

## **EXPERIMENTO 2: TR al inicio del movimiento**

---



## Capítulo 5

### **5 EXPERIMENTO 2: TR al inicio del movimiento**

---

El objetivo de nuestro segundo experimento es abordar el tema de la velocidad percibida a través de una metodología basada en el estudio de los Tiempos de Reacción (TR) al inicio del movimiento. En principio, podemos pensar que el estudio de la variación del TR al inicio del movimiento aborda un estadio más temprano del procesamiento de la información sobre velocidad que el que permite estudiar la variación del PIS (experimento 1). Además, la metodología basada en el TR ofrece varias ventajas para el estudio del procesamiento de la señal de velocidad en comparación con las utilizadas en los experimentos anteriores. Una de las más importantes es que, en este tipo de tareas, no se requiere un juicio sobre la velocidad por parte de los sujetos. En este sentido, podemos asumir que la respuesta de TR expresa una relación más directa entre la señal sensorial y la percepción (en este caso, de la velocidad) que provoca dicha señal.

En el presente experimento analizaremos los resultados de TR ante la detección del inicio del movimiento (tarea de discriminación de la dirección) utilizando el modelo de análisis de datos de TR propuesto por Bonnet y Link (1998) y Bonnet y Dresch (2001) para explicar el origen de las variaciones en el TR. Varios trabajos anteriores (Dzhafarov et al., 1993; Maiche et al., 2000; Mashhour, 1964) proponen que la disminución del TR con respecto al aumento de la velocidad física sigue una función hiperbólica (función de Piéron). Sin embargo, este tipo de trabajos no permiten predecir (por el momento) el valor de los parámetros que caracterizan a dicha función, en parte, debido al escaso análisis que han dedicado a las diferencias intra e interindividuales. El presente trabajo pretende aproximarse al estudio del origen de dichas diferencias con el objetivo de identificar algunos de los determinantes físicos del estímulo que son responsables de la variación del TR y que, por tanto, se relacionan directamente con los valores de los parámetros de la función de Piéron.

El experimento combina cambios en la velocidad física del estímulo con cambios en la orientación de sus líneas componentes (velocidad percibida). La tarea que se le propone al sujeto es que indique la dirección del movimiento lo más rápidamente posible, mediante un dispositivo de dos botones. Se utiliza el TR a la elección de la dirección del movimiento (izquierda vs. derecha) a fin de reducir los casos de anticipación de la respuesta por parte de los

sujetos. Previamente ha sido demostrado (Pins y Bonnet, 1996) que para una tarea de discriminación simple (sólo dos alternativas y sin posible ambigüedad) el exponente de la función que modela la variación del TR (función de Piéron; véase ecuación 4.1) es el mismo que en una tarea de detección (TR simple) y, por tanto, la latencia que corresponde a la etapa de discriminación (etapa perceptual del TR) puede ser asumida como constante para todos los sujetos y para las diferentes condiciones experimentales. Dicha latencia queda incluida en el valor del parámetro independiente de la función de Piéron ( $t_0$ ). Pins y Bonnet (1996) comprueban a través de varios experimentos que la función de Piéron describe igualmente bien los datos de TR a una tarea de elección (*choice reaction time*) que en una tarea de detección (TR simple), manteniéndose en ambos casos el mismo valor del exponente y aumentando escasamente el valor del término independiente ( $t_0$ ).

En diferentes ocasiones se ha mostrado de manera experimental que el TR simple a la detección de un movimiento visual decrece al aumentar la velocidad del mismo. La función de Piéron (Piéron, 1914) parece describir adecuadamente la variación de TR en función de la velocidad física del movimiento (p.e. Ball y Sekuler, 1980; Dzhaferov et al., 1993; Hohnsbein y Mateeff, 1992; Maiche et al., 2000; Mashhour, 1964; Mateeff, Dimitrov y Hohnsbein, 1995; Tynan y Sekuler, 1982). Dicha función puede ser escrita de la siguiente forma:

$$TR = \beta \cdot V^{-\gamma} + t_0 \quad (5.1)$$

donde TR es el tiempo de reacción,  $\beta$  un parámetro de ajuste,  $V$  la velocidad,  $\gamma$  el exponente y  $t_0$  un tiempo de reacción asintótico relacionado con la complejidad de la tarea y la “disposición”<sup>61</sup> del sujeto a responder (Link, 1992). Los últimos dos parámetros son característicos de la modalidad sensorial, mientras que el primero ( $\beta$ ) estaría relacionado con las unidades del estímulo y depende del rango de variación del TR (Bonnet y Dresch, 2001). El exponente ( $\gamma$ ) se relaciona con la respuesta sensorial del sujeto y es un parámetro, en principio, sólo sensitivo, aunque está directamente vinculado a la tarea (incluyendo el tipo de estímulo que se utilice) y a la modalidad sensorial (Maiche et al., 2000). Sin embargo, el último parámetro ( $t_0$ ) se relaciona con el criterio de respuesta del sujeto (Bonnet y Link, 1998; Link y Bonnet, 1998).

A fin de verificar si el TR es sensible a los cambios en la velocidad percibida, se relaciona el efecto de la orientación de las líneas sobre la velocidad percibida encontrado en el experimento 1 con el efecto sobre el TR que se verifica en el presente experimento. Resulta evidente que esta comparación debe tener en cuenta aspectos diferenciales como los tipos de

---

<sup>61</sup> Como mencionamos anteriormente (pág. 78), la palabra “disposición” proviene de la traducción de la palabra original utilizada por Link (1992): “willingness”.

medida utilizados (TR –variable continua– vs. probabilidad de acierto en el experimento 1) o el rango de las velocidades estudiadas. Para permitir el análisis comparativo de los resultados, los diferentes tipos de medida deben ser considerados dentro de un mismo marco conceptual (Hu, 2001). El rango de velocidades evaluadas en este experimento es más amplio que el utilizado en el experimento 1 ya que, también se pretende en este experimento, disponer de datos suficientes para discriminar con mayor precisión las diferencias en el procesamiento de las velocidades altas y las bajas, que han sido reportadas previamente (Castet et al., 1993; Dzhafarov et al., 1993; Zanker et al., 1999) y que nuestros resultados anteriores (véase experimento 1) confirman. Asimismo, el rango 1°/seg. – 16°/seg. ya ha sido utilizado en otros trabajos sobre el TR al inicio del movimiento (Dzhafarov et al., 1993).

Asumiendo que el TR expresa una estimación de la sensibilidad en general (Luce, 1986; pero véase también el capítulo 4 de este trabajo), podemos suponer que las variaciones de TR aportarán información relevante con respecto a la velocidad percibida de un movimiento visual. Esta asunción se basa en que las diferencias de TR entre los diferentes sujetos corresponden fundamentalmente a cambios en el criterio de respuesta y no a diferencias en la respuesta sensorial de los mismos. Para afirmar lo anterior, nos hemos basado en el análisis de nuestros resultados (véase apartado 5.2.3) ejecutado a través del modelo de análisis de datos de TR descrito en el capítulo 4.

## **5.1 Método**

### **5.1.1 Sujetos**

Se utilizaron los mismos 3 sujetos entrenados que en el experimento 1 (sujeto A de 29 años, sujeto J de 35 y sujeto P de 25) más un nuevo sujeto, también entrenado, pero de 59 años (Sujeto S) con visión normal corregida. La inclusión de un nuevo sujeto de mayor edad resulta interesante a fin de facilitar la comprobación de la capacidad del modelo para discriminar diferencias de TR provenientes de cambios en el criterio de respuesta o de cambios en la sensibilidad.

### **5.1.2 Aparatos**

El *software* se ejecuta sobre un ordenador Pentium II, 400 hercios. Los estímulos se presentaron sobre un monitor color de alta resolución EIZO 21'' (53.34 cm de diagonal) con una resolución de pantalla de 1280 × 1024 píxeles; 8 bits por píxel y una frecuencia de refresco de 85 hercios no entrelazados. Los sujetos observaban la secuencia con visión binocular. Un *timer* externo que se ejecuta sobre un segundo PC conectado al Pentium II y a un dispositivo

especial de 2 botones (caja de respuestas) se utilizó para medir los TR. Con ayuda de una mentonera se fijaba la visión de los sujetos en el centro exacto de la pantalla a 60 cm de distancia, es decir, con un ángulo de visión global vertical de  $31.04^\circ$  y horizontal de  $38.8^\circ$

### 5.1.3 Estímulos

Se utilizaron los mismos estímulos que en el experimento 1, pero con las variaciones que imponen las diferencias en la tarea. Los estímulos (véase figura 3.2) aparecían en el centro del monitor y después de un intervalo de tiempo aleatorio de entre 510 y 700 milisegundos empezaban a moverse. El movimiento es generado por el *software* a través del volcado en pantalla de las líneas adyacentes desde la memoria gráfica de la tarjeta de video con una tasa de refresco del monitor de 85 Hz. Por tanto, las imágenes de la secuencia se volcaban en pantalla cada 11.7 milisegundos desde la memoria de vídeo en sincronía con la frecuencia de refresco. La duración del movimiento variaba de manera aleatoria entre 100 y 290 milisegundos a fin de minimizar el uso de la distancia recorrida y reducir la posibilidad del sujeto de seguir al objeto con la mirada (*pursuit*). La dirección del movimiento variaba de manera aleatoria (izquierda o derecha) en los diferentes ensayos. Tal como sucedía en el experimento 1, la luminancia de todas las líneas utilizadas es de  $50 \text{ cd.m}^{-2}$  y se presentan sobre fondo negro con luminancia media de  $0.3 \text{ cd.m}^{-2}$  en un ambiente muy poco iluminado.

### 5.1.4 Procedimiento

La tarea consiste simplemente en indicar la dirección del movimiento tan rápidamente como sea posible, mediante dos de los botones de la caja de respuestas que permanece conectada a un segundo ordenador que graba la respuesta del sujeto y registra el TR. Se trata, por tanto, de una tarea de discriminación de la dirección del movimiento (*choice Reaction Time*) donde el sujeto utiliza cualquiera de sus manos para emitir la respuesta. Según las investigaciones existentes, no se encuentran diferencias significativas entre los sujetos que utilizan, por ejemplo, la mano izquierda y los que utilizan la mano derecha para emitir su respuesta. Asimismo (Baxter, 1942), comprueba que las diferencias individuales halladas resultan independientes de que el sujeto sea zurdo o diestro. Los posibles efectos de anisotropía sobre la dirección (izquierda vs. derecha) fueron verificados mediante un pequeño experimento control que permitió descartar toda posibilidad de diferencias sistemáticas en el TR al inicio del movimiento debidas a factores perceptuales y que estuvieran en función de la dirección del movimiento.

La orientación de los estímulos y la velocidad de los mismos varía de ensayo a ensayo siguiendo las reglas del método de estímulos constantes con bloques mezclados por cada 25

presentaciones del estímulo (5 orientaciones \* 5 velocidades). La elección del método de estímulos constantes con bloques mezclados responde a la intención de que el sujeto mantenga el mismo criterio de respuesta ante las variaciones de ambas variables (orientación y velocidad). La posibilidad de presentar bloques mezclados por orientación y por velocidad es una de las ventajas de la metodología basada en el estudio de los TR, que no resulta aconsejable para una tarea de igualación como la que se usa en el experimento 1.

Cada sesión contiene 250 ensayos: 10 repeticiones por nivel de velocidad y orientación. En este experimento se evalúan 5 niveles de velocidad (1.12; 2.06; 4.12; 8.06 y 15.94°/seg.) y 5 de orientación (0°; 22.5°; 45°; 67.5° y 90°) que corresponden a los estudiados en el experimento 1<sup>62</sup> (véase figura 3.2). La duración aproximada de cada sesión experimental es de 20 minutos y cada sujeto realiza 10 sesiones experimentales (sin contar la fase de entrenamiento), contabilizando así un total de 2500 ensayos (100 puntos por condición). La dirección del movimiento varía aleatoriamente. Los sujetos no disponen de ningún tipo de *feedback* para realizar la tarea. Entre ensayo y ensayo, se intercala una pantalla negra de 3 segundos de duración para evitar los efectos post-imagen del estímulo anterior.

## 5.2 Resultados

Dado que los errores que se registran en este tipo de tareas sólo se deben a la presión temporal, el nivel de aciertos promedio de los sujetos es cercano al 98%. Por tal motivo, en los resultados que exponemos a continuación no se analiza la precisión de la respuesta (es decir, no se consideran los errores) sino que se analizan sólo las medidas de TR obtenidas. Para la depuración de los datos se ejecutó un procedimiento en dos fases secuenciales. En primer lugar, se eliminan todas las respuestas erróneas (aproximadamente el 2% del total) así como todos los ensayos cuyo TR sea inferior a 100 milisegundos (ya que se consideran anticipaciones del sujeto). También se eliminan todos los ensayos cuyo TR sea mayor que 1 segundo. En una segunda fase de la depuración, se eliminan aquellos ensayos cuyo TR se ubique más allá de la media más/menos dos amplitudes intercuartiles ( $\mu \pm 2AI$ )<sup>63</sup>.

---

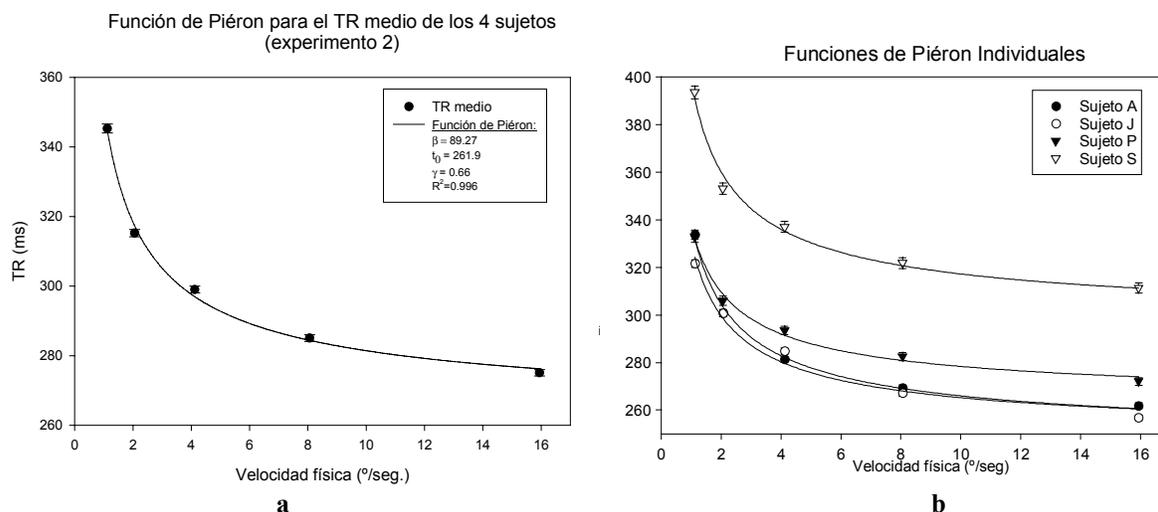
<sup>62</sup> Nótese que en éste experimento se estudian cinco niveles de velocidad (1.12; 2.06; 4.12; 8.06 y 15.94°/seg.) a diferencia de los solamente dos que se evalúan en el experimento 1 (2.06 y 15.94°/seg.). Evidentemente, la simplicidad de la tarea planteada en el experimento 2 permite abordar el estudio de un rango mayor de velocidades.

<sup>63</sup> La media y la amplitud intercuartil se calculan sobre los datos obtenidos para cada velocidad y por cada sujeto de manera independiente.

### 5.2.1 El efecto de la velocidad sobre el TR

Una primera representación de los resultados obtenidos aparece en la figura 5.1b donde se muestra la variación del TR medio para cada uno de los sujetos -a través de todas las orientaciones- en función de la velocidad física. Se ajustan estos datos a una función de Piéron (véase ecuación 5.1) considerando un valor fijo del exponente, en función de la asunción de que los sujetos presentan la misma respuesta sensorial a la tarea (véase más adelante).

Partimos de la asunción (confirmada por el análisis de las funciones de acumulación que se presenta más adelante) de que los cuatro sujetos presentan la misma respuesta sensorial ante la tarea, dado que no presentan ningún tipo de deficiencia visual. Las funciones de Piéron con exponentes iguales reflejan una sensibilidad similar (Saleh y Bonnet, 2001) y, por consiguiente, consideraremos al exponente de la función que describe la variación de los TR medios para todos los sujetos en función de la velocidad (figura 5.1b), como el exponente que debe caracterizar a cada una de las funciones de Piéron individuales. El ajuste de los datos de TR medio para los cuatro sujetos permite obtener un valor del exponente de 0.66 (figura 5.1a). Dicho parámetro es un indicador de la respuesta sensorial y, además, coincide con el valor propuesto por Dzhafarov et al. (1993) para una tarea de TR a la detección del inicio del movimiento.



**Figura 5.1:** (a) Función media de la variación de TR para todos los sujetos. (b) Variación del TR en función de la velocidad física a través de todas las orientaciones y para cada uno de los sujetos. El exponente  $\gamma$  es fijo y vale 0.66. Los otros parámetros de cada función se presentan en la tabla 5.1. Las barras de error representan  $\pm 1$  error estándar.

Asimismo, como se muestra más adelante, este valor coincide con el exponente de la función de Sensibilidad hallada mediante el modelo de análisis de los TR, que se obtiene a partir de la variación de los interceptos de las funciones de acumulación (véase apartado 5.2.3). Por tanto, pensamos que es factible asumir un exponente general que caracterice la respuesta

sensorial de todos los sujetos utilizados y, en particular, para la tarea propuesta con los estímulos utilizados en este experimento. En este sentido, los diferentes ajustes de las funciones de Piéron individuales se realizan asumiendo el exponente  $\gamma=0.66$  que, por otra parte, permite obtener coeficientes de ajuste muy satisfactorios (véase tabla 5.1)<sup>64</sup>. Todas las demás pruebas realizadas con otros valores fijos para el exponente no mejoraban los coeficientes de ajuste. Los demás parámetros que se obtienen para las funciones de Piéron individuales se presentan en la tabla 5.1. Como se puede apreciar en la figura 5.1, el sujeto S (59 años) presenta TR mucho mayores y con mayor variabilidad que los tres sujetos jóvenes. Estas variaciones interindividuales responden, como se demostrará más adelante, a diferencias en el criterio de respuesta (factores decisionales) de los sujetos, y no a diferencias en la sensibilidad de los mismos. Por esta razón es que se considera justificado el tomar un único valor del exponente para cada una de las funciones de Piéron individuales.

**Tabla 5.1:** Parámetros de la Función de Piéron para cada sujeto a través de todas las orientaciones.

Sujeto	Parámetros de la función Piéron			Coefficiente de ajuste
	$\beta$	$\gamma$	$T_0$	$R^2$
A	92.91	0.66	245.91	0.996
J	83.00	0.66	247.34	0.981
P	75.42	0.66	262.04	0.991
S	103.40	0.66	294.91	0.989

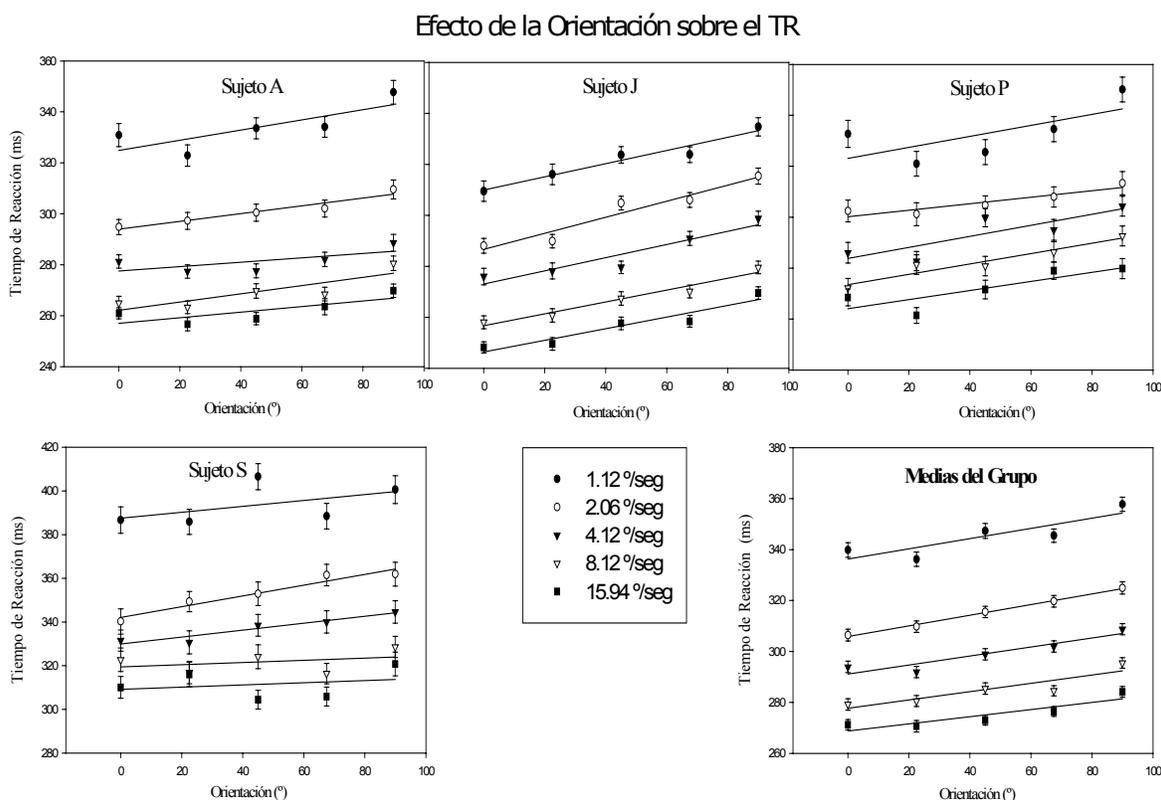
### 5.2.2 El efecto de la orientación sobre el TR

En la figura 5.2 se grafican los datos de TR en función de la orientación de las líneas que componen el estímulo. El análisis visual de los resultados, descriptivamente, revela un incremento medio en el tiempo de reacción a medida que el estímulo se aproxima a la horizontal. Este efecto experimental se sometió a prueba mediante un ANOVA de medidas repetidas con dos factores (orientación y velocidad). Los resultados de este análisis revelan la existencia de un efecto estadísticamente significativo de la orientación y la velocidad ( $F_{4,12} = 28.92$ ,  $p < 0.001$  y  $F_{4,12} = 142.07$ ,  $p < 0.001$ ) sobre el TR, no detectándose ningún efecto relevante más (véase apartado 5.3).

Las pendientes de las funciones lineales obtenidas para modelar el crecimiento del TR en función de la orientación tienden a disminuir con el aumento de la velocidad física (véase tabla 5.2). Si consideramos al valor de la pendiente como un indicador de la magnitud del efecto de

<sup>64</sup> Recuérdese que en el ajuste de una función hiperbólica (función de Piéron) con 3 parámetros mediante el método de Levenberg-Marquart, los parámetros presentan un altísimo grado de interdependencia. La dependencia matemática entre los parámetros representa una dificultad importante a tener en cuenta ante la estimación de los parámetros que se obtienen tanto en éste experimento como para los resultados del experimento 3 (véase apartado 6.2.1).

la orientación sobre el TR, podemos asumir que el efecto de la orientación sobre el TR disminuye con el aumento de la velocidad. Esto estaría indicando la presencia de una interacción entre ambos factores que, sin embargo, no aparece significativa en el ANOVA (presumiblemente debido a su escaso poder). Asimismo, recuérdese que en los resultados del experimento 1 también se podía apreciar que el efecto de subestimación de la velocidad percibida producido por la orientación de los estímulos tendía a disminuir con el aumento de la velocidad física del estímulo (p.e. véase figura 3.4) lo cual, además, resulta coherente con los resultados obtenidos por Castet et al. (1993).



**Figura 5.2:** Variación del TR en función de la orientación de los estímulos para cada una de las velocidades estudiadas. Se presenta un gráfico por sujeto y otro que resume la variación media de los cuatro sujetos estudiados (ángulo inferior derecho). Las barras de error representan  $\pm 1$  error estándar.

**Tabla 5.2:** Parámetros de las funciones lineales de TR y orientación. Denominamos con la letra *a* el valor de la pendiente y mediante la letra *b* al intercepto de cada función.

Sujeto	1.12°/seg		2.06°/seg		4.12°/seg		8.06°/seg		15.94°/seg	
	<i>A</i>	<i>B</i>								
<b>A</b>	0.20	324.82	0.15	293.97	0.09	277.51	0.16	262.12	0.11	257.02
<b>J</b>	0.26	309.91	0.31	286.66	0.26	273.02	0.23	256.67	0.23	246.35
<b>P</b>	0.22	323.08	0.13	300.18	0.22	283.83	0.20	273.53	0.18	264.04
<b>S</b>	0.14	387.49	0.25	342.07	0.16	329.91	0.05	319.43	0.05	309.12
<b>Grupo</b>	<b>0.20</b>	<b>336.26</b>	<b>0.21</b>	<b>305.84</b>	<b>0.18</b>	<b>291.11</b>	<b>0.16</b>	<b>277.73</b>	<b>0.14</b>	<b>268.80</b>

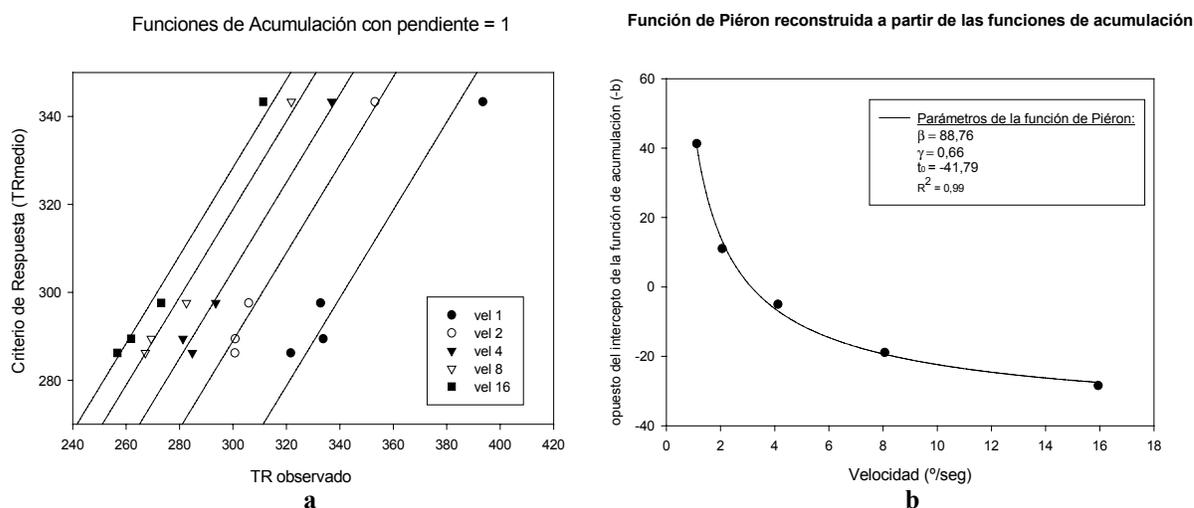
La disminución del efecto de la orientación al aumentar la velocidad física constituye un argumento más para relacionar el TR con la velocidad percibida. Obsérvese que, tanto en el experimento 1 como en el experimento 2, el efecto de la orientación es de menor importancia para las velocidades altas que para las bajas. En este sentido, podemos pensar que la orientación no ejerce un papel preponderante en la velocidad percibida cuando las señales de velocidad física son suficientemente fuertes, mientras que, cuando la señal de velocidad es tenue, la orientación de las líneas ejerce una influencia mayor.

### 5.2.3 Diferencias individuales: sensibilidad y criterio de respuesta

A fin de estudiar con mayor profundidad las diferencias inter e intra individuales que presentan los resultados de TR obtenidos, analizaremos los datos de TR siguiendo el modelo de análisis propuesto por Bonnet y Link (1998). Buena parte de los procedimientos que utiliza este análisis se mostraron, con objetivos didácticos, en el capítulo 4. En este apartado, aplicaremos este tipo de análisis con el objetivo de demostrar dos aspectos importantes de la variación del TR. Por un lado, que las diferencias inter individuales de TR corresponden a cambios del criterio de respuesta. Es decir, que las diferencias de TR que presentan los sujetos no responden a cambios en la sensibilidad sino que están relacionadas con factores decisionales y con la disposición a responder de cada uno de ellos. Por otro lado, intentaremos mostrar que la respuesta sensorial se mantiene estable dentro de cada una de las condiciones de orientación utilizadas, pero que ésta varía con la orientación de manera que, a mayor ángulo, mayor capacidad discriminativa de los sujetos ante los cambios en la velocidad física (excepto para la condición de  $90^\circ$ , que resulta un caso particular, como se muestra más adelante). Los cambios en la respuesta sensorial ligados a la orientación se verifican a partir de la variación del exponente de las funciones de Sensibilidad (véase figura 5.5). La variación que muestran estos exponentes en función de la orientación es un argumento en favor de la presencia de una interacción entre la orientación y la velocidad (véase recuadro interno de la figura 5.5).

El modelo de análisis utilizado parte de que las pendientes de las funciones de acumulación de la información deben valer 1 cuando todos los sujetos presentan la misma sensibilidad y cuando la discriminación es casi perfecta. El alejamiento de los datos de TR de alguno de los sujetos de la función de acumulación estimada (con pendiente igual a 1), es evidencia de una sensibilidad diferente de este sujeto (véase, como ejemplo, el gráfico de la figura 4.3).

En la figura 5.3a se presentan las funciones de acumulación con pendiente igual a 1 para cada nivel de intensidad (velocidad física, en este caso<sup>65</sup>) y para los cuatro sujetos. Los coeficientes de ajuste que se obtienen para las cinco funciones lineales son satisfactorios ( $R^2 \geq 0.9$ ). La función de Sensibilidad para los cuatro sujetos (reconstruida a partir de los interceptos de las funciones de acumulación) se muestra en la figura 5.3b y los valores de los parámetros que la caracterizan se muestran en el recuadro interior de la misma figura. El exponente de la función de Sensibilidad representa el indicador más preciso de la respuesta sensorial de los sujetos. Obsérvese que se obtiene un exponente de 0.66 para dicha función (véase recuadro interno de la figura 5.3b), lo cual es consistente con la función ajustada a partir de los resultados de TR medio que se presentan en la figura 5.1a.



**Figura 5.3:** (a). Funciones de acumulación de la información sensorial para cada velocidad del estímulo (a través de todas las orientaciones) y para los cuatro sujeto evaluados. (b) Función de la Sensibilidad de los cuatros sujetos, reconstruida a partir de la variación de los interceptos de las funciones de acumulación. El exponente de dicha función (0.66) representa la respuesta sensorial de los sujetos en la tarea.

La pertenencia de los diferentes puntos de TR de los cuatro sujetos a una misma función de acumulación para cada intensidad (figura 5.3a) nos permite concluir que las diferencias de TR entre los sujetos se deben a cambios en el criterio de respuesta y no en la sensibilidad. Por lo tanto, podemos asumir que los TR más elevados que presenta el sujeto S (59 años) corresponden a un criterio de respuesta más alto, pero no a una disminución de su sensibilidad más temprana. Habitualmente se reporta que los sujetos de mayor edad presentan TR mayores en tareas de bajo nivel como las utilizadas aquí (p.e. véase Porciatti, Fiorentini, Marrone y Burr; 1999). Sin embargo, los diferentes autores no son generalmente concluyentes con

<sup>65</sup> En este primer análisis de los resultados del experimento según el modelo, se presentan los resultados considerando a la velocidad física como variable de intensidad, a través de todas las orientaciones. más adelante (véase figura 5.4) se analizan separadamente para cada orientación.

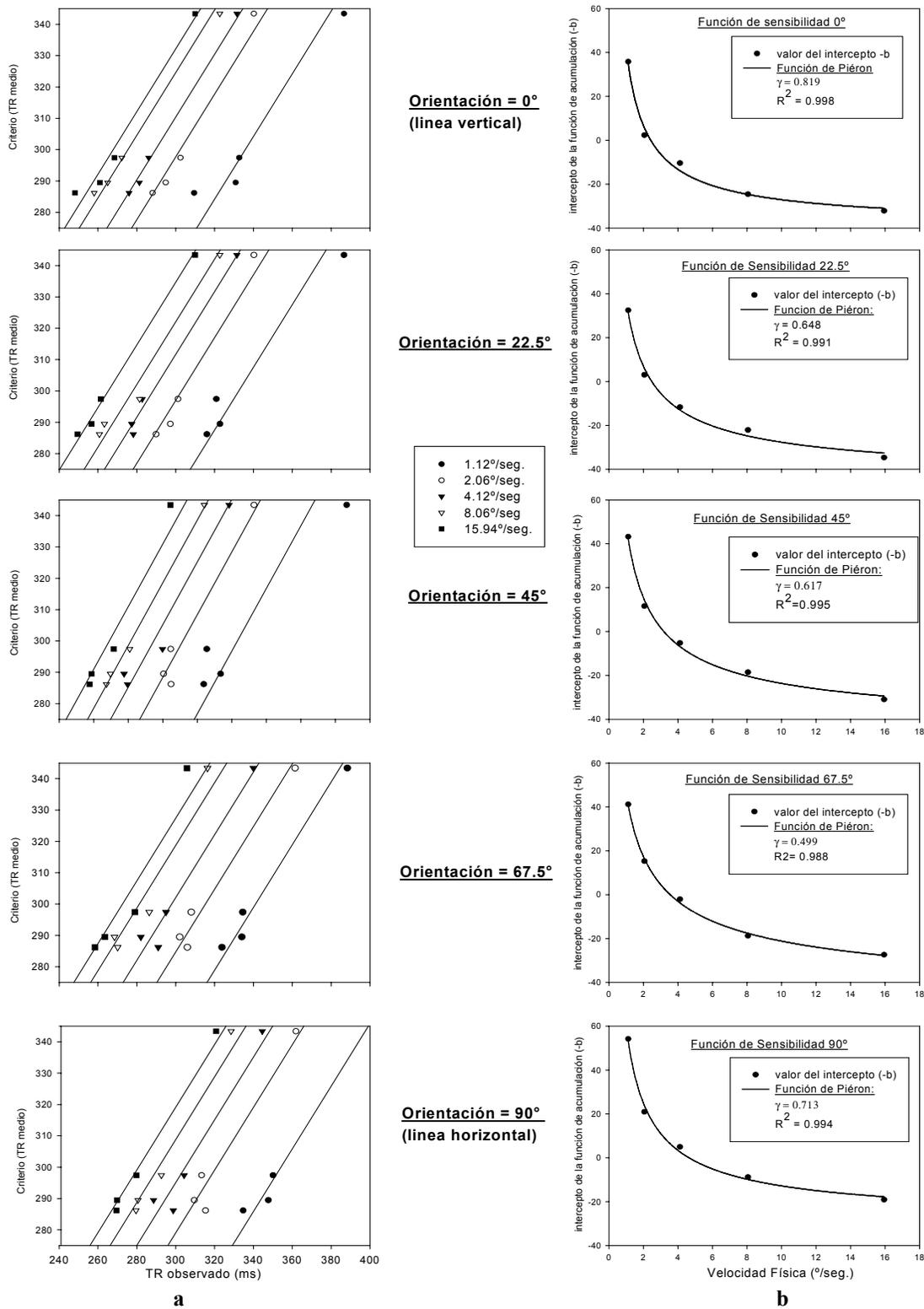
respecto a los factores que explican dicho aumento. Por el momento, no se conoce con exactitud la razón de este aumento de los TR con la edad aunque, podría significar que el tratamiento de la información es en general más lento sin que esto implique necesariamente una discriminación de la sensibilidad más temprana.

Por otra parte, cabe preguntarse qué sucede con respecto a la respuesta sensorial de los sujetos ante las diferentes orientaciones del estímulo. En definitiva, una pregunta importante de este trabajo es sobre el efecto de la orientación en el procesamiento de la información de velocidad y, en tal sentido, es necesario determinar a qué factores corresponde el aumento del TR que se registra a medida que los estímulos se aproximan a la horizontal. El aumento de TR que se registra cuando “aumenta” la orientación, ¿corresponde a un cambio de criterio o corresponde a un cambio en la respuesta sensorial?.

La figura 5.4a muestra las funciones de acumulación para cada una de las orientaciones estudiadas. Se puede observar como para cada condición de orientación los datos de los cuatro sujetos pertenecen a la misma función de acumulación para cada velocidad, lo cual verifica que la respuesta sensorial a los cambios de la velocidad física es la misma dentro de cada condición. Sin embargo, para las diferentes orientaciones los exponentes de las funciones de Sensibilidad varían (véase figura 5.4b y recuadro interno de figura 5.5). Esto podría indicar que la orientación interviene directamente en la respuesta sensorial a la detección del inicio del movimiento como una variable de intensidad, aunque el efecto que ella provoca (al menos en los TR) es cualitativamente<sup>66</sup> y cuantitativamente diferente al que producen los cambios en la velocidad física.

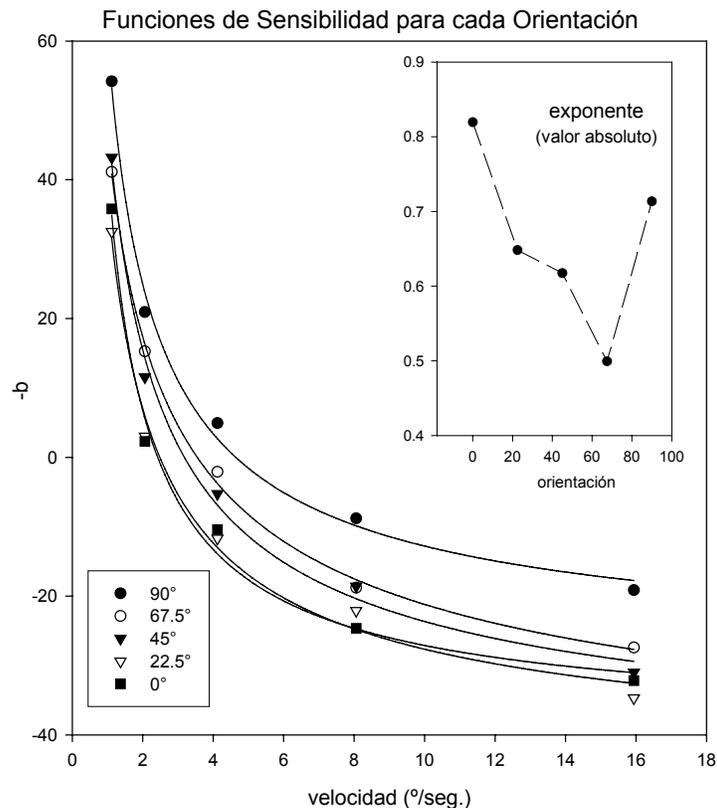
---

<sup>66</sup> A modo de ejemplo, mientras que asumimos una variación lineal del TR en función de la orientación (figura 5.2), la variación del TR en relación a la velocidad física es claramente de tipo hiperbólico (figura 5.1).



**Figura 5.4:** (a) Funciones de acumulación de la información para cada orientación del estímulo. (b) Funciones de Sensibilidad, es decir funciones de Piéron que describen la variación de los interceptos de las funciones de acumulación en función de la intensidad (velocidad física, en este caso). Los exponentes de estas funciones, indican la respuesta sensorial de los sujetos y aparecen en los recuadros internos de cada uno de los gráficos.

La figura 5.5 presenta, en un solo gráfico, las cinco funciones de Sensibilidad estimadas para cada una de las orientaciones estudiadas. Dado que el exponente de dichas funciones es el indicador por excelencia del componente sensorial de la respuesta, se presenta también la variación del mismo en función de la orientación (véase recuadro interno en la figura 5.5). Obsérvese que el valor absoluto del exponente decrece con la orientación, salvo para la condición de 90° (línea horizontal). Esta disminución del exponente evidencia un cambio en la respuesta sensorial ligado a la orientación de los estímulos y reafirma, por tanto, la presencia de una interacción entre la velocidad física y la orientación de los estímulos. Sin embargo, poco podemos profundizar, en este momento, con respecto al significado de la disminución del exponente. En principio, y a partir de la relación entre el rango sensorial y el exponente de la función de Piéron en otras modalidades sensoriales (véase p.e. Bonnet et al., 1999), podemos pensar (de manera especulativa, por el momento) que a mayor exponente de la función de Sensibilidad corresponde un menor rango sensorial y, por tanto, una menor sensibilidad en la respuesta. En este sentido, la disminución del exponente en función de la orientación podría relacionarse con una mayor capacidad discriminativa de la respuesta (estas ideas se analizarán con mayor detalle en la discusión del presente experimento).



**Figura 5.5:** Funciones de Sensibilidad (variación del intercepto de las funciones de acumulación en función de la velocidad física) para cada una de las orientaciones. En el recuadro superior se muestra la variación del exponente de dichas funciones.

### 5.2.4 El cálculo de la Velocidad Percibida

A continuación, se propone un procedimiento para la obtención de las velocidades percibidas a partir de los datos de TR. La obtención de información de carácter perceptivo (velocidad percibida) a partir de datos cuantitativos (TR) que no provengan de un juicio del sujeto (“mas rápido que...”) constituye una opción cuanto menos arriesgada, dado el escaso desarrollo teórico de este tipo de procedimientos en Psicología Experimental.

Si bien compartimos con Cattell (1902) el principio que establece que los estímulos que provocan la misma respuesta discriminativa producirán iguales TR, pensamos que este principio sólo puede aplicarse al componente del TR que corresponde a la etapa sensorial (véase capítulo 4). Sin embargo, no disponemos aún de suficientes procedimientos matemáticos que nos habiliten a descomponer el TR observado en los valores de las latencias de cada una de sus etapas (sensorial, perceptual, decisional y motriz). En todo caso, disponemos de indicadores globales que se relacionan con cada una de estas latencias, como es el caso de la interpretación de los parámetros de la función de Piéron (véase más arriba) o la que esbozamos anteriormente con respecto al exponente de la función de Sensibilidad. En este sentido, la propuesta que planteamos aquí para el cálculo de las velocidades percibidas debe considerarse como una idea inicial que esperamos sirva de base para futuros desarrollos.

Consideramos a la orientación de los estímulos como una variable que afecta a la velocidad percibida (como se demuestra en el experimento 1) y que, por tanto, puede ser tratada como una variable de intensidad del estímulo. Sin embargo, el efecto de su variación sobre el TR (figura 5.2) no es análogo al provocado por los cambios en la velocidad física (véase figura 5.1b), debido seguramente a las particulares características del tratamiento de la información que realiza nuestro sistema visual para percibir la velocidad (véase apartado 1.3). En este sentido, consideramos que las variaciones de TR producidas por los cambios en la orientación de las líneas de estímulos con igual velocidad física responden a cambios en la intensidad de la señal que proviene fundamentalmente de la etapa sensorial del TR y no de la etapa decisional (criterio de respuesta). Así lo evidencian, por ejemplo, los diferentes valores del exponente de las funciones de Sensibilidad para cada una de las orientaciones. La variación de dicho exponente en función de la orientación refleja, en principio, la variación en la respuesta sensorial producida por el factor orientación.

A fin de desarrollar un procedimiento para el cálculo de la velocidad percibida en función de la orientación partimos de dos ideas: por un lado, que los cambios en el TR responden a cambios en la intensidad, es decir, en la información sobre velocidad y, por otro lado, que la velocidad percibida de una línea vertical (orientación = 0°) corresponde al valor de

velocidad física con que se mueve el estímulo<sup>67</sup>. A partir de estas dos premisas, se ajustan funciones de Piéron para cada orientación de los estímulos. Los ajustes se realizan con sólo dos parámetros libres (el exponente  $\gamma$  y el parámetro  $\beta$ ), ya que el parámetro  $t_0$  se fija en el valor ya obtenido para cada uno de los sujetos (tabla 5.1). Esta elección se apoya en que dicho parámetro es un indicador del criterio de respuesta utilizado por cada uno de los sujetos a lo largo de todo el experimento y que, en principio, no cambia<sup>68</sup>.

Una vez obtenidas las funciones de Piéron para cada orientación, se considerarán los TR calculados en cada una de estas funciones (suavizados) con el objetivo de minimizar los efectos de la variabilidad de los datos observados. Dicha derivación se avala en el hecho de que la gran mayoría de autores que han investigado la relación entre el TR y la velocidad física coinciden en afirmar que la variación del TR en función de la velocidad física corresponde claramente a una función de Piéron (Dzhafarov et al., 1993; Hohnsbein y Mateeff; 1992; Maiche et al., 2001; Mateeff y Hohnsbein, 1996; Pins y Bonnet, 1996). Del cociente entre el TR provocado por la línea vertical (orientación  $0^\circ$ ) y el TR provocado por un estímulo de orientación  $\alpha$ , se obtiene el factor por el cual se modulará la velocidad física a fin de obtener la velocidad percibida. Este procedimiento, que se repite para cada condición de velocidad física evaluada en el experimento y para cada sujeto, se puede describir con más detalle -en términos matemáticos- a través de los siguientes pasos:

- 1) Ajuste de las funciones de Piéron para cada orientación y por sujeto, utilizando el valor de  $t_0$  obtenido para la función de Piéron global (a través de todas las orientaciones) de cada sujeto (véase tabla 5.1). Los valores de los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  que se obtienen para cada uno de los sujetos se muestran en la tabla 5.3.

**Tabla 5.3:** Valores de los parámetros  $\beta$  y  $\gamma$  de las diferentes funciones de Piéron para cada sujeto y para cada orientación de los estímulos. El parámetro  $t_0$  es el mismo que en figura en la tabla 5.1 para cada sujeto.

Sujeto	$0^\circ$		$22.5^\circ$		$45^\circ$		$67.5^\circ$		$90^\circ$	
	$\beta$	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$	$\beta$	$\gamma$
<b>A</b>	90.0	0.718	84.2	0.721	94.1	0.727	93.9	0.67	105.3	0.588
<b>J</b>	70.1	0.786	76.3	0.781	85.4	0.667	85.01	0.574	94.5	0.481
<b>P</b>	78.2	0.896	65.4	0.770	68.1	0.574	75.3	0.573	90.3	0.578
<b>S</b>	93.9	0.702	95.5	0.680	118.5	0.788	103.5	0.678	109.6	0.57

<sup>67</sup> Nótese que esta premisa es diferente a la que se asume en el experimento 1. Aunque, los valores de velocidad percibida para la línea vertical fueron, en casi todos los casos, muy similares a la velocidad física. En este sentido, y con el objetivo de simplificar el procedimiento de cálculo, consideraremos aquí que la línea vertical es percibida directamente con su velocidad física.

<sup>68</sup> Se asume que el criterio de respuesta se mantiene estable para todo el experimento gracias a la utilización del método de estímulos constantes con bloques mezclados y a que los sujetos realizaron todas las sesiones en un corto lapso temporal (alguno, incluso en un mismo día).

- 2) Se calculan los TR para cada orientación y por sujeto. Dicho cálculo proviene de la siguiente ecuación:

$$TR(o) = \beta_o \cdot V^{\gamma_o} + t_0 \quad (5.2)$$

donde  $TR(o)$  es el TR para la orientación  $o$ ;  $\beta_o$  y  $\gamma_o$  son los parámetros que corresponden a la función de Piéron para esa orientación (tabla 5.3),  $V$  representa a la velocidad física del estímulo y  $t_0$  es el valor del parámetro  $t_0$  que se obtiene para cada sujeto en la función de Piéron global, a través de todas las orientaciones (tabla 5.1).

- 3) La velocidad percibida se obtiene, por tanto, a partir de resolver esta nueva ecuación para cada valor de velocidad física ( $V$ ) y orientación ( $O$ ) del estímulo<sup>69</sup>:

$$V_p = V \cdot TR(0^\circ) / TR(o) \quad (5.3)$$

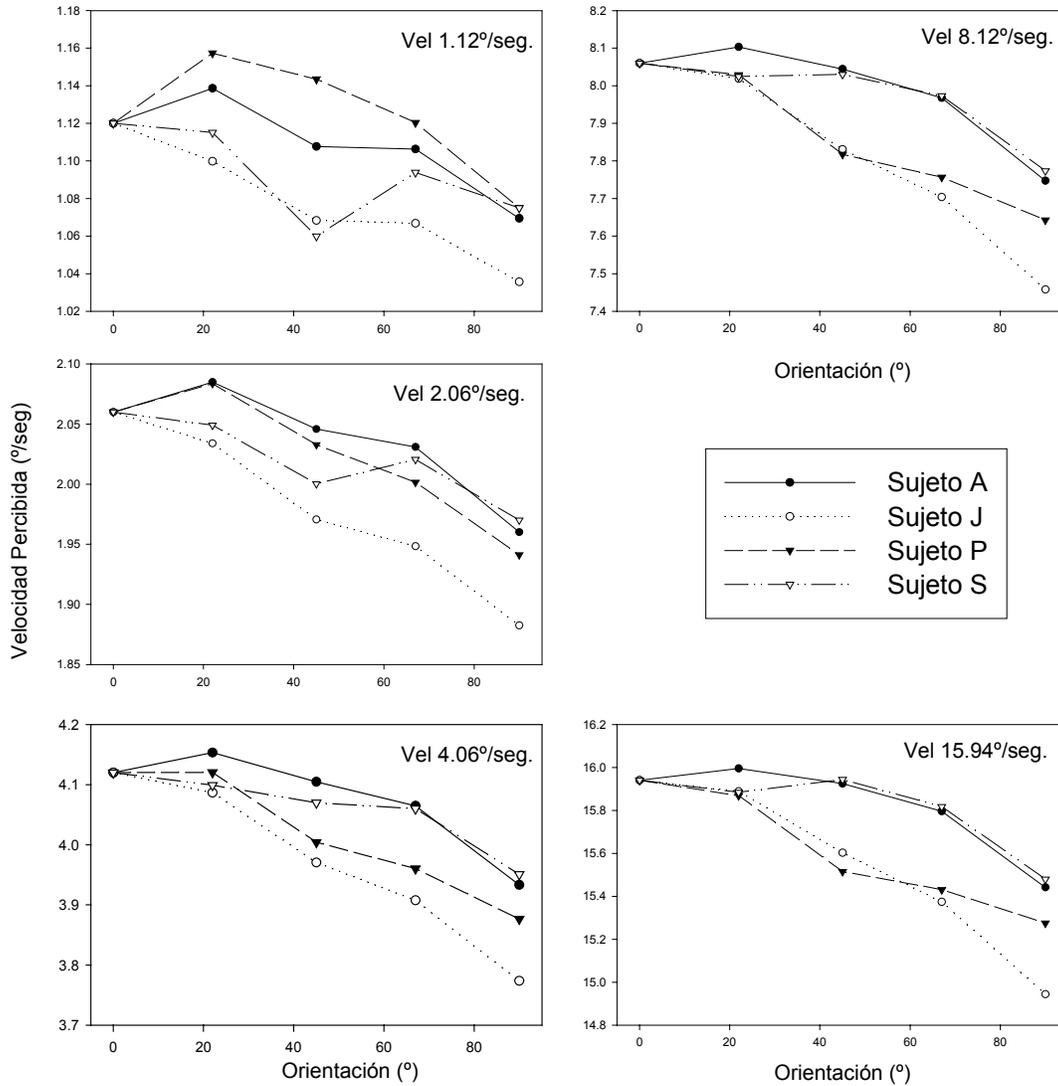
De esta manera, se obtienen los valores de velocidad percibida para cada uno de los sujetos y para cada orientación del estímulo. Los resultados se representan en la figura 5.6 en un gráfico por cada velocidad física. Obsérvese como los perfiles de variación de la velocidad percibida para cada sujeto son similares para todas las velocidades físicas. Esto refuerza la posibilidad de utilizar el presente procedimiento para el cálculo de las velocidades percibidas ya que, en función del método mediante el cual se realizó el experimento, no cabría esperar grandes diferencias en la evolución de la velocidad percibida para un mismo sujeto. Además, la magnitud del efecto de la orientación sobre la velocidad percibida sí varía con la velocidad física, verificándose lo ya comprobado en el experimento 1 con respecto a que en las velocidades bajas el efecto de la orientación parece tener mayor importancia (véase figura 5.7).

Obsérvese también que los resultados del panel superior izquierdo de la figura 5.6 (velocidad = 1.12°/s) muestran una mayor variabilidad del efecto de la orientación sobre la velocidad percibida. Esta mayor variabilidad se encuentra probablemente relacionada con el particular procesamiento de la velocidad más baja elegida para este estudio (véase la discusión de este experimento), lo que determina que los sujetos presenten un comportamiento más variable. Este aspecto también se verificó en el análisis de las diferencias individuales (apartado 5.2.3) que se llevó a cabo mediante el modelo de Bonnet y Link (1998). Concretamente, en la figura 5.3a se puede comprobar visualmente que el ajuste de la función de acumulación correspondiente a esta intensidad (1.12°/seg) no resulta tan satisfactorio como

---

<sup>69</sup> Nótese que para la línea vertical el cociente de TR es igual a 1 y por tanto la  $V_p = V$ . Lo cual es coherente con la asunción de la cual partimos referente a que la velocidad que se percibe de la línea vertical es equivalente a la velocidad física del estímulo.

para las demás intensidades. Una explicación más detallada de este particular comportamiento de la velocidad más baja se presenta en el apartado 5.3.



**Figura 5.6:** Variación de la velocidad percibida en función de la orientación de los estímulos para cada sujeto. Cada gráfico muestra la variación en cada una de las velocidades físicas.

Con el objetivo de comparar los resultados del experimento 1 con los del presente experimento, transformamos los resultados de velocidad percibida en una variable común para todas las velocidades físicas estudiadas. En este sentido, y siguiendo lo ya expuesto en la presentación de resultados del experimento 1, trabajaremos con la velocidad relativa ( $V_r$ ) como variable dependiente a fin de cuantificar y comparar el efecto introducido por la orientación para cada velocidad física. De forma análoga a la definición que se utilizó en el experimento 1 (véase apartado 3.2), definimos Velocidad Relativa ( $V_r$ ), para este experimento en particular,

como el cociente entre la velocidad percibida del estímulo con orientación diferente de  $0^\circ$  y la velocidad percibida de la línea vertical (orientación =  $0^\circ$ ).

En la figura 5.7 se presentan los datos para la media del grupo que muestra la variación de la velocidad relativa en función de la orientación de los estímulos para cada condición de velocidad física. Nótese que para todas las velocidades, el efecto es mayor a medida que las líneas componentes del estímulo se acerca a la horizontal. Asimismo, se puede apreciar que la magnitud del efecto es un poco menor para las velocidades altas que para las velocidades bajas, excepto para el caso de la velocidad más baja ( $1.12^\circ/\text{seg.}$ ) que por su particular comportamiento dificulta la comparación. Recuérdese que la disminución del efecto para las velocidades altas fue también comprobada mediante los resultados del experimento 1 y constituye, asimismo, una de las predicciones importantes del modelo propuesto por Castet et al. (1993) para el cómputo de la velocidad percibida. La coherencia, en este sentido, de los resultados obtenidos mediante una tarea de igualación (experimento 1) y los provenientes de la medición del TR constituyen un argumento más a favor de la utilización de la metodología basada en el estudio de los TR.

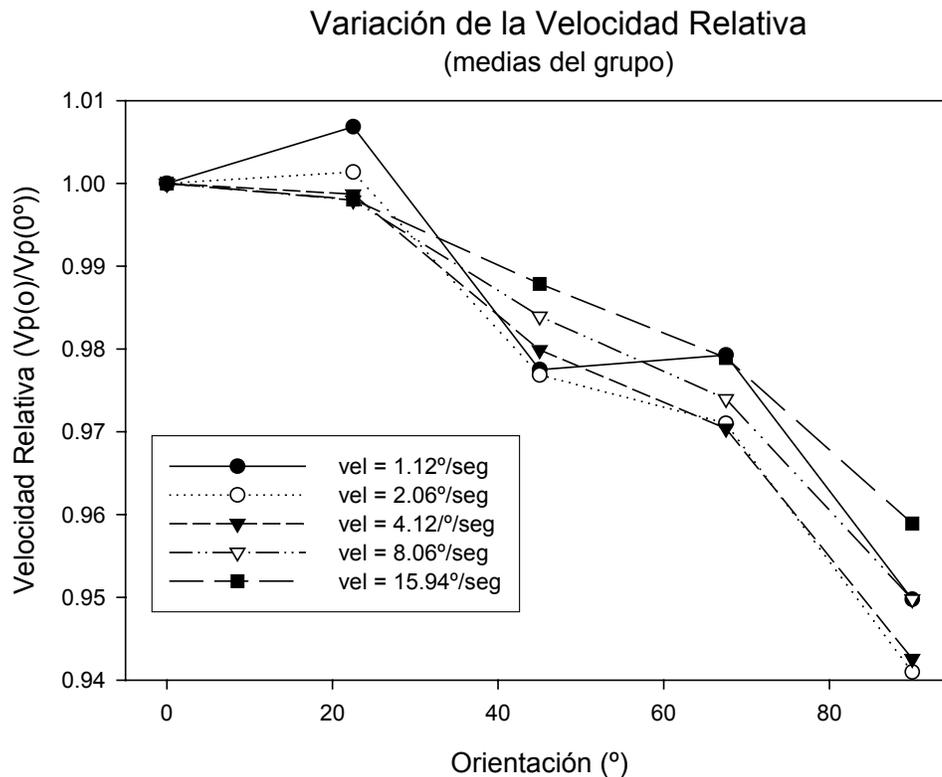
Por otra parte, un análisis visual de la figura 5.7 nos permite decir que la variación de velocidad percibida en función de la orientación no puede ser descrita adecuadamente por una función lineal<sup>70</sup>. Por el contrario, la variación de la velocidad percibida se acerca a una función curvilínea de la orientación de los estímulos, lo cual coincide con las predicciones del modelo de Castet et al. (1993). Si bien es cierto que los resultados de TR en función de la orientación sí parecen describir una función lineal (véase figura 5.2), no debemos olvidar que la variación del TR en función de la velocidad física de un estímulo se describe mediante una función hiperbólica (véase ecuación 5.1). En este sentido, y dado que consideramos que la orientación introduce cambios en la velocidad percibida, como si fueran cambios en la intensidad del estímulo (comparables, desde un punto de vista cualitativo, a los cambios de la velocidad física), resulta lógico pensar que la variación de la velocidad percibida en función de la orientación no se describa necesariamente a través de una relación lineal.

Una aproximación de la función que modela la velocidad percibida en función de la orientación fue propuesta por Castet et al. (1993) y utilizada por nosotros con un grado suficientemente bueno de ajuste en el experimento 1 (véase figura 3.3 y posteriormente figura 5.8). Nos referimos concretamente a la ecuación 3.4 que propone distintas ponderaciones para la señal local ( $V_L$ ) de velocidad y para la señal global ( $V_T$ ) que proviene del terminador (que se puede asumir como la señal que representa a la velocidad física). Los pesos relativos de cada

---

<sup>70</sup> Un análisis rápido de los resultados de TR observados en función de la orientación (figura 5.2) puede hacer creer en una relación de tipo lineal entre estas dos variables. Sin embargo, véase el texto.

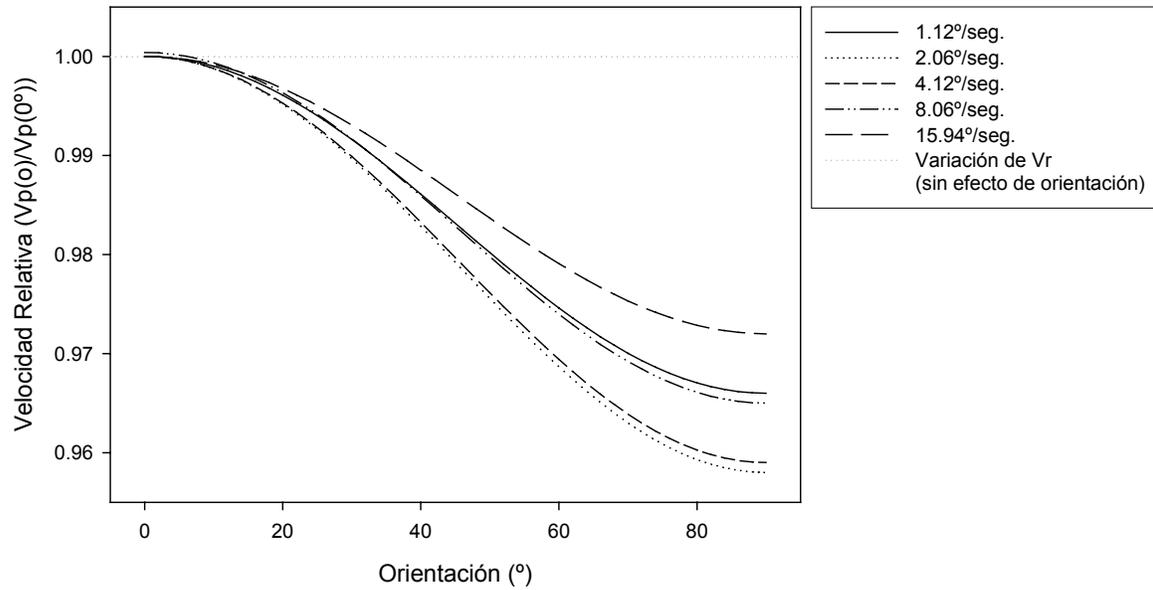
una de estas señales en el cómputo de la velocidad percibida se expresan mediante los parámetros  $a$  y  $b$  de la ecuación 3.4. En la figura 5.8a se muestra el ajuste de esta función para los resultados obtenidos en el presente experimento para cada una de las velocidades físicas estudiadas. Para mayor claridad y, a fin de comparar con los resultados del experimento 1, en la figura 5.8b sólo se muestran los resultados para las mismas condiciones de velocidad que fueron estudiadas en el experimento 1 (2.06°/seg. y 15.94°/seg.). El ajuste que se obtienen para ambas situaciones es satisfactorio ( $R^2 \geq 0.8$ ) y los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  se muestran en el recuadro de la figura 5.8b.



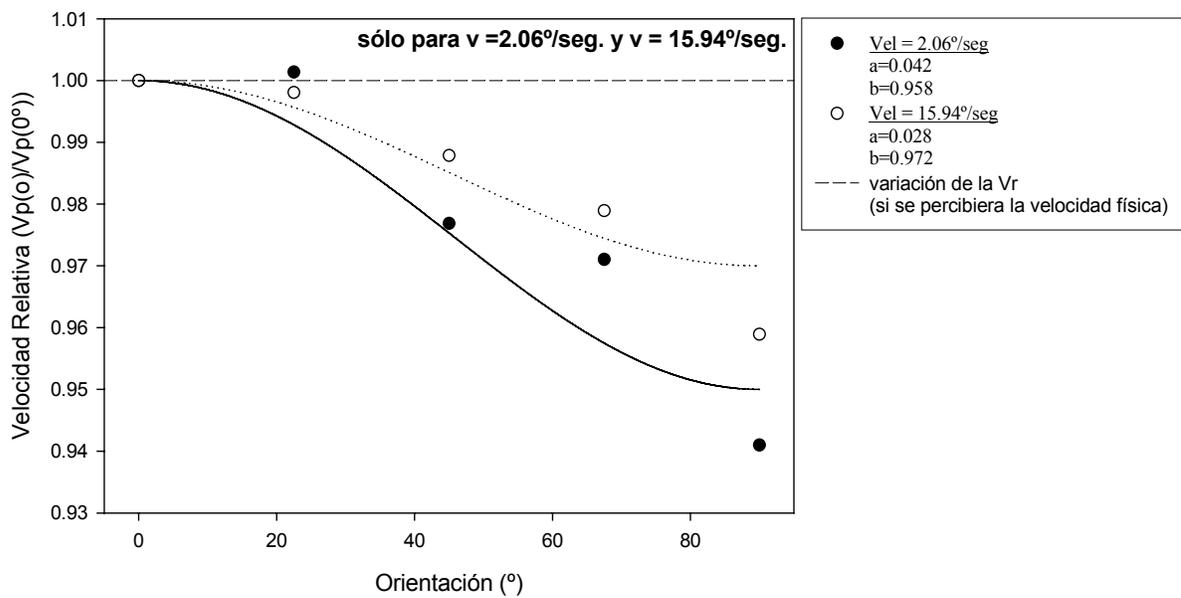
**Figura 5.7:** Variación de la velocidad relativa para los datos globales del grupo (4 sujetos). La velocidad relativa disminuye con la orientación de los estímulos de una manera no lineal.

Obsérvese como los resultados obtenidos en este experimento presentan una clara similitud con aquellos obtenidos mediante una tarea de igualdad (figura 3.7). Los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  que representan el peso relativo de cada una de las señales ( $V_L$  y  $V_T$ ) son, para el caso de la velocidad alta, prácticamente idénticos. Sin embargo, para la velocidad baja (2.06°/seg.), el valor del parámetro  $b$  es ligeramente superior al obtenido mediante la tarea de igualdad. La interpretación de la coherencia entre estos resultados se discute en el apartado siguiente.

Variación de la Velocidad Relativa para el grupo en función de la Orientación



a



b

**Figura 5.8:** (a) Ajuste de la función propuesta por Castet et al. (1993) para modelar el efecto de la orientación en la velocidad relativa para todas las velocidades físicas estudiadas por nosotros. (b) Ajuste y puntos observados solamente para los resultados obtenidos en la velocidad 2.06°/seg. y 15.94°/seg. a fin de facilitar la comparación con aquellos obtenidos mediante una tarea de igualación (figura 3.7).

### 5.3 Discusión

El procesamiento de la información sensorial se realiza mediante diferentes etapas en el sistema visual y la percepción (en este caso de la velocidad) es, en el mejor de los casos, el resultado final de todas ellas. El tipo de tarea que se utiliza en una investigación refiere fundamentalmente a algunas de estas etapas. La tarea que se utiliza en este experimento (TR al inicio del movimiento) refiere a una etapa temprana del procesamiento de la información, que se relaciona de manera directa con la etapa sensorial, aunque evidentemente incluye también aspectos decisionales, propios de una etapa posterior del procesamiento de la información. Desde esta concepción, y a fin de discutir los resultados obtenidos en este experimento, es importante que partamos de un modelo para el análisis de los datos coherente con esta visión y que considere en sus postulados estas diferencias. El modelo de Bonnet y Link (1998) pretende estudiar la coherencia de los datos de TR entre diferentes sujetos y condiciones con el objetivo de esclarecer el origen de la variación de la respuesta en cada caso.

En este sentido, el análisis de las diferencias inter individuales que proponemos en el apartado 5.2.3 permite asumir que la respuesta sensorial a la tarea global (es decir, a través de todas las orientaciones) es similar para los cuatro sujetos y que, por tanto, las diferencias de TR que ellos presentan responden a diferencias del criterio de respuesta. La función de Sensibilidad (véase figura 5.3b) señala, a través del valor del exponente, el índice sensorial de la respuesta al inicio del movimiento para los cuatro sujetos. Este índice sensorial (0.66) coincide con el valor que proponen Dzhafarov et al. (1993) para modelar la variación del TR al inicio del movimiento de un patrón de puntos aleatorios en función de la velocidad física. La coincidencia de nuestros resultados con el valor propuesto por Dzhafarov et al. (1993) y la similitud con los valores propuestos por otros autores en tareas muy similares (véase p.e. Ball y Sekuler, 1980; Tynan y Sekuler, 1982 y también Collewijn, 1972 para la latencia optokinetica en el conejo) hace pensar en la posibilidad de que el valor 0.66 del exponente pueda ser un parámetro característico de la detección del inicio del movimiento, al menos cuando la variable de intensidad es la velocidad física del estímulo (véase discusión del experimento 3).

Asimismo, los diversos análisis realizados permiten afirmar la presencia de un efecto de la orientación sobre el TR que, presumiblemente, se relaciona con el efecto de la orientación sobre la velocidad percibida (véase apartado 1.3 para una posible explicación teórica de este efecto). Además se comprueba la presencia de una interacción entre la orientación y la velocidad física del estímulo. Dicha interacción no aparece significativa en el ANOVA de medidas repetidas debido, seguramente, a la poca potencia de este análisis cuando se aplica a una cantidad reducida de sujetos como la de este experimento. Por otro lado, es probable que existan efectos de compensación interna de las diferencias de TR ligadas al particular

procesamiento de la línea horizontal (véase recuadro interno de la figura 5.5), que dificultarían la aparición de un efecto significativo de la interacción a través del ANOVA.

De todas maneras, el decrecimiento de las pendientes de las funciones lineales que representan la variación de TR con la orientación (véase tabla 5.2) permite pensar en la presencia de una interacción que se corrobora a partir del análisis de la variación del exponente de las funciones de Sensibilidad con la orientación (véase más adelante en este mismo apartado). Dicha interacción evidencia, por un lado, que el sistema visual considera la combinación de por lo menos dos dimensiones físicas diferentes del estímulo en el procesamiento de la información sobre velocidad (pero, véase también el apartado 6.3). Asimismo, y en consonancia con los resultados de Castet et al. (1993), el sentido de la interacción parece indicar que el peso de la información proveniente de la orientación es mayor para las velocidades bajas que para las velocidades altas.

Las diferencias en el tratamiento de la información para las velocidades bajas y las altas ha hecho que varios autores propusieran que el análisis sensorial del movimiento visual implica, como mínimo, dos tipos de procesamiento o sistemas con características diferentes (Bonnet, 1977, 1984a, 1984b; Braddick, 1993; Tolhurst, 1973). Estos dos sistemas estarían especializados cada uno en diferentes zonas del rango perceptible de movimiento (aunque se supone una zona de superposición). Uno de ellos, estaría especializado en los movimientos lentos (DAS)<sup>71</sup> y, el otro, sería específico para las velocidades más altas (MAS)<sup>72</sup>. El primero, procesa los componentes espaciales de cualquier movimiento o desplazamiento y detectaría el movimiento mediante la comparación de las posiciones espaciales del estímulo (actual vs. anterior). El segundo, especializado en el procesamiento de velocidades más altas, procesaría la información de movimiento *per se*; es decir, la velocidad del estímulo. La mayoría de los autores coinciden en afirmar que el límite entre estas dos zonas de procesamiento no es claro y que probablemente exista una zona de superposición donde ambos sistemas estarían actuando. Dicha zona se ubicaría en el entorno de los 2°/seg. (Bonnet, 1984b).

Por otro lado, el análisis sobre la variación del exponente de las funciones de Sensibilidad en función de la orientación (figura 5.5) constituye otro argumento a favor de la presencia de una interacción entre velocidad y orientación. De manera especulativa por el momento, se puede asumir que el exponente de la función de Piéron para los TR medios (y análogamente, pero más preciso, el exponente de la función de Sensibilidad) disminuye cuando la información sensorial es más contundente y permite mayor discriminación. Por lo tanto - pero téngase en cuenta el carácter especulativo de esta afirmación- podemos considerar que, a

<sup>71</sup> Denominado por Bonnet (1984b) como “Displacement Analysing System” (DAS)

<sup>72</sup> Movingness Analysing System (MAS), Bonnet (1984b).

menor exponente, mayor sensibilidad. La misma relación se verifica para los exponentes de la función de Stevens (Teghtsoonian, 1971) y, por otro lado, los resultados de Pins y Bonnet (1996) sobre el TR a la luminancia de una pequeña área rectangular también apoyan dicha hipótesis. Concretamente, dichos autores demuestran que para valores cercanos al umbral de luminancia el exponente de la función de Piéron es más alto que el que se obtiene cuando se evalúa el TR con valores supra-umbrales de intensidad. Desde esta perspectiva, pensamos que la disminución sistemática (excepto para la orientación de 90°) que presenta el exponente de la función de Sensibilidad a medida que la orientación aumenta (véase recuadro interior de la figura 5.5) evidencia la presencia de una interacción entre velocidad física y orientación. El decrecimiento del exponente (que se verifica en el rango que va desde la orientación 0° hasta la orientación 67.5°) muestra que -en este experimento- el factor orientación juega un papel importante en la determinación de la respuesta sensorial al inicio del movimiento (véase discusión del experimento 3). Concretamente, pensamos que la orientación de las líneas componentes del estímulo es una dimensión del estímulo que modula la respuesta sensorial del sujeto ante los cambios de velocidad física.

Resulta evidente que el caso de la línea horizontal (orientación = 90°) representa un caso particular. Obsérvese que si bien los TR son generalmente mayores para este estímulo, el exponente de la función de Sensibilidad para esta orientación es bastante similar al exponente que se obtiene para la línea vertical (véase recuadro interior de la figura 5.5). La presencia de sólo dos terminadores en ambos estímulos puede hallarse en la base de esta similitud. Sin embargo, una diferencia importante entre ambos estímulos es con respecto a las señales locales de velocidad ( $V_L$ ). En la línea horizontal, la información que proviene de dichas señales es nula, mientras que en la línea vertical las señales locales contienen la misma información que las señales provenientes de los terminadores ( $V_L = V_T$ ).

En el apartado 5.2.4 proponemos un procedimiento para hallar la velocidad percibida a partir de los resultados de TR obtenidos en este experimento. Cabe desarrollar aquí un breve resumen de los argumentos que nos llevan a proponer un procedimiento para la obtención de medidas perceptuales a partir de datos cuantitativos que no parten de juicios perceptivos de los sujetos. Desde el punto de vista histórico, la psicofísica ha estado abocada al estudio y la medición de la sensación desde una perspectiva muy similar a la que utiliza la Física en sus mediciones sobre el mundo físico. Buena parte de los esfuerzos se concentraron clásicamente en la construcción de escalas psicofísicas que cumplieran las mismas propiedades que las escalas físicas de medida. Desde esta lógica, muchos autores han propuesto la existencia de una única ley psicofísica para describir la relación entre intensidad y sensación (Krueger, 1989; Norwich, 1977). Concretamente, Norwich (1977, 1981, 1993) sugiere que las diferentes

medidas de la sensación que provienen de medidas de discriminación, de escalamiento o de TR deben ser métricamente equivalentes. Desde esta perspectiva, los diferentes métodos deben producir esencialmente la misma función psicofísica y, por tanto, los parámetros obtenidos mediante uno y otro método deben ser equivalentes. Es evidente que el estudio de los mecanismos de procesamiento de la información sensorial necesita de los aportes de diferentes metodologías ya que cada una de ellas centra su mirada en una etapa diferente del procesamiento. Sin embargo, el abordaje del problema mediante una metodología basada en el estudio de los TR no ha tenido suficiente auge debido muchas veces a cuestiones históricas (véase capítulo 4 para una ampliación de estos argumentos). En este sentido, pensamos que es importante contribuir al desarrollo de procedimientos que permitan estimar aspectos perceptuales a partir de medidas continuas como el TR. El desarrollo y la validación de este tipo de procedimientos contribuye a la generalización de la utilización de la metodología basada en los TR como una herramienta útil para el estudio de la sensación. Con este objetivo y, asumiendo que se trata de una primera aproximación, se incluye en este trabajo una propuesta para el cálculo de las velocidades percibidas a partir de los resultados de TR al inicio del movimiento.

El procedimiento se basa en una sutil transformación del principio propuesto originalmente por Cattell (1902) mediante el cual, para nosotros, si dos estímulos provocan la misma respuesta discriminativa, provocarán iguales TR sensoriales; es decir, iguales latencias con respecto a la respuesta sensorial. Basándonos en esta idea y utilizando el modelo para el análisis del TR se propone un procedimiento matemático para el cálculo de las velocidades percibidas por sujeto y para cada una de las condiciones experimentales (véase figura 5.6). Los resultados obtenidos resultan alentadores en cuanto a la posibilidad de extrapolar medidas cuantitativas (TR) a medidas perceptuales (velocidad percibida) ya que los resultados verifican varias de las predicciones de otros trabajos sobre percepción de la velocidad. Por ejemplo, se comprueba que el efecto de la orientación es menor para las velocidades altas que para las velocidades bajas (véase figura 5.8), en consonancia con los resultados del experimento 1 donde se utiliza una tarea de igualación mediante el método de estímulos constantes (compárese la figura 5.8b con la figura 3.7).

Por otro lado, el cálculo de las velocidades percibidas nos permitió expresar los resultados mediante una nueva variable dependiente –la velocidad relativa ( $V_r$ )– a fin de comparar la magnitud del efecto de la orientación con otros experimentos (Castet et al., 1993). La comparación entre los resultados obtenidos en el experimento 1 y los de este experimento resulta particularmente interesante si se centra en los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  que propone el modelo de Castet et al. (1993) para el cómputo de la velocidad percibida. En el caso

de la velocidad más alta (15.94°/seg.) se obtienen valores de los parámetros prácticamente idénticos en ambos experimentos que evidencian la escasa presencia del efecto de la orientación en dicha velocidad<sup>73</sup>. Sin embargo, en el experimento 1 discutíamos la presencia del efecto de la orientación para esta velocidad ya que sólo se manifiesta si incluimos la línea vertical (0°)<sup>74</sup>. Un análisis visual de la figura 5.8 nos permite comprobar que en el experimento 2 no sucede lo mismo. Los resultados obtenidos a partir del TR evidencian igualmente la presencia del efecto de la orientación aún sin considerar a la línea vertical. En este sentido, podemos considerar que la metodología basada en el estudio de los TR puede ser más sensible. Para el caso de una velocidad baja (2.06°/seg.), las diferencias entre los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  entre ambos experimentos indican una menor contribución de la señal local de velocidad ( $V_L$ ) en el experimento de TR que la que se obtiene a partir del análisis de los resultados del experimento 1. Esta diferencia seguramente evidencie la no pertinencia de la utilización del modelo propuesto por Castet et al. (1993) para el cómputo de la velocidad percibida cuando la tarea propuesta es diferente a la de igualación. Dicha no adecuación se manifiesta en esta condición de velocidad, justamente por ser la condición donde el efecto de la orientación es mayor. Una propuesta alternativa para la interpretación de los valores de los parámetros del modelo de Castet et al. (1993) en los experimentos de TR se discute a partir de los resultados del experimento 3 (véase apartado 6.3 y capítulo 7).

En este sentido, es necesario tener en cuenta que el modelo propuesto por Castet et al. (1993) no considera la dinámica temporal de la integración de ambas señales. Para su desarrollo se consideraron tareas como las que utilizan en sus experimentos, donde el sujeto no está presionado temporalmente para emitir su respuesta ya que la respuesta requiere de una integración global de la información de velocidad. En nuestros experimentos, el sujeto debe responder simplemente indicando la dirección del movimiento para lo cual no es necesario integrar completamente la información de velocidad y, además, la tarea requiere una respuesta “lo antes posible” por parte del sujeto. En este sentido, pensamos que la comparación de los parámetros  $a$  y  $b$  obtenidos a partir de datos de TR con aquellos que se obtienen de tareas que implican un juicio por parte de los sujetos no puede hacerse directamente. Asimismo, es importante recordar que los pesos relativos de las diferentes señales ( $V_L$  y  $V_T$ ) expresados a través de los parámetros  $a$  y  $b$  reflejan, con seguridad, el efecto de muchos factores que pueden

---

<sup>73</sup> Castet et al. (1993) obtienen valores de los parámetros que indican un mayor efecto en sus experimentos, pero esto resulta esperable debido a las diferencias en los estímulos utilizados por nosotros (cinco terminadores en lugar de dos), así como también al valor de velocidad física elegido por nosotros (4 veces mayor que el valor máximo estudiado por Castet et al.).

<sup>74</sup> La figura 3.6 evidencia esta situación, y muestra que la magnitud del efecto para esta velocidad –medido mediante el método de estímulos constantes– es tan pequeño que desaparece al no considerarse a la línea vertical

estar confundidos, como la luminancia, el tiempo de presentación o la longitud de las líneas (véase experimento 3).

Para concluir, pensamos que los resultados de este experimento permiten comprobar que la orientación juega un papel importante en la recuperación temprana de la información de velocidad que realiza nuestro sistema visual. Podemos plantear que la orientación de las líneas del estímulo modula la respuesta sensorial del sujeto a la detección del inicio del movimiento ante cambios en la velocidad física. Se comprueba también que mediante el análisis del TR es posible obtener medidas perceptivas que resultan, al menos para los casos estudiados, coherentes con el conocimiento general que disponemos sobre el procesamiento de la información sobre velocidad. Sin embargo, a fin de desarrollar procedimientos más precisos para el cálculo de la velocidad percibida a partir de los resultados de TR, es importante profundizar en el conocimiento de otros factores que puedan estar afectando la velocidad percibida y, por consiguiente, el TR en este tipo de tarea. El experimento 3 pretende aproximarse a esta cuestión.

**EXPERIMENTO 3: Algunos determinantes  
del efecto**

---



## Capítulo 6

### **6 EXPERIMENTO 3: Algunos determinantes del efecto**

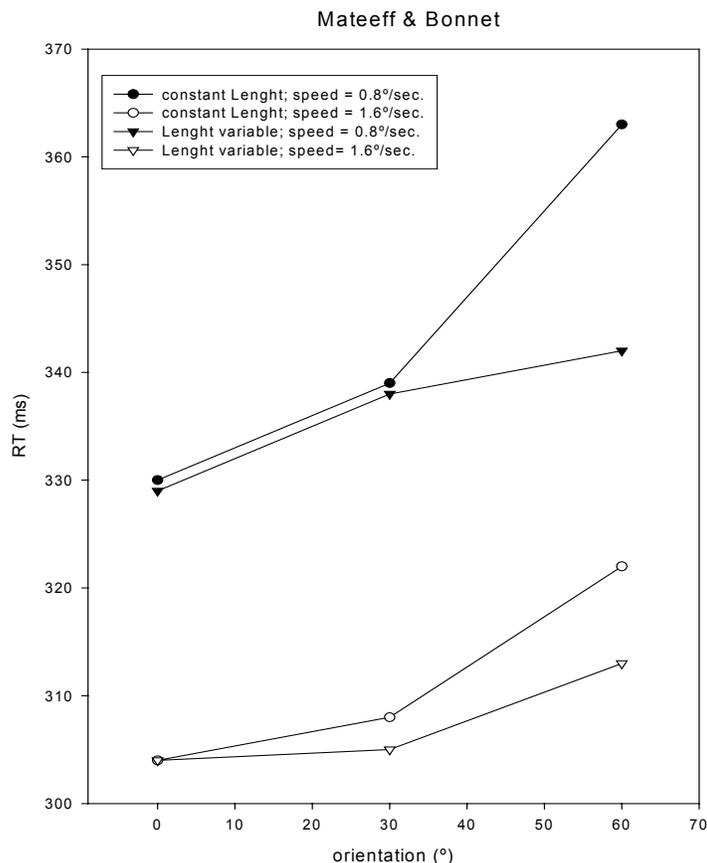
---

La velocidad que percibimos de un estímulo en movimiento depende de varios factores. En principio, el sistema visual no utiliza solamente la información de velocidad física para codificar aquello que denominamos habitualmente como “velocidad” de un objeto en movimiento. Uno de los factores determinantes en la percepción de la velocidad es la orientación de las líneas que componen el estímulo; sin embargo, es probable que éste no sea el único. En nuestro tercer experimento nos proponemos profundizar en el conocimiento de los determinantes físicos del estímulo que influyen sobre la velocidad percibida. Concretamente, pretendemos estudiar la influencia de uno de los factores que, según trabajos previos (Castet et al., 1993), afectan la percepción de la velocidad: la longitud de las líneas que componen el estímulo.

Según experimentos preliminares (S. Mateeff, comunicación personal) la longitud de las líneas presenta un efecto diferente sobre el TR de aquel que podríamos predecir a partir del estudio de Castet et al. (1993) para la velocidad percibida. Dicho trabajo muestra, mediante una tarea de igualación y con métodos adaptativos, que el aumento de la longitud de las líneas componentes del estímulo provoca una subestimación de la velocidad percibida (Castet et al., 1993). Sin embargo, experimentos no publicados de Mateeff y Bonnet demuestran que el TR tiende a disminuir con el aumento de la longitud de las líneas del estímulo (véase figura 6.1). Por tanto, es probable que el factor longitud esté incidiendo en el cálculo de la velocidad percibida que, a partir de los resultados de TR, propusimos en el apartado 5.2.4. En este sentido, la pregunta que motiva este experimento apunta a determinar el sentido y la magnitud del efecto de la longitud de las líneas en la variación del TR ante la detección del inicio del movimiento.

La tarea que proponemos a los sujetos en este experimento es idéntica a la propuesta en el experimento 2, aunque con diferencias en los estímulos utilizados. El presente experimento combina cambios en la velocidad física del estímulo con cambios en la orientación de sus líneas y en la longitud de las mismas. Los estímulos son muy similares a los del experimento 2 con la diferencia de que aquí la longitud de las líneas que componen las cruces no se mantiene

constante en todas las condiciones. Por el contrario, la longitud de las líneas co-varía con la orientación, manteniéndose constante la proyección vertical de los estímulos (véase figura 6.2).



**Figura 6.1:** Resultados no publicados de Mateeff y Bonnet, llevados a cabo en el Laboratoire de Systèmes biomécaniques de la Universidad Louis Pasteur de Strasbourg. Se presentan éstos resultados con el conocimiento y la aceptación de ambos autores.

Los resultados preliminares de Mateeff y Bonnet muestran que el efecto de la longitud sobre el TR es de sentido contrario al efecto que provoca la orientación según los resultados del experimento 2. Si bien el modelo propuesto por Castet et al. (1993) para el cómputo de la velocidad percibida no puede predecir estos resultados; debemos tener en cuenta que dicho modelo no es el único que permite estimar la velocidad percibida. En particular, modelos como el propuesto por Lorenceau et al. (1993) o el propuesto por Dzhafarov et al. (1993), que se centran específicamente en el cómputo neuronal del inicio del movimiento, permiten pensar en la posibilidad de que la covariación de la longitud con la orientación compensen el efecto sobre el TR. De esta manera, podemos esperar que la magnitud del efecto del nuevo factor orientación<sup>75</sup> (longitud + orientación) sobre el TR será menor que la registrada en el experimento 2.

<sup>75</sup> A lo largo de este experimento nos referiremos al factor orientación, asumiendo la covariación entre orientación y longitud que se detalla en el apartado 6.1.3.

Secundariamente, nuestra intención es comprobar mediante este experimento la utilidad y validez de la separación de los componentes sensoriales de los decisionales en la respuesta de TR a través del modelo de análisis propuesto por Bonnet y Link (1998). En este sentido, se pone a prueba la capacidad del modelo para abordar un nuevo (pero conocido) “problema” en la metodología basada en el estudio de los TR: la variabilidad de los resultados en un mismo sujeto y ante estímulos idénticos (véase apartado 6.2.3.2).

## **6.1 Método**

### **6.1.1 Sujetos**

Los mismos cuatro sujetos entrenados que se utilizaron en el experimento 2. El sujeto A de 29 años, el sujeto J de 35 y el sujeto P de 25 con visión normal sin corregir y el sujeto S de 59 años con visión normal corregida.

### **6.1.2 Aparatos**

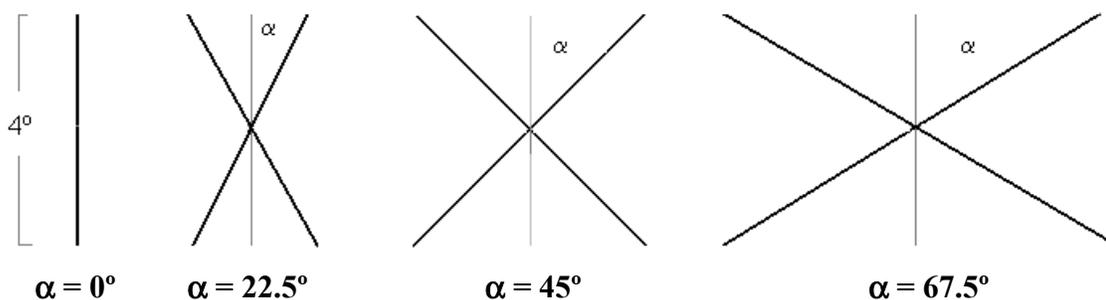
Los mismos aparatos que fueron utilizados en el experimento 2 sirvieron para la ejecución del presente experimento. El *software* utilizado fue exactamente el mismo que en el experimento 2 aunque con variaciones en el módulo de generación de los estímulos, debido a las diferencias introducidas en ellos (véase más adelante).

### **6.1.3 Estímulos**

Los estímulos que se utilizaron en este experimento fueron similares a los del experimento 2, pero con determinadas variaciones en función del objetivo planteado. Cuatro tipos diferentes de “cruces” fueron utilizadas. Cada una de ellas, variaba en la orientación de sus líneas componentes así como en la longitud de las mismas, manteniéndose constante la longitud de la proyección vertical de los estímulos (véase figura 6.2). Dado que pretendemos mantener constante la longitud de la proyección vertical, se descartó el estímulo de 90° de orientación (línea horizontal) ya que la longitud de su proyección vertical era, necesariamente, nula. Por otro lado, los resultados del experimento 2 mostraron que la línea horizontal parecía tener un procesamiento particular en cuanto a la señal de velocidad. Como se plantea en el apartado 5.3, es posible que existan otros mecanismos del sistema visual para codificar el movimiento de las líneas horizontales, dado que la gran mayoría de las unidades locales ( $V_L$ ) emiten una señal nula de velocidad. En este sentido, se descartó la utilización del estímulo de orientación 90° para la realización de este experimento.

Los cuatro estímulos utilizados se representan en la figura 6.2. Nótese como los niveles de orientación utilizados son los mismos que en el experimento 2 pero, al mantenerse constante la proyección vertical ( $4^\circ$  visuales en todos los casos), la longitud de las líneas varía en concordancia con el coseno del ángulo  $\alpha$  (véase figura 6.2). Concretamente, la longitud de las líneas que componen el estímulo se puede obtener a partir de la razón entre la longitud de la proyección vertical de los estímulos y el coseno del ángulo que forman dichas líneas ( $\text{long.} = 4/\cos\alpha$ ).

Al igual que en el experimento 2, los estímulos aparecían en el centro del monitor y después de un intervalo de tiempo aleatorio que varía entre 510 y 700 milisegundos empezaban a moverse. El movimiento era generado por el *software* a través del volcado en pantalla de las líneas adyacentes desde la memoria gráfica de la tarjeta de video con una tasa de refresco del monitor de 85 Hz. La duración del movimiento variaba de manera aleatoria entre 100 y 290 milisegundos y la dirección también variaba de derecha a izquierda de manera aleatoria a través de los diferentes ensayos. La luminancia de todas las líneas utilizadas es de  $50 \text{ cd.m}^{-2}$  y se presentaron sobre un fondo negro con luminancia media de  $0.3 \text{ cd.m}^{-2}$  en un ambiente muy poco iluminado.



**Figura 6.2:** Estímulos utilizados en el experimento 3. La longitud de la proyección vertical de todos los estímulos es constante y en todos los casos vale  $4^\circ$ . Los niveles de orientación utilizados son los mismos que en el experimento 2, con excepción de la línea horizontal (orientación =  $90^\circ$ ) que no se utiliza en este experimento.

### 6.1.4 Procedimiento

La tarea es idéntica a la que se propone en el experimento 2. El sujeto debe indicar la dirección del movimiento, tan rápidamente como le sea posible, mediante dos botones de la caja de respuestas que está conectada a un segundo ordenador que registra las respuestas del sujeto y el TR. El tipo de estímulo<sup>76</sup> y la velocidad física de cada uno de ellos varía de ensayo a ensayo siguiendo las reglas del método de estímulos constantes con bloques mezclados para la

<sup>76</sup> En este experimento nos referiremos a cada uno de los estímulos a partir del ángulo que forman sus líneas componentes ( $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $67.5^\circ$ ). Se sobreentiende que la longitud de las líneas varía conjuntamente con la orientación.

orientación y la velocidad. Es decir, que los 20 tipos diferentes de estímulo (4 orientaciones \* 5 velocidades) se presentan de manera aleatoria y, hasta que no se presenta toda la secuencia, no se vuelve a repetir la presentación de ninguno de ellos.

Cada sesión contiene 200 ensayos: 10 repeticiones para cada nivel de velocidad y orientación. En este experimento se evalúan cinco niveles de velocidad física (1.12; 2.06; 4.12; 8.06 y 15.94°/seg.) y cuatro de orientación (0°; 22.5°; 45° y 67.5°). La duración aproximada de cada sesión experimental es de 16 minutos y cada sujeto realiza 10 sesiones experimentales (sin contar la fase de entrenamiento), contabilizando así un total de 2000 ensayos (100 puntos por condición). Los sujetos no disponen de ningún tipo de *feedback* para realizar la tarea. Entre ensayo y ensayo se intercala una pantalla negra de 3 segundos de duración para evitar los efectos post-imagen del estímulo anterior.

## 6.2 Resultados

El nivel de aciertos promedio de los sujetos es cercano al 98% por lo que se descarta el análisis sobre la precisión de la respuesta. En este sentido, no se consideran los errores de la respuesta sino que se analizan sólo las medidas de TR obtenidas. La depuración de los resultados se realiza mediante la aplicación de dos fases consecutivas. En primer lugar, se eliminan todas las respuestas erróneas (aproximadamente el 2% del total) y todos los ensayos cuyos TR están por debajo de los 100 milisegundos (anticipaciones) o por encima de 1 segundo. A posteriori, se eliminan todos los ensayos cuyo TR se ubique más allá del valor de la media más/menos dos amplitudes intercuartiles ( $\mu \pm 2AI$ )<sup>77</sup>.

Uno de los aspectos más llamativos de los resultados de este experimento resulta de comparar los TR obtenidos para la orientación = 0° (línea vertical) con sus homólogos en el experimento 2. Para dicha condición de orientación los estímulos son idénticos ya que ambos son líneas verticales de 4° de longitud con la misma luminancia y que comienzan a moverse con los mismos cinco niveles de velocidad física. Sin embargo, se detectan diferencias importantes en los TR medios por velocidad en alguno de los sujetos. Dichas diferencias se analizan utilizando el modelo de análisis de TR para separar los componentes sensoriales de los decisionales (véase apartado 4.3), encontrándose que el origen de esta variación corresponde a un cambio en el criterio de respuesta de alguno de los sujetos (dicho análisis se presenta en el apartado 6.2.3.2).

---

<sup>77</sup> La media y la amplitud intercuartil se calculan sobre los datos obtenidos para cada velocidad y por cada sujeto de manera independiente.

### 6.2.1 El efecto de la velocidad sobre el TR

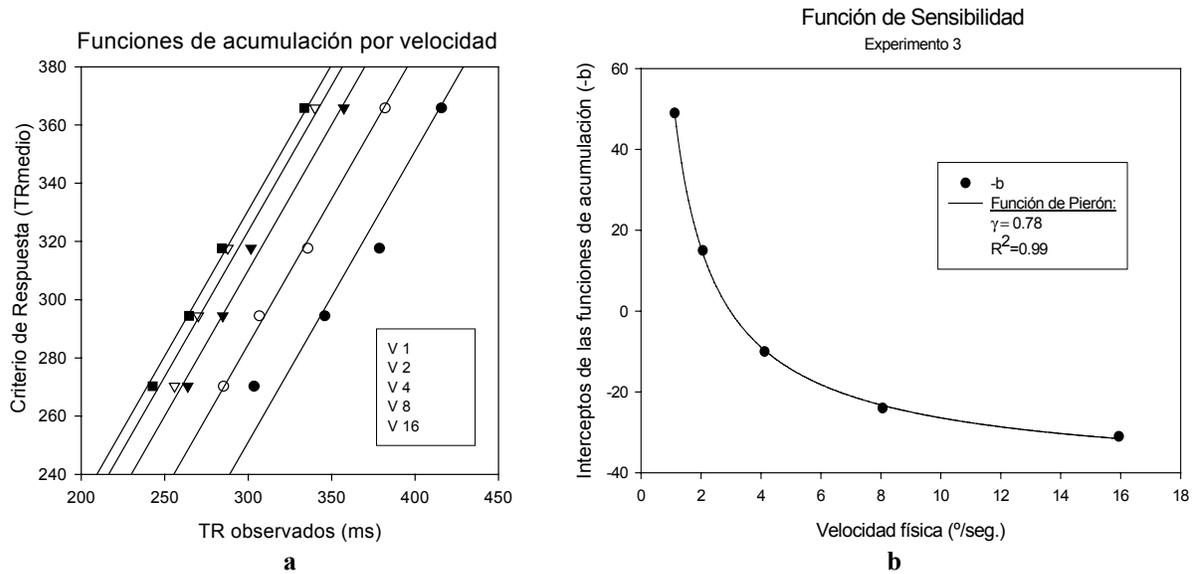
A fin de obtener una primera representación de los resultados, se obtienen las funciones de Piéron para cada uno de los sujetos a través de todas las orientaciones (y longitudes, por consiguiente). El ajuste libre<sup>78</sup> (con tres parámetros) de los resultados de TR en función de la velocidad física de los estímulos muestra que los exponentes de las funciones individuales oscilan entre 0.5 y 0.8. Sin embargo, el análisis de las diferencias inter individuales realizado a partir de los postulados del modelo de análisis de TR muestra que las diferencias que presentan los sujetos corresponden a cambios en el criterio de respuesta utilizado. Por consiguiente, se puede asumir que los cuatro sujetos experimentales presentan la misma respuesta sensorial. En tal sentido, el exponente de las funciones de Piéron para cada uno de los sujetos debe ser el mismo.

Sin embargo, cabe preguntarse si el exponente de la función de Piéron debe ser igual al que se obtuvo para la tarea del experimento 2. Para la tarea de dicho experimento se propone un exponente de 0.66 para cada función de Piéron individual que proviene de los análisis realizados (véase apartado 5.2.1). Dado que en el presente experimento se modifica de manera conjunta la orientación y la longitud de los estímulos, la respuesta sensorial a los nuevos estímulos no tiene que coincidir, necesariamente, con la respuesta sensorial de los sujetos en el experimento 2.

Nuestro primer objetivo, por tanto, será el de obtener la función de Sensibilidad para esta tarea. Para ello, se obtienen las funciones de acumulación de la información para los cuatro sujetos en el experimento 3 (véase figura 6.3a). Los datos de los cuatro sujetos por nivel de velocidad física, pertenecen a las mismas funciones de acumulación, indicando que no hay variaciones de sensibilidad entre los sujetos dentro del experimento. A partir de los valores de los interceptos de dichas funciones, y siguiendo los postulados expuestos en el apartado 4.2.3., se reconstruye la función de Sensibilidad para esta tarea que se representa en la figura 6.3b. El exponente de dicha función (véase recuadro interno de figura 6.3b) representa un indicador preciso de la respuesta sensorial que muestran los sujetos en el desempeño de la tarea (véase apartado 4.2.3.3 para una explicación más detallada).

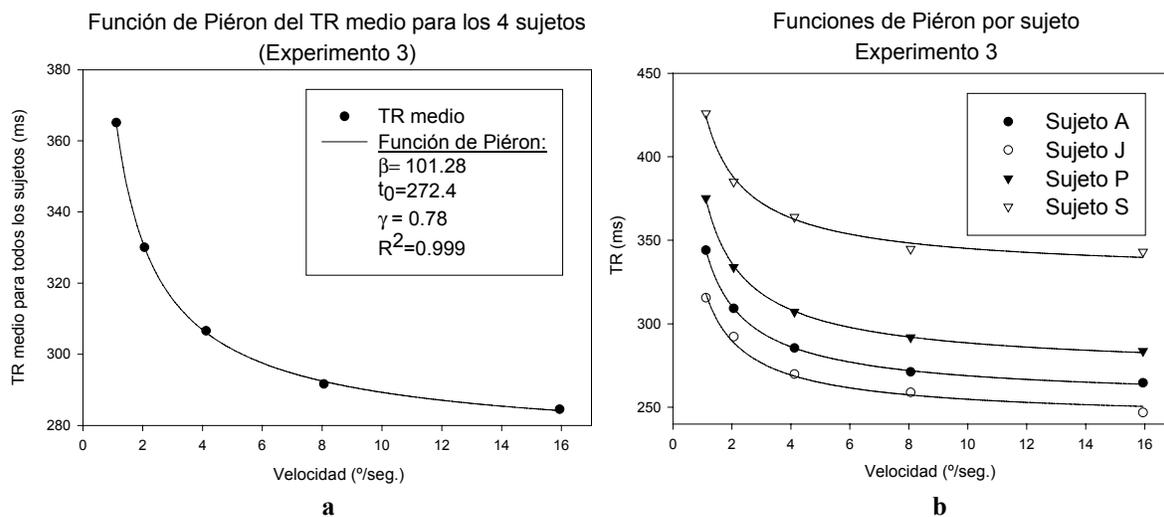
---

<sup>78</sup> Recuérdese la alta interdependencia matemática que presentan los parámetros en este tipo de ajuste.



**Figura 6.3:** (a) Funciones de acumulación de la información en el experimento 3 y para los cuatro sujetos. (b) Función de la Sensibilidad. El exponente de la función (0.78) es un indicador del componente sensorial de la respuesta que muestran los sujetos ante la tarea (véase texto).

Asimismo, se presenta en la figura 6.4a la función para la variación del TR medio de todos los sujetos en función de la velocidad física. El exponente de dicha función coincide con el que se obtiene a partir de la función de Sensibilidad (figura 6.3b) para la cual los coeficientes de ajuste son muy satisfactorios ( $R^2 \geq 0.99$ ; véase recuadro de la figura 6.4a). En la figura 6.4b se presentan las cuatro funciones de Piéron individuales. Todas ellas han sido estimadas asumiendo un exponente de 0.78 dado que, según el modelo de análisis de TR, el exponente representa la respuesta sensorial de los cuatro sujetos. Los coeficientes de soporte obtenidos en todos los casos son satisfactorios ( $R^2 \geq 0.9$ ).



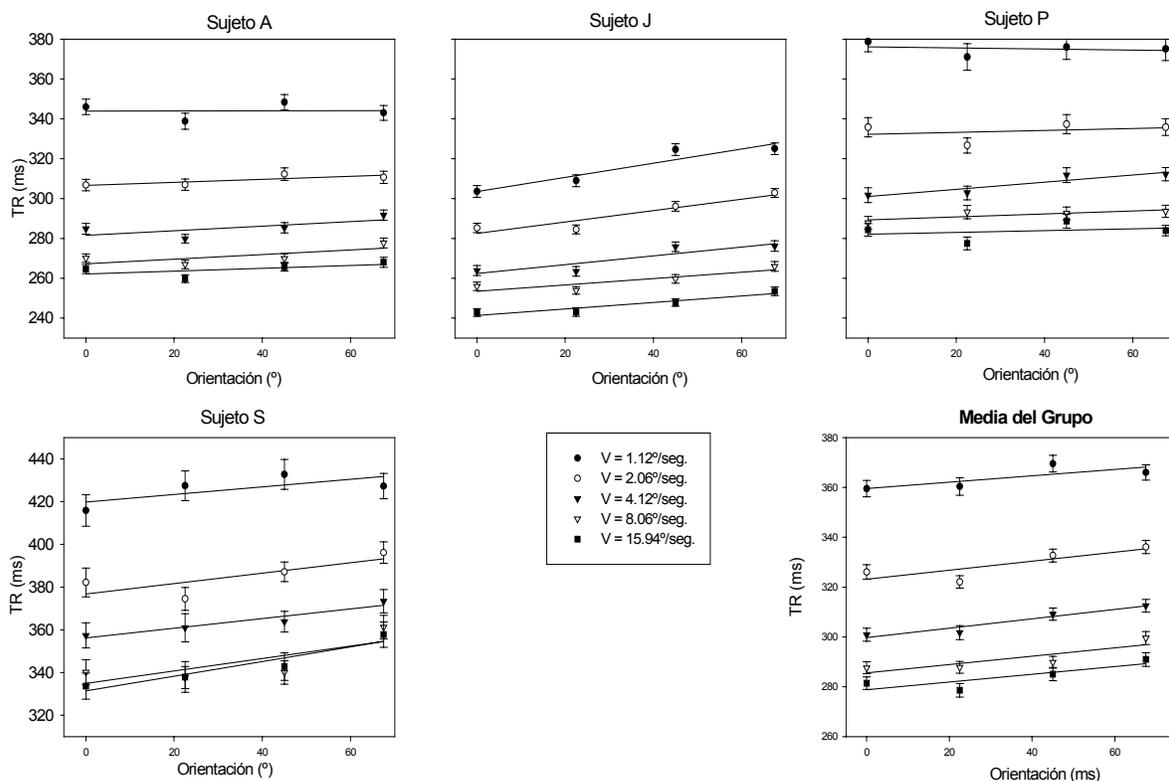
**Figura 6.4:** (a) TR medio para los 4 sujetos en función de la velocidad física. En el recuadro aparecen los valores de los parámetros y el grado de ajuste. Obsérvese como el exponente de la función es idéntico al obtenido en la función de Sensibilidad (figura 6.3b). (b) Funciones de Piéron individuales con el exponente fijo en 0.78.

### 6.2.2 El efecto de la (orientación + longitud) sobre el TR

En la figura 6.5 se presentan los resultados de TR en función de la orientación de las líneas que componen el estímulo. Un análisis visual de la figura revela que la tendencia al aumento de los TR en función del nuevo factor orientación no resulta muy importante, al menos para dos de los sujetos (Sujeto A y sujeto P). Sin embargo, un ANOVA de medidas repetidas con dos factores (orientación y velocidad) revela la existencia de un efecto estadísticamente significativo de la orientación y la velocidad sobre el TR, no detectándose ningún efecto relevante más (véase tabla 6.1).

**Tabla 6.1:** Resultados del ANOVA de medidas repetidas para la (orientación + longitud) y la velocidad.

<b>Factor</b>	<b>F</b>	<b>Significación</b>
Orientación	$F_{3,9} = 9.66$	$p = 0.004$
Velocidad	$F_{4,12} = 186.7$	$p < 0.001$
Orientación * Velocidad	$F_{12,36} = 1.25$	$p = 0.291$



**Figura 6.5:** Variación del TR en función de la orientación de los estímulos para cada una de las velocidades estudiadas. Se presenta un gráfico por sujeto y otro que resume la variación media de los cuatro sujetos estudiados (ángulo inferior derecho). Las barras de error representan  $\pm 1$  error estándar.

Si bien el efecto de la nueva variable orientación sobre el TR resulta significativo, las diferencias inter individuales parecen importantes en este caso. De todas maneras, resulta

interesante observar la variación de las pendientes de las rectas para los resultados del grupo (véase más adelante tabla 6.4). Se comprueba que el valor de las pendientes se mantiene relativamente constante para las diferentes condiciones de velocidad física, mostrando un leve descenso en el valor que corresponde a la velocidad más baja. Esta tendencia global es de sentido contrario a la que se registra en los resultados del experimento 2. La comparación entre los resultados de ambos experimentos se discute en el apartado 6.3 (en la tabla 6.4 se presentan las pendientes de ambos experimentos para facilitar la comparación).

Es factible pensar que dicha tendencia global de los datos (recuérdese que nos referimos a los datos medios de TR para los cuatro sujetos) se explique a partir de las importantes diferencias inter individuales que se detectan en este experimento. En el apartado siguiente se aplica el modelo de análisis de TR a los datos individuales con el objetivo de determinar el origen de estas diferencias. Debido a que nuestro interés se centra en los determinantes físicos de la respuesta sensorial de los sujetos, analizaremos las variaciones de dicho componente en la respuesta. Los datos brutos de TR (como los que se presentan en la figura 6.5) contienen información tanto sobre el procesamiento sensorial como sobre el decisional. En este sentido, la separación de ambos componentes es fundamental para el cumplimiento de los objetivos del experimento.

### **6.2.3 Diferencias inter e intra individuales**

#### **Diferencias intra individuales ante el mismo estímulo**

Como se plantea en la introducción de este capítulo, una observación atenta de los resultados que se presentan en las figuras 6.5 y 5.2 nos plantea una pregunta ineludible: ¿A qué corresponden las diferencias de TR que se registran para los estudios de orientación  $0^\circ$  en el experimento 2 y el experimento 3? Debe recordarse que tanto los estímulos como la tarea son idénticos para dicha condición en ambos experimentos, ya que la longitud de la línea vertical es también de  $4^\circ$  visuales en el presente experimento. Por esta razón, resulta especialmente interesante que los mismos sujetos registren diferencias en el TR al inicio del movimiento del mismo estímulo, en algún caso de cierta importancia.

A fin de visualizar claramente dichas diferencias, en la tabla 6.2 se presentan los valores observados de TR por cada sujeto, en cada uno de los experimentos y para cada una de las velocidades físicas de la línea vertical (orientación =  $0^\circ$ ). Asimismo, en la tabla 6.3 se muestra el valor absoluto de estas diferencias para cada velocidad. Obsérvese que al menos dos de los sujetos (P y S) presentan diferencias no despreciables en sus valores de TR entre los dos experimentos, que –dado que los estímulos son exactamente iguales desde el punto de vista

físico- no deberían ser atribuidas a efectos experimentales. Cabe preguntarse, entonces, si estas diferencias obedecen a un cambio en la respuesta sensorial de estos sujetos producido durante el lapso de tiempo que transcurre entre la ejecución de los experimentos (dos meses aproximadamente) o si, por el contrario, corresponden a una modificación del criterio de respuesta<sup>79</sup>.

**Tabla 6.2:** TR observados para la línea vertical (orientación = 0°) en el exp2 y en el exp3 por sujeto.

Sujeto	1.12°/seg.		2.06°/seg.		4.12°/seg.		8.06°/seg.		15.94°/seg.	
	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3						
<b>A</b>	330.9	346.0	294.8	306.7	281.3	284.8	265.0	270.1	260.9	264.6
<b>J</b>	309.5	303.6	288.1	285.2	276.0	263.8	258.0	255.9	248.2	242.8
<b>P</b>	332.7	378.7	302.4	335.7	286.0	301.7	272.2	287.8	268.5	284.3
<b>S</b>	386.6	415.9	340.2	382.1	331.5	357.4	322.7	340.1	310.0	333.6

**Tabla 6.3:** Diferencias absolutas del TR observado en el exp2 y el exp3 para la línea vertical y por sujeto.

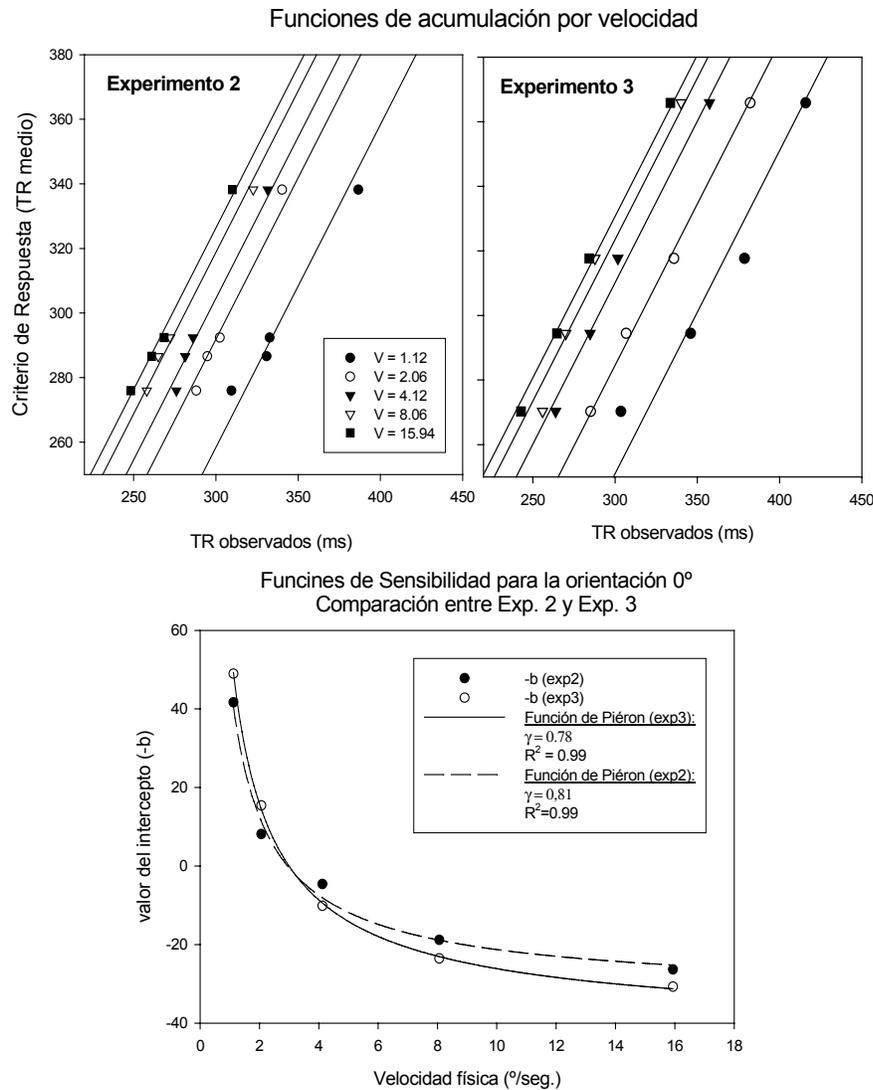
	1.12°/seg.	2.06°/seg.	4.12°/seg.	8.06°/seg.	15.94°/seg.	Media
	Exp3 – Exp2					
<b>A</b>	15.1	11.9	3.5	5.2	3.7	<b>7.9</b>
<b>J</b>	5.9	2.8	12.1	2.1	5.4	<b>5.7</b>
<b>P</b>	46.0	33.3	15.6	15.6	15.8	<b>25.3</b>
<b>S</b>	29.2	41.9	25.9	17.4	23.6	<b>27.6</b>

A fin de averiguar el origen de estas variaciones, aplicamos el modelo de análisis de TR específicamente para la condición 0° de orientación (línea vertical) de ambos experimentos (figuras 6.6 y 6.7). Dicho análisis muestra que las diferencias de TR corresponden a una modificación del criterio de respuesta de dos de los sujetos (S y P) (véase figura 6.6, panel superior). Los exponentes de las dos funciones de Sensibilidad (uno para cada experimento, sólo considerando la orientación 0°) presentan una variación mínima que no puede ser considerada relevante. La similitud entre ellos nos permite afirmar que la respuesta sensorial de los cuatro sujetos en el experimento 2 y en el experimento 3, para la condición de orientación = 0°, es muy similar (véase figura 6.6 panel inferior).

En este sentido, debemos asumir que las diferencias encontradas corresponden a cambios en el criterio de respuesta de algunos sujetos. A fin de demostrar esta predicción se representan todos los resultados de TR (provenientes de ambos experimentos) y se ajusta una sola función de acumulación por velocidad física (intensidad). Si todos los puntos pertenecientes a una misma velocidad física pertenecen a una misma función de acumulación, podemos afirmar que el componente sensorial de la respuesta de todos los sujetos es similar en ambos experimentos.

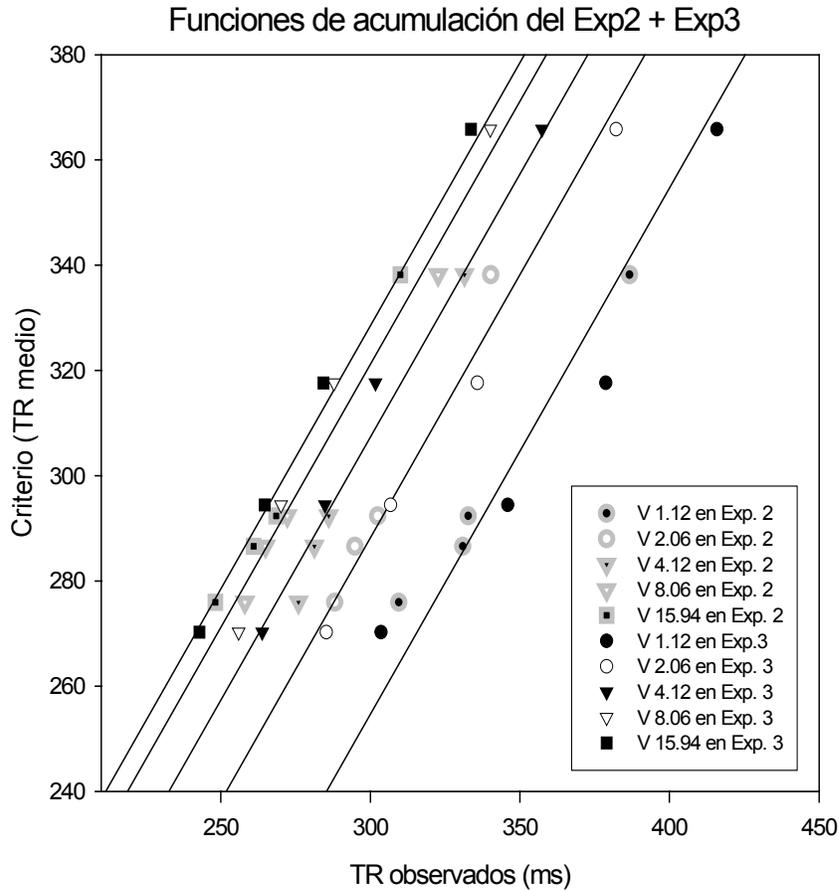
<sup>79</sup> Considerando que el lapso de tiempo transcurrido entre uno y otro experimento es relativamente importante (2 meses), resulta lógico pensar que alguno de los sujetos utilizara un criterio de respuesta diferente en el presente experimento.

La figura 6.7 verifica dicha predicción ya que todas las funciones de acumulación ajustan de manera satisfactoria los datos ( $R^2 > 0.9$ ) asumiéndose una pendiente igual a 1 para cada función de acumulación. Por consiguiente, podemos afirmar que los sujetos muestran la misma respuesta sensorial al inicio del movimiento de la línea vertical en ambos experimentos y, por tanto, las diferencias encontradas en sus TR provienen de cambios en el criterio de respuesta utilizado por algunos de ellos<sup>80</sup>.



**Figura 6.6:** En el panel superior se presentan las funciones de acumulación por velocidad para ambos experimentos. El panel inferior muestra las funciones de Sensibilidad que se reconstruyen a partir de los interceptos de las funciones de acumulación.

<sup>80</sup> Téngase en cuenta que dichas diferencias son relativamente pequeñas en valor absoluto, siendo la mayor de ellas del orden de los 28 milisegundos de media en el caso del sujeto S (véase tabla 6.3).

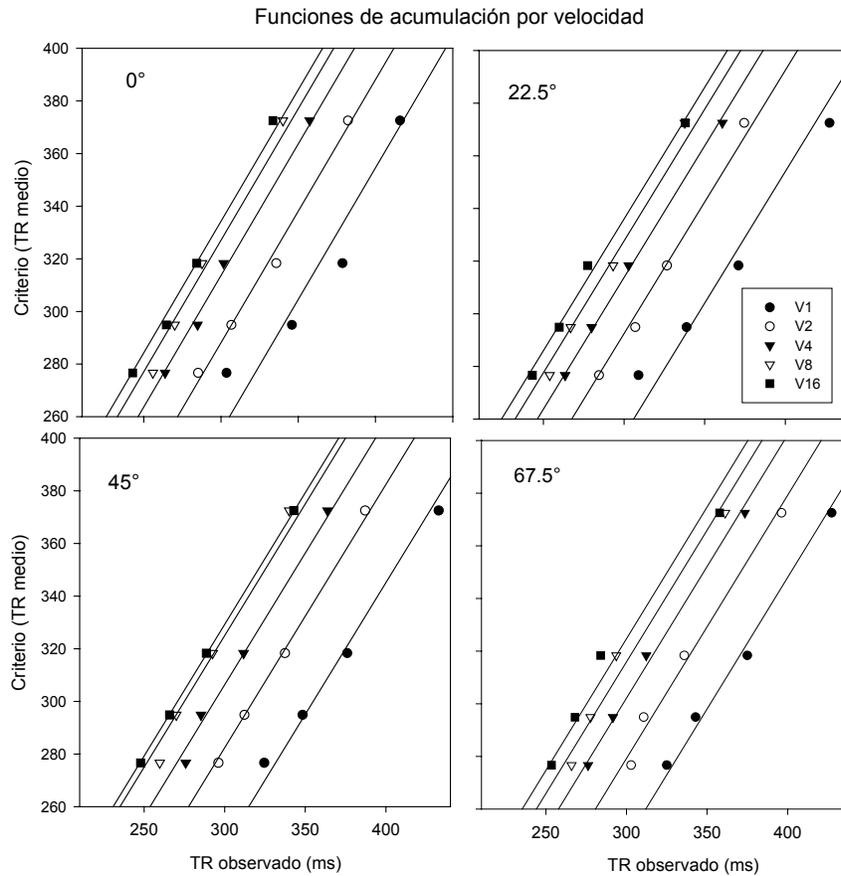


**Figura 6.7:** Funciones de acumulación de la información por velocidad para los datos del experimento 2 y del experimento 3. Las funciones de acumulación son únicas y sus pendientes valen 1.

En cuanto a las diferencias inter individuales en el experimento 3, el apartado 6.2.1 presenta un primer análisis global de las mismas. Las figuras 6.3 y 6.4 muestran claramente que las diferencias detectadas en el TR medio de los sujetos provienen de la utilización de diferentes criterios de respuesta. Este primer análisis de los datos se realiza a través de todas las orientaciones, sin separar la respuesta sensorial de los sujetos para cada una de las orientaciones del estímulo. En el siguiente apartado, se analizan los resultados de TR por cada orientación.

### La magnitud del efecto

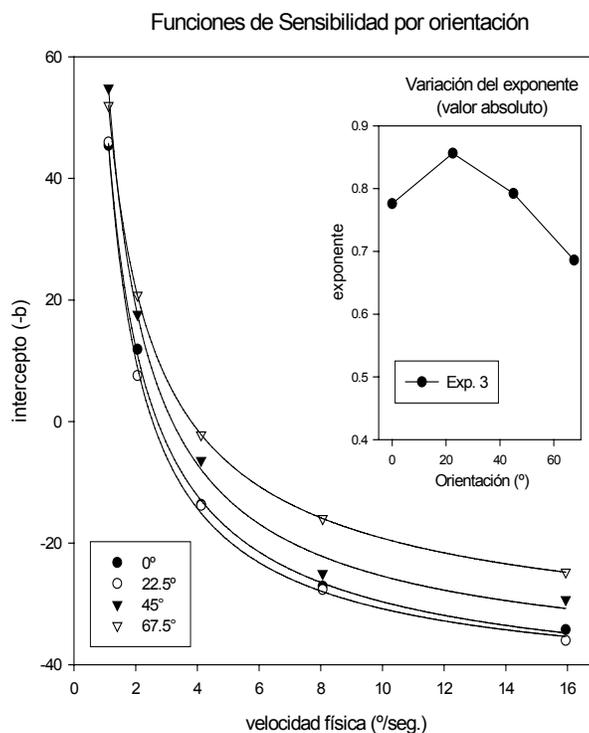
La figura 6.8 muestra las funciones de acumulación por velocidad para cada una de las orientaciones del estímulo estudiadas en este experimento. El ajuste de las funciones a los datos observados, que se realiza fijando el valor de la pendiente en 1, es satisfactorio ( $R^2 > 0.9$ ), lo cual permite afirmar que las diferencias de TR que presentan los sujetos dentro de cada condición de orientación, obedecen también a cambios en el criterio de la respuesta (véase figura 6.8) y no a variaciones del componente sensorial de la respuesta.



**Figura 6.8:** Funciones de acumulación de información por cada velocidad y para cada una de las orientaciones evaluadas en el experimento 3. Las pendientes de las funciones lineales valen 1.

Sin embargo, esto no implica que el componente sensorial de la respuesta sea el mismo para todas las orientaciones. Como vimos en el experimento 2 (figura 5.5), la presencia del efecto de la orientación sobre la velocidad percibida también puede ser estudiada a partir de la variación del componente sensorial de la respuesta; es decir, a través de la variación del exponente de la función de Sensibilidad. Asimismo, resulta interesante poder comparar las distintas variaciones del exponente que se obtienen para el experimento 2 y el experimento 3 (véase apartado 6.3).

En definitiva, la figura 6.8 nos indica que la respuesta sensorial de los cuatro sujetos es muy similar dentro de cada condición de orientación. Sin embargo, dicha respuesta se verá afectada por la orientación de los estímulos tal como se comprobó en el análisis de resultados del experimento 2. La variación del exponente de las funciones de Sensibilidad puede considerarse un indicador de la magnitud del efecto introducido por la orientación (y la longitud) en este experimento, ya que representa específicamente el cambio de la respuesta sensorial de los sujetos que introduce la orientación de los estímulos.



**Figura 6.9:** Funciones de Sensibilidad para las diferentes orientaciones del estímulo evaluadas en el experimento 3. El recuadro interno muestra la variación del exponente de las funciones de Sensibilidad para este experimento. La escala de ordenadas en el recuadro interno es la misma que se utiliza en el recuadro de la figura 5.5 a fin de facilitar la comparación (véase texto en el apartado 6.3).

La figura 6.9 muestra las cuatro funciones de Sensibilidad, una para cada orientación del estímulo. La variación del exponente de dichas funciones (véase recuadro interno) muestra un ligero descenso del mismo a medida que las líneas componentes del estímulo se aproximan a la horizontal<sup>81</sup>. La disminución del exponente a medida que aumenta la orientación representa el cambio de la respuesta sensorial de los sujetos que puede significar, aunque ésta es una idea especulativa por el momento, un aumento de la capacidad discriminativa de los sujetos ante la tarea (que de todas maneras es menor a la que se verifica en el experimento 2). Este punto se discute con mayor profundidad en el apartado 6.3 donde, además, se compararán las diferentes variaciones de los exponentes de las funciones de Sensibilidad del experimento 2 y del experimento 3.

#### 6.2.4 El cálculo de la velocidad percibida

Siguiendo el mismo procedimiento que se describe en el apartado 5.2.4, calculamos las velocidades percibidas para cada sujeto y en cada condición de velocidad a partir de los

<sup>81</sup> Recuérdese que en este experimento no se evalúa la condición de orientación 90° que representa una línea horizontal ya que el criterio para diseñar los estímulos (véase apartado 6.1.3) imposibilita la utilización de dicha condición.

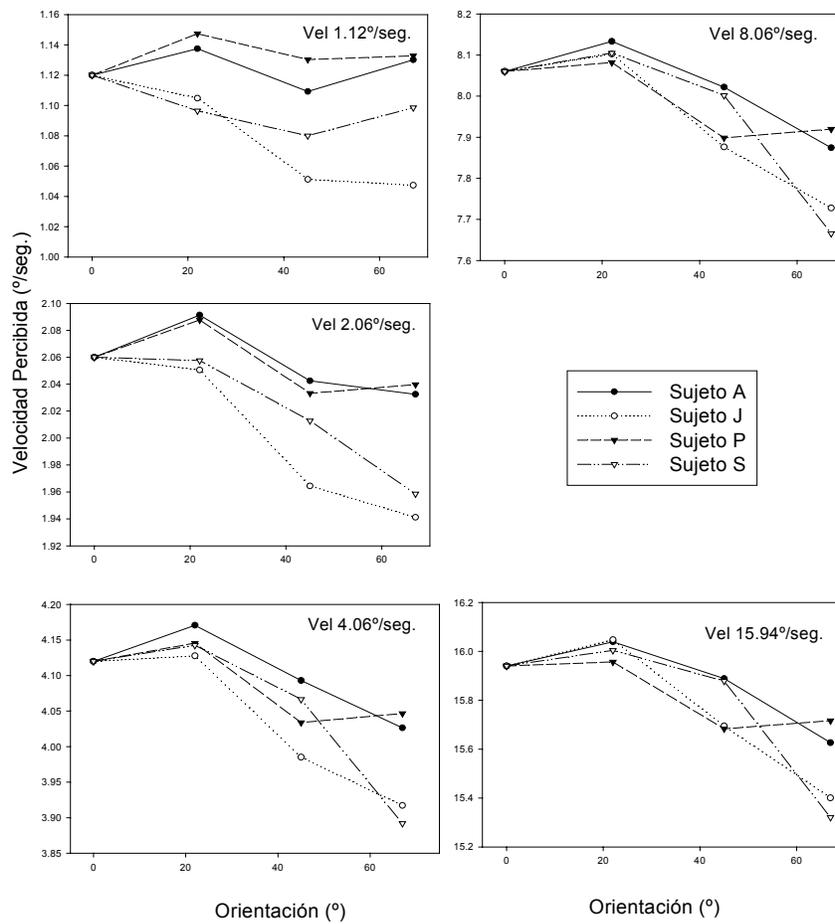
resultados de TR del presente experimento. Recuérdese que la obtención de información de carácter perceptivo (velocidad percibida) a partir de datos cuantitativos (TR) que no provienen de juicios del sujeto es una opción que cuenta aún con escaso desarrollo en el campo de la Psicología Experimental. En este sentido, los resultados que se presentan aquí deben considerarse como una mera aproximación.

En la figura 6.10 se presentan los resultados para la velocidad percibida en función de la orientación, para los cuatro sujetos y por condición de velocidad física. La mayoría de los valores de velocidad percibida que se obtienen en este experimento resultan muy similares a los obtenidos en el experimento 2. De todas maneras, nótese que la velocidad percibida disminuye claramente con la orientación de los estímulos. Sin embargo, no se verifican diferencias entre las velocidades percibidas en este experimento y en el experimento 2, lo cual es consecuencia del procedimiento matemático elegido para el cálculo de las velocidades percibidas que se discute en el apartado 6.3.

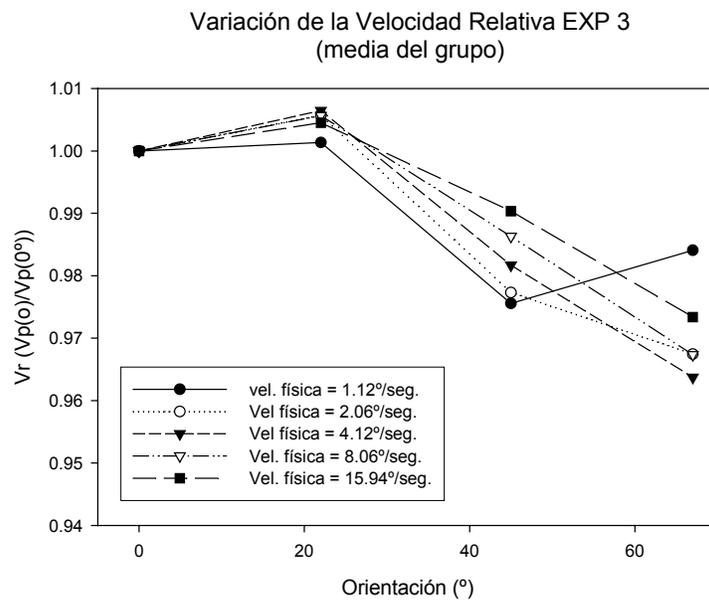
Con el objetivo de permitir la comparación de resultados con el experimento 2 y también de verificar el grado de ajuste de nuestros resultados al modelo propuesto por Castet et al. para el cómputo de la velocidad percibida, se presentan los resultados en función de la velocidad relativa ( $V_r^{82}$ ). Este tipo de representación nos permite además visualizar en un único gráfico la magnitud del efecto de la orientación sobre la velocidad percibida, para cada una de las velocidades físicas evaluadas (véase figura 6.11). Se puede observar cómo, en términos generales, la magnitud del efecto disminuye a medida que la velocidad física aumenta, con la excepción de la condición más baja de velocidad que presenta un comportamiento irregular. Dicho comportamiento resulta consistente con los valores de las pendientes de las rectas en la figura 6.5 que se discute más adelante (véase tabla 6.4). Recuérdese que tanto el presente cálculo de velocidad percibida como el análisis que se presenta en la figura 6.5 se basa en los datos brutos de TR; es decir, se incluyen tanto los componentes sensoriales como los decisionales (véase apartado 6.3).

---

<sup>82</sup> Recuérdese la definición de  $V_r$  para las tareas de TR que dimos en el experimento 2: consideramos a la  $V_r$  como el cociente entre la velocidad percibida del estímulo con orientación diferente de 0 y la velocidad percibida de la línea vertical (orientación = 0°)



**Figura 6.10:** Variación de la velocidad percibida en función de la orientación (y la longitud) de los estímulos. Se presentan los resultados para cada uno de los sujetos y un gráfico para cada velocidad física evaluada



**Figura 6.11:** Variación media de la velocidad relativa para cada una de las velocidades físicas estudiadas.

### 6.3 Discusión

Los análisis de los resultados del experimento 2 sugieren la posibilidad de que diferentes factores jueguen un papel en la determinación del TR al inicio del movimiento. A nivel sensorial, son muchos los factores que pueden modificar el procesamiento de la información sobre la velocidad (tamaño, orientación, luminancia, etc.). Los resultados del presente experimento muestran que la longitud de las líneas tiene un efecto sobre el TR al inicio del movimiento. En principio, podemos decir que el aumento de la longitud de las líneas componentes del estímulo genera una disminución del TR. En este sentido, la longitud tiende a compensar el efecto del aumento del TR que produce el incremento del ángulo (orientación) cuando la longitud de las líneas es constante (experimento 2). Esta compensación del TR podría explicarse por el aumento de la energía luminosa que tiene un estímulo de mayor longitud, que seguramente represente otro de los determinantes físicos del estímulo que modifica la respuesta a nivel sensorial. También Castet et al. (1993) sugieren que a menor luminancia de los estímulos, la velocidad percibida disminuye.

Sin embargo, Castet et al. (1993) reportan un efecto de sentido contrario al que mencionamos aquí de la longitud de las líneas sobre la velocidad percibida, proponiendo que a mayor longitud, la velocidad percibida disminuye. Los autores basan su predicción en que en una línea de mayor longitud habría mayor cantidad de unidades que señalarían el componente normal de la velocidad ( $V_L$ ) y que, por tanto, en la fase de integración de la información éstas tendrían una influencia mayor sobre el cómputo global de la velocidad percibida. De manera alternativa, también sugieren, basándose en el trabajo de Lorenceau y Shiffrar (1992), que la mayor excentricidad a la que se presentan los terminadores (señales  $V_T$ ) en las líneas de mayor longitud, determinaría una menor influencia de estas señales en el cómputo final de la velocidad. Todas sus predicciones, se realizan sobre la base de tareas de estimación de la velocidad que implican juicios por parte del sujeto y, por consiguiente, asumen que el sujeto dispone de un tiempo suficientemente prolongado para el procesamiento de la información.

En nuestro caso, la tarea es muy diferente a la utilizada por Castet et al. ya que no exige del sujeto una estimación de la velocidad del estímulo. Por el contrario, al ser simplemente una tarea de discriminación de la dirección del movimiento, evita la utilización de juicios perceptivos por parte del sujeto. En este sentido, pensamos que la tarea utilizada por nosotros se centra específicamente en una etapa más temprana del procesamiento de la información sobre velocidad que la que estudia la tarea de Castet et al. La elección de este tipo de tareas viene determinada por uno de los objetivos de este trabajo de investigación, en tanto pretendemos identificar las informaciones sensoriales que determinan la respuesta del sujeto ante la detección del movimiento, es decir, en un momento temprano del procesamiento sobre

la velocidad. Por consiguiente, resulta lógico suponer que nuestros resultados diferirán, al menos en parte, de los de Castet et al. debido a que centran la mirada en fases diferentes del procesamiento de la información sobre velocidad.

En nuestro caso, partimos de una asunción con respecto a la relación entre el TR y la velocidad percibida sobre la cual se apoya nuestro razonamiento. Asumimos que, en una etapa inicial del procesamiento de la información (como la que evalúa esta tarea) el aumento de la velocidad percibida provoca una disminución del TR sensorial a la detección del inicio del movimiento. Sobre esta base, y a partir de los resultados de este experimento, pensamos que la velocidad percibida aumenta con la longitud de las líneas componentes del estímulo, al menos para una etapa temprana del procesamiento. Una de las explicaciones posibles a este fenómeno, podría encontrarse en el razonamiento mecanicista que plantearía que al aumentar el tamaño del estímulo, crece la cantidad absoluta de unidades que se activan para detectar el movimiento. Es probable que para realizar una tarea de discriminación de la dirección del movimiento no sea necesario concluir el proceso de integración de las diferentes señales de velocidad, sino que alcance simplemente con procesar la información proveniente de algunas de las señales que permitan identificar la dirección del movimiento. El mayor número de unidades activadas, aumentaría la probabilidad de respuesta y provocaría una respuesta más rápida por parte del sujeto (véase capítulo 7). Desde esta perspectiva, resulta esperable que lo que denominamos “efecto de la orientación” en este experimento (que corresponde a una covariación entre orientación y longitud) sea de menor magnitud que el hallado en el experimento 2, ya que aquí ambas variables (orientación y longitud) tenderían a compensar sus efectos sobre el TR.

A fin de corroborar esta predicción, repasaremos los diferentes análisis realizados en el apartado 6.2. El primer análisis realizado muestra que los TR se ajustan a una función de Piéron al igual que en el experimento 2. Sin embargo, el valor del exponente de dicha función de Piéron es ligeramente mayor que el obtenido en el experimento 2 (0.78 y 0.66 respectivamente). Si consideramos al exponente de la función de Sensibilidad como un indicador de la sensibilidad<sup>83</sup> general de los sujetos a la tarea, podemos asumir que, en principio, la respuesta sensorial ante los estímulos del experimento 3 es menor que la que se verifica en el experimento 2, donde la longitud de las líneas que componen el estímulo no varía. El aumento del exponente de la función de Sensibilidad estaría indicando (véase apartado 5.3) una respuesta sensorial menos discriminativa que la que se observa en el

---

<sup>83</sup> Obsérvese que los exponentes de las funciones de Piéron globales (datos de TR medio para todos los sujetos) coinciden con los exponentes de las funciones de Sensibilidad halladas a partir de la variación de los interceptos de las funciones de acumulación.

experimento 2, lo cual apoya la hipótesis de que existe una compensación de los efectos de la orientación y de la longitud sobre la velocidad percibida en el experimento 3. Concretamente, pensamos que la incorporación de la variable longitud provoca, en términos generales, una reducción del efecto de la orientación sobre el TR, provocando que el valor absoluto del exponente de la función de Sensibilidad sea mayor. Esto se puede relacionar con una menor capacidad discriminativa de los sujetos ante los nuevos estímulos.

Dicha reducción del efecto se manifiesta también en el segundo análisis realizado (el efecto de la orientación sobre el TR) y se puede verificar a través de la comparación de la figura 6.5 con la figura 5.2. Obsérvese como la tendencia global al aumento del TR en función de la orientación de los estímulos es menor en el experimento 3 (figura 6.5) que la que se registra en los resultados del experimento 2 (figura 5.2). Uno de los indicadores de la magnitud del efecto de la orientación es la pendiente de las funciones lineales. En la tabla 6.4 se presentan los valores de las pendientes de los datos medios de TR para los dos experimentos. Obsérvese que la magnitud del efecto aparece reducida en el experimento 3 exclusivamente para las velocidades bajas. Esto podría implicar que la influencia de la longitud de las líneas (única variable que cambia en el experimento 3) sobre la velocidad percibida se manifiesta fundamentalmente para las velocidades físicas bajas.

**Tabla 6.4:** Pendientes de las funciones lineales de TR medio en función de la orientación para cada velocidad física. Se presentan los resultados para este experimento y las pendientes obtenidas en el experimento 2.

<b>Experimento</b>	<b>1.12°/seg</b>	<b>2.06°/seg</b>	<b>4.12°/seg</b>	<b>8.06°/seg</b>	<b>15.94°/seg</b>
<b>Exp. 3</b>	0.13	0.18	0.18	0.17	0.15
<b>Exp. 2</b>	0.20	0.21	0.18	0.16	0.14

De todas maneras, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones antes de aceptar dicha hipótesis. Por un lado, que se trata de un análisis que se basa en los datos medios de TR de cuatro sujetos, y recuérdese que las diferencias inter individuales en este experimento fueron especialmente importantes (véase figura 6.5). El análisis de dichas diferencias a través del modelo (apartado 6.2.3) demuestra que dichas diferencias se deben a la utilización de diferentes criterios de respuesta. En este sentido, resulta más fiable basar nuestras conclusiones en los resultados que provienen del análisis del componente sensorial de la respuesta que nos permitirá extraer conclusiones generales al respecto de la influencia de la longitud en la etapa sensorial de la respuesta. Estas consideraciones también deben tenerse en cuenta para la interpretación de los resultados sobre el cálculo de la velocidad percibida, dado que dicho cálculo también parte de los resultados brutos de TR.

Asimismo, el cálculo de la velocidad percibida debe considerarse como una primera aproximación a la obtención de información perceptiva a partir de datos cuantitativos que

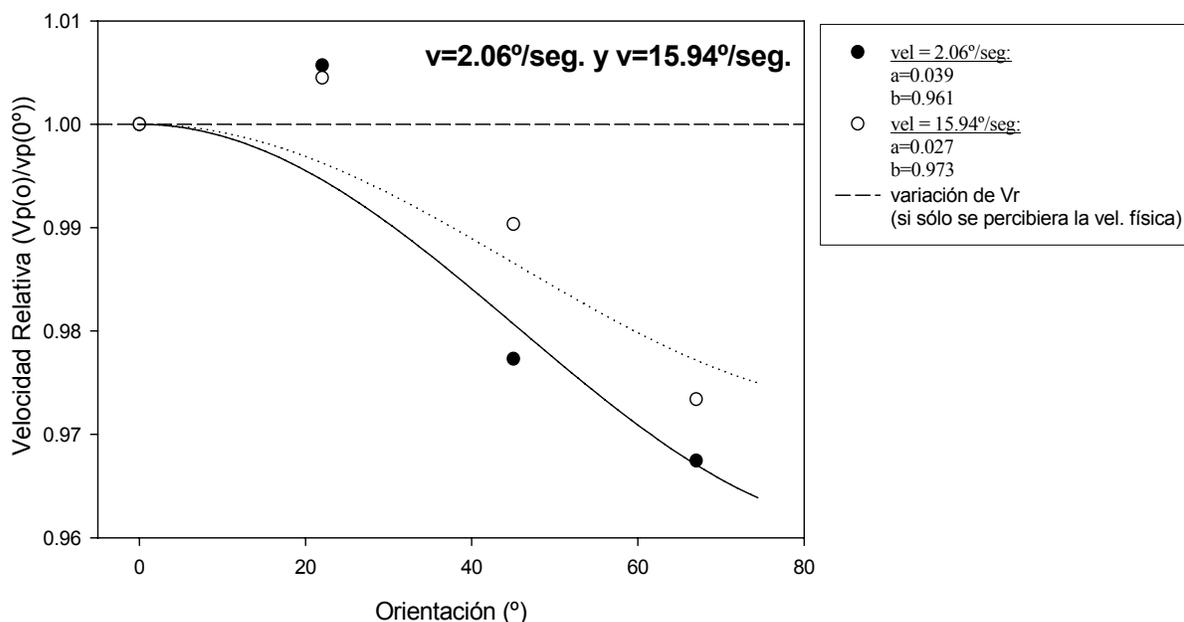
necesita de mayor desarrollo. Los valores de velocidad percibida obtenidos en el apartado 6.2.4 mediante dicho procedimiento resultan muy similares a aquellos que se obtienen para el experimento 2. Las escasas diferencias encontradas se relacionan con el procedimiento de cálculo elegido para la obtención de la velocidad percibida que se basa en el cociente entre TRs suavizados, no resultando suficientemente sensible para detectar pequeñas diferencias de magnitud del efecto, como las que existen entre los experimentos 2 y 3. En este sentido, pensamos que la variación del exponente de la función de Sensibilidad es un indicador más sensible de éstas diferencias ya que representa específicamente el cambio de la respuesta sensorial ante los dos tipos de estímulo (véase más adelante).

De todas maneras, a fin de facilitar la comparación de las velocidades percibidas del presente experimento con las provenientes del experimento 2, se muestra en la figura 6.12 el ajuste de los datos al modelo propuesto por Castet et al. (1993). Dicho modelo corresponde a la ecuación 3.4 y propone diferentes ponderaciones para la señal local de velocidad ( $V_L$ ) y para la señal global ( $V_T$ ) que proviene del terminador (que se puede asumir como la señal que representa a la velocidad física). Los pesos relativos de cada una de estas señales en el cómputo de la velocidad percibida se expresan mediante los parámetros  $a$  y  $b$  (véase figura 6.12). En dicha figura, sólo se muestran los ajustes para las mismas condiciones de velocidad que fueron estudiadas en el experimento 1 y que luego fueron analizadas de manera particular en el experimento 2 (figura 5.8b). Los coeficientes de ajuste que se obtienen para ambas situaciones son satisfactorios ( $R^2 \geq 0.8$ ) y los parámetros  $a$  y  $b$  obtenidos en cada caso se muestran en el recuadro interno de la figura 6.12.

Los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  que se obtienen para los resultados de este experimento resultan prácticamente idénticos a los obtenidos en el experimento 2, debido a que, cuando se calculan los parámetros del modelo de Castet a partir de datos de TR, éstos no pueden ser interpretados de la misma manera. Castet et al. proponen que los valores de los parámetros indican la contribución relativa de cada tipo de señal en la integración final de la velocidad percibida. Sin embargo, como se menciona en el apartado 5.3, una posible interpretación de los valores de estos parámetros, cuando provienen de tareas de TR, es que representen la probabilidad que tiene cada tipo de señal de ser procesada con anterioridad (esta idea se desarrollará en el capítulo 7).

Sin embargo, los análisis que se basan en la respuesta sensorial de los sujetos (fundamentalmente la comparación de la variación de los exponentes de las funciones de Sensibilidad) muestran que existe un menor efecto del factor orientación en el experimento 3 que en el experimento 2. Dicha disminución del efecto no aparece a través de la comparación del cálculo de las velocidades percibidas debido a la poca sensibilidad del procedimiento

matemático utilizado para su obtención y también debido a que dichos resultados no se basan exclusivamente en la respuesta sensorial de los sujetos.



**Figura 6.12:** Ajuste y puntos observados de velocidad relativa sólo para la velocidad 2.06°/seg. y 15.94°/seg. Los datos se ajustaron a la función propuesta por Castet et al. (1993) para modelar la variación de la velocidad percibida y que aparece en la ecuación 3.7.

Estas consideraciones cobran mayor importancia al comprobarse que el criterio de respuesta utilizado por los sujetos puede cambiar de un experimento a otro (véase apartado 6.2.3). En la condición 0° (línea vertical) de ambos experimentos, donde los estímulos y la tarea son idénticos, existen diferencias no-menores (en ciertos sujetos) en los valores medios de los TR<sup>84</sup> (véase tabla 6.3). Las figuras 6.7 y 6.8 muestran cómo los resultados de los diferentes sujetos responden a la misma respuesta sensorial en ambos experimentos. Por tanto, las diferencias en los TR corresponden a modificaciones del criterio de respuesta de alguno de ellos (fundamentalmente los sujetos S y P). Dichas modificaciones de criterio podrían explicarse por el prolongado lapso de tiempo (2 meses) que transcurre entre la ejecución del experimento 2 y el experimento 3, o a partir de otros factores de alto nivel.

Por este motivo consideramos que los análisis que resultan más válidos para la comparación de los resultados del experimento 3 con los del experimento 2 son aquellos que se basan en indicadores del componente sensorial de la respuesta, como el exponente de la función de Sensibilidad. En este sentido, en el apartado 6.2.3 se presentan las funciones de Sensibilidad para cada condición de orientación (figura 6.9). El recuadro interno de la figura

<sup>84</sup> Dichas diferencias quedan de manifiesto si se comparan los resultados que se presentan en la figura 6.5 y los que aparecen en la figura 5.2, aunque un buen resumen de esta información se presenta en la tabla 6.2.

6.9 muestra la variación del exponente para cada orientación (en este caso: orientación + longitud). Como ya se explicó anteriormente, consideramos -como una idea de carácter especulativo por el momento- que la disminución del exponente indica un aumento de la capacidad discriminativa de la respuesta ante la tarea. En este sentido, la comparación de los perfiles de variación del exponente en función de la orientación para ambos experimentos resulta un indicador preciso del efecto introducido en la respuesta sensorial por el factor orientación en cada experimento. La figura 6.13 muestra la variación de los exponentes para las condiciones de orientación que son comunes<sup>85</sup> a ambos experimentos. Los resultados (véase figura 6.13) apoyan la idea de que el efecto que produce la nueva variable orientación en el experimento 3 es de menor magnitud -desde el punto de vista sensorial- que el observado en el experimento 2. Las diferencias entre los exponentes de uno y otro experimento no resultan significativas mediante un ANOVA con medidas repetidas<sup>86</sup>, sin embargo creemos que las diferencias de tendencia que se pueden apreciar visualmente (figura 6.13) son suficientes como para pensar que nos encontramos ante una disminución del efecto de la orientación en el experimento 3. Dicha disminución del efecto del nuevo factor orientación (orientación + longitud) sobre la velocidad percibida debe explicarse a partir del aumento de la longitud de las líneas. En este sentido, podemos decir que el aumento de la longitud de las líneas que componen el estímulo determina un aumento de la velocidad percibida, al menos en la etapa sensorial del procesamiento de la información.

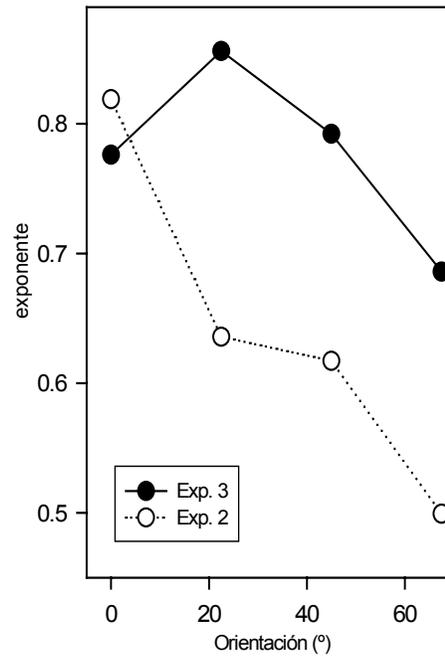
Obsérvese además cómo el valor de los exponentes para la condición de  $0^\circ$  resulta prácticamente idéntico, confirmando así los resultados de nuestros análisis anteriores con respecto al origen de las variaciones del TR de algunos sujetos para la línea vertical (orientación =  $0^\circ$ ). Evidentemente, dichas diferencias no provienen de un cambio en la sensibilidad de los sujetos y, por eso, el exponente de la función de Sensibilidad para la orientación  $0^\circ$  es prácticamente el mismo para ambos experimentos. En este sentido, la posibilidad que otorga el modelo de aislar el componente sensorial de la respuesta a través de los exponentes de las funciones de Sensibilidad permite que sea utilizado para determinar la magnitud del efecto que introduce un factor (p.e. orientación) específicamente sobre la respuesta sensorial a un estímulo determinado. Desde esta perspectiva, pensamos que el modelo propuesto por Bonnet y Link (1998) resulta una herramienta útil para la comparación de la magnitud de los efectos producidos por diversos factores experimentales, evaluándolos específicamente en una etapa temprana del procesamiento.

---

<sup>85</sup> Recuérdese que en el experimento 3 no se evalúa la condición de orientación =  $90^\circ$  (línea horizontal).

<sup>86</sup> Téngase en cuenta que la hipótesis implica esperar iguales valores del exponente para la condición de  $0^\circ$  ya que los estímulos son idénticos en esta condición para ambos experimentos.

Variación de los exponentes de las funciones de Sensibilidad  
(Comparación entre Experimento 2 y Experimento 3)



**Figura 6.13:** Variación de los exponentes de las funciones de Sensibilidad en función de la condición de orientación en el experimento 2 y 3. Se omite el valor del exponente para la condición de 90° del experimento 2 para mayor claridad de la figura.

En conclusión, podemos decir que el efecto de la orientación sobre la velocidad percibida en una etapa temprana del procesamiento se ve reducido en este experimento por la covariación de la orientación con la longitud de las líneas que componen el estímulo.



## **CONCLUSIONES**

---

---



## Capítulo 7

# 7 CONCLUSIONES

---

La experimentación psicofísica pretende, entre otras cosas, identificar las informaciones sensoriales que determinan la respuesta de los sujetos. Para esto se utilizan tradicionalmente pocos sujetos pero bien entrenados. De esta manera se consigue que las diferencias aparezcan de manera sistemática y que éstas sean consecuencia de las modificaciones del estímulo y no de la variabilidad interna de cada sujeto. Las diferencias pueden ser pequeñas en valor absoluto (como es el caso en los experimentos de TR), pero al tratarse de sujetos entrenados, la variabilidad intra individual que enmascara los efectos producidos por los cambios en la variable independiente aparece (generalmente) reducida. De esta manera, la psicofísica requiere de sujetos con una alta dedicación de tiempo a fin de recoger una cantidad suficiente de datos para permitir la aparición de los efectos.

La pregunta inicial que da origen a este trabajo de investigación es justamente la de conocer las características físicas del estímulo que utiliza el sistema visual para procesar la información sobre velocidad y también cómo es utilizada dicha información. Lo complejo de la pregunta hace que sea necesario usar diferentes métodos de investigación que estudien las distintas etapas del procesamiento de la información que realiza el sistema ante un movimiento visual. En este sentido, se utilizan dos métodos para abordar el tema de la percepción de la velocidad. En una primera parte, la experimentación se basa en tareas de igualación (tanto mediante métodos adaptativos –escalera, en el experimento preliminar- como a través del método de estímulos constantes en el experimento 1). En una segunda parte, se utilizan tareas de discriminación de la dirección del movimiento y se registra el TR. Los resultados obtenidos se complementan en tanto describen fases distintas del procesamiento de la información sobre la velocidad.

En las tareas de igualación que se proponen a los sujetos en la primera parte se comprueba que la orientación de las líneas que componen el estímulo es uno de los factores que intervienen en la recuperación de la información de velocidad que realiza el sistema visual, al menos para las velocidades bajas. Los resultados muestran que a medida que las líneas se aproximan a la horizontal, la velocidad percibida en la condición de velocidad baja ( $2.06^\circ/\text{seg.}$ ) disminuye. La magnitud del efecto de la orientación sobre la velocidad percibida depende del

ángulo entre las líneas componentes del estímulo (véase figura 3.7), aunque la comparación con los resultados obtenidos por Castet et al. (1993) permite suponer que también la cantidad de puntos con información no-ambigua (terminadores) que contiene el estímulo (5 en nuestro caso) incide en la magnitud del efecto. De todas maneras, existen además otras diferencias con el experimento de Castet et al. que podrían justificar el menor efecto obtenido por nosotros (véase apartado 3.3).

Para la condición de velocidad alta (15.94°/seg.) en las tareas de igualación no se aprecia prácticamente ningún efecto de la orientación sobre la velocidad percibida. Son tareas que exigen un procesamiento “completo” de la información de velocidad dado que el sujeto debe emitir un juicio con respecto a cuál de los dos estímulos es más rápido. Por tanto, podemos asumir que este tipo de tareas aportan información sobre una etapa tardía del procesamiento de la información sobre velocidad dado que los sujetos necesitan estimar y comparar las velocidades de dos estímulos secuenciales (estándar y de comparación). Cuando la información de velocidad física es potente (velocidades altas), el efecto de otros factores que contribuyen de manera más tenue en el procesamiento de la información sobre velocidad, como la orientación, disminuye. Sin embargo, es probable que dicha disminución sea también consecuencia de la dinámica temporal del procesamiento de la información de velocidad que realiza el sistema visual. Las tareas de igualación evalúan el procesamiento en un momento donde la información sensorial primaria ya fue procesada. Sin embargo, nuestro interés se centra en averiguar cuáles son los determinantes físicos del estímulo que intervienen en una etapa temprana del procesamiento de la información sobre velocidad y conocer algo de cómo intervienen en dicho procesamiento. En este sentido, se plantean los experimentos 2 y 3 basados en una metodología que estudia los TR.

El uso de una metodología basada en los TR se corresponde con uno de los principios generales de la psicofísica sensorial. Según éste la respuesta observada (PIS o media de TR) no tiene solamente un determinante sino que, por el contrario, son varios los elementos que determinan la respuesta del sujeto. Más allá de la discriminación entre los componentes sensoriales y los decisionales que contiene una respuesta (separación que resulta más eficaz cuando se trata de respuestas de TR que cuando trabajamos sobre resultados que provienen de respuestas de juicio), debemos considerar que, a nivel sensorial, existen diferentes factores que pueden intervenir en el procesamiento de la información. El TR al inicio del movimiento es una respuesta automática del sujeto que depende de la información sensorial, pero que no arrastra elementos de alto nivel ligados a la emisión de un juicio perceptivo. En el caso concreto del procesamiento de la información sobre velocidad, podemos pensar en la intervención de factores como la orientación de las líneas del estímulo, la luminancia y el

tamaño, entre otros. Los experimentos 2 y 3 apuntan a determinar el peso de alguno de estos factores (o informaciones sensoriales) en la respuesta de los sujetos. En definitiva, se aborda la pregunta sobre qué es la velocidad para el sistema visual en una etapa temprana del procesamiento de la información y a nivel sensorial.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que tanto la orientación como la longitud de las líneas que componen el estímulo juegan un papel en el cómputo de la velocidad que realiza nuestro sistema visual a nivel sensorial. En términos generales (pero, véase apartado 5.3) podemos decir que la orientación de las líneas es una dimensión del estímulo que modula la respuesta sensorial del sujeto ante la velocidad física, aunque el grado de modulación de la respuesta que introduce la orientación se encuentra relacionado con la longitud de las líneas del estímulo.

En el experimento 2, se demuestra el efecto de la orientación sobre la velocidad percibida a nivel sensorial. Asimismo, queda claro que si estamos interesados en una etapa inicial del procesamiento de la información, la metodología basada en los TR resulta más sensible y adecuada que aquellas que demandan un juicio por parte del sujeto<sup>87</sup>. Así lo demuestran los resultados que se presentan en el apartado 5.2.2 y 5.2.4 donde aparece un efecto de la orientación, incluso para la velocidad más alta, en la que no resulta posible detectar ningún efecto de la orientación mediante la tarea propuesta en el experimento 1 (compárese la figura 3.6 con la figura 5.7).

En el apartado 5.2.4 se propone un procedimiento tentativo para el cálculo de las velocidades percibidas a partir de los datos de TR. Dicho procedimiento constituye una propuesta inicial sobre la cual pensamos seguir trabajando ya que presenta ciertas dificultades (véase apartado 6.3). Sin embargo, pensamos que el cálculo de las velocidades percibidas a partir de los TR al inicio del movimiento constituye una parte importante de este trabajo de investigación, ya que nos permite comparar los resultados obtenidos mediante una metodología basada en el estudio de los TR con aquellos que se obtienen a través de tareas de igualación (como en el experimento 1 y en Castet et al. 1993). En este sentido, en los apartados 5.2.4 y 6.2.4 se obtienen las velocidades percibidas para cada orientación a fin de ajustar los resultados de velocidad relativa al modelo de cómputo de la velocidad que propone Castet et al. (1993). La comparación de estos resultados valida el uso de esta metodología para la investigación del procesamiento temprano de la velocidad, en tanto se verifican las predicciones más importantes deducidas en trabajos anteriores (p.e. el menor efecto de la orientación sobre la velocidad percibida para las velocidades altas que para las velocidades bajas).

---

<sup>87</sup> Además, considérese la dificultad y el tiempo que implica la recolección de datos de estimación con respecto a la recolección de los resultados de TR al inicio del movimiento.

Por otro lado, los resultados obtenidos por nosotros mediante tareas de discriminación de la dirección del movimiento (experimentos 2 y 3) determinan los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  en el modelo de cómputo propuesto por Castet et al. (1993) que resultan bastante diferentes a los que se obtienen mediante tareas de igualación, incluso en nuestro primer experimento (véase apartado 3.3). Pensamos que dichas diferencias se pueden explicar a partir de dos elementos. En primer lugar, el modelo de Castet et al. no considera la dinámica temporal del procesamiento de las señales y, por tanto, no resulta adecuado para predecir la velocidad relativa en un momento temprano del procesamiento (como es el caso de la evaluación que realizamos en los experimentos 2 y 3 a través del estudio de los TR). En segundo lugar, para llevar a cabo esta tarea, el sujeto no tiene por qué computar la velocidad del estímulo, sino que basta con que se llegue a procesar una de las señales indicando así la dirección del movimiento. De hecho, cualquiera de los dos tipos de señales indicará la dirección correcta del movimiento más allá de que la intensidad de la señal local ( $V_L$ ) será menor que la de la señal global ( $V_T$ ). En este sentido, los resultados obtenidos a partir de los datos de TR para el ajuste del modelo de Castet et al. podrían estar indicando, más que un peso relativo de las señales en la integración final de la información sobre velocidad, la probabilidad de dichas señales de ser procesadas con anterioridad. Los valores del parámetro  $b$ , mayores que los del parámetro  $a$  y, en todos los casos, muy cercano a 1, indicarían -si asumimos esta hipótesis- que generalmente es dicha señal la que indica al sujeto la dirección del movimiento; lo que resulta suficiente para ejecutar la tarea con éxito. Dicha hipótesis es coherente con la idea propuesta por Hildreth (1983) (conocida como *propagation process*) que sugiere que las señales provenientes de los terminadores se propagan sobre las líneas del estímulo a fin de recuperar la información de movimiento, lo cual implica que la señal proveniente del terminador ( $V_T$ ) se procesa antes que las señales locales.

De todas maneras, el tema de cuál de las señales se procesa con anterioridad es aún hoy una cuestión abierta que necesita de mayor experimentación para dilucidarse. Recuérdese, por ejemplo, que los resultados obtenidos en macacos por Pack y Born (2001) establecen que la información de las señales provenientes de los terminadores ( $V_T$ ) arriban a la zona de integración (área MT) luego de transcurridos 60 milisegundos desde la presentación de los estímulos (véase apartado 1.2.2.3). Sin embargo, debido a que la tarea que se propone a los sujetos en los experimentos 2 y 3 sólo exige que se indique la dirección del movimiento, podemos pensar que las señales de dirección del movimiento que utiliza el sistema visual para resolver esta tarea provienen de un nivel más temprano que aquél donde se integra la información sobre velocidad.

En el experimento 3, se investiga la influencia de la longitud de las líneas. Las diferencias en cuanto a los valores de velocidad percibida, calculadas a partir del procedimiento descrito en el apartado 5.2.4 no resultan suficientes para demostrar el efecto de la longitud en la respuesta de los sujetos. Pensamos que dicho efecto queda enmascarado debido, por un lado a las diferencias inter individuales que se detectan en la ejecución de la tarea (véase figura 6.5) y, por otro lado, a que para realizar la tarea propuesta alcanza con procesar solamente uno de los tipos de señales de la velocidad.

De todas maneras, la aplicación del modelo de análisis de datos de TR propuesto por Bonnet y Link (1998) nos permite verificar que las diferencias inter individuales corresponden a cambios en el criterio de respuesta de los sujetos. Este tipo de análisis posibilita estudiar de manera aislada los cambios de la respuesta sensorial de los sujetos. En este sentido, la variación del valor del exponente de la función de Sensibilidad que se analiza en la figura 6.13 permite concluir que la longitud de las líneas sí, influye en la primera etapa de la percepción de la velocidad que realiza el sistema visual. En principio, el aumento de la longitud podría provocar un aumento de la energía del estímulo que provoca un efecto casi compensatorio de aquél que produce la orientación sobre la respuesta sensorial al inicio del movimiento de los sujetos y, por consiguiente, a la primera fase del procesamiento de la velocidad percibida.

Para finalizar, es necesario aclarar que la noción de UNA velocidad percibida puede ser falaz. Podemos asumir que existe una integración sensorial de todas las señales que determinan la velocidad percibida final, sin embargo, la velocidad percibida de un movimiento visual dependerá del momento en que el sujeto emita su respuesta. Desde esta concepción, podemos concluir que, desde el punto de vista de la información sensorial y considerando una etapa temprana del procesamiento sobre la velocidad, tanto la orientación como la longitud de las líneas que componen el estímulo determinan la respuesta al inicio de un movimiento visual.



## REFERENCIAS BIBLIÓGRAFICAS

---

---



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Adelson, E. H. (1991). Mechanisms for Motion Perception. *Optics and Photonics News*, 2(8), 24-30.
- Adelson, E. H. y Movshon, J. (1982). Phenomenal coherence of moving visual patterns. *Nature*, 300, 523-525.
- Adelson, E. H. y Bergen, J. R. (1985). Spatiotemporal energy models for the perception of motion. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2, 284-299.
- Ahumada, A. J. Jr. y Watson, A. B. (1985). Equivalent-noise model for contrast detection and discrimination. *J Opt Soc Am A*, 2(7), 1133-1139.
- Albright, T. D. (1984). Direction and orientation selectivity of neurons in visual area MT of the macaque. *J Neurophysiol*, 52, 1106-1130.
- Aloimonos, J. (1993). *Active perception*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anstis, S. y Ramachandran, V. S. (1987). Visual inertia in apparent motion. *Vision Research*, 27, 755-764.
- Beckers, G. y Homberg, V. (1992). Cerebral visual motion blindness: transitory akinetopsia induced by transcranial magnetic stimulation of human area V5. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 249, 173-178.
- Ball, K. y Sekuler, R. (1980). Models of stimulus uncertainty in motion perception. *Psychological Review*, 87, 435-469.
- Barlow, H. B. y Levick, W. R. (1965). The mechanisms of directionally selective units in rabbit's retina. *Journal of Physiology (London)* 178, 477-504.
- Baxter, B. (1942). A study of Reaction Time using factorial design. *Journal of Experimental Psychology*, 31, 430 – 437.
- Benschot, R. y Draaisma, D. (2000) In Pursuit of Precision: The Calibration of Minds and Machines in Late Nineteenth-century Psychology', *Annals of Science* 57, 1-25.

- Bonnet, C. (1977). Visual motion detection models: features and frequency filters. *Perception*, 6, 491-500
- Bonnet, C. (1981). Processing configurations of visual motion. En J. Long, A. Bradley (Eds.), *Attention & Performance IX*, Hillsdale (N.J.), Lawrence Erlbaum.
- Bonnet, C. (1982). Thresholds of motion perception. En A.H. Wertheim, W.A. Wagenaar, H.W. Leibowitz (Eds), *Tutorials in motion perception*. New-York, Plenum Publishing Corporation. pp.41-79.
- Bonnet, C. (1984a). Discrimination of velocities and mechanisms of motion perception. *Perception*, 13, 275-282.
- Bonnet, C. (1984b). Two systems in the detection of a visual motion. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 4, 61-65.
- Bonnet, C. (1986). *Manuel Pratique de Psychophysique*, Paris, Editions Armand Colin.
- Bonnet, C. (1996). Interindividual variability and training in psychophysical tasks: sensorial and/or decisional effects?. En A. Schick y M. Klatt (Eds.) *Contributions to Psychological Acoustics. Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Oldenburg, BIS. pp.549-564.
- Bonnet, C. (1996). Sensory/Decisional problem: An expansion of Link theory. En S. Masin (Ed.), *Fechner Day 96*. ISP Padoue, pp. 137-142.
- Bonnet, C. y Link, S. (1998) Analyzing individual differences in Reaction Times. En S. Gondrin y Y. Lacouture (Eds.), *Fechner Day 98*. ISP Québec, pp.161-166.
- Bonnet, C., Zamora, M. C., Buratti P. y Guirao M. (1999). Group and individual gustatory reaction times and Piéron's law. *Physiology & Behaviour*, 66, 549-558.
- Bonnet, C. y Dresch, B. (2001). Investigations of sensory magnitude and perceptual processing with reaction times. *Psychologica*, 28, 63-86.
- Borst, A. y Egelhaaf, M. (1989). Principles of visual motion detection. *Trends Neurosci*, 12, 297-306.
- Borst, A. (2000). Models of motion detection. *Nature Neuroscience (Supplement)*, 3, 1168.
- Braddick, O. J., Sleigh, A. C. y Rank Prize Funds. (1983). Physical and biological processing of images: *proceedings of an international symposium organized by the Rank Prize Funds*, London, England, 27-29 September, 1982. Berlin; New York: Springer-Verlag.

- Braddick, O. J. (1993). Segmentation versus integration in visual motion processing. *Trends in Neuroscience*, 16, 263-268.
- Braddick, O. J. y Qian, N. (2001). The organization of global motion and transparency. En J. Zanker and J. Zeil (Ed.). *Motion Vision-Computational, Neural and Ecological Constraints*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2001.
- Bradley, D. (2001). MT signals: Better with time. *Nature Neuroscience*, 4, 346-348.
- Bravo, M. J. y Watamaniuk, S. N. J. (1995). Evidence for two speed signals: a coarse local signal for segregation and a precise global signal for discrimination. *Vision Research*, 35, 1691-1697.
- Brown, J. F. (1931). The visual perception of velocity. *Psychologische Forschung*, 14, 199-232.
- Bruce, V., Green, P. R. y Georgeson, M. A. (1996). *Visual perception: physiology, psychology, and ecology (3<sup>rd</sup> ed.)*. Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Campbell, F. W. y Maffei, L. (1981). The Influence of Spatial Frequency and Contrast on the Perception of Moving Patterns. *Vision Research*, 21(5), 713-721.
- Castet, E., Lorenceau, J., Shiffrar, M. y Bonnet, C. (1993). Perceived speed of moving lines depends on orientation, length, speed and luminance. *Vision Research*, 33, 1921-1936.
- Cattell, J. M. (1886). The time it takes to see and name objects. *Mind*, 11, 63-65.
- Cattell, J. M. (1890). Mental tests and measurements. *Mind*, 15, 373-381.
- Cattell, J. M. (1895). Measurements of the accuracy of recollection. *Science*, 2, 761-766.
- Cattell, J. M. (1902). The time of perception as a measure of differences in intensity. *Philosophische Studien*, 19, 63-68.
- Chocholle, R. (1945). Variations des temps de réaction auditifs en fonction de l'intensité à diverses fréquences. *Ann. Psychol.*, 1945, 41 y 42, 65-124.
- Chocholle, R. (1948). Étude de la psychophysiologie de l'audition par la méthode des temps de réaction. *Ann. Psychol.*, 1948, 45 y 46, 90-131.
- Chocholle, R. (1954). Les Temps de réaction; leur utilisation possible en audiologie. *Ann. OtoLaryngol.*, 71, 379 - 389.
- Chocholle, R. (1972). Los Tiempos de Reacción. En: *Sensación y Motricidad*. Paul Fraise y Jean Piaget comp. Buenos Aires; Editorial Paidós, 77-152.

- Collewijn, H. (1972). Latency and gain of the rabbit's optokinetic reactions to small movements. *Brain Research*, 36, 59-70.
- Cornsweet, T. N. (1962). The staircase method in psychophysics. *American Journal of Psychology* 75, 485-491.
- Dakin, S. C. y Mareschal, I. (2000). The role of relative motion computation in 'direction repulsion'. *Vision Research*, 40, 833-841.
- Dawson, M. R. W. (1991). The how and why of what went where in apparent motion: Modeling solutions to the motion correspondence problem. *Psychological Review*, 98, 569-603.
- De Jaager, J. J. (1865). *De Physiologische Tijd bij Psychische Processen: Academisch Proefschrift* (de Hoogeschool te Utrecht). Utrecht: van de Weijer . (Traducido y editado por J. Brozek & M.S. Sibinga (1970). *Origins of psychometry: Johan Jacob de Jaager on Reaction Time and Mental Processes (1865)*. Nieuwkoop: B. de Graaf).
- Dougherty, R. F., Press, W.A. y Wandell, B.A. (1999). Perceived speed of coloured stimuli. *Neuron*, 24, 893-899.
- Donders, F. C. (1868). On the speed of mental processes. Traducido por W. G. Koster, 1969. *Acta Psychologica* 30, 412-431.
- Dror, R. O. (1998). Accuracy of velocity estimation by Reichardt correlators. *Master's thesis*, University of Cambridge, Cambridge, U.K.
- Dror, R. O., O'Carroll, D. C. y Laughlin, S. B. (2001). Accuracy of velocity estimation by Reichardt correlators. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 18, 241-252.
- Dzhafarov, E. N., Sekuler, R. y Allik, J. (1993). Detection of changes in speed and direction of motion: reaction time analysis. *Perception and Psychophysics*, 54, 733-750.
- Elbel, E. R. (1939). A study in variation in response time. *Res. Quart. Amer. Helth. Phys. Educ.*, 10, 35-50
- Emerson, R. C., Bergen, J. R. y Adelson, E. H. (1992). Directionally selective complex cells and the computation of motion energy in cat visual cortex. *Vision Research*, 32, 203-218.
- Exner, S. (1873). *Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychischen Prozesse*. Pflügers Archiv der gesamten.

- Exner, S. (1888). Über optische Bewegungsempfindungen. *Biologisches Centralblatt*, 8, 437-448.
- Ferrera, V. y Wilson, H. (1990). Perceived direction of moving two-dimensional patterns. *Vision Research*, 30, 273-287.
- Forbes, G. (1945). The effect of certain variables on visual and auditory reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 35, 153 – 162.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goodale, M. A. y Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neurosciences*, 15, 20-25.
- Gray, R. y Regan, D. (1998). Accuracy of estimating time to collision using binocular and monocular information. *Vision Research*, 38, 499-512.
- Green, D. M. y Swets, J. A. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley.
- Grice, G. R. (1968). Stimulus intensity and response evocation. *Psychological Review*, 75, 359-373.
- Hamilton, D. B., Albrecht, D. G. y Geisler, W. S. (1989). Visual cortical receptive fields in monkey and cat: spatial and temporal phase transfer function. *Vision Research*, 29, 1285-1308.
- Hanes, D. P. y Schall, J. D. (1996). Neural control of voluntary movement initiation. *Science*, 274, 427-430.
- Hassenstein, B. y Reichardt, W. (1956). Systemtheoretische Analyse der Zeit-, Reihenfolgen- und Vorzeichenauswertung bei der Bewegungsperzeption des Rüsselkäfers *Chlorophanus*. *Z. Naturforsch. 11b*, 513-524
- Haupt, E. J. (1999). "The Controversy Between G.E. Müller and Wilhelm Wundt Over the Proper Measurement of Reaction Time". Conferencia presentada en *Eastern Psychological Association 1999 Meeting Providence*, Rhode Island, 17 de Abril de 1999.
- Helmholtz, H. (1850). Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung. *Bericht über die Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königlichen Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 14, 14-15. Traducido como "On the rate of transmission of the nerve impulse" por Mrs. Alfred G. Dietze y

- editado por W. Dennis (Ed.) (1948, pp. 197-198). *Readings in the History of Psychology*. New York: Appleton-Century-Croft.
- Hildreth, E. C. (1983). *The Measurement of Visual Motion*. MIT Press.
- Hiris, E. y Blake, R. (1996). Direction repulsion in motion transparency. *Visual Neuroscience*, 13, 187-197.
- Hochberg, J. (1971). Perception II. Space and movement. En J. W. Kling & L. A. Riggs (Ed.). *Woodworth & Schlosberg's experimental psychology* (3<sup>rd</sup> Ed.). New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Hohnsbein, J. y Mateeff, S. (1992). The relation between the velocity of visual motion and the reaction time to motion onset and offset. *Vision Research*, 32, 1789-1791.
- Horn, B. K. P. y Schunck, B. G. (1981). Determining optical flow. *Artificial Intelligence*, 17, 185-203.
- Hu, X. (2001). Extending General Processing Tree Models to Analyse Reaction Time Experiments. *Journal of Mathematical Psychology Vol. 45*, 603-634.
- Hubel, D. H. y Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiology*, 160, 106-154.
- Hubel, D. H. y Wiesel, T. N. (1965). Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, 28, 229-289.
- Hubel, D. H. y Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *J Physiology*, 195, 215-243.
- Jastrow, J. (1890). *The time relations of mental phenomena*. Hodges, New York.
- Kleitman, N., Titelbaum, S. y Feiveson, P. (1935). Diurnal variation in reaction time and its relation to body temperature. *American Journal of Physiology*, 115, 82.
- Klemmer, E. T. (1956). Time uncertainty in simple reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 51, 179-184.
- Korte, A. (1915). Kinematoskopische Untersuchungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 72, 194-296.
- Kowler, E. y McKee, S. P. (1984). The precision of smooth pursuit. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 25, 262.

- Krueger, L. E. (1989). Reconciling Fechner and Stevens: Toward a unified psychophysical law. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 251-267
- Lagae, S., Raiguel, S. y Orban, G. A. (1993). Speed and direction selectivity of macaque middle temporal neurons. *J. Neurophysiol* 69, 19-39.
- Le Grand, Y. (1967). *Form and Space Vision*. Bloomington, Indiana. University Press.
- Lee, D. N. y Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and Psychophysics* 15, 529-532.
- Leibowitz, H. (1955). Effect of reference lines on the discrimination of movement. *Journal of the Optical Society of America*, 45, 829-830.
- Link, S. W. (1992). *The wave theory of difference and similarity*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Link, S. W. y Bonnet, C. (1998). Wave theory and reaction time. En S. Gondrin & Lacouture (Eds.) *Fechner Day 98*. ISP Québec, pp. 155-160.
- Livingstone, M. y Hubel, D. H. (1988). Segregation of form, colour, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, Vol. 240, 740-749.
- Lorenceanu, J. y Shiffrar, M. (1992). The influence of terminators on motion integration across space. *Vision Research*, 32, 263-273.
- Lorenceanu, J., Shiffrar, M., Wells, N., y Castet, E. (1993). Different motion sensitive units are involved in recovering the direction of moving lines. *Vision Research*, 33, 1207-1218.
- Luce, R. D. (1986). *Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization*. Oxford University Press, New York.
- Maiche Marini, A. (1999). Tiempo de colisión : fuentes de información implicadas en tareas de estimación relativa. *Treball d'investigació de doctorat - Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Psicologia*, 1999.
- Maiche Marini, A., Moliner, J. L. y Estaun, S. (2000). Relative estimation of time to collision: Information in opposition to tau. *Perception* 29, Supplement, 20.
- Maiche Marini, A., Moliner, J. L., Mateeff, S. y Bonnet, C. (2000). Real and Apparent Velocities: A Reaction Time Study. Claude Bonnet (Eds.) *Fechner Day 2000*. ISP Strasbourg, pp.251-256.

- Maiche Marini, A., Moliner J. L., Mateeff, S. y Bonnet, C. (2001). The reaction time to motion onset is related to the perceived speed. *Perception* 30. *Supplement*, 65-66.
- Marr, D. (1982). *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Marshak, W. y Sekuler R. (1979). Mutual repulsion between moving visual targets. *Science*, 205, 1399-1401
- Mashhour, M. (1964). *Psychophysical relations in the perception of velocity*. Stockholm: Almqvist y Wiksell.
- Mateeff, S. y Hohnsbein, J. (1988). Perceptual latencies are shorter for motion towards the fovea than for motion away. *Vision Research* 28, 711-719.
- Mateeff, S., Dimitrov, G. y Hohnsbein, J. (1995). Temporal thresholds and reaction time to changes in velocity of visual motion, *Vision Research*, 35, 355-363.
- Mateeff, S. y Hohnsbein, J. (1996). Perception of visual motion with modulated velocity: Effects of viewing distance and aperture size. *Vision Research*, 36, 2873-2882.
- Mateeff, S., Genova, B. y Hohnsbein, J. (1999). The simple reaction time to changes in direction of visual motion. *Experimental Brain Research*, 124, 391-394.
- Matlin, M. W. y Foley, H. J. (1996). *Sensación y Percepción*. México: Prentice\_hall.
- McGill, W. J. (1967). Neural counting mechanisms and energy detection in audition. *Journal of Mathematical Psychology*, 4, 351 – 376.
- Mc Lean, J. y Palmer, L. A. (1989). Contribution of linear spatiotemporal receptive field structure to velocity selectivity of simple cells in area 17 of cat. *Vision Research* 29, 675-679.
- McKee, S. P. (1981). A local mechanism for differential velocity detection. *Vision Research*. 21, 491-500.
- McKee, S. P. y Welch, L. (1985). Sequential recruitment in the discrimination of velocity. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 243–251.
- Miller, J. O. y Low, K. (2001). Motor processes in simple, go/no-go, and choice reaction time tasks: a psychophysiological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 27: 266.

- Miles, F. A. y Wallman, J. (1993). *Visual motion and its role in the stabilization of gaze*. Amsterdam; New York: Elsevier.
- Milner, A. y Goodale, M. (1995). *The Visual Brain in Action*, Oxford University Press, Oxford, U.K.
- Moliner, J. L. y Estaún, S. (2000). La relevancia de los bordes en la estimación relativa del TC entre dos objetos. *Cognitiva 12, 1*, 111-124.
- Moliner, J. L., Maiche Marini, A. y Estaún, S. (2000). Dissociation of Rate of Expansion and Time to Contact: A Reaction Time Study. *Perception, 29, supplement*, pp. 38.
- Nakayama, K. (1981). Differential motion hyper acuity under conditions of common image motion. *Vision Research, 21*, 1475-1482.
- Nakayama, K. (1985). Biological image motion processing: a review. *Vision Research, 25*, 625-660.
- Nakayama, K. y Loomis, J. M. (1974). Optical velocity patterns, velocity sensitive neurons, and space perception: A hypothesis. *Perception, 3*, 63-80.
- Nakayama, K. y Silverman, G. H. (1988). The aperture problem-II. Spatial integration of velocity information along contours. *Vision Research, 28*, 747-753.
- Newsome, W. T., Britten, K. H. y Movshon, J. A. (1989). Neuronal correlates of a perceptual decision. *Nature 341*, 52-54.
- Norwich, K. H. (1977). On the information received by sensory receptors. *Bulletin of Mathematical Biology, 39*, 453-461.
- Norwich, K. H. (1981). Uncertainty in physiology and physics. *Bulletin of Mathematical Biology, 43*, 141-149.
- Norwich, K. H. (1993). *Information, sensation, and perception*. San Diego: Academic Press.
- Orban, G. A. (1984). *Neuronal operations in the visual cortex*. Berlin: Springer.
- Owen, W. A. (1959). Effects of motivating instructions on reaction time in grade school children. *Child Development, 30*, 261 – 267.
- Pack, C. C. y Born, R. T. (2001). Temporal dynamics of a neural solution to the aperture problem in cortical area MT. *Nature, 409*, 1040-1042.
- Perrone, J. A. y Thiele, A. (2001). Speed skills: measuring the visual speed analyzing properties of primate MT neurons. *Nature Neuroscience, 4(5)*, 526-532.

- Piéron, H. (1914). Recherches sur des lois de variation des temps de latence sensorielle en fonction des intensités excitatrices. *L'Année Psychologique*, 20, 17-96.
- Piéron, H. (1920). Nouvelles recherches sur l'analyse du temps de latence sensorielle et sur la loi qui relie ce temps à l'intensité de l'excitation. *L'Année Psychologique*, 22, 58-142.
- Pins, D. y Bonnet, C. (1996). On the relation between stimulus intensity and processing time: Piéron's law and choice reaction time. *Perception and Psychophysics*, 58, 390 - 400.
- Pins D., Bonnet C. (1997). Reaction times reveal the contribution of the different receptors components in luminance perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 359-366
- Porciatti V., Fiorentini A., Morrone, M. C. y Burr, D. C. (1999). The effect of ageing on reaction time to motion onset. *Vision Research*, 39: 2157-2164.
- Ramachandran, V. S. y Anstis, S. M. (1985). Perceptual organization in multistable apparent motion. *Perception*, 14, 135-143.
- Rashbass, C. (1961). The relationship between saccadic and smooth tracking eye movements. *J. Physiology*. 159, 338 – 362.
- Regan, D. y Hamstra, S. J. (1993). Dissociation of discrimination thresholds for time to contact and for rate of angular expansion. *Vision Research*, 33 (4), 447-462.
- Rodman, H. R. y Albright, T.D. (1989). Single-Unit Analysis of Pattern-Motion Selective Properties in the Middle Temporal Visual Area (MT). *Exp. Brain. Res.* 75, 53-64.
- Rogers, B. J. y Graham, M. E. (1979). Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Perception* 8, 125-134.
- Rosenzweig, M. R., Leiman, A. L. y Breedlove, S. M. (2001). *Biological Psychology*, 2<sup>nd</sup> Edition, Sunderland, MA: Sinauer.
- Saleh, M. y Bonnet, C. (1998). Reaction time and retinal operation. En S. Gondrin & Y. Lacouture (Eds.), *Fechner Day 98*. ISP Québec, pp. 344 - 348.
- Saleh, M. y Bonnet, C. (2001). Practice effect and sensitivity in reaction time. En E. Sommerfeld, R. Kompas, T. Lachmann (Eds.), *Fechner Day 2001. Proceedings of the Seventeenth Annual Meeting of the International Society of Psychophysics*. Berlin: Pabst Science Publishers, pp. 571 - 575.

- Sekuler, R. y Blake, R. (1994). *Perception*. New York: McGraw Hill, 3<sup>rd</sup> Edition, pp. 494-495.
- Sekuler, A. B. y Bennett, P. J. (1996). Spatial phase differences can drive apparent motion. *Perception and Psychophysics*, *58*, 174-190.
- Sekuler, R., Watamaniuk, S. y Blake, R. (2002). Perception of Visual Motion. En S. Yantis (Ed.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology, third edition*. New Jersey: Wiley.
- Schall, J. D. (2000). From sensory evidence to a motor command. *Current Biology*, *10*, R404-406.
- Scott-Brown, K. C. y Heeley, D. W. (2001). The effect of the spatial arrangement of target lines on perceived speed. *Vision Research*, *41*, 1669-1682.
- Smeets, J. B. J., Brenner, E., Trebuchet, S. y Mestre, D. R. (1996). Is judging time-to-collision based on 'tau'? *Perception*, *25*, 583-590.
- Smeets, J. B. J. y Brenner E. (1994). The difference between the perception of absolute and relative motion: A reaction time study. *Vision Research* *34*, 191-195
- Smeets, J. B. J. y Brenner, E. (1995). Perception and action are based on the same visual information: distinction between position and velocity. *Journal of Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* *21*, 19-31.
- Smeets, J. B. J. y Brenner, E. (2001). Action beyond our grasp. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*, 287-289.
- Snippe, H. P., Koenderink J. J. (1994). Extraction of optical velocity by use of multi-input Reichardt detectors. *Journal of Optical Society of America A* *11*, 1222-1236.
- Soler, O., Aparici, M., Maiche, A. y Estaún, S. (2002). Tiempo de Reacción en una tarea cognitiva: exploración del efecto nocturnidad/diurnidad. Comunicación presentada en las *VII Jornadas de Cronobiología y Cronopsicología*, Barcelona (España), 2002.
- Stone, L., Watson, A. y Mulligan, J. (1990). Effect of contrast on the perceived direction of a moving plaid. *Vision Research*, *30*, 1049-1067.
- Stumpf, P. (1911). Über die Abhängigkeit der visuellen Bewegungsrichtung und negativen Nachbildes von den Reizvorgängen auf der Netzhaut. *Zeitschrift für Psychologie*, *59*, 321-330.

- Tanaka, K. y Saito, H. (1989). Analysis of motion of the visual field by direction, expansion/contraction, and rotation cells clustered in the dorsal part of the medial superior temporal area of the macaque monkey. *Journal of Neurophysiology*, 62, 626-641.
- Teghtsoonian, R. (1971). On the exponents in Steven's law and the constant in Ekman's law. *Psychological Review*, 78, 71-80.
- Thompson, P. (1982). Perceived rate of movement depends on contrast. *Vision Research*, 22, 377-380.
- Thrane, V. C. (1960). Response latency as an approach of scaling of stimulus strength. *Proc. 16<sup>th</sup> Intern. Cong. Psychol.*, 1, 82 – 96.
- Tolhurst, D. J. (1973). Separate channels for the analysis of the shape and the movement of a moving visual stimulus. *Journal of Physiology*, 231, 385-402.
- Todorovic, D. (1996). A gem from the past: Pleikart Stumpf's (1911) anticipation of the aperture problem, Reichardt detectors, and perceived motion loss at equiluminance. *Perception*, 25, 1235-1242.
- Tse, P., Cavanagh, P. y Nakayama, K. (1998). The role of parsing in high-level motion processing. *High-level motion processing - Computational, neurobiological and psychophysical perspectives*. Watanabe, T. (Ed.). MIT Press, pp. 249-266.
- Tynan, P. D. y Sekuler, R. (1982). Motion processing in peripheral vision: Reaction time and perceived velocity. *Vision Research*, 22, 61-68.
- Ungerleider, L. G. y Mishkin, M. (1982). *Two cortical visual systems*. in *Analysis of Visual Behavior*, D. Ingle, M. Goodale, and R. Mansfield, Eds., MIT Press, Cambridge, MA.
- Ullman, S. (1979). *The interpretation of visual motion*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- van den Berg, A. V. y van de Grind, W. A. (1989). Reaction times to motion onset and motion detection thresholds reflect the properties of bilocal motion detectors. *Vision Research*, 29, 1261-1266.
- van Santen, J. P. H. y Sperling, G. (1985). Elaborated Reichardt detectors, *J. Opt. Soc. Am. A*, 2(2), 300-321.
- van Santen J. y Sperling G. (1984). Applications of a Reichardt-type model of two-frame motion. *Investigative Ophthalm. and Visual Science*, 25, 14.

- Wallach, H. (1935). Ueber visuell whargenommene bewegungrichtung. *Psychologische Forschung*, 20, 325-380.
- Washburn, M. F., Keller, K., New, K. B. y Parshall, F. M. (1929). Experiments on the relation of reaction-time, cube fluctuations and mirror drawings to temperamental differences. *American Journal of Psychology*, 41, 112 – 117.
- Watson, A. B. y Ahumada, A. J. Jr. (1985). Model of human visual-motion sensing. *J Opt Soc Am A*, 2(2), 322-341.
- Weiss, Y. (1998). Bayesian motion estimation and segmentation. *Ph.D. dissertation*, Dept. Brain Cognitive Sciences, Mass. Inst. Technol. (MIT), Cambridge.
- Wells, G. R. (1913). The influence of stimulus duration on RT. *Psychological Monographs* 15, 1066.
- Westheimer, G. (1954). Eye movement responses to a horizontally moving stimulus. *Archs Ophthal.* 52, 932-941.
- Wertheimer, M. (1912). Über das Denken der Naturvölker. I. Zahlen und Gebilde. *Zeitschrift für Psychologie*, 60, 321-378. [Traducción al ingles de D.N. Robinson, ed., *Significant Contributions to the History of Psychology. Series A. Orientations*, vol. ii. Washington, D.C.: University Publications of America, 1977.
- Whitney D., Murakami, I. y Cavanagh, P. (2000). Illusory spatial offset of a flash relative to a moving stimulus is caused by differential latencies for moving and flashed stimuli. *Vision Research* 40, 137-149.
- Wilson, H. R., Ferrera, V. P. y Yo, C. (1992) A psychophysically motivated model for motion analysis in MT cortex. *Visual Neuroscience*, Vol. 9, 79-97.
- Wuerger, S., Shapley, R. y Rubin, N. (1996). “On the visually perceived direction of motion” by Hans Wallach: 60 years later. *Perception*, 25, 1317-1367.
- Wundt, W. (1874). *Grundzuge der physiologischen Psychologie*, (Leipzig: Engelmann).
- Wundt, W. (1903). Naturwissenschaft und Psychologie. En: *Grundzüge physiol. Psychol., Schlussbetrachtungen* 5. ed. Leipzig: Engelmann.
- Yo, C. y Wilson, H. (1992). Perceived direction of moving two-dimensional patterns depends on duration, contrast, and eccentricity. *Vision Research*, 32(1), 135-147.

- Yu, K. (2000). Can semantic knowledge influence motion correspondence? *Perception*, 29, 693-707.
- Zanker, J. M., Srinivasan, M. y Egelhaaf, M. (1999). Speed Tuning in Elementary Motion Detectors of the Correlation Type. *Biol. Cybern.* 80, 109-116
- Zanker, J. M. y Zeil, J. (2001). *Motion vision: computational, neural, and ecological constraints*. Berlin; New York: Springer