirada a puntos todavía más alejados (hacia la mitad de la consola).

Sin embargo, las diferencias que se acaban de comentar resultaron ser estadísticamente significativas en dos de los experimentos, pero no en un tercero. Summala (1998) argumenta que la tarea pudo resultar más fácil en este último experimento, al haber utilizado un tramo algo más ancho y un menor tiempo de recorrido que en los dos anteriores. Otro factor comentado por este autor es la muestra utilizada. En este último experimento, a diferencia de los otros dos, se utilizaron estudiantes de Psicología que, según este autor, pudieron utilizar estrategias *ad hoc* para afrontar la tarea, las cuales podrían haber enmascarado la influencia de la experiencia en la conducción. Esta explicación de Summala, si bien plausible, debiera ser manejada con cautela. Desde nuestro punto de vista es destacable que los dos primeros experimentos utilizaron grupos de sujetos que diferían en cuanto a su experiencia en la conducción pero al mismo tiempo eran bastante homogéneos en cuanto a la edad, pues todos tenían entre 19 y 22 años. Sin embargo, en el tercer experimento se utilizaron tres grupos con diferente experiencia, de entre 21 y 49 años de edad, y por tanto, dado que el rango de edad es considerablemente más amplio, emerge la

duda de si estos tres grupos eran homogéneos respecto a esta variable.

Finalmente, otro trabajo en el que se ha estudiado la influencia de la experiencia en la utilización de la visión periférica para conducir es el de Crundall, Underwood y Chapman (1999), ya citado anteriormente. Sin embargo, estos autores no centraron su estudio en el papel de la visión periférica en el seguimiento de la trayectoria, como en los trabajos que se acaban de resumir, sino en su papel a la hora de detectar eventos potencialmente peligrosos; de ahí que sea comentado, junto con otros trabajos, en el siguiente apartado.

### 6.3. Detección de eventos potencialmente peligrosos

Chapman y Underwood (1998a y b) estudiaron la exploración visual realizada por sujetos con distinta experiencia a la hora de reconocer un evento potencialmente peligroso en una situación de tráfico. Para ello utilizaron grabaciones de vídeo de situaciones de tráfico reales tomadas desde la perspectiva del conductor. Según estos autores, si la tarea de los sujetos es observar la escena como si estuvieran conduciendo un vehículo (aunque en realidad no lo están haciendo), se evita que su exploración visual esté influida por el grado de adquisición alcanzado en otras habilidades más básicas —por ejemplo, el grado en que controlan el desplazamiento del vehículo—. En consecuencia, su exploración se relacionará fundamentalmente con el nivel que hayan alcanzado los sujetos en la habilidad de predecir el lugar de la escena en el que puede producirse un posible peligro. En otras palabras, estos autores están aludiendo al concepto de *percepción del riesgo* existente en una situación de tráfico, relativo al proceso cognitivo que permite anticipar eventos peligrosos a partir de la información recogida en una situación. Los sujetos tenían que observar las imágenes asumiendo ser el conductor del vehículo e indicar cualquier evento ante el cual les pareciera necesario frenar o realizar alguna otra acción de evitación, pulsando lo antes posible un botón de respuesta. Al promediar la

duración de las fijaciones oculares realizadas a lo largo de cada una de las secuencias de tráfico, se halló que las de los principiantes tendían a ser significativamente mayores que las de los conductores con experiencia. Sin embargo, análisis más pormenorizados indicaron que esta tendencia general no siempre se cumplía. Los autores presentan los resultados obtenidos para los datos correspondientes a dos de las secuencias, a modo de ejemplo. En una de ellas, se observaba que los principiantes tendían a realizar fijaciones más largas que los conductores con más experiencia durante todo el tiempo que duraba la secuencia, incluso cuando se estaban produciendo los eventos potencialmente peligrosos. Pero, en la otra secuencia, esa tendencia general se rompía durante el tiempo en que se producía el evento potencialmente peligroso, pues en esos momentos eran los conductores con más experiencia los que mostraban fijaciones oculares de mayor duración. Chapman y Underwood atribuyeron esta disparidad a las diferencias entre las situaciones de tráfico mostradas en esas dos secuencias y enfatizaron la dificultad de interpretar cualquier resultado que no tome en consideración los detalles de la escena visual que observaban los sujetos justo cuando se recogieron los datos de los que procede ese resultado.

Por ello, también a modo de ejemplo, los autores presentaron los resultados obtenidos en un análisis todavía más pormenorizado, sobre los datos correspondientes a momentos concretos de las secuencias ya mencionadas. Así, no se hallaron diferencias significativas entre los principiantes y los que tenían más experiencia en ninguna de las medidas oculares correspondientes a un momento de la secuencia en el que no había ningún evento potencialmente peligroso, pero sí para los datos registrados en otro momento en los que se producía uno de esos eventos. En su conjunto, estos datos indicaban que la probabilidad de que los conductores con experiencia estuvieran mirando el evento potencialmente peligroso en el momento en que éste se producía era mayor que en el caso de los principiantes.

Sin embargo, estas últimas diferencias no se observaban de forma sistemática. Los autores trataron de explicarlo incidiendo en que en las situaciones de evaluación podía haber otros factores de naturaleza visual que también influyeron sobre las estrategias de exploración manifestadas por los sujetos. Es por ello por lo que Chapman y Underwood enfatizaron que la investigación en esta área debería de afrontar urgentemente la necesidad de definir los elementos y eventos relevantes incluidos en el flujo de imágenes visuales que recibe el conductor, lo que denominan la *sintaxis* o estructura de esas imágenes.

El trabajo posterior de Crundall, Underwood y Chapman (1999) persiguió un objetivo adicional: evaluar si la acumulación de experiencia consigue ampliar el campo visual funcional del conductor. Para ello, diseñaron una situación experimental que incluía una tarea principal y otra secundaria, simultáneamente. Como tarea principal, el sujeto observaba secuencias de escenas de tráfico proyectadas mediante vídeo, tomadas desde la perspectiva del conductor, para buscar cualquier evento potencialmente peligroso que apareciera en la secuencia, con el fin de evaluar independientemente la peligrosidad y la dificultad de conducir en la situación visualizada. Como tarea secundaria, el sujeto tenía que apretar un botón cuando detectara alguna señal luminosa en la periferia de la pantalla de vídeo. La señal se presentaba aleatoriamente en una de cuatro posiciones distintas, ubicadas en las esquinas de la pantalla. El porcentaje de señales detectadas correctamente fue significativamente inferior en los sujetos que todavía no habían aprendido a conducir, en comparación con los experimentados. Además, los sujetos que no sabían conducir fueron más lentos que los conductores noveles y que los experimentados en la detección de las señales.

## 7. Conclusiones

Las cifras de siniestros de tráfico apuntan hacia el lamentable hecho de que los conductores con poca experiencia tienen un alto riesgo de

resultar implicados en accidentes. El presente trabajo recoge evidencia empírica existente sobre una de las razones aludidas para explicar ese mayor riesgo: que en numerosas ocasiones la exploración visual de los noveles no es la más adecuada durante la conducción. Las investigaciones demuestran que la experiencia afecta a la duración de las fijaciones oculares mientras se conduce, a la variabilidad de las posiciones de estas fijaciones, y a los objetos y lugares de la situación de tráfico que son fijados durante más tiempo y con mayor frecuencia.

Por lo que respecta a la duración de las fijaciones oculares y a su ubicación, las diferencias entre noveles y expertos dependen de la complejidad de la situación, determinada por las características de la situación de tráfico, como por ejemplo el tipo de vía por el que se conduce. Cuando se conduce por un entorno difícil o complejo, la duración de las fijaciones oculares es mayor para los conductores principiantes que para los experimentados (Crundall y Underwood, 1998), puesto que los primeros necesitan un mayor tiempo para procesar la información visual que reciben fovealmente, mientras que los segundos pueden extraer la información visual relevante a partir de un mayor número de fijaciones de menor duración sobre las distintas posiciones de la escena visual. En relación con la variabilidad de las posiciones de las fijaciones oculares, algunos trabajos sugieren que los patrones de exploración visual en el eje horizontal son más amplios en los conductores con experiencia que en los principiantes (Mourant y Rockwell, 1972). Sin embargo, estudios posteriores apuntan a que esta diferencia sólo se produce cuando se conduce por entornos difíciles o complejos (Crundall y Underwood, 1998; Crundall, Underwood y Chapman, 1998, 1999). Al parecer, conforme se acumula experiencia en la conducción, se logra una mayor flexibilidad para adaptarse a los cambios en las demandas que imponen las situaciones de tráfico más complejas. Como consecuencia de ello se produce una mejora en las estrategias de búsqueda de información para afrontar este tipo de situaciones.

Los resultados obtenidos en relación con las fijaciones oculares sobre objetos irrelevantes no permiten extraer conclusiones claras. Algunos trabajos demuestran que la duración de las fijaciones sobre los objetos irrelevantes fue superior en conductores con experiencia que en los noveles, aunque éstos últimos tardaban más tiempo en fijarse en los objetos relevantes (Miltenburg y Kuiken, 1990). Otras investigaciones no han encontrado diferencias significativas en función de la experiencia en la duración de las fijaciones hacia objetos irrelevantes, aunque el porcentaje de sujetos que realizaron miradas de larga duración hacia esos objetos fue mayor en el caso de los principiantes (Wikman, Nieminen y Summala, 1998). Es posible que la aparente disparidad entre investigaciones sea debida a las diferencias en el procedimiento utilizado, ya que en el trabajo del grupo de Wikman los sujetos tenían que realizar tareas secundarias que implicaban mirar a objetos irrelevantes durante la conducción por un entorno real, mientras que en el de Miltenburg y Kuiken los sujetos tenían que visualizar grabaciones de vídeo de escenas de tráfico tomadas desde la perspectiva del conductor. Sin embargo, sí parece que los noveles detectan más lentamente los *targets* relevantes y las miradas hacia los objetos irrelevantes son de mayor duración.

En lo que respecta a la exploración visual para el seguimiento de la trayectoria de la vía, los resultados apuntan a que los conductores noveles dirigen más fijaciones oculares hacia la parte derecha y hacia las zonas más próximas a la parte frontal de su vehículo (Mourant y Rockwell, 1972). Por su parte, los conductores con experiencia realizan fijaciones más largas que los noveles en el foco de expansión y en el lado izquierdo de la carretera (Carter y Laya, 1998). También se ha estudiado los patrones de exploración visual para el seguimiento de la trayectoria de la vía cuando se conduce por curvas (Cohen y Studach, 1977). En este sentido, el patrón de fijaciones oculares según el tipo de curva (derecha/izquierda) parece cambiar con la experiencia, de manera que es más consistente en el caso de los conductores con experiencia que en los noveles. Los conducto-

res con experiencia realizan fijaciones más largas y movimientos sacádicos en el eje horizontal de una mayor amplitud en las curvas hacia la izquierda que en las curvas hacia la derecha. Además, para este grupo, en las curvas a la derecha las fijaciones oculares se acumulan sobretudo en la línea blanca que delimita el lado derecho de la carretera y son más esporádicas para la parte izquierda, mientras que en las curvas a la izquierda todas las partes reciben fijaciones oculares por igual. Todas estas diferencias en el patrón de movimientos oculares en función del tipo de curva no parecen producirse en el caso de los conductores noveles, lo que refuerza la idea anteriormente sugerida de que con la experiencia en la conducción se desarrolla una mayor flexibilidad para ajustarse a las condiciones de la situación de tráfico, especialmente si se trata de condiciones complejas como puede ser la conducción por curvas.

Otro aspecto estudiado ha sido la conducta exploratoria durante la realización de maniobras. Los giros en intersecciones y los cambios de carril son situaciones que requieren altas exigencias de atención visual. Al parecer, los conductores noveles parecen mostrar más déficit que los experimentados en el momento de comprobar visualmente la parte derecha de la escena en las maniobras de giro en las intersecciones —norma de *preferencia por la derecha*— (Veld de Harnsenhorst y Lourens, 1991). También se ha puesto de manifiesto que los conductores experimentados utilizan más el retrovisor externo que el interno en el cambio de carril, mientras que los noveles los utilizan por igual. Además, los experimentados realizan fijaciones más largas que los noveles al retrovisor externo durante esta maniobra (Underwood, Crundall y Chapman, 2002). Estos últimos investigadores afirman que el retrovisor externo es más importante que el interno para la maniobra del cambio de carril puesto que la información relevante aparece por ese retrovisor, lo que una vez más refuerza la idea de que la experiencia posibilita el desarrollo de estrategias más eficaces de adaptación a la situación y de búsqueda de información relevante. Asimismo, los expertos y los noveles también parecen diferenciarse

en la utilización de la visión periférica. Mourant y Rockwell (1972) sugirieron que la experiencia en la conducción contribuye a desarrollar la capacidad para controlar la trayectoria del vehículo mediante la visión periférica. Estas observaciones fueron confirmadas posteriormente otros autores (Summala, 1998; Summala, Nieminen y Punto, 1996). Así, se puede obtener información simultánea sobre lo que ocurre en otras partes de la escena visual y anticipar posibles eventos en la situación de tráfico.

Por último, la experiencia también influye sobre la capacidad de detección de eventos potencialmente peligrosos, aunque esta influencia parece estar afectada por las características de la situación de tráfico y de la escena visual (Chapman y Underwood, 1998a y b). En conjunto, los resultados apuntan a que la experiencia en la conducción mejora la capacidad de anticipar eventos potencialmente peligrosos y, por tanto, la percepción del riesgo. Además, la veterania parece ampliar el campo visual funcional del conductor y la rapidez para detectar eventos inesperados en la escena de tráfico (Crundall, Underwood y Chapman, 1999). No obstante, hay que matizar que estos trabajos en los que se ha estudiado las características de la exploración visual de la situación de tráfico para la detección de eventos potencialmente peligrosos, se han realizado mediante la visualización de grabaciones de vídeo de escenas de tráfico tomadas desde la perspectiva del conductor, en las que, obviamente, no existe riesgo real para el sujeto.

Tomados en conjunto, los trabajos revisados apuntan hacia la existencia de diferentes estrategias de exploración visual entre conductores noveles y experimentados. Por consiguiente, uno de los aspectos básicos para promover la seguridad vial sería tener en cuenta la exploración visual de la carretera y su entorno. Conducir no sólo implica la adquisición de programas motores que capaciten a la persona para la movilización de un vehículo, sino también aprendizajes cognitivos, entre los que se incluye aprender a dirigir la atención visual a las zonas relevantes, que cambian continuamente dependiendo del contexto del tráfico.



Hay que tener en cuenta que algunos de los hallazgos descritos son fruto de un único trabajo y, por tanto, las conclusiones deben manejarse con cautela, no perdiendo de vista las situaciones concretas de evaluación o la muestra de sujetos utilizada. En lo que se refiere a la situación de evaluación, la mayor parte de los trabajos revisados se ha realizado total o parcialmente en entorno real (véase la Tabla 1), siendo menos frecuente la evaluación con simulación de conducción o con visualización de escenas de tráfico. El entorno real goza de una elevada validez ecológica, aunque es difícil controlar algunos factores relevantes de la situación de tráfico. Frente a la evaluación en entorno real, el simulador permite un mayor control de los factores relevantes y en general, los estudios psicológicos apoyan la validez relativa de los simuladores de conducción, es decir, los efectos de determinados factores sobre ciertas medidas apuntan en la misma dirección en entorno real y en simulación, aunque la importancia de los efectos puede variar entre ambos entornos (McLane y Wierwille, 1975; Blaauw, 1982; Reed y Green, 1999).

Por otra parte, se ha detectado resultados contradictorios en distintos trabajos. Así ocurre en el caso de la duración media de las fijaciones oculares, o en el caso de las posiciones de la escena visual en las que se fijan los conductores cuando aparece un evento potencialmente peligroso. Quizá estas discrepancias podrían diluirse si se controlaran los efectos de ciertos factores presentes en la situación de evaluación que pueden influir sobre las demandas visuales y cognitivas planteadas al conductor. Según Crundall, Underwood y Chapman (1998), entre los principales factores que determinarían las demandas visuales en una escena de tráfico figurarían la geometría de la vía (más demandas en las curvas que en los tramos rectos), la intensidad del tráfico (más demandas cuanto mayor sea esta intensidad) y el tipo de maniobra que se está realizando (más demandas cuando se realiza un adelantamiento que cuando se circula continuamente por un mismo carril). Sin embargo, en algunos de los trabajos revisados se presentan promedios globales para los datos

oculares recogidos a lo largo de un recorrido en el que puede haber habido variaciones significativas en éstos y otros factores relevantes, sin especificar si se ha procedido a controlar sus posibles efectos sobre los datos. Por otra parte, la intensidad de las demandas cognitivas en la conducción de un vehículo dependería en gran medida del grado de peligro o riesgo percibido en la escena. En nuestra opinión, esto implica que los estudios sobre la exploración ocular cuando se conduce también deben controlar de algún modo las acciones relevantes de los vehículos próximos al conducido, además de las que realiza el conductor. Así, por ejemplo, es probable que la exploración visual del conductor varíe significativamente cuando su vehículo es adelantado por otro.

Finalmente, hay que considerar las características de las muestras de sujetos utilizadas en gran parte de los trabajos revisados. Sin lugar a dudas, una gran dificultad es definir qué es un conductor experimentado. Desde nuestro punto de vista, es necesario que la selección de los sujetos se ajuste a criterios válidos de experiencia en la conducción y, a la vez, que los grupos de distinta experiencia utilizados sean aproximadamente homogéneos en edad. Como puede comprobarse en la Tabla 1, los criterios que se han seguido son variados y, en ciertos casos, discutibles. Es obvio que la experiencia en la conducción no debiera determinarse recurriendo en exclusiva al número de años que se dispone del permiso para conducir. Un criterio de esta naturaleza convertiría en experimentado a una persona con un permiso obtenido hace años a pesar de no ejercitar la conducción o hacerlo esporádicamente. Por ello, es necesario considerar otros criterios que debieran ser ponderados en conjunto, tales como el número total de kilómetros que ha conducido, la regularidad de la práctica de la conducción y la experiencia más reciente. Además, la edad aparece frecuentemente ligada a la experiencia.

En cualquier caso, con independencia de estas matizaciones, la consistencia de determinadas observaciones empíricas podría ayudar a la realización de programas de formación que incitaran —durante la fase de aprendizaje y la

posterior como conductor novel— a *aprender* a utilizar la visión para conseguir una conducción más segura. Tanto la elaboración de programas de formación para responsables de autoescuelas (en los que se les haga conscientes de las limitaciones en los procesos de exploración visual de sus aprendices), como la realización de sesiones en las que se discutan los principales

errores *visuales* de los noveles (con el propósito de concienciarles que aprender a conducir no sólo implica saber manejar un vehículo sino saber explorar visualmente el entorno) harían más cierto el ya clásico eslogan publicitario de la Dirección General de Tráfico que rezaba *Al volante la vista es la vida*.

## 8. Referencias

- Allen, J.A., Shroeder S.R. y Ball, P.G.(1978). Effects of experience and short-term practice on drivers' eye movements and errors in simulated dangerous situations. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 767-776.
- Berthelon, C., Mestre, D. y Taramino, R. (1996). The role of driving expertise in the visual anticipation of a collision. En A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles – V* (pp. 71-78). Amsterdam: Elsevier.
- Blaauw, G. J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: A validation study. *Human Factors*, 24, 473-486.
- Carter, C. J. y Laya, O. (1998). Drivers' visual search in a field situation and in a driving simulator. En A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles – VI* (pp. 21-31). Oxford: Elsevier.
- Chapman, P. R. y Underwood, G. (1998a). Visual search of driving situations: Danger and experience. *Perception*, 27, 951-964.
- Chapman, P. R. y Underwood, G. (1998b). Visual search of dynamic scenes: Event types and the role of experience in viewing driving situations. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* ( pp. 369-393). Oxford: Elsevier.
- Cohen, A. S. y Studach, H. (1977). Eye movements while driving cars around curves. *Perceptual and motor skills*, 44 (3, Pt.1), 683-689.
- Cooper, P. J., Pinili, M. y Chen, W. (1995). An examination of the crash involvement rates of novice drivers aged from 16 to 55. *Accident Analysis and Prevention*, 27 (1), 89-104.
- Crundall, D. E. y Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448-458.
- Crundall, D. E., Underwood, G. y Chapman, P. R. (1998). How much do novice drivers see? The effects of demand on visual search strategies in novice and experienced drivers. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 395-417). Oxford: Elsevier.
- Crundall, D. E., Underwood, G. y Chapman, P. R. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception*, 28, 1075-1087.
- Dishart, D. C. y Land, M. F. (1998). The development of the eye movement strategies of learner drivers. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 419-429). Oxford: Elsevier.
- Findlay, J. M., y Gilchrist, I. D. (1998). Eye guidance in visual search. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 295-312). Oxford: Elsevier.
- Gregersen, N. P. y Bjurulf, P. (1996). Young novice drivers: Towards a model of their accident involvement. *Accident Analysis and Prevention*, 28(2), 229-241.
- Henderson, J. M. y Hollingworth, A. (1998). Eye movements during scene viewing: an overview. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 269-295). Oxford: Elsevier.
- Henderson, J. M. y Hollingworth, A. (1999). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology*, 50, 243-271.
- Hills, B. L. (1980). Vision, visibility, and perception in driving. *Perception*, 9, 183-216.
- Land, M. F. y Furneaux, S. (1997). The knowledge base of the oculomotor system. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B*, 352, 1231-1239.
- Land, M. F. y Lee, D. (1994). Where we look when we steer. *Nature*, 369, 742-744.
- Land M. F., Mennie, N. y Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, 28, 1311-1328.
- Laya, O. (1992). Eye movements in actual and simulated curve negotiation tasks. *LATSS Research*, 16(1), 15-26.
- Leigh, R. J. y Zee, D. S. (1991). *The neurology of eye movement*. Philadelphia: Davis.
- Liu, A., Veltri, L. y Pentland, A. P. (1998). Modelling changes in eye fixation patterns while driving. En A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles – VI* (pp. 13-20). Amsterdam: Elsevier.
- McLane, R. C. y Wierwille, W. W. (1975). The influence of motion and audio cues on driver performance in an automobile simulator. *Human Factors*, 17, 488-501.
- Miltenburg, P. G. M. y Kuiken, M. J. (1990). *The effect of driving experience on visual search strategies: Results of a laboratory experiment*. Haren, Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.

- Miura, T. (1990). Active function of eye movement and useful field of view in a realistic setting. En R. Groner, G. d'Ydewalle y R. Parham (Eds.), *From eye to mind: Information acquisition in perception, search, and reading* (pp. 119-127). North-Holland: Elsevier.
- Mourant, R. y Rockwell, T. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14 (4), 325-335.
- Müller, P. U., Cavegn, D., d'Ydewalle, G., y Groner, R. (1993). A comparison of a new limbus tracker, corneal reflection technique, Purkinje eye tracking and electro-oculography. En G. d'Ydewalle y J. van Rensbergen (Eds.), *Perception and cognition* (pp. 393-401). Amsterdam: North-Holland.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26(6), 733-750.
- Rantanen, E. M. y Goldberg, J. H. (1999). The effect of mental workload on the visual field size and shape. *Ergonomics*, 42(6), 816-834.
- Recarte, M. A., Nunes, L. M., López, R. y Recarte, S. (1998). Recursos atencionales y parámetros oculares en la conducción. En J. Botella y V. Ponsoda (Eds.), *La atención: un enfoque pluridisciplinar* (pp. 373-385). Valencia: Promolibro.
- Recarte, M. A. y Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(1), 31-43.
- Reed, M. P. y Green, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics*, 42 (8), 1015-1037.
- Summala, H. (1998). Forced peripheral vision driving paradigm: evidence for the hypothesis that car drivers learn to keep in lane with peripheral vision. En A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles - VI* (pp. 51-60). Oxford: Elsevier.
- Summala, H., Nieminen, T. y Punto, M. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human Factors*, 38(3), 442-451.
- Underwood, G., Crundall, D. y Chapman, P. (2002). Selective searching while driving: The role of experience in hazard detection and general surveillance. *Ergonomics*, 45(1), 1-12.
- Unema, P. y Rötting, M. (1990). Differences in eye movements and mental workload between experienced and inexperienced motor-vehicle drivers. En D. Brogan (Ed.), *Visual search*. London: Taylor & Francis.
- Van Diepen, P. M. J., Wampers, M., y d'Ydewalle, G. (1998). Functional division of the visual field: moving mask and moving windows. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 337-355). Oxford: Elsevier.
- Velde Harnsenhorst, J. J. y Lourens, P. F. (1991). Aspects of driving behaviour in learner and inexperienced drivers. En A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, I. Moorhead, S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles - III* (pp. 63-70). Amsterdam: Elsevier.
- Viviani, P. (1990). Eye movements in visual search: cognitive, perceptual, and motor control aspects. En E. Kowler (Ed.), *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* (pp. 353-393). Amsterdam: Elsevier.
- Wikman, A. S., Nieminen, T. y Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width. *Ergonomics*, 41(3), 358-372.
- Young, L. R., y Sheena, D. (1975a). Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 7(5), 397-429.
- Young, L. R. y Sheena, D. (1975b). Eye-movement measurement techniques. *American Psychologist*, 30 (3), 315-330.

(Artículo recibido: 22-12-2003; aceptado: 29-3-2004)

