

Flujo óptico y conducción: características generales y velocidad percibida

Julio Lillo
Universidad Complutense de Madrid

Tras describir las principales características del flujo óptico, se analizan algunos de los trabajos más relevantes relacionados con el papel de este parámetro en la conducción, y se informa sobre los resultados de una investigación realizada en nuestro país referida a las relaciones entre el cambio en la velocidad física y la variación correspondiente en la percibida. Además de los mencionados, se comentan los trabajos que relacionan al flujo óptico con el control de la dirección del movimiento y la magnitud de la velocidad percibida.

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

The article describes the main features of optic flow and discusses research on the role of this variable, focusing on the results of the research carried out in our country concerning the correlation of perceived increases in speed with physical increases. Studies relating optic flow with steering control and perceived speed are also discussed.

Key Words. Optic Flow, Driving, Speed, Steering.

Todos hemos vivido experiencias en las que se ha manifestado dramáticamente el papel de la visión en la percepción del movimiento. ¿Quién no ha creído alguna vez que su tren había arrancado cuando, en realidad, lo había hecho el de enfrente? ¿Quién no ha experimentado los perniciosos efectos de una butaca próxima a la pantalla ante la proyección de una película con movimiento abundante? En ambos casos, obsérvese, se disponía de estimulación táctil, vestibular y/o auditiva que informaba fidedignamente de nuestra estabilidad, aunque todo este cúmulo informativo fue vencido por la, en estos casos, engañosa estimulación visual.

No es difícil encontrar testimonios de distorsiones perceptivas como

las descritas (Mach, 1875; Boring, 1942) en observaciones que se remontan, por lo menos, a mediados del siglo XIX. Sin embargo, nuestro interés por estos contenidos no se relaciona con su uso en ferias de atracciones, aparatos de simulación o dispositivos de «realidad virtual». Por el contrario, se centra en cómo es utilizada la información visual por el conductor en el usual control de su vehículo. Cuanto más se sepa al respecto, cuanto mejor se conozcan los factores que posibilitan la conducción cotidiana, tanto más fácil será entender por qué puede producirse un desajuste, la forma de evitarlo y, caso de que esto no sea posible, cómo pueden atenuarse sus consecuencias.

El origen de nuestro análisis será la base física más importante para la conducción: el flujo óptico. Después de indicar las causas de su aparición y sus principales características, podremos analizar aspectos tan aplicados como su posible utilización en el alineamiento del vehículo con la carretera, o cómo sus características influyen en la percepción de la velocidad. En este contexto se informará sobre un trabajo experimental realizado en nuestro país sobre las relaciones existentes entre los cambios físicos y los percibidos en la velocidad de desplazamiento de un vehículo.

Flujo óptico

El concepto de «flujo óptico» se relaciona con el de «patrón óptico» (Gibson, 1950; 1966; 1979; véase también Andersen, 1986) y hace referencia a la estructura poseída por la luz en un punto de observación en movimiento. Más concretamente, mientras que hablar del *patrón óptico* sería hacerlo respecto a las diferencias cuantitativas y/o cualitativas que caracterizan a la energía que converge *en un punto* del espacio («la luz que llega en una dirección es *más* o *menos* intensa y/o se acumula en *longitudes de onda distintas* a la que llega de otra), hablar del *flujo óptico* sería hacerlo respecto a las características del patrón óptico si se asume un punto de observación en *continuo movimiento*. Si bien es cierto que existen múltiples formas de describir las características de este flujo, también lo es que una de las más sencillas (véase p. ej. Lillo, 1993, cap. 8) se basa en la descripción de las características que tendrían las imágenes recogidas por un conjunto de cámaras de vídeo que se desplazasen con el punto de observación en movimiento. Tal descripción, además, es similar en muchos aspectos a la que podría efectuarse partiendo de las características de la imagen retiniana.

Imaginémonos cuatro cámaras de vídeo orientadas en la forma que especifica la Figura 1. Supongamos también que el desplazamiento del punto de observación fuera rectilíneo y dirigido hacia a una de las paredes de una habitación. En tal caso, la cámara que apunta en el mismo sentido que el movimiento (cámara A) recogería un tipo de flujo óptico muy similar al esquematizado en la Figura 2. Así, y puesto que la aproximación reduce sistemáticamente la distancia «punto de observación-objetos», las proyecciones de éstos estarían sometidas a un constante crecimiento que sería máximo para

aquella parte de la escena hacia la cual conduce el movimiento. Tales incrementos harían que las proyecciones de los objetos fuesen abandonando progresivamente la imagen siguiendo trayectorias radiales como las que se representan mediante flechas en la Figura 2. Su proyección hacia atrás confluiría en el punto donde la expansión en el tamaño de la imagen tiende a ser mayor, al que se denomina «centro de expansión» y que, como indicamos, coincide con la parte de la escena hacia la que conduce el movimiento.

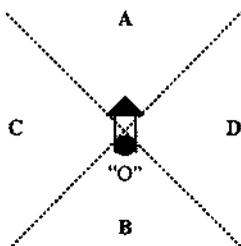


Figura 1. *Condiciones de filmación.* Al tiempo que el punto de observación se desplaza siguiendo la trayectoria rectilínea indicada por la flecha, las cuatro cámaras enfocan en 4 direcciones separadas entre sí 90 grados (A= Adelante; B y C= laterales; D= Detrás).

Ocupémonos ahora de la imagen recogida por la cámara **B**, y que corresponde a la parte de la escena respecto a la cual se da un alejamiento. Esta parte del patrón no suele ser aprovechada por los humanos en sus desplazamientos a pie aunque accede al conductor a través del retrovisor. Su descripción no es excesivamente problemática: todo lo que tiene que hacerse es invertir mentalmente el sentido de las flechas en la Figura 2. En tal caso, el centro de *expansión* pasará a serlo de *contracción* y coincidirá con la parte del entorno respecto a la cual se da el máximo alejamiento.

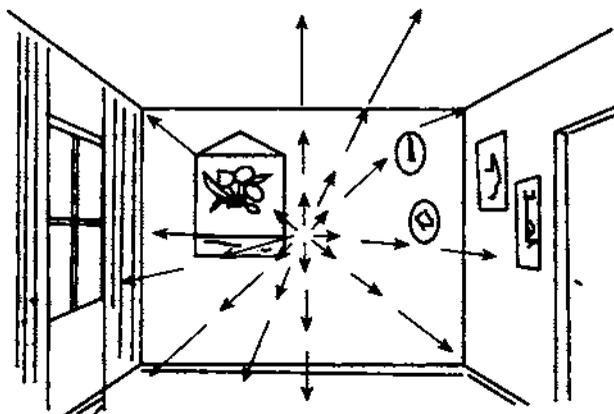


Figura 2. *Flujo óptico radial expansivo.* El centro del que parecen irradiarse hacia fuera todos los vectores de desplazamiento es el centro de expansión.

Pasemos ahora a las imágenes recogidas por las cámaras **C** y **D** y que corresponden a las partes de la escena respecto a las que se da un desplazamiento lateral. En este caso, como muestra la Figura 3, se obtiene un flujo óptico similar a lo que tradicionalmente se ha denominado «paralaje de movimiento» y que ha sido el centro de la atención de usuarios de autobuses y ferrocarriles. Tal paralaje es considerado como una de las más importantes claves de profundidad debido a que la velocidad de los desplazamientos de las proyecciones es mayor cuanto más grande es la distancia entre el punto de observación y lo proyectado. Al tiempo que proporciona información sobre la profundidad en el entorno, el paralaje, al que también se denomina «*flujo lamelar*», informa sobre la propia existencia de un desplazamiento en la posición del punto de observación.

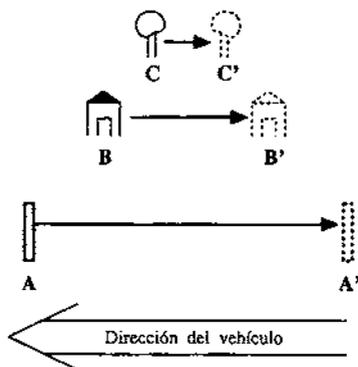


Figura 3. *Flujo lamelar*. El desplazamiento lateral del observador produce un tipo de desplazamientos en las proyecciones, un flujo óptico, al que tradicionalmente se ha denominado «paralaje de movimiento». En él las proyecciones se mueven siguiendo trayectorias esencialmente paralelas a velocidades mucho mayores para los objetos próximos que para los alejados.

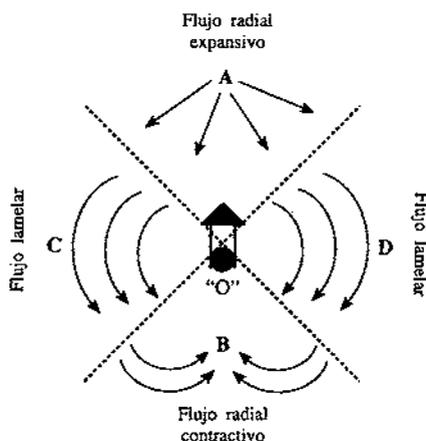


Figura 4. *Descripción global del flujo óptico*. A y D especifican los centros de expansión y contracción y, por tanto, las partes radiales del flujo. B y C hacen lo propio para aquellas que son lamelares.

Tras analizar las imágenes recogidas en las cuatro cámaras se ha observado en todas desplazamientos en las proyecciones, existiendo por tanto algún tipo de «flujo óptico» en ellas (véase Figura 4). Sin embargo, su naturaleza presenta claras diferencias. Así, los *flujos radiales* relacionados con los *centros de expansión y contracción* especifican, respectivamente, las partes del entorno hacia las que se da la máxima *aproximación/alejamiento*. Por el contrario, el *flujo lamelar* generado por las proyecciones de las superficies ubicadas en *posiciones* relativamente *paralelas respecto a la trayectoria de desplazamiento* es, fundamentalmente, un claro *indicador óptico de la presencia de movimiento*.

Centro de expansión y dirección de movimiento

En el usual correr y caminar, y también en el normal uso de un vehículo, el flujo radial expansivo tiende a proyectarse en las proximidades del centro de la retina y proporciona, por tanto, una clave óptica potencialmente útil para dirigir los desplazamientos. Así, podría alcanzarse una parte del entorno haciendo coincidir el centro de expansión con el destino deseado. Por ello, desde finales de los años 70 (Lee y Lishman, 1977; véase también Bruce y Green, 1985; Lillo, 1995a), se han formulado modelos en los que es explícita la idea de que este parámetro guía la dirección del movimiento en los conductores. Tales modelos fueron precedidos, temporal y conceptualmente, por un trabajo clásico recogido por James Gibson en su libro de 1950. Puesto que éste ha sido el centro de una continuada discusión teórica, y la principal base para algunos tests relacionados con el control visual de la movilidad (p. ej. Kruck *et al.* 1983a y b), será objeto de nuestra atención.

Lo que Gibson hizo fue similar a lo supuesto en el ejemplo que sirvió para confeccionar la Figura 1: situar una cámara en el morro de un avión y filmar maniobras de aterrizaje para recoger el correspondiente flujo radial expansivo. Cuando tal flujo fue presentado a distintos observadores, éstos fueron capaces de utilizarlo para indicar cuál era la parte del entorno hacia la que se dirigía el avión. Por tanto, concluyó Gibson, el flujo óptico permitía la detección de la dirección de los desplazamientos. Más aún, ni siquiera era necesario que la porción del flujo presentado contuviese de hecho al centro de expansión porque su ubicación se encontraba *implícitamente* señalizada en todo el flujo (sería la posición convergente de todos los vectores).

Las conclusiones de Gibson iban a ser criticadas por David Regan a principios de los años 80 (Regan y Beverly, 1980; 1982; véase también Regan, Kaufman y Lincoln, 1986), para quien la posibilidad de utilizar el centro de expansión en el control de la dirección no dependía de la convergencia imaginaria de las líneas de desplazamiento sino, en su lugar, de la tasa de expansión retiniana. Veamos por qué.

Tanto en nuestra descripción del patrón óptico (Figura 1), como en los trabajos de Gibson, la cámara que recogía el flujo radial expansivo estaba invariablemente alineada con la dirección del movimiento. Además, se asumió

una semejanza entre las características de las imágenes recogidas por la cámara y las formadas en la retina. Sin embargo, esto no siempre sucede cuando un piloto controla su avión, ni cuando el conductor hace lo propio con su vehículo. En tales casos es fácil que la mirada se desplace a distintas partes (¡nadie conduce con la mirada eternamente fija en el horizonte!), y esto es semejante a la realización de movimientos de cámara para lograr que ésta apunte a partes de la escena distintas a aquella a la que se dirige el movimiento. Teniendo en cuenta este factor, ¿que sucede con la imagen proyectada en la retina?

La Figura 5(a) es una representación del flujo que se obtiene cuando coinciden la dirección del movimiento y aquella en que apunta la cámara (centro de expansión en A). En 5(b), aunque el sentido del movimiento siga conduciendo hacia A, la cámara ejecuta un movimiento para apuntar continuamente hacia B (otra parte de la escena) y, de esta forma, crea un flujo cuyo centro no es, como antes, el punto hacia el que se dirige el movimiento. Por ello, concluiría Regan, puesto que la posición «destino» no tiene porqué coincidir con la del centro radial determinado por los vectores del flujo, éste no puede utilizarse para controlar la dirección de los movimientos que, por tanto, habrá de basarse en algún otro tipo de información óptica de la que disponga el observador.

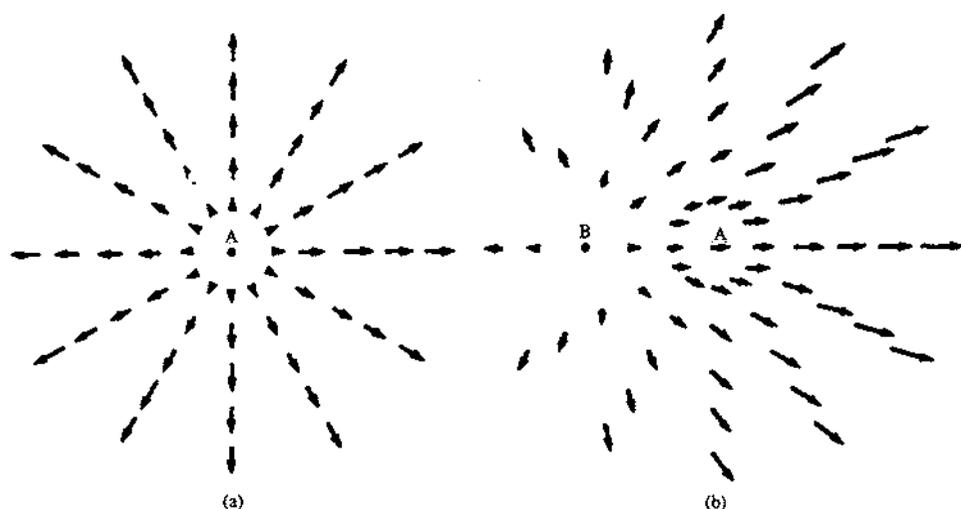


Figura 5. *Flujo retiniano y movimientos oculares.* (a) Si no se mueven los ojos (o la cámara), la aproximación produce un flujo radial expansivo cuyo centro, A, coincide con el punto hacia el que se dirige el movimiento. (b) Si al tiempo que se produce la aproximación se mueven los ojos (o la cámara) para fijar la mirada en una parte cualquiera del entorno (B), distinta a aquella a la que conduce el movimiento (A), aparece un flujo óptico distorsionado cuyo centro se ubica en B.

Como se comenta en otra publicación (Lillo, 1995b), el planteamiento de Regan y sus colaboradores llevó a descubrir otro aspecto del flujo que también permite especificar la parte del entorno hacia donde conduce un movimiento. Sin embargo, y en contra de lo postulado por Regan, puede afirmarse que los vectores de desplazamiento del flujo *son* capaces de especificar en sí la dirección del movimiento, aunque su información *pueda* ser complementada por la variable descubierta por Regan.

Al igual que otros muchos autores (véase, para profundizar en esta crítica, Owen, 1990) Regan confunde las características informativas del *patrón óptico* con las de la *imagen retiniana*, asumiendo que las limitaciones de ésta, explícitas en la Figura 5(b), imposibilitan la recuperación de los aspectos informativos *contenidos en el patrón*. Nada más inadecuado porque, como veremos, el sistema visual dispone de recursos para «filtrar» los efectos en las proyecciones que se derivan de la ejecución de movimientos oculares y, por tanto —y después de tal filtrado— el «centro de expansión» coincidirá inevitablemente con la parte de la escena hacia la que lleva el movimiento.

Para empezar, es fácil prever los efectos de los movimientos oculares en la imagen retiniana recordando los que se dan en una imagen filmada. De este modo, cuando se filma una escena estática y se mueve la cámara: (1) El movimiento en la imagen *afecta por igual* a todo lo proyectado y es de sentido opuesto al movimiento de la cámara (p. ej. si ésta se mueve hacia la izquierda *toda la imagen* se mueve hacia la derecha) y (2) la amplitud del desplazamiento en la imagen es tanto mayor cuanto mayor es el movimiento de la cámara.

Para continuar, cuando el desplazamiento de la cámara se produce al tiempo que se produce el desplazamiento del observador los movimientos en las proyecciones debidos al flujo óptico y los derivados del desplazamiento del observador suman sus efectos. Por poner un ejemplo, los vectores de desplazamiento reproducidos en la Figura 5(b) son el resultado de sumar a cada uno de los reproducidos en 5(a) uno idéntico al que tiene su origen en el punto A de la Figura 5(b). Por ello, y partiendo de esta última, se podría regresar al conjunto original de vectores (Figura 5(a)) mediante la «resta» del componente común previamente sumado.

Para terminar, la resta vectorial propuesta es constantemente efectuada de hecho por el sistema visual cuando utiliza la información contenida en la «descarga corolaria» (Stevens *et al.* 1976) a fin de no confundir los desplazamientos en las proyecciones retinianas, debidos a meros movimientos oculares, con los que tienen su origen en movimientos de los objetos que rodean al observador.

Una vez reafirmada teóricamente la posibilidad de que los vectores del flujo óptico puedan utilizarse para guiar el movimiento, pasemos a revisar algunos de los trabajos que han investigado cómo se utiliza de hecho este parámetro, centrándonos en cuatro aspectos especialmente relevantes para la conducción.

1. *Precisión*. Cuando concurren las mejores condiciones estimulares y la tarea psicofísica más adecuada, la ubicación de la posición «destino del

movimiento» puede efectuarse con un nivel de error inferior a los 0.66 grados (Warren *et al.* 1988).

2. *Edad.* La capacidad para utilizar el flujo óptico varía con la edad, creciendo en la adolescencia y decreciendo con el advenimiento de la edad madura (Warren y Blackwell, 1989).

3. *Tipo de flujo.* Aunque el flujo radial expansivo (aproximación) y el contractivo (alejamiento) tengan características semejantes, son aprovechados en forma muy distinta por la especie humana, de forma que el flujo expansivo es utilizado mucho más eficazmente (Bardy y Baumberger, 1992). Puesto que el flujo contractivo es el utilizado en la realización de movimientos «marcha atrás», existe base perceptiva para esperar un peor nivel de ejecución en esta forma de conducción que en la habitual.

4. *Parámetros estimulares.* La utilización del flujo en el control de la dirección es más precisa con el incremento en la rapidez del desplazamiento (al menos con los niveles estudiados por Bardy y Baumberger, 1992 y por Larish y Fach, 1990, aunque no se excluye que con valores muy elevados el efecto pueda invertirse o incluso anularse), y con el incremento en la textura óptica del patrón (cuanto más frecuente sea la presencia de contornos en las proyecciones mayor precisión podrá alcanzarse; Warren *et al.* 1988; Larish y Fach, 1990).

Como pronto veremos, la «densidad» del patrón y la «rapidez» en el desplazamiento del flujo serán factores que, además de influir en el control de la dirección del movimiento, también lo hacen en la magnitud de la velocidad percibida. Pero ésta es otra historia y debe contarse en otro lugar.

Flujo óptico y velocidad percibida

Teoría de los dos subsistemas

El sistema visual humano puede considerarse formado por dos subsistemas. Siguiendo la terminología utilizada por Leibowitz (1982), al primero de ellos se le denominaría «focal» y estaría relacionado con el reconocimiento-identificación de objetos y, por tanto, con la pregunta «¿qué es?». El segundo, denominado «ambiental», tendría que ver con la contestación de la pregunta «¿dónde está?» y sería el más importante respecto al control de la movilidad. Una de las evidencias más dramáticas sobre la separación funcional existente entre los subsistemas «local» y «ambiental» vendría proporcionada por la existencia de pacientes neurológicos aquejados de «agnosia visual» (Ellis y Young, 1992; cap. 2) en los que coexistiría la incapacidad para reconocer objetos a la vista, con la capacidad para utilizar la visión en el control de la movilidad.

Debido a la influencia de una de las primeras versiones de la teoría focal-ambiental (Dichgans y Brandt, 1978), y a la contundencia de los resultados de algunos experimentos en los que ésta se apoyaba (p. ej. Brandt

et al. 1973; Dichgans y Brandt, 1974), fue común durante años asumir una estricta división entre las partes de la retina que, hipotéticamente, correspondían a cada uno de los dos subsistemas, de forma que el focal usaba con exclusividad la información proporcionada por la retina central (fóvea y áreas próximas), mientras que el ambiental hacía lo propio con la procedente de la periferia. ¿Por qué se llegó a esta conclusión?

En los experimentos realizados a principios de los setenta fue frecuente la utilización de tambores rotatorios para producir ilusiones de automovimiento. Así, y tras ser expuestos a ellos durante unos segundos, todos los observadores indicaban vivenciar una paradójica situación en la que dejaban de percibir al tambor en movimiento, al tiempo que se sentían a sí mismos en tal estado. Haciendo que la estimulación del tambor se proyectase sólo en ciertas partes de la retina, se comprobó que la sensación de automovimiento seguía produciéndose cuando la estimulación se aplicaba sólo en la retina periférica, pero no cuando sólo se hacía en la central. En este último caso lo que se percibía era movimiento *en el tambor*. Ante estos resultados, la conclusión obligada era la de que sólo la retina periférica estaba relacionada con la percepción de la movilidad (razón por la que pertenecía al subsistema «ambiental»), mientras que la retina central sólo tendría que ver con el subsistema focal.

La descripción efectuada de las características estimulares correspondientes a las diferentes partes del flujo óptico (Figura 3) y la consideración de las porciones de la retina en las que éstas suelen proyectarse, proporciona la primera pista para comprender por qué es inadecuada la conclusión con la que finalizó el párrafo anterior: (1) En los trabajos de Dichgans y Brandt se proyectó el mismo tipo de flujo en todas las porciones de la retina. (2) Éste fue mucho más similar al lamelar que al radial, por lo que, (3) la aparente incapacidad de la retina central para producir experiencias de automovimiento fue un resultado del tipo de flujo utilizado. En línea con lo que se acaba de decir, una serie de investigaciones realizadas por Stroffregen (1985; 1986; *et al.*, 1987), demostraron la capacidad de la retina central para utilizar el *flujo radial* en el control de movilidad. Por tanto, y sintetizando, en la actualidad se adopta la postura de Leibowitz (1982) de considerar que el sistema ambiental hace uso *tanto* de la retina central (especializada en el flujo radial) como de la periférica (especializada en el lamelar); hecha esta salvedad, pueden asumirse un buena parte de las conclusiones recogidas en Dichgans y Brandt (1978). Por su relevancia para la conducción destacaremos las siguientes:

(1) La *sensación de automovimiento se incrementa con el aumento en las dimensiones del área retiniana que recibe flujo óptico* (p. ej. Held *et al.* 1975) y *se reduce con la presencia de elementos estáticos en el campo visual*. Por tanto, tenderá a tenerse mayor sensación de velocidad en aquellos vehículos cuya disposición de ventanas aumente la proyección de flujo en retina, tendiendo a reducirse en aquellos otros en los que se proyecten en retina muchos elementos estáticos.

(2) La *velocidad con la que se experimenta el automovimiento se incrementa con la frecuencia espacial de la estimulación* (Diener *et al.* 1976; frecuencias utilizadas: de .011 ciclos por grado a .044) y con la propia ve-

locidad del vehículo. Por ello, se tendrá mayor sensación de velocidad cuando, por supuesto, mayor sea la velocidad de desplazamiento del vehículo y, además, cuanto más frecuentes sean en el firme y/o en el entorno los contornos bien contrastados.

(3) La *velocidad* experimentada tiende a reducirse con la exposición continuada al flujo, lo que se debe en gran medida a la fatiga de mecanismos de carácter central y fue comprobado en situaciones de conducción real (Denton, 1971). Este mismo autor sería el que en 1980 aplicaría casi todas las conclusiones que se acaban de comentar en una medida de seguridad vial tan simple como eficaz.

Denton estaba preocupado por los accidentes que se producían en los carriles de deceleración y en los que estaban implicados motoristas. Como su propio nombre indica, esta parte de la red vial pretende conseguir la *ampliación* de velocidad precisa para el nuevo nivel de control requerido por el vehículo. Sin embargo, a menudo la deceleración efectuada era insuficiente, entre otros motivos, porque los motoristas tendían a *infraestimar* la velocidad a la que se movían. ¿Era esperable este resultado? ¡Sin duda alguna!. En primer lugar, los carriles de deceleración tienden a alcanzarse tras una exposición prolongada al flujo óptico que la previa conducción ha proyectado en retina. En segundo lugar, la salida de la autopista, al producir una reducción en la velocidad, reduce también el flujo, lo que no colabora a tener sensación de velocidad.

Ya sabemos porqué se produce el problema; llega el momento de evitarlo manipulando las características de la estimulación retiniana para *incrementar* la sensación de velocidad. ¿Solución adoptada por Denton (1981)? Pintar en la calzada una serie de franjas: (1) bien contrastadas con el firme (2) perpendiculares al sentido de la marcha y paralelas entre sí, (3) con una distancia de separación progresivamente menor. De este modo, (1) el buen contraste aseguraría la respuesta de los mecanismos nerviosos sensibles al flujo óptico, (2) la perpendicularidad al sentido de la marcha produciría un flujo notorio en la retina (las proyecciones se desplazarían por gran parte de ella) y (3) la reducción en la distancia interfranjas haría que fuese cada vez menor el tiempo transcurrido entre el paso de cada una de ellas y la siguiente por una parte de la retina (algo semejante a incrementar la frecuencia espacial), lo que aumentaría la sensación de velocidad.

La intervención que acabamos de describir es un buen ejemplo de cómo una adecuada comprensión teórica permite producir efectos importantes con material no sofisticado. En este contexto debe valorarse la facilidad del modelo de Leibowitz (1982) para hacer predicciones sobre las situaciones en las cuales pueden producirse accidentes.

El modelo de Leibowitz es una versión de la teoría de los subsistemas en la que tanto el subsistema ambiental (retina central + periferia), como el focal (sólo retina central) están implicados en la conducción y, por tanto, en la aparición de accidentes. El subsistema ambiental mediaría en el alineamiento del coche con la calzada y en la realización de cambios de dirección. El focal, la estimación de las distancias, la interpretación de las señales, etc. Puesto

que sólo uno de ellos utiliza la retina periférica, todas las peculiaridades de esta porción retiniana diferenciarían funcionalmente ambos subsistemas. Más concretamente, y puesto que la periferia: (1) es más resistente a la reducción en los niveles de iluminación, (2) precisa mayores velocidades en las proyecciones para responder y (3) sólo lo hace ante las frecuencias espaciales bajas y medias. Se predice que (1) ante niveles lumínicos medio-bajos, el sistema ambiental funciona correctamente, permitiendo un control adecuado del alineamiento del vehículo. (2) Este hecho transmitirá al conductor un exceso de confianza en sus capacidades perceptivas que no estaría justificado porque, (3) el mal funcionamiento de la retina central llevará a infraestimar la velocidad de desplazamiento del vehículo y las distancias existentes hasta los objetos que, como otros vehículos, puedan también estar presentes en la carretera.

Tasa de cambio percibido en la velocidad

Este apartado informa sobre los resultados obtenidos en nuestro país respecto a la relación existente entre la tasa de cambio en la velocidad de conducción y la experimentada por observadores sentados en el asiento del copiloto. Esta investigación, que fue presentada en el 23º Congreso Internacional de Psicología Aplicada (Lillo *et al.*, 1994), puede considerarse como complementaria a la realizada en Japón por Otha y Komatsu (1991). En ambos casos la tarea de los observadores fue estimar la velocidad de desplazamiento, aunque en la investigación japonesa ésta había de compararse con una (40 km/h) que se utilizó de referencia (estimación de magnitud de módulo asignado; Stevens, 1975), mientras que en la nuestra los observadores habían de indicar la velocidad concreta a la que creían estar. Otras diferencias importantes entre ambos trabajos fueron el rango de velocidades evaluadas (de 20 a 60 km/h para Otha y Komatsu; de 60 a 120 para nosotros), el tipo de tramos utilizados (sólo recto, para Otha y Komatsu; recto y curvo para nosotros), los vehículos empleados (dos coches para Otha y Komatsu; un Suzuki de 500 cc y un Toyota de 3000. Uno sólo para nosotros, un Citroen BX de 1900 cc). A pesar de todas estas diferencias, de la existencia de fuertes variaciones interindividuales, de que los valores estimados fueran a menudo muy distintos a los reales, etc, en ambas investigaciones se obtuvieron funciones psicofísicas muy similares en las que el valor de la pendiente de Stevens fue próximo a 1.5 y reflejó una clara tendencia hacia la expansión de respuesta. Esto es, el cambio percibido entre las velocidades fue mayor que el cambio físico existente entre ellas. A modo de ejemplo, la diferencia experimentada entre 30 y 60 km/h, (o entre 60 y 120) no fue la de «el doble», sino que se aproximaba a la triplicación ($2^{1.5} = 3$, aproximadamente).

Antes de abandonar este apartado conviene hacer explícita la inadecuación de una posible interpretación de los resultados expuestos: la expansión de respuesta no implica una tendencia a la sobreestimación de la velocidad. Por el contrario, y aunque el trabajo de Otha y Komatsu no proporcione datos relevantes al respecto, nuestros observadores tendieron a infraestimar la ve-

locidad aun y cuando, como es lógico existiendo expansión de respuesta, tal tendencia se redujo hasta desaparecer ante las mayores velocidades utilizadas.

REFERENCIAS

- Andersen, C.J. (1986). Perception of self-motion: Psychophysical and computational approaches. *Psychological Bulletin*, 99, 52-65.
- Bardy, B.G; & Baumberger, B. (1992). On the role of global and local visual information in goal-directed walking. *Acta Psychologica*, 81, 199-210.
- Boring, E.G. (1942). *Sensation and Perception in the History of Experimental Psychology*. New York: Appletton-Century-Crofts.
- Brandt, Th; Dichgans, J; & Koenig, E. (1973). Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception. *Experimental Brain Research*, 16, 479-491.
- Bruce, V. & Green, P. (1985). *Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology*. London: LEA.
- Denton, G.C. (1971). The influence of visual pattern on perceived speed. *Road Research Laboratory Report*. Cawthorne G.B.L.R. 409-420.
- Denton, G.C. (1980). The influence of visual pattern on perceived speed. *Perception*, 9, 393-402.
- Dichgans, J; & Brandt, T. (1978). Visual-vestibular interactions: Effects on self-motion perception and postural control. In R. M. Held; H. W. Leibowitz; & H.L. Teubert (Eds.). *Handbook of Sensory Physiology. Vol. VIII*. Berlin: Springer Verlag.
- Diener, H.C; Wist, E.R; Dichgam, J; & Brandt, Th. (1976). The spatial-frequency effect on perceived velocity. *Vision Research*, 16, 169-176.
- Ellis, A.W. y Young, A.W. (1992). *Neuropsicología cognitiva humana*. Barcelona. Masson. (trad. orig. *Human cognitive neuropsychology*). London. LEA.
- 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.
- Held, R; Dichgans, J; & Bauer, J. (1975). Characteristics of moving visual scenes influencing spatial orientation. *Vision Research* 15, 357-365.
- Kruck, R. & Regan, D. (1983) Visual tests results compared with flying performance in telemetry-tracked aircraft. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 54, 906-911.
- Kruck, R.; Regan, D; Beverly, K.I. & Longridge, T. (1983). Flying performance on the advanced simulator for pilot training and laboratory tests of vision. *Human Factors*, 25, 457-466.
- 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.
- Leibowitz, H.W. (1983). A behavioral and perceptual analysis of grade crossings accidents. *Operation Lifesaver National Symposium 1982*. Chicago. National Safety Council.
- Leibowitz, H.W. (1985). Grade crossing accidents and human factors engineering. *American Scientist*, 73, 558-562.
- Lillo, J. (1993). *Psicología de la Percepción*. Madrid: Debate.
- Lillo, J. (1995 a). Percepción visual y conducción. En L. Montoro y E. Carbonell (Eds). *Psicología del Tráfico (en prensa)*. Madrid: Pirámide.
- Lillo, J; Recarte, M.A. & Nunes, L.M. (1994). Estimation of speed on actual driving situation: underestimation and response expansion. 23^o *International Congress of Applied Psychology*. Madrid. Colegio Oficial de Psicólogos.
- Mach, E. (1875). *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen*. Leipzig: Engelman.
- 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.
- Owen, D.H; & Warren, R. (1987). Perception and control of self-motion: Implications for visual stimulation of vehicular locomotion. In L.S. Mark; J.S. Warm & R.L. Hudson (Eds.). *Ergonomics and Human Factors: Recent research*. New York: Springer-Verlag.
- 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, L.L; & 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.
- Stevens, J.K; Emerson, R.C; Gerstein, G.L; Kallos, T; Neufeld, G.R; Nichols, C.W; & Rosenquist, A.C: Paralysis of the awake human: Visual perceptions. *Vision Research*, 16. 93-98.
- Stroffregen, T.A. (1985). Flow structure versus retinal localitation in the control of stance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11. 554-565.
- Stroffregen, T.A. (1986). The role of optical velocity in the control of stance. *Perception and Psychophysics*, 39. 355-360.
- Stroffregen, T.A; Schumuckler, M.A; & Gibson, E.J, (1987). Use of central and peripheral optical flow in stance and locomotion in young walkers. *Perception*, 16. 113-119.
- Warren, W.H. Morris, M.W. & Kalish, M (1988). Perception of translational heading from optical flow. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 14. 646-660.
- Warren, W.H; & Blackwell, A.W. (1989). Age differences in perceiving the direction of self-motion from optical flow. *Journals of Gerontology*, 44. 147-153.

