

## Detección del tiempo de evitación de la colisión

José Antonio Aznar  
Josep Ferré  
José Bayo  
Universitat de Barcelona

*En este trabajo aplicamos una propuesta inicial de los discípulos de Gibson (óptica ecológica) al ámbito de la seguridad viaria: el parámetro  $\tau$  (Tau = Tiempo para contactar), propuesto por Lee y cols. (1980). Elaboramos una simulación computacional relativa a una situación de conducción (evitación de la colisión en vehículos que circulan en sentidos opuestos), la cual nos ha permitido, al manipular la velocidad de los móviles, apoyar la idea de que la decisión, acerca de la distancia de seguridad límite, se fundamenta en la detección de un complejo parámetro del flujo óptico ambiental. Y que éste puede derivarse de la proyección de sucesivas imágenes sobre la retina, mediante el cociente entre la distancia de seguridad y la velocidad de los móviles (parámetro  $\tau$ ). Un análisis de la variancia puso de manifiesto que la distancia de seguridad no es constante, sino dependiente de la velocidad de los móviles. Un modelo de regresión múltiple, basado en las variables que determinan el  $\tau$  se ajustó, de modo notable, a los datos de los sujetos. Y, finalmente, se observaron diferencias, entre sujetos masculinos y femeninos, en cuanto a la detección del  $\tau$ , pero no en cuanto a la tasa de evitación lograda en la tarea.*

*Palabras clave: Percepción de la profundidad, tiempo para contactar, circulación vial, óptica ecológica, flujo óptico.*

*In this paper we apply an early proposal put forward by the followers of Gibson as part of the ecological approach to the environment of road safety: the  $\tau$  parameter (Tau = "Time to contact") proposed by Lee and assoc. (1980). We created a computational simulation involving a driving situation (avoiding collision in cars travelling in opposite directions at varying velocities). Our results suggest that the calculation of the marginal safety distance is based on detecting a complex parameter of the optic flow field. This parameter may be derived from the projection of successive images on the retina, by calculating the safety distance-velocity ratio (the  $\tau$  parameter). Analysis of variance indicated that the safety distance is not constant but depends on velocity. Data from subjects presented a good fit to a multiple*

*regression model based on variables that determine  $\tau$ . Differences were observed between males and females in the detection of  $\tau$ , but not in the rate of avoiding collision.*

*Key words: Perception of Depth/Distance, Time to Contact, Traffic, Ecological Approach, Optic Flow Field.*

Las teorías tradicionales, en términos generales, fundamentan la investigación de la percepción de la profundidad en la detección de claves y su posterior interpretación con base en las experiencias pasadas e inferencias. Así, se han propuesto una gran variedad de indicadores de distancia en el espacio tridimensional, que pueden operar al formarse una imagen bidimensional y estática en cada retina, agrupándose dichas claves en: fisiológicas (convergencia ocular, acomodación del cristalino), pictóricas o monoculares (perspectiva lineal, interposición, tamaño retiniano, tamaño relativo a otros objetos familiares, localización angular de la altura, sombreado, etc.), binoculares (disparidad retiniana) y dinámicas (paralaje de movimiento). Especial interés merece la disparidad retiniana, en cuanto que, por sí sola, es capaz de elicitar la estereopsis visual (Julesz, 1964) y que en otro trabajo anterior (Aznar y Ferré, en prensa) explicábamos en términos de diferencias entre los espectros de fase de las transformadas de Fourier de las imágenes componentes del par estéreo.

Aunque se discrepe, como en nuestro caso, de la concepción gibsoniana de la percepción directa, es justo reconocer que el planteamiento del problema que nos ocupa, desde su *óptica ecológica*, presenta numerosas contribuciones que pueden integrarse en el punto de vista inferencial y/o constructivista. En efecto, al no tomar como punto de partida la imagen retiniana estática, sino el *campo de flujo óptico*, Gibson (1979) criticó a las teorías tradicionales el haber descuidado la relación perceptor-ambiente, y al enfatizar estas relaciones calificó su enfoque de ecológico. Al admitir las aportaciones de Gibson, no nos referimos solamente a la incorporación de alguna invariante o alguna característica de orden superior de su peculiar psicofísica, que pudiera jugar el papel de clave adicional, por ejemplo los *gradientes de densidad de textura*, que especifican distancia en profundidad, sino a las consecuencias que se derivan de las dos preguntas cruciales que planteó. La primera, referida a cuál es la información contenida en la distribución espacio-temporal de luminancias que permite especificar la estructura del medio y los sucesos que en él acontecen, lo que ha contribuido a desvelar algunas de las valiosas informaciones que contiene el orden óptico y que hasta entonces se pasaron por alto. La segunda cuestión, no de menor interés, se ocupa de la información contenida en el patrón de luz que necesita una persona o animal para organizar sus acciones, acentuando el papel de la percepción visual en la guía del movimiento a través del medio, es decir, en proporcionar una dirección a las acciones.

El análisis gibsoniano revela de qué modo las propiedades físicas del hábitat (medio), y la manera de desplazarse a través de él, influyen en la información que se requerirá extraer del orden óptico. También nos hace evi-

dente que la información sobre la distancia absoluta, a partir del campo de flujo óptico de un animal o persona en movimiento, no resulta nada fácil de obtener, principalmente debido a la dificultad de evaluar de manera independiente la velocidad de aproximación del animal al objetivo. Ciertamente, el rango de distancias en el que la clave de disparidad retiniana puede ser útil depende de la distancia interpupilar, lo que puede resultar aplicable para la caza practicada por algunos insectos, como la mantis religiosa, o por algunos anfibios como el sapo y la rana (Rosell, 1983; Harkness, 1977; Collet, 1977; citados por Bruce y Green, 1992), pero de ningún modo puede ser útil cuando la velocidad de desplazamiento del animal es más continua y rápida. En el caso humano, esta potente clave actúa hasta distancias alrededor de 445.5 m (Graham, 1965) y algunos sujetos son sensibles a disparidades de hasta 2 seg. de arco (Hochberg, 1971).

El paralaje de movimiento, esto es, el hecho de que un objeto se desplace más rápidamente a través de la retina si está cerca, y más lentamente si está lejos, tampoco permite especificar, fácilmente, distancias absolutas cuando el animal se mueve, debido a que no se puede derivar la velocidad de éste sin conocer la distancia recorrida, ni es posible especificar la distancia sin conocer la velocidad del animal en relación al medio.

Así pues, resulta poco plausible, ecológicamente, utilizar estas estrategias en las que es difícil captar la información sobre distancias absolutas, por lo que, desde la aproximación gibsoniana, se ha propuesto la extracción de otras características de orden superior alternativas. Obviamente, no sólo la distancia en profundidad y la velocidad del campo de flujo óptico permiten obtener la información relevante para guiar las acciones del animal en su medio, sino que, como demostró Lee (1980), es posible detectar un parámetro más complejo del flujo óptico al que denominó *tiempo para contactar*. Esta característica de orden superior, como su nombre sugiere, especifica el tiempo que transcurrirá antes de que el animal choque contra una superficie, dada una velocidad constante. El propio Lee simboliza este parámetro mediante la letra griega  $\tau$  (Tau) y lo define, operacionalmente, como la razón entre la distancia de cualquier punto al centro de un patrón óptico en expansión  $[r(t)]$  y la velocidad con que se aleja dicho punto del centro de expansión  $[v(t)]$  en su proyección dinámica retiniana, para un instante dado. Formalmente:

$$\tau = \frac{r(t)}{v(t)}$$

Por consiguiente, siempre que se mantenga constante la velocidad, este parámetro del flujo óptico es derivable a partir de las sucesivas proyecciones del patrón estimular en la retina y predice el tiempo para establecer contacto entre el animal móvil y la superficie a la que se aproxima. Por lo que, indirectamente, aporta información sobre la distancia de tal superficie en aquellas situaciones en las que la temporalidad de la acción juegue un papel crítico.

Existen abundantes evidencias empíricas, en estudios con animales (mos-

cas, peces, alcatraz, etc.), descritas en Bruce y Green, 1992, que apoyan la detección de  $\tau$  (tiempo para contactar) a partir del flujo óptico ambiental. En el caso humano, tal vez las situaciones más prototípicas sean la de los trapecistas de circo, la de los atletas saltadores de altura y, principalmente, debido a nuestro interés en este trabajo, determinadas situaciones de conducción de vehículos, tales como el frenado, el adelantamiento o el cambio de carril en la vía de circulación para evitar una colisión, sin excluir el caso de los peatones al atravesar una calle con cierto tráfico de vehículos por donde no hay semáforos ni cualquier otro acceso de preferencia.

Una peculiaridad de las personas, que nos diferencia de los animales, se debe a que podemos desplazarnos no sólo mediante nuestro autoimpulso, sino también empleando medios de automoción. Como consecuencia de la utilización de estas máquinas amplificadoras de nuestra movilidad, y que nos permiten desplazamientos largos a considerables velocidades, debemos aprender a maniobrar adecuadamente, reducir la velocidad en determinadas situaciones de peligro (curvas, firme resbaladizo, atropellamiento, etc.), e incluso detener el móvil a tiempo para evitar la catástrofe (colisión).

Un conductor experto y hábil utilizará los frenos (o el cambio de marcha), en el momento oportuno y de modo apropiado, para evitar encontrarse en la *zona de colisión*. Así, cuando tenemos delante otro automóvil, si éste reduce súbitamente la velocidad, debemos controlar la distancia que media entre las luces indicadoras de frenado del coche que se halla delante y nuestro propio móvil en relación con nuestra velocidad, a fin de, una vez detectada la necesidad de la acción oportuna (frenar), determinar la intensidad de ésta. Además, es preciso tener en cuenta que, si el frenazo es muy intenso, el coche que podemos tener atrás no dispondrá de tiempo para, a su vez, reaccionar. Por todo ello, es preciso ajustar nuestras acciones, no sólo a nuestra velocidad y características de nuestro vehículo, sino también a los restantes elementos implicados (otros vehículos, estado de la carretera, visibilidad, meteorología, etc.). Lee (1976) considera que, para controlar la acción de frenado, resulta más económico detectar la  $\tau$  y reaccionar ante la información de *tiempo para contactar* disponible en el *flujo óptico*. En este sentido, sugiere que el valor  $\tau(t)$  [Tiempo para contactar en un momento dado] puede predecirse de alguna de estas dos maneras. Si es de día (condiciones de moderada o elevada iluminación ambiental), mediante:  $\tau(t) = 1/V_p$ ; siendo  $V_p$  la velocidad de expansión de la imagen retiniana. Si es de noche (condiciones de escasa iluminación ambiental), mediante:  $\tau(t) = D_a / V_a$ ; siendo  $D_a$  la separación angular de las luces traseras y  $V_a$  la velocidad de separación del alumbrado trasero. Al calcular la derivada de  $\tau$  respecto al tiempo se puede determinar si se rebasa, o no, la *distancia de seguridad de frenado*, lo que implica la decisión de frenar para evitar la colisión o, por el contrario, acelerar la velocidad para adecuarse a la velocidad del tráfico, de modo que éste resulte fluido. Lee llega, incluso, a proponer la ampliación de información adicional, en la parte trasera de los automóviles, con el fin de facilitar la detección de  $\tau$  por la noche. Por ejemplo, una banda horizontal reflectante de una anchura estándar, la cual se percibirá más ancha conforme se aproxime el vehículo crítico. También sugiere la in-

corporación de una señal luminosa de *frenado imperativo*, que sólo se active si el conductor frena a fondo.

En un trabajo posterior, Lee y Lishman (1977) describieron la utilización del flujo óptico en la guía de la conducción de vehículos terrestres, señalando que los conductores ajustan el modo de conducir a dos características. Una de éstas es la línea de flujo locomotor, que indica el camino a seguir cuando no se requiere corregir la trayectoria, y que desaparece de la vista siguiendo una línea recta que pasa por debajo del propio vehículo. La otra se refiere a la relación entre los bordes de la carretera y las líneas de flujo óptico, que informan al conductor de si sigue, o no, el camino correcto. La conducción correcta requiere que la línea de flujo locomotor se sitúe en el centro de la carretera, de manera que los bordes de ésta coincidan con las líneas de flujo óptico, condiciones que no se satisfacen cuando uno se sale de la ruta. El conductor también debe ejecutar movimientos anticipatorios previos a la entrada en una curva, debiendo disminuir la velocidad en las más cerradas. La detección del tiempo *para contactar*, por ejemplo con el borde de la carretera, podría realizarse de modo similar al frenado en trayectorias rectilíneas (Lee y Lishman, 1977).

Nosotros hemos simulado computacionalmente una situación artificial en la que dos vehículos avanzan en sentido opuesto al del vehículo del sujeto, pudiendo venir uno de los móviles oponentes por el mismo carril o por otro distinto. El móvil del sujeto se halla estático, el avance del móvil oponente se manifiesta mediante el incremento del tamaño del móvil (luces frontales y una estrecha franja horizontal que las une) conforme avanza, de modo que reproduce un flujo de expansión del patrón estimular. Dicho incremento se produce según un movimiento uniforme que produce en la retina una tasa de expansión de las imágenes proyectadas en sucesivos instantes. La distancia total a recorrer se mantiene constante y se varía la velocidad de los coches oponentes, de manera que éstos pueden aproximarse en un determinado rango de velocidades.

La tarea del sujeto consiste en decidir si debe, o no, cambiar de carril para evitar la colisión frontal. Las instrucciones inducen a los sujetos, mediante la aplicación de una matriz de pérdidas y ganancias (matriz de pagos), análoga a las utilizadas en la Teoría de la Detección de Señales (TDS), a cambiar de carril cuando la situación lo requiera y en el preciso instante antes de que se rebase la distancia de seguridad, ya que en caso de rebasarse resultaría imposible impedir la colisión. Para evitar que se produzca el "fatal desenlace", dispone tan sólo de una oportunidad de desplazamiento lateral.

En esta tarea podemos obtener una estimación del valor de  $\tau$  calculando la razón entre la distancia que falta por recorrer para que se produzca la colisión y la velocidad de expansión del patrón estimular o vehículo oponente (constante para cada condición).

Puesto que las demandas de la tarea priman el ejecutar la acción pertinente cuando el parámetro  $\tau$  alcanza un valor crítico de evitación de la colisión, este valor límite de  $\tau$ , correspondiente al instante en el que se ejecuta el cambio de carril, tenderá a ser constante para cada una de las velocidades de aproximación del móvil oponente. Únicamente si los sujetos fundamentan

su decisión en la detección de  $\tau$  cabe predecir que, cuando los sujetos no actúen al azar, el tiempo que realmente falta para que se produzca la colisión en el momento de ejecutar la acción de cambio de carril, (determinable y, por supuesto, distinto de  $\tau$ ) se hallará en relación directa con la distancia que falta para contactar y en relación inversa con la velocidad de aproximación del móvil, estando altamente relacionado con el valor de  $\tau$  (Tau).

Frente a esta hipótesis, la concepción tradicional se basa en la consideración de que debe existir una distancia de seguridad crítica que, si se transgrede, introduce al sujeto en la zona de inevitable colisión. Si el proceso de decisión estuviese fundamentado en la detección de la distancia, entonces la distancia a la que el sujeto ejecuta el cambio de carril tendería a ser constante, independientemente de las velocidades de aproximación de los móviles en los diferentes ensayos. Consideramos, por tanto, que la decisión de los sujetos debería fundamentarse en la detección de  $\tau$  y no en la detección de la distancia en profundidad.

También estamos interesados en verificar si existen diferencias, en cuanto a la detección de  $\tau$  y precisión lograda en la tarea, respecto al sexo de los sujetos.

## Método

### *Sujetos.*

20 personas voluntarias, en igual proporción de cada sexo, realizaron el experimento. La edad promedio de la muestra era de 22.6 años, con una desviación típica de 2.15. Todos ellos poseían visión normal o corregida mediante lentes. También poseían carnet de conducir.

### *Estímulos y Aparatos.*

El flujo óptico del patrón estimular se simulaba computacionalmente mediante un programa de ordenador realizado por los autores, utilizando técnicas de animación de gráficos. La situación estimular presentada a los sujetos consistía en una pista de tres carriles sin delimitar, ubicada en una banda rectangular de  $480 \times 300$  píxeles, de color negro, que aparecía en el centro de la pantalla, siendo de color azul las porciones laterales izquierda y derecha. Por dicha pista se aproximaban dos vehículos oponentes, en dirección de arriba a abajo de la pantalla, hacia el estático vehículo del sujeto situado en la parte inferior de la pantalla y en uno de los tres carriles de la pista. Este último se representaba mediante un rectángulo de  $100 \times 50$  píxeles, de color verde. Cada vehículo oponente se esquematizaba mediante dos cuadrados, rellenos de color amarillo, unidos por una estrecha banda rectangular azul, sugiriendo los dos faros delanteros del automóvil. Los tamaños de tales cuadrados (faros) aumentaban según un incremento constante de 3 píxeles por lado del cuadrado, el cual tenía lugar en función de la distancia de aproximación al vehículo del

sujeto. Así, inicialmente (430 píxeles de distancia entre el vehículo del sujeto y los oponentes) los cuadrados eran de una longitud de lado de 0 píxeles, la cual se mantenía fija durante el recorrido del primer intervalo de 40 píxeles. Cada vez que los móviles oponentes recorrían esta distancia (40 píxeles), el lado del cuadrado (tamaño del faro) se incrementaba en 3 píxeles, por cuanto se mostraban cuadrados cuyo tamaño variaba, cada 40 píxeles de recorrido, entre 0 y 24 píxeles (véase un instante "congelado" del flujo del patrón estímular en Figura 1).

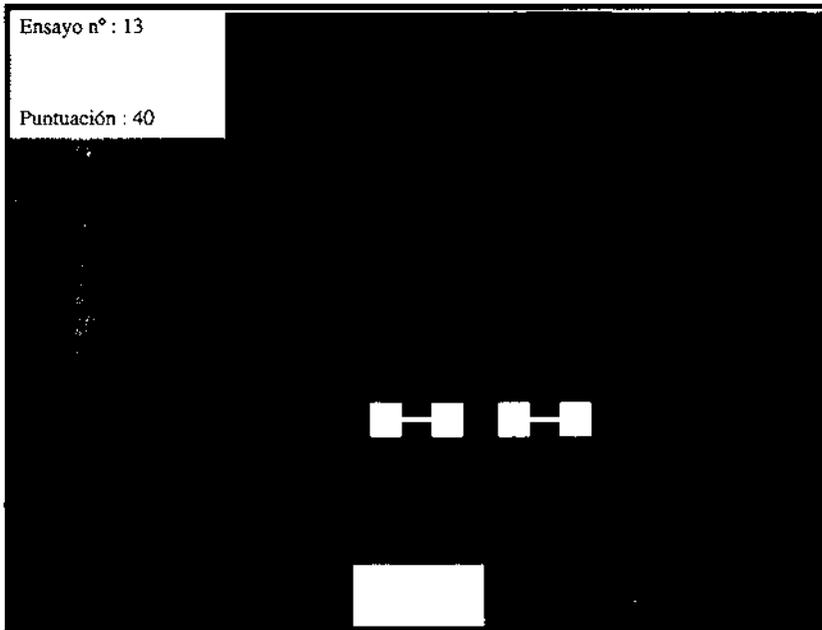


Figura 1. Un instante del flujo óptico expansivo producido en la ejecución de la simulación.

La velocidad de aproximación de los vehículos móviles (oponentes) fue implementada en la situación estímular mediante el número de píxeles avanzados por unidad de tiempo. En consecuencia, una velocidad de 5 pix./t expresa una aproximación de una distancia de 5 píxeles cada unidad de tiempo. Dicha unidad de tiempo se refiere al lapso transcurrido mientras tiene lugar una interacción del bucle de control de la animación, determinable para cada aparato, por tanto, obviamente dependiente de la potencia del procesador y del reloj.

Como aparatos de presentación del flujo estímular se utilizaron 8 ordenadores Compact 386-25 MHz, monitor de 14" (resolución 640 × 480 pix.).

El programa de ordenador (elaborado por los autores en Lenguaje C++) registraba, en cada ensayo, las velocidades de aproximación de los móviles, las distancias que restan para la colisión, el tamaño de los estímulos que se

expansionan y el tiempo de reacción. Asimismo, generaba una secuencia de ensayos aleatoria, distinta para cada sujeto, que variaba en función de: a) número de carril libre que dejan los vehículos oponentes, b) número de carril inicial en que aparece el vehículo del sujeto, c) velocidad de los vehículos oponentes.

### *Procedimiento.*

Recurrimos al paradigma experimental de detección, mediante el procedimiento de estímulos constantes, solicitando del sujeto una respuesta motriz sobre el número de carril en que debe situarse (1, 2, ó 3) para evitar una colisión en cierto intervalo de tiempo. Las instrucciones presentaban la prueba de modo que el objetivo de la misma consistía en que el sujeto evitase la colisión en el último instante que fuese posible, y no apenas se detectase que ésta iba a producirse. Se enfatizaba la idea de que el sujeto se aproximase hasta el límite de evitación de la colisión, sin llegar a ésta, en los siguientes términos:

*«MUY IMPORTANTE: Es preciso que cambies de carril sólo cuando se aproximen al máximo los coches oponentes, pero sin colisionar. Recibirás +10 puntos si cambias de carril correctamente cumpliendo esta condición (permitir que los coches oponentes recorran el máximo trayecto posible). Si el cambio de carril provoca el choque serás penalizado con -10 puntos. Y si cambias de carril demasiado pronto no recibirás ningún punto (0 puntos), aunque el cambio de carril sea correcto.»*

El criterio adoptado, en esta investigación, para asignar las bonificaciones de +10 puntos era el de haber recorrido, al menos, el 60 % del recorrido total. Los sujetos desconocían esta información; sin embargo, sí que eran informados del total de puntos acumulados a lo largo de los ensayos de la prueba.

Se realizaron 50 ensayos de entrenamiento, en los que los vehículos oponentes avanzaban a velocidades de 5, 15 y 25 pix/t. Se llevaron a cabo tres sesiones, cada una con un rango de tres velocidades diferentes, de manera que en la primera las velocidades de los vehículos oponentes eran de 5, 10 y 15 pix/t. (lentas), en la segunda de 20, 25 y 30 pix./t (moderadas) y en la tercera de 35, 40 y 45 pix/t (rápidas). Entre cada sesión se intercalaban dos minutos de descanso. Cada sesión experimental constaba de 135 ensayos (3 carril libre  $\times$  3 carril inicial del sujeto  $\times$  3 velocidades de aproximación de los móviles  $\times$  5 repeticiones).

Los sujetos se situaban frente al ordenador a una distancia de unos 60 cm de la pantalla, e iniciaban los ensayos pulsando la barra espacio. Respondían a las demandas de la tarea pulsando la tecla numérica correspondiente al número de carril libre (1, 2, ó 3), utilizando la mano dominante en un teclado expandido. La duración de cada sesión fluctuaba entre 5-8 minutos, lo que originaba una duración total entre 15-24 minutos.

## Resultados

Se llevaron a cabo cuatro análisis de la variancia, al objeto de verificar los efectos de los factores: "Distancia de seguridad" (la que resta para colisionar cuando el sujeto cambia de carril), "Tiempo para la colisión" (indica el tiempo que resta para producirse la colisión a partir del instante en que el sujeto ejecuta la respuesta), "Tiempo de evitación de la colisión" (Tau:  $\tau$ ) y "La proporción de evitación de colisiones" (en los ensayos de cada condición).

Para verificar si en los ensayos que requieren evitación de la colisión (cuando la pista libre que dejan los vehículos oponentes es distinta de la pista en que aparece el vehículo del sujeto) existen diferencias en cuanto a la "distancia de seguridad", o no se evidencian, tendiendo la distancia hacia un valor constante, independientemente de la velocidad de los vehículos móviles, se analizaron los datos según un diseño: 2(sexos)  $\times$  9(velocidades), siendo la variable dependiente la "distancia de seguridad" (Dist.). Este análisis puso de manifiesto la existencia de diferencias significativas, tanto respecto a la velocidad [ $F(8.6894) = 50.725$ ;  $p < .001$ ] como respecto al sexo [ $F(1.6894) = 198.854$ ;  $p < .001$ ], permitiendo las mujeres, en nuestro estudio, menor distancia de seguridad que los hombres ( $\bar{x} \text{ } \varnothing = 44.25$ ;  $\bar{x} \text{ } \delta = 56.34$  pixels). El patrón de resultados obtenido mostró que existe una gran variabilidad de distancias de seguridad en función de la velocidad. Sin embargo, cuando las velocidades eran lentas (5, 10 ó 15 pix./t) o moderadas (20, 25 ó 30 pix./t) las distancias variaban algo menos que cuando las velocidades eran rápidas (35, 40, ó 45 pix./t) como puede observarse en la Figura 2.

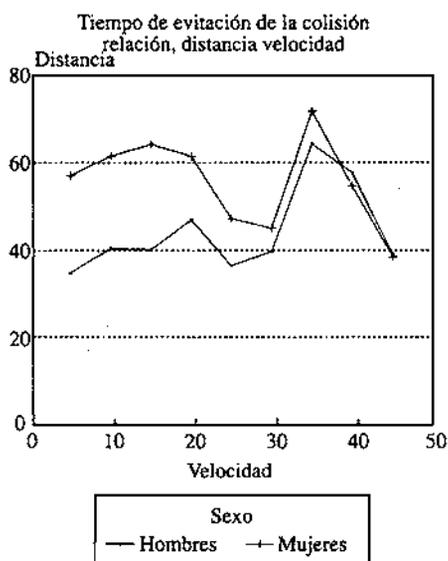


Figura 2. Relación entre "Distancia de seguridad" y "Velocidad de los móviles", según el sexo de los sujetos.

Por otra parte, los sujetos de ambos sexos no sólo difieren en la distancia de seguridad, también se evidenciaron diferencias significativas en cuanto a las variables "Tiempo que resta para la colisión" (TPCOLI) y  $\tau$  (Tau). En la primera de ellas (TPCOLI) [la cual se obtuvo calculando la diferencia entre el tiempo total invertido si se dejan colisionar los vehículos, en cada una de las diferentes velocidades muestreadas, y el TR del sujeto para cada ensayo] resultó significativa la interacción Sexo  $\times$  Velocidad [ $F(8.6894) = 80.375$ ;  $p < .001$ ], además de los efectos principales [Sexo:  $F(1.6894) = 669.152$ ;  $p < .001$  y Velocidad:  $F(8.6894) = 4147.297$ ;  $p < .001$ ]. De manera consistente con lo obtenido para la distancia, las mujeres ejecutaban la respuesta cuando faltaba menos tiempo para la colisión que los hombres de nuestra muestra ( $\bar{x}_\text{f} = 1.16$ ;  $\bar{x}_\text{m} = 1.46$ ).

La variable  $\tau$  (Tau), propuesta por Lee (1980), en nuestra situación la obtuvimos mediante el cociente entre la distancia que resta para colisionar cuando el sujeto ejecuta la respuesta (el cambio de carril) y la velocidad de aproximación del flujo óptico expansivo (faros de los vehículos oponentes). En cuanto a  $\tau$ , también resultó significativa la interacción Sexo  $\times$  Velocidad [ $F(8.6894) = 38.815$ ;  $p < .001$ ] y los efectos principales [Sexo:  $F(1.6894) = 199.546$ ;  $p < .001$  y Velocidad:  $F(8.6894) = 484.325$ ;  $p < .001$ ], siendo el  $\tau$  menor en mujeres que en hombres ( $\bar{x}_\text{f} = 13.11$ ;  $\bar{x}_\text{m} = 19.02$ ). Las relaciones cuantitativas entre las variables Velocidad, Tiempo que resta para colisionar y  $\tau$  (tau), pueden observarse en la Figura 3.

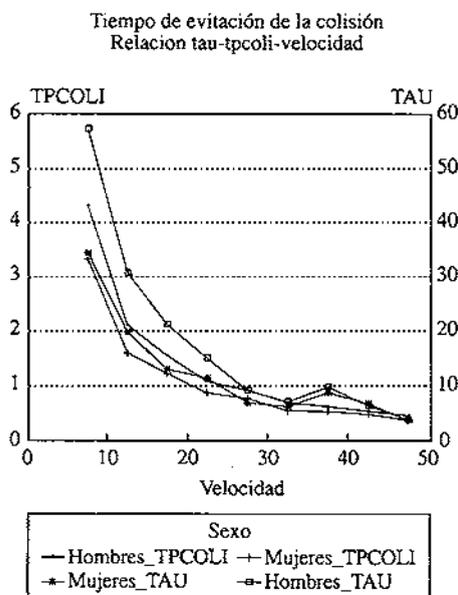


Figura 3. Relación entre "Velocidad de los móviles" y "Tiempo para colisionar" (TPCOLI) o  $\tau$  (Tau), en función del sexo de los sujetos.

No obstante, conviene insistir en que, si bien el "Tiempo que resta para la colisión" (TPCOLI) no es exactamente lo mismo que "El tiempo para evitar la colisión" (Tau:  $\tau$ ), éste debe ser un buen indicador de aquel. De hecho, ambos factores se hallan altamente correlacionados (coeficiente de correlación de Pearson  $r = .732$ ;  $p < .001$ ).

La proporción de evitación de la colisión se calculó dividiendo el número de colisiones que evita el sujeto (tanto por acción como por omisión) entre el número total de ensayos, en cada condición. Respecto a este factor, los sujetos de ambos sexos lograron una proporción de evitación de colisiones similar [ $F(1.8082) = 0.993$ ;  $p < .319$ ], es decir, no se observaron diferencias significativas respecto a la precisión lograda en la ejecución de la tarea ( $\bar{x} \text{ ♀} = 0.93$ ;  $\bar{x} \text{ ♂} = 0.92$ ).

Finalmente, para dar soporte a la hipótesis de que los sujetos fundamentan su decisión en la detección del parámetro  $\tau$ , y no sólo en la detección de la distancia, elaboramos un modelo, basado en la regresión lineal múltiple, que permite predecir el tiempo que resta para colisionar (del que suponemos que  $\tau$  es el mejor indicador) a partir de la "distancia de seguridad" y el inverso de la velocidad de aproximación de los vehículos móviles. Con estas variables predictoras se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple  $R = 0.915$ , lo que nos muestra que dicho modelo explica el 84 % de la variación del criterio "Tiempo que resta para colisionar" ( $SE = 0.469$ ). La ecuación de regresión múltiple estandarizada fue:

$$\text{TPCOLI} = 0.204 \text{ Dist.} + \frac{0.9}{\text{Velocidad}}$$

Al verificar el modelo separadamente, según el sexo, constatamos un coeficiente de correlación múltiple casi perfecto ( $R = 0.98$ ;  $p < .001$ ) para las mujeres, explicando el modelo el 96 % de la variancia. La ecuación estandarizada resultante fue:

$$\text{TPCOLI} = 0.230 \text{ Dist.} + \frac{0.95}{\text{Velocidad}}, \quad (SE = 0.238)$$

Mientras que para los hombres, el coeficiente de correlación múltiple fue algo inferior ( $R = 0.844$ ;  $p < .001$ ), explicando el modelo el 71.3 % de la variabilidad del criterio a predecir. La ecuación estandarizada resultante fue:

$$\text{TPCOLI} = 0.090 \text{ Dist.} + \frac{0.85}{\text{Velocidad}}, \quad (SE = 0.568)$$

En las Figuras 4 y 5 puede observarse la estrecha relación existente entre las variables temporales implicadas, a saber, TR, TPCOLI y  $\tau$  (Tau), en mujeres (Figura 4) y en hombres (Figura 5).

Tiempo de evitación de la colisión  
Relación 1/velocidad-tiempo (mujeres)

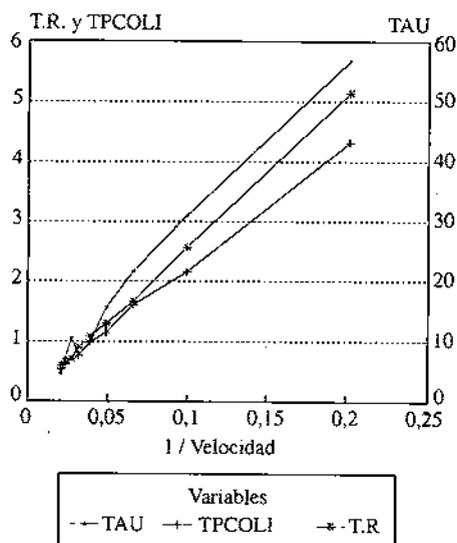


Figura 4. Relación entre el "Recíproco de la velocidad de los móviles" y los factores temporales [Tiempo de reacción (TR), "Tiempo para colisionar" (TPCOLI) y  $\tau$  (Tau), sólo en sujetos femeninos.]

Tiempo de evitación de la colisión  
Relación 1/velocidad-tiempo (hombres)

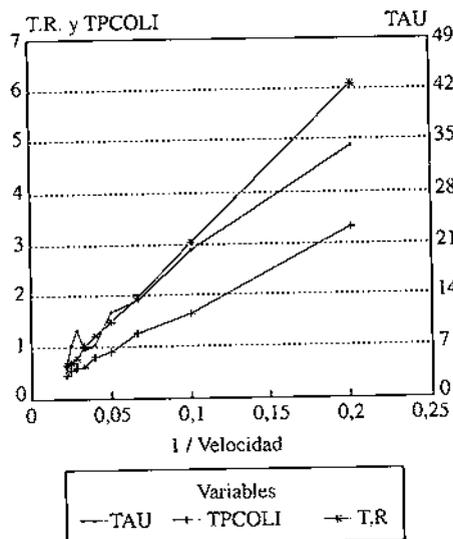


Figura 5. Relación entre el "Recíproco de la velocidad de los móviles" y los factores temporales [Tiempo de reacción (TR), "Tiempo para colisionar" (TPCOLI) y  $\tau$  (Tau), sólo en sujetos masculinos.]

## Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo apoyan, en primer lugar, la idea de que los sujetos no fundamentan su decisión, exclusivamente, en la estimación de la distancia que falta para la colisión. En efecto, el que se obtengan diferencias significativas según la velocidad de los móviles lo interpretamos como que no existe una distancia de seguridad crítica, independiente de la velocidad de los móviles, en la que los sujetos fundamenten su decisión de la respuesta.

Sin embargo, el hecho de que la distancia de seguridad sea más estable (fluctúe menos) cuando los vehículos móviles avanzan a velocidades lentas o moderadas, que cuando se aproximan a velocidad rápida o muy rápida, sugiere que cuando las personas disponen de tiempo para el proceso de toma de decisiones, podrían basar sus respuestas en la detección de la distancia a fin de lograr suficiente éxito en la tarea, pero *no* alcanzarían el nivel aceptable cuando dicha tarea se desarrollase tan rápidamente que apenas dispongan del tiempo justo para evitar la colisión.

Complementariamente, la ecuación de regresión de la distancia y velocidad sobre el "tiempo que resta para colisionar" refleja una más escasa, pero nada despreciable, contribución de la distancia de seguridad y el importante "peso" estadístico de la velocidad de los móviles.

Por otra parte, hemos evidenciado que el modelo predictivo se ajusta, de modo notable, a los datos registrados cuando se consideran combinadamente tanto la distancia de seguridad como el inverso de la velocidad de los móviles. Ambos factores, en su proyección dinámica sobre la retina, permiten al sujeto derivar el tiempo que falta para colisionar. Por consiguiente, en esta situación de conducción simulada parece razonable suponer que las personas fundamentan la decisión en la detección del "tiempo para contactar". También se pone de relieve en nuestro estudio cómo el parámetro  $\tau$  es un buen indicador del tiempo que falta para colisionar y que esta información es perfectamente derivable por el sistema visual humano (Lee, 1980).

Finalmente, se constatan ciertas diferencias en cuanto a la detección del "tiempo para evitar la colisión" entre hombres y mujeres. Ciertamente, en las ecuaciones de regresión obtenidas separadamente para cada sexo, constatamos que en el grupo femenino, donde el modelo ajusta de modo casi perfecto, la carga estadística con que contribuye la velocidad es de un 18 % superior al de los sujetos masculinos. Mientras que en la distancia de seguridad, que en general influye en menor grado, la carga desciende en un 4.5 % en el mismo sentido. Estos resultados sugieren que, si bien en el grupo de mujeres los dos factores considerados son, prácticamente, los únicos que influyen, en el grupo de varones han debido intervenir otros factores adicionales. Estos factores influirían en el hecho de no seguir estrictamente la indicación de las instrucciones (permitir una aproximación forzada hasta el máximo, pero sin llegar a colisionar) aunque satisfacen la indicación de recorrer el 60 % del trayecto. En consecuencia, este criterio parece ser insuficiente, por lo que proponemos la adopción de un porcentaje más exigente, al menos del 70 %.

Probablemente, esté actuando un factor diferenciador relativo a la desigual actitud ante la simulación de tareas o, tal vez, relacionado con la percepción del riesgo implicado, por cuanto debería esclarecerse la posible influencia de tales factores. Por último, señalar que a pesar de la desigual detección del parámetro  $\tau$ , los sujetos de ambos sexos alcanzan niveles de eficacia equivalentes (92 % y 93 %), lo que nos lleva a concluir, a este respecto, que el objetivo prioritario de evitar la colisión ha sido considerado por todos los sujetos en igual medida.

## REFERENCIAS

- Aznar, J.A. y Ferré, J. (en prensa): La diferencia fásica: clave fundamental de la estereopsis. *Revista de Psicología General y Aplicada*.
- Bruce, V. & Green, P. (1990). *Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology (2 Ed.)*. N.J., Hillsdale: LEA.
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston:Houghton-Mifflin. [Trad. cast. del cap. 14 en J.E. García-Albea: Percepción y computación. Madrid: Pirámide. 1986. pp 39-64.]
- Graham, C.H. (1965). "Visual space perception". In C.H. Graham (Ed.), *Vision andvisual perception*. New York: Wiley & Sons.
- Hochberg, J.E. (1971). "Perception, II. Space and movement". In J.W. Kling & L.A. Riggs (Eds.), *Woodworth & Schlosberg's experimental psychology, 3ª Edic.* New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Jules, B. (1964): «Binocular Depth Perception without Familiarity Cues». *Science*, 145, 356-362.
- Lee, D.N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- Lee, D.N. (1980). The optic flow field: The foundation of vision. *Philosophical Transactions of de 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.