

Flujo óptico y conducción: tiempo de contacto y agudeza dinámica

Julio Lillo

Universidad Complutense de Madrid

Se efectúa una revisión de la investigación referida a dos importantes parámetros relacionados con el flujo óptico: la tasa de expansión y la agudeza dinámica; se hace hincapié en su contribución a la ejecución de conductas tan importantes para la conducción como son el control de la dirección y el frenado. Además, se informa de los resultados obtenidos en una situación de conducción real en la que los conductores utilizan la expansión retiniana para estimar el «tiempo de coincidencia».

Palabras clave: Flujo óptico, conducción, velocidad, agudeza dinámica, control de la dirección.

This study presents a review of research into two important parameters of optical flow: expansion rate and dynamic acuity. It stresses their influence on driving-related behaviors such as steering and braking. The results obtained in a real driving situation in which drivers use retina expansion to estimate time-to-coincidence are also reported.

Key words: Optical Flow, Driving, Speed, Dynamic Acuity, Steering.

Cada vez que se pone en marcha un vehículo se proyectan en las retinas de los conductores una serie de desplazamientos y transformaciones en las imágenes proyectadas que reciben el nombre de «flujo óptico» (Gibson, 1950; 1966; 1979; véase también Andersen, 1986; y Lillo, 1993) y juegan un papel esencial en el control perceptivo de la locomoción. A este respecto, y tras describir las principales características del flujo óptico, un reciente trabajo publicado en esta misma revista (Lillo, 1995) mostró cómo influían ciertos parámetros de él en la magnitud de la velocidad percibida o el control del alineamiento vehículo-pavimento.

Más aún, se ocupó de la base perceptiva de algunos accidentes-tipo (p.ej. los que se dan en los carriles de deceleración por circular en ellos a velocidades excesivas) la forma de alterar la estimulación para hacer la percepción del conductor más adecuada a las demandas de su tarea y, por tanto, reducir el riesgo de accidente (Denton, 1980). Por otra parte, sin embargo, el trabajo de revisión previamente citado (Lillo, 1995) no pudo ocuparse, por razones de espacio, de tres aspectos relacionados con el flujo óptico de especial relevancia para comprender adecuadamente el engarce perceptivo entorno-automovilista en la conducción cotidiana. Éstos son: (1) la capacidad informativa de la tasa de expansión retiniana para permitir la sincronización temporal y control fino de conductas tales como el frenado o el control de las distancias inter-vehículos; (2) la posible utilización de este mismo parámetro óptico en el control de la dirección del vehículo, y (3) la forma en que el desplazamiento de las imágenes en la retina determina los menores niveles de la agudeza dinámica respecto a la estática. Es el momento de abordar estas cuestiones.

Tasa de expansión retiniana y tiempo de coincidencia

La convergencia en el centro de expansión de los vectores del flujo radial (véase Lillo, 1995) no es la única información que permite especificar la dirección hacia la que conduce el desplazamiento de un vehículo puesto que, como insistentemente ha indicado Regan (véase, p.ej. Regan *et al.* 1982; 1986) esta tarea puede también efectuarse usando el aspecto del flujo óptico más estudiado durante los últimos años: la tasa de expansión retiniana.

Dos son los aspectos de la automoción que se relacionan con este parámetro. En primer lugar, la tasa de expansión permite saber *cuándo* se va a conseguir la máxima aproximación a un objeto (p.ej. a otro vehículo) o a una parte del entorno. En segundo lugar, también informa sobre si esa trayectoria se realiza en curso de colisión (aquella que implica el contacto) o no (el objeto es simplemente rebasado). Utilizando la nomenclatura habitual entre los estudiosos de la automoción (p.ej. Groeger y Cavallo, 1991), se hablará de «tiempo de contacto» para el primer caso y de «tiempo de coincidencia» para el segundo.

¿Qué sucede cuando el vehículo sigue una trayectoria rectilínea que le conduce a una parte de la escena en la que se ubica un vehículo o algún tipo de obstáculo o, en fin, cualquier tipo de objeto o superficie? Puesto que la aproximación implica reducir la distancia observador-objeto, ha de conducir a un incremento en el tamaño proyectado (éste es función inversa del cuadrado de la distancia) de forma que, por ejemplo, cada vez que se reduce la distancia a la mitad, el tamaño proyectado se incrementa en un factor de 4. Sin embargo, lo importante no es en sí que se dé este incremento, sino la forma concreta en que se produce. Esto es, si la distancia inicial es relativa-

mente amplia (digamos 500 m) su reducción en un metro apenas produce efectos en la proyección, puesto que la *reducción relativa* en la distancia es insignificante ($499/500 = 99,9\%$ de la distancia original). Por el contrario, si se parte de un valor inicial menor (p.ej. 2 m), la misma aproximación de un metro reduce la distancia a la mitad y, por tanto, cuadruplica el tamaño proyectado. En síntesis, el movimiento del vehículo hace crecer el tamaño de las proyecciones de los objetos hacia los que se da algún tipo de aproximación y puede, por tanto, hablarse de *tasa de expansión retiniana*. Además, para aquellos casos en los que el movimiento supone una mayor aproximación *relativa*, y por tanto está más próximo el *instante de contacto* o el *tiempo de coincidencia*, la tasa de expansión retiniana tiene un mayor valor.

La Figura 1 ejemplifica cómo se relaciona la expansión retiniana con el control de la dirección. Tanto en «A» como en «B» el pequeño cuadrado central representa el tamaño proyectado al inicio de una aproximación, mientras que el cuadrilátero que lo encierra corresponde a un cierto instante después. Como es fácil de apreciar, el cuadrado exterior de I(A) es una expansión simétrica respecto al cuadrado origen e indica que se está siguiendo una trayectoria de colisión. Por el contrario, el trapecio de I(B) muestra a uno de los lados verticales creciendo más rápidamente que el otro e indica que la aproximación relativa a éste es menor y que, por tanto, la trayectoria seguida es de «coincidencia» y no de «aproximación» al objeto de referencia.

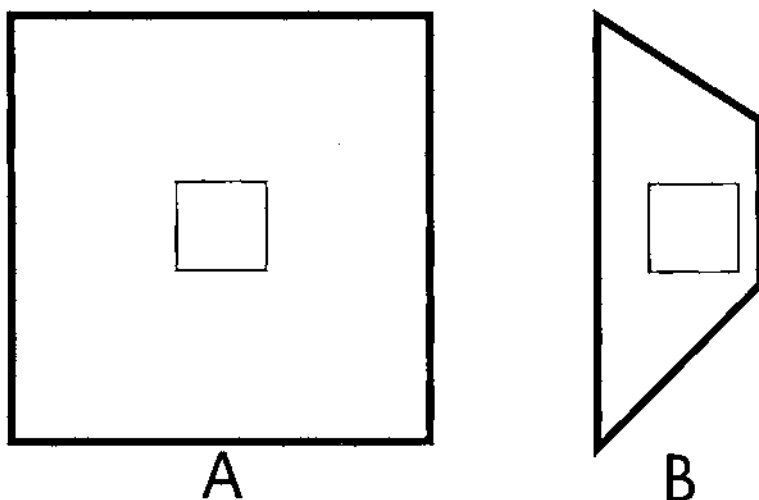


Figura 1. Tasa de expansión retiniana: (A) Expansión simétrica; el objeto se ubica en curso de colisión. (B) Expansión asimétrica; el objeto no se ubica en curso de colisión.

Desde mediados de los sesenta se tiene constatación empírica de la capacidad de todos los mamíferos para usar este parámetro (Schiff, 1965) y, lo que es más importante para nuestros actuales intereses, sobre la efectividad de los conductores para utilizar la expansión retiniana partiendo de exposiciones estímulares relativamente reducidas (véase, p.ej. McLeod y Ross, 1983). Más aún, se sabe que la responsividad del sistema visual a este tipo de información está mediada por mecanismos fisiológicos que responden específicamente a él y que pueden fatigarse selectivamente (Regan y Beverly, 1978; Regan y Cynader, 1979). Por ello, conocida la base óptica, la capacidad de respuesta del sistema y los mecanismos que la median, pronto se propusieron modelos como el de Lee (1976; véase también 1980), cuya finalidad manifiesta era la de explicar cómo la tasa de expansión retiniana era capaz de controlar la aparición de conductas de frenado y el mantenimiento de las distancias entre vehículos en movimiento, puesto que: (1) si la velocidad de expansión/contracción presente en la proyección de la superficie de referencia (p. ej. la parte posterior del vehículo que nos antecede) especifica tanto el tipo de desplazamiento relativo presente (expansión = aproximación; contracción = alejamiento), como su magnitud; entonces, (2) el mantenimiento de un cierto rango de expansiones/contracciones retinianas y su utilización para controlar conducta de frenado/aceleración permitirían el mantenimiento de las distancias adecuadas con el vehículo que nos antecede en el sentido de la marcha. Efectuando un análisis semejante, (3) el modelo de Lee especificaría también cómo pueden utilizarse las variaciones en la tasa de expansión para controlar el instante de iniciación del frenado y la modulación de esta conducta.

Una vez comprendida la forma en que *puede* utilizarse la tasa de expansión retiniana en la ejecución de conductas relevantes para la conducción, llega el momento de describir el conjunto de investigaciones (p.ej. Schiff y Detwiler, 1979; Cavallo y Laurent, 1988; van der Horst, 1991; Groeger y Cavallo, 1991, y Recarte, Nunes y Lillo, 1995) que han estudiado la forma en que se utiliza de hecho este parámetro. Entre las citadas, la última se realizó en nuestro país con la colaboración del autor de esta publicación.

Todos los trabajos citados en el párrafo anterior, compartieron el siguiente paradigma:

1. Durante un tiempo se expuso a cada observador al tipo de estimulación óptica producida por la aproximación a un objeto (p.ej. un coche aparcado a un lado de la carretera; cualquier tipo de señal o baliza, etc.). Tal estimulación pudo aplicarse en condiciones reales de conducción y/o presentarse gracias a un procedimiento de filmación o simulación.

2. El acceso a la estimulación se interrumpía. En condiciones de filmación-simulación se suele dejar la imagen en blanco; en condiciones de conducción real (las de nuestro trabajo) se utilizaría algún tipo de gafas especiales u otro dispositivo que impida el acceso a la estimulación durante un periodo de tiempo controlado.

3. En ausencia de estimulación visual relevante, el observador debía indicar el instante en el cual, según él, se produciría la colisión con el objeto («tiempo de colisión») o su rebasamiento («tiempo de coincidencia»).

La aplicación del paradigma descrito produjo, entre otros, los siguientes resultados:

a) Se da una tendencia general a infraestimar el tiempo de contacto/coincidencia, de forma que las personas suelen responder un 40% antes de tiempo.

b) Tal infraestimación no concuerda con lo esperable si las respuestas se produjeran mediante un cálculo del tipo $TC = EP/VP$ (Tiempo de Contacto = Espacio Percibido dividido por Velocidad Percibida) entre otras razones porque, como han indicado investigaciones comentadas en otro lugar (Lillo, 1995), la velocidad percibida en situaciones de conducción tiende a ser inferior a la real.

c) La infraestimación en el tiempo de contacto tiende a ser mayor en mujeres que en hombres, lo que probablemente se debe no a factores puramente perceptivos, sino a diferencias en la utilización del criterio de respuesta.

d) De darse diferencias en el grado de infraestimación, éstas lo son en el sentido de que éste es menor en la tarea de «tiempo de coincidencia» que en la de «tiempo de contacto» (véase, p. ej. Groeger y Cavallo, 1991). Tal hecho depende de los diferentes criterios aplicados en ambas situaciones.

e) Los tiempos estimados son sensibles a los efectos del entrenamiento (p.ej. Groeger, Grande y Brown, 1991). Esto es, mientras que la mera exposición repetida a la expansión retiniana no modifica la magnitud del habitual nivel de infraestimación, éste se reduce cuando se informa a los observadores del grado de ajuste de sus respuestas.

Agudez dinámica

¿Alguna vez ha experimentado dificultades para leer un cartel en la autopista? ¿Ha tenido problemas para identificar el nombre de la estación que rebasaba el tren en el que viajaba? Si ha sido así, habrá experimentado las dificultades que surgen cuando se asume que la agudeza estática (la normalmente atendida en la evaluación médico-psicotécnica) es semejante a la dinámica (aquella en la que están en movimiento los elementos a identificar).

Una forma sencilla de comparar el grado de diferencia funcional existente entre la agudeza estática y la dinámica es mediante la utilización del mismo tipo de material en ambas condiciones. Así, se puede emplear una estimulación tipo Landolt (Figura 2) y comparar cuál es el mínimo tamaño que permite localizar su parte abierta cuando la presentación de este material es estática o dinámica. Si así se hace podrán encontrarse resultados como los siguientes:



Figura 2. «C» de Landolt. La tarea del observador es la de indicar la posición de la apertura en la letra.

1. *Velocidad y reducción de la agudeza.* Si la velocidad de desplazamiento utilizada en la condición dinámica es lenta (hasta 1/3 de minuto sexagesimal por cada segundo transcurrido en la proyección retiniana; Murphy, 1978), no habrá diferencias entre la condición estática y la dinámica. Sin embargo, el incremento en la velocidad de desplazamiento hará que se deteriore la ejecución dinámica y se requieran cada vez mayores tamaños para responder. En términos de análisis Fourier, cada vez será menor la capacidad para responder ante las altas frecuencias espaciales y sólo se hará ante estímulos grandes y bien contrastados (Burr y Ross, 1982).

2. *Diferencias individuales.* Existen importantes diferencias entre las personas tanto respecto a su nivel de agudeza dinámica (p.ej. Ishigaki y Miyao, 1994), como al valor de la diferencia existente entre los niveles de agudeza estática y dinámica (éstos difieren relativamente poco para algunas y mucho para otras; Sekuler y Blake, 1985; Long y Riggs, 1991).

Empezamos ocupándonos del nivel en sí, indicando el importante papel jugado al respecto por la variable edad. La investigación de Ishigaki y Miyao (1994) muestra que la agudeza dinámica se incrementa hasta los 15 años y, tras un breve periodo de estabilización, empieza a deteriorarse a partir de los 20. Respecto a las causas de este declive, y teniendo en cuenta sus implicaciones respecto a la conducción, es importante señalar que parece depender de la reducción en la capacidad del ojo para transmitir la luz, ya que el grado de agudeza dinámica registrada se ha restaurado en aquellos trabajos en los que se ha permitido a los observadores ajustar el nivel de luminancia de la estimulación (p.ej. Long y Crambert, 1990). Por tanto,

sólo deben esperarse efectos negativos en la conducción derivados de la pérdida de agudeza dinámica en entornos en los que los niveles de iluminación sean relativamente reducidos.

3. *Entrenamiento y agudeza dinámica.* El menor nivel de la agudeza dinámica se debe en parte a la no adecuación de los movimientos oculares de seguimiento realizados por el observador. Más concretamente, si los ojos siguen adecuadamente los desplazamientos del objeto de referencia, desaparecen las diferencias entre la agudeza estática y la dinámica (Murphy, 1978). Por tanto, es lógico que se den mejores niveles de agudeza dinámica entre aquellas personas que, como los deportistas, se ven expuestas a situaciones en las que deben efectuar constantes movimientos oculares de seguimiento (Horner, 1982) y que, en general, el entrenamiento sea efectivo para mejorar el nivel de agudeza dinámica en todo tipo de personas (Long y Rourke, 1989; Long y Riggs, 1991).

¿Qué es lo que se aprende realmente durante los programas de entrenamiento en agudeza visual dinámica? En pocas palabras, la anticipación de la posición que va a ser ocupada por el estímulo móvil en los distintos instantes de su trayectoria. De esta manera su imagen se proyectará en forma estática en la fovea y el sistema visual podrá utilizar sus mejores recursos para el procesamiento de los detalles de la imagen. Aunque no existan todavía estudios experimentales que permitan apoyar categóricamente la importancia de este factor en el buen hacer de los conductores experimentados, su disponibilidad es sólo cuestión de tiempo.

REFERENCIAS

- Andersen, C.J. (1986). Perception of self-motion: Psychophysical and computational approaches. *Psychological Bulletin*, 99, 52-65.
- Bruce, V. & Green, P. (1985). *Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology*. London: LFA.
- Burr, D.C. & Ross, J. (1982). Contrast sensitivity at high velocities. *Vision Research*, 22, 479-484.
- Cavallo, V. & Laurent, M. (1988). Visual information and skill level in time to collision stimulation. *Perception*, 17, 623-632.
- Denton, G.C. (1980). The influence of visual pattern on perceived speed. *Perception*, 9, 393-402.
- Diener, H.C.; Wist, E.R.; Dichgans, J.; & Brandt, Th. (1976). The spatial-frequency effect on perceived velocity. *Vision Research*, 16, 169-176.
- Gibson, J.J. (1950). *The Perception of Visual World*. Boston. Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston. Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Groeger, J.A.; & Cavallo, V. (1991). Judgements of Time to Collision and Time to Coincidence. En I.D. Brown, C.M. Haslegrave, I. Moorhead & S. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles III*. Amsterdam: North-Holland.
- Grande, J.A.; Grande, G. & Brown, I.D. (1991). Effects of Different Training Procedures on a Time to Coincidence Task. En I.D. Brown, C.M. Haslegrave, I. Moorhead & S. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles III*. Amsterdam. North-Holland.
- Ishigaki, H.; & Miyao, M. (1993). Differences in dynamic visual acuity between athletes and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 77, 835-839.

- Ishigaki, H; & Miyao, M. (1994). Implications for dynamic visual acuity with changes in age and sex. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 363-369.
- Larish, J.F; & Flach, J.M. (1990). Sources of optical information useful for perception of speed of rectilinear self-motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 295-302.
- Lee, D.N. (1976). A Theory of Visual Control Braking based on Information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- Lee, D.N. (1980). The Optic Flow Field: The foundations of Vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 290, 169-179.
- Lee, D.N. & Lishman, J.R. (1977). Visual Control of Locomotion. *Scandinavian Journal of Psychology*, 18, 224-230.
- Lillo, J. (1993). *Psicología de la Percepción*. Madrid: Debate.
- Lillo, J. (1995). Flujo óptico y conducción: Características generales y velocidad percibida. *Anuario de Psicología*, 65, 101-113.
- Long, G.M; & Rourke, D.A. (1989). Training effects on the resolution of moving targets: Dynamic visual acuity. *Human Factors*, 31, 443-451.
- Long, G.M; & Riggs, C.A. (1990). The nature and basis of age-related changes in dynamic visual acuity. *Psychology and Aging*, 5, 138-143.
- Long, G.M; & Riggs, C.A. (1991). Training effects on dynamic visual acuity with free-head viewing. *Perception*, 20, 363-371.
- McLeod, R.W; & Ross, H.E. (1983). Optic flow and cognitive factors in time to collision estimates. *Perception*, 12, 417-423.
- Murphy, B.J. (1978). Pattern Thresholds for moving and stationary gratings during smooth eye movement. *Vision Research*, 18, 521-530.
- Otha, H; & Komatsu, H. (1991). Speed perception in driving: Comparison with TV observation. In I.D. Brown, C.M. Haslegrave, I. Moorhead & S. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles III*. Amsterdam: North-Holland.
- Recarte, M.A; Nunes, L.M. & Lillo, J. (1995). Estimation of time to arrival in a real vehicle and in a simulation task: effects of sex, driving experience, speed and distance. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in vehicles V*. Amsterdam: North-Holland.
- Regan, D.M. & Beverley, K.I. (1978). Looming detectors in the human visual pathway. *Vision Research*, 18, 415-421.
- Regan, D.M; & Cynader, M. (1979). Neurons in area 18 of cat visual cortex selectively sensitive to changing size: Non-linear interactions between responses to two edges. *Vision Research*, 19, 699-711.
- Regan, D.M. & Beverley, K.I. (1982). How do we avoid confounding the direction we are looking and the direction we are moving?. *Science*, 215, 194-196.
- Regan, D.M; Kaufman, LL; & Lincoln, J. (1986). Motion in depth and visual acceleration. In K.R. Boff, L.I. Kaufman & J.P. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Performance. Vol. 1*. New York: John Wiley and Sons.
- Schiff, W. (1965). Perception of impeding collision. *Psychological Monographs*, 79, 1-26.
- Schiff, W. & Detwiler, M.L. (1979). Information used in judging impeding collision. *Perception*, 8, 647-658.
- Sekuler, R. & Blake, R. (1985). *Perception*. New York: Knopf.
- Van der Horst, R. (1991). Time to collision as a cue for decision making in braking. In I.D. Brown, C.M. Haslegrave, I. Moorhead & S. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles III*. Amsterdam: North-Holland.