

## Nuevas evidencias de la anisotropía del espacio visual en el juicio de distancias en profundidad

### New evidences of the anisotropy of visual space in depth judgement tasks

Núria Lupón Bas<sup>(1,\*,S)</sup>, Aurora Torrents Gómez<sup>(1)</sup>, José Antonio Aznar Casanova<sup>(2)</sup>

1. Departamento de Óptica y Optometría. Universitat Politècnica de Catalunya, C. Violinista Vellsolà, 37, Terrassa, Spain.

2. Departamento de Psicología Básica. Universitat de Barcelona. P. Vall d'Hebron, 131. Barcelona, Spain

(\*) Email: [lupon@oo.upc.edu](mailto:lupon@oo.upc.edu)

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Recibido / Received: 22/11/2012. Revisado / Revised: 04/03/2013. Aceptado / Accepted: 05/03/2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7149/OPA.46.2.189>

#### RESUMEN:

Utilizando un estímulo virtual consistente en dos segmentos de rectas paralelas que se visualizaban tridimensionalmente mediante gafas estereoscópicas, se evaluó la relación entre el rendimiento visual de 12 observadores en juicios de profundidad relativa entre los citados segmentos, y la orientación espacial de los mismos, que se hizo variar entre 0° y 90° respecto a la horizontal. El peor rendimiento visual se obtuvo para las orientaciones más alejadas de las cardinales y, además, el rendimiento a 90° resultó mejor que a 0°. Por otra parte, la correlación encontrada entre el rendimiento visual de los observadores y la disparidad binocular vertical de los estímulos constituye una nueva evidencia de la contribución de dicha disparidad a la percepción de la profundidad.

**Palabras clave:** Percepción Visual, Anisotropía del Espacio Visual, Visión Tridimensional, Disparidad Binocular.

#### ABSTRACT:

Using a virtual stimulus consisting of two parallel line segments which were displayed three-dimensionally using stereoscopic glasses, we evaluated the relationship between the visual performance of 12 observers regarding the relative depth between said segments, and their spatial orientation, which was altered between 0° and 90° in relation to the horizontal. The worst visual performance was obtained for the farthest orientations from the cardinal directions and, moreover, the performance at 90° was better than it was at 0°. On the other hand, the correlation found between the visual performance of the observers and the vertical binocular disparity of the stimuli is further evidence of the contribution of that disparity to the perception of depth.

**Key words:** Visual Perception, Anisotropy of Visual Space, Three-dimensional Vision, Binocular Disparity.

#### REFERENCIAS Y ENLACES / REFERENCES AND LINKS

- [1]. A. K. M. Rezaul Karim, H. Kojima, "The what and why of perceptual asymmetries in the visual domain", *Advances in Cognitive Psychology* **6**, 103-115 (2010). [DOI](#)
- [2]. S. Appelle, "Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: The oblique effect in man and animals", *Psychol. Bull.* **78**, 266-278 (1972). [DOI](#)
- [3]. I. P. Howard, *Human Visual Orientation*, Wiley, New York (1982).
- [4]. P. Mustillo, E. Francis, S. Oross, R. Fox, G. A. Orban, "Anisotropies in global stereoscopic orientation discrimination", *Vision Res.* **28**, 1315-1321 (1988). [DOI](#)
- [5]. G. Westheimer, "Anisotropies in peripheral Vernier acuity", *Spatial Vision* **18**, 159-167 (2005). [DOI](#)

- [6]. R. B. Post, M. D. O'Malley, T. L. Yeh, J. Bethel, "On the origin of vertical line bisection errors", *Spatial Vision* **19**, 505-27 (2006). [DOI](#)
- [7]. U. Wolfe, L. T. Maloney, M. Tam, "Distortions of perceived length in the fronto-parallel plane: tests of perspective theories", *Perception & Psychophys.* **67**, 967-979 (2005). [DOI](#)
- [8]. M. Carrasco, C. P. Talgar, E. L. Cameron, "Characterizing visual performance fields: Effects of transient covert attention, spatial frequency, eccentricity, task, and set size", *Spatial Vision* **15**, 61-75 (2001). [DOI](#)
- [9]. J. P. Rijdsdijk, J. N. Kroon, G. J. van der Wilt, "Contrast sensitivity as a function of position on the retina", *Vision Res.* **20**, 235-241 (1980). [DOI](#)
- [10]. B. Li, R. Peterson, R. D. Freeman, "Oblique effect. A neural basis in the visual cortex", *J. Neurophysiol.* **90**, 204-217 (2003). [DOI](#)
- [11]. D. M. Coppola, L. E. White, D. Fitzpatrick, D. Purves, "Unequal representation of cardinal and oblique contours in ferret visual cortex", *P. Ntl. Acad. Sci. USA* **95**, 2621-2623 (1998). [DOI](#)
- [12]. G.B. Liu, J. D. Pettigrew, "Orientation mosaic in barn owl's visual Wulst revealed by optical imaging: comparison with cat and monkey striate and extra-striate areas", *Brain Res.* **961**, 153-158 (2003). [DOI](#)
- [13]. C. S. Furmanski, S. A. Engel, "An oblique effect in human primary visual cortex", *Nat. Neurosci.* **3**, 535-536 (2000). [DOI](#)
- [14]. N. Matthews, X. Meng, P. Xu, N. Qian, "A physiological theory of depth perception from vertical disparity", *Vision Res.* **43**, 85-99 (2003). [DOI](#)
- [15]. I. Serrano-Pedraza, J. C. A. Read, "Stereo vision requires an explicit encoding of vertical disparity", *J. Vision* **9**, 1-13 (2009). [DOI](#)
- [16]. M. Blanco, *Psicofísica*, Universitas, Madrid (1996).
- [17]. J. M. Loomis, J. M. Knapp, "Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments", pp. 21-46 in *Virtual and Adaptive Environments*, L. J. Hettinger, M. W. Haas, Edts., Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey (2003).
- [18]. J. M. Loomis, J. da Silva, N. Fujita, S. S. Fukushima, "Visual space perception and visually directed action", *J. Exp. Psychol. Human* **18**, 906-921 (1992). [DOI](#)
- [19]. S. H. Creem-Regehr, M. N. Geuss, T. R. Ziemek, G. C. Allen, J. K. Stefanucci, W. B. Thompson, "Comparing different measures of space perception across real and virtual environments", *J. Vision* **10**, 83 (2010). [DOI](#)
- [20]. J. M. Plumert, J. K. Kearney, J. F. Cremer y K. Recker, "Distance perception in real and virtual environments", *ACM T. Appl. Percept.* **2**, 216-233 (2005). [DOI](#)
- [21]. C. S. Sahm, S. H. Creem-Regehr, W. B. Thompson, P. Willemsen, "Throwing versus walking as indicators of distance perception in real and virtual environments", *ACM T. Appl. Percept.* **1**, 35-45 (2005). [DOI](#)
- [22]. A. Torrents, G. Cardona, J. A. Aznar-Casanova, "The influence of background topography on stereo-acuity", *Anuario de Psicología* **41**, 9-20 (2011).
- [23]. A. Torrents, J. A. Aznar-Casanova, G. Cardona, "Influence of background on precision of 3d depth judgment tasks in a real environment", *Perceptual & Motor Skills* **113**, 793-802 (2011). [DOI](#)

## 1. Introducción y objetivos

La anisotropía que presenta el espacio visual (percibido) respecto al espacio físico (real) se conoce desde hace algunas décadas y ha sido ampliamente estudiada tanto desde el punto de vista psicofísico como, más recientemente, desde el punto de vista neurofisiológico. El comportamiento que presenta la percepción de un estímulo en función de la orientación del

mismo es una de las manifestaciones de la citada anisotropía [1].

El denominado efecto oblicuo [2], según el cual el rendimiento visual es significativamente mejor cuando el estímulo está orientado cardinalmente, se observa al evaluar la agudeza visual, la sensibilidad al contraste, la agudeza estereoscópica, o la agudeza Vernier [3-5], por citar algunos ejemplos de estudios realizados mediante pruebas psicofísicas.

La anisotropía vertical – horizontal es otro efecto perceptivo relativo a la orientación que se pone de manifiesto en diversas tareas visuales. Por ejemplo, se ha demostrado que la longitud de líneas orientadas verticalmente es a menudo sobreestimada respecto a la misma longitud de líneas horizontales [6,7], o que la sensibilidad al contraste y la resolución espacial son mejores a lo largo de la línea media horizontal en el campo visual que a lo largo de la línea media vertical [8,9].

En el marco de la neurofisiología, donde debe buscarse necesariamente la explicación última de la anisotropía del espacio visual, las investigaciones se han centrado en aportar pruebas sobre los mecanismos neuronales subyacentes que apuntan hacia la clara presencia de un mayor número de neuronas disponibles para el procesamiento de las orientaciones cardinales que respecto al resto de las orientaciones [10,11], siendo a su vez mayor el soporte neuronal en la dirección horizontal que en la vertical [12,13].

En el presente trabajo se analiza mediante un experimento psicofísico, el rendimiento visual de doce sujetos en una tarea consistente en juicios de distancia en profundidad. Se utilizaron estímulos de direccionalidad bien definida (dos segmentos paralelos), que se presentaron a los observadores según siete orientaciones distintas con el objetivo de comprobar si la anisotropía del espacio visual descrita en los párrafos anteriores se observa también en los juicios de distancia en profundidad.

Aunque habitualmente la percepción de la profundidad se explica a partir de la disparidad horizontal, es conocido que la disparidad vertical también interviene, y son numerosos los trabajos publicados con el fin de evidenciar que el sistema visual detecta la disparidad vertical y la utiliza para modular la percepción de profundidad [14,15].

En esta línea, se planteó como segundo objetivo del experimento descrito en esta comunicación el aportar una nueva evidencia sobre la influencia de la disparidad binocular vertical (DBV) en la percepción de la profundidad. La configuración espacial de los estímulos utilizados era tal que la DBV entre

segmentos variaba con la orientación, mientras que la disparidad binocular horizontal (DBH) se mantenía prácticamente independiente de la misma. De este modo, fue posible analizar la correlación entre el rendimiento de la tarea visual propuesta (juicios de profundidad) y la disparidad vertical correspondiente a los estímulos.

## 2. Metodología

### 2.1. Participantes

Doce sujetos (seis mujeres y seis hombres) con edades comprendidas entre 21 y 40 años participaron en el experimento. Todos tenían como mínimo una agudeza visual estereoscópica de 60 segundos de arco (medido con el test T.N.O.) y agudeza visual igual a 1 con o sin neutralización.

### 2.2. Estímulos y aparatos

Los estímulos fueron generados y presentados mediante un ordenador Pentium IV con tarjeta gráfica Nvidia Quadro FX 3500, con un monitor Samsung Syncmaster 1100 DF de 22 pulgadas (CRT), con una tasa de refresco de 120 Hz y una resolución espacial de 1024 x 768 píxeles. La generación de los estímulos y el control de la secuencia experimental fueron programados en C++ usando la librería GLUT32 (Graphic Utilities) de OpenGL (Open Graphics Library). Los observadores visualizaron dichos estímulos en tres dimensiones con la ayuda de unas gafas estereoscópicas de filtro activo sincronizadas con la secuencia de presentación de los estímulos, manteniéndose apoyados en una mentonera situada a 1 metro del monitor.

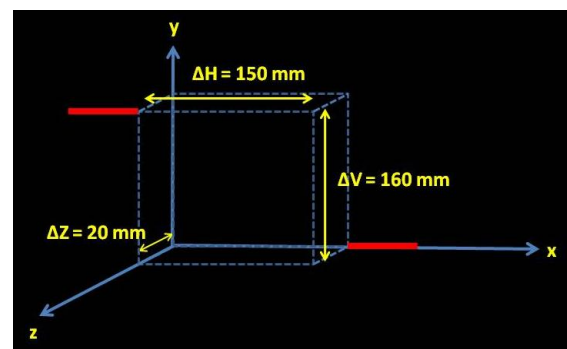


Fig. 1. Estímulo base generado para la realización del experimento.

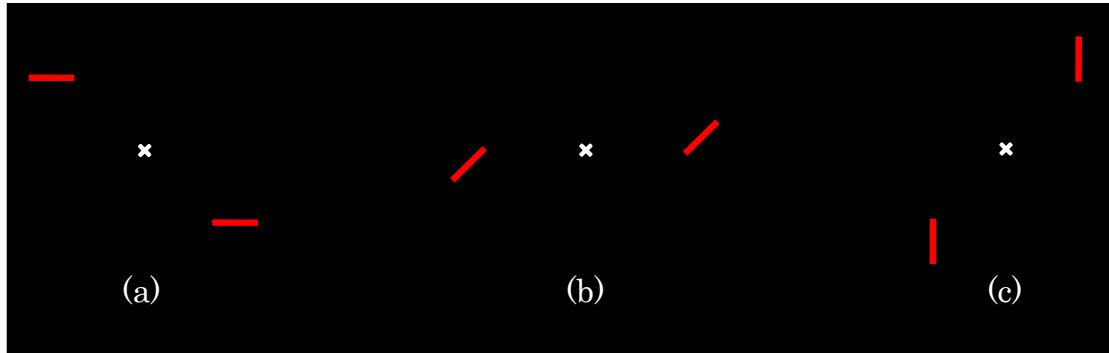


Fig. 2. Proyección plana de los estímulos orientados a 0° (a), 45° (b) y 90° (c). El punto de fijación, en el centro de los estímulos, se señala mediante una cruz en blanco.

El estímulo base consistía en dos segmentos rojos paralelos de 1 mm de espesor y 50 mm de longitud sobre fondo negro, que presentaban una separación o desalineamiento horizontal  $\Delta H = 150$  mm, una separación vertical  $\Delta V = 160$  mm y una separación en profundidad  $\Delta Z = 20$  mm (ver Fig. 1).

Los segmentos se presentaron a los observadores según siete orientaciones rotando el estímulo base 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° y 90° en torno al eje Z (ver Fig. 2).

La librería utilizada permite generar los estímulos introduciendo la distancia interpupilar del observador y las dimensiones 3D (X, Y, Z) a las que se desean ver los objetos y distancias contenidos en el estímulo. En nuestro caso, las dimensiones de los estímulos descritas en el párrafo anterior fueron requeridas considerando una distancia interpupilar (DIP) de 60 mm. Es decir, no se tuvo en cuenta la variabilidad de la distancia interpupilar de los sujetos (comprendida entre 58 y 65 mm) para el diseño de los estímulos. Dicha variabilidad no resultaba un factor relevante para el experimento dado que la tarea visual que realizaban los observadores consistía en comparar dos estímulos afectados del mismo modo por el valor particular de la distancia interpupilar de cada observador. Aún así, se ha calculado la disparidad binocular horizontal (DBH) subtendida por los extremos centrales de los segmentos del estímulo base considerando los 1000 mm de distancia (media) entre los observadores y la pantalla, y los tres valores de DIP correspondientes a la introducida en el programa (60 mm), cota inferior de la muestra

(58 mm) y cota superior de la muestra (65 mm). Las diferencias de DBH obtenidas entre las cotas inferior y superior, y el valor introducido en el programa resultaron ser del 1.07% y 2.5%, respectivamente.

Dado que el punto de fijación que se requería a los observadores se hallaba en el centro del estímulo utilizado, éste se diseñó de manera que, para un valor  $\Delta Z$  dado, la disparidad binocular horizontal (DBH) entre los extremos centrales de los segmentos (ver Fig. 2) resultase prácticamente independiente de la orientación ( $DBH_{mínima}=3,90'$  para la orientación de 45°;  $DBH_{máxima}=3,97'$  para las orientaciones de 0° y 90°). En cambio, entre dichos puntos, la dependencia de la disparidad binocular vertical (DBV) con la orientación es más acusada.

Este experimento fue realizado en el laboratorio de Psicofísica de la Facultad de Psicología (Universitat de Barcelona) y en el laboratorio de Neurofisiología de la Visión de la Facultad de Óptica y Optometría (Universitat Politècnica de Catalunya). La luminancia ambiental fue de 4-7 cd/m<sup>2</sup> en ambos casos (medida con un fotómetro Minolta LS-100).

### 2.3. Procedimiento

En el marco de la metodología psicofísica de los estímulos constantes y con el paradigma experimental de elección forzada entre dos alternativas, la tarea visual requerida de los observadores consistía en comparar la separación  $\Delta Z$  entre los segmentos de un primer estímulo, el de referencia, con la de un segundo estímulo, el de comparación. Para cada orientación, en el estímulo de referencia las

separaciones  $\Delta H$ ,  $\Delta V$  y  $\Delta Z$  eran las del estímulo base y se mantenían fijas. El estímulo de comparación se diferenciaba del anterior únicamente en el valor de  $\Delta Z$  que tomaba nueve valores distintos comprendidos entre 12 y 28 mm en incrementos de 2 mm (12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26 y 28 mm).

Los observadores visualizaban en primer lugar el estímulo de referencia y seguidamente el estímulo de comparación, debiendo juzgar si el  $\Delta Z$  del segundo era mayor o menor que el del primero.

Para cada una de las siete orientaciones, los observadores realizaron 216 juicios de comparación correspondientes a 24 repeticiones de las nueve distancias  $\Delta Z$  del estímulo de comparación, presentadas aleatoriamente. Para evitar la fatiga visual y una disminución de la atención, los juicios se fraccionaron en 3 bloques de 72 juicios cada uno.

#### 2.4. Análisis de datos

Los índices de exactitud y precisión necesarios para evaluar el rendimiento de la tarea visual desempeñada por los observadores se determinaron a partir de funciones psicométricas ajustadas a los datos obtenidos para cada sujeto y orientación del estímulo. Concretamente se obtuvo una función psicométrica por sujeto y orientación representando la proporción de respuestas "mayor que" ( $\Delta Z_{e\_comparación} > \Delta Z_{e\_referencia}$ ) en función de los valores de la separación  $\Delta Z$  del estímulo de comparación.

En la Fig. 3 se muestra una función psicométrica genérica donde pueden visualizarse los valores de los indicadores que le son propios: el punto de igualdad objetiva (PIO) corresponde al valor medio de todos los estímulos presentados; el punto de igualdad subjetiva (PIS) se define como el valor del estímulo de comparación al cual le corresponde el 50% (proporción 0,5) de respuestas "mayor que"; el error constante (EC) es la diferencia entre el PIS y el PIO; y el umbral diferencial (UD) es la mitad de la diferencia entre el valor del estímulo al cual le corresponde el 75% (proporción 0,75) de respuestas "mayor que", y el valor del estímulo al cual le corresponde el 25%.

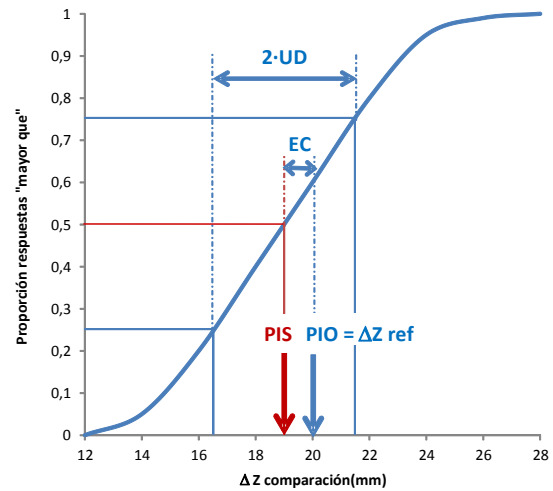


Figura 3. Función psicométrica donde aparece el umbral diferencial (UD), el error constante (EC), el punto de igualdad subjetiva (PIS) y el punto de igualdad objetiva (PIO), coincidente con la separación en profundidad del estímulo de referencia ( $\Delta Z_{ref}$ )

En nuestro caso la exactitud fue medida mediante el valor absoluto del error constante relativo ( $|ECR|$ ), calculado como el tanto por ciento que representa el error constante (EC) respecto al punto de igualdad objetiva (PIO), y la medida de la precisión se realizó mediante la fracción de Weber [16], calculada como el cociente entre el umbral diferencial (UD) y el punto de igualdad subjetiva (PIS), lo que aporta un índice independiente de las unidades de medida.

Para detectar las posibles diferencias en el rendimiento visual de los observadores debidas a la orientación del estímulo, se realizó un ANOVA de un factor (la orientación) y el grado de significación establecido fue del 95% ( $p < 0.05$ ).

### 3. Resultados y discusión

Para cada observador y cada orientación se registró la proporción de respuestas "mayor que" correspondiente a cada valor  $\Delta Z$  del estímulo de comparación. El conjunto de puntos experimentales obtenidos fueron ajustados en cada caso, mediante programas creados "ad-hoc" en Matlab, a una función de perfil "sigmoideo" o función psicométrica. En la Fig. 4 se muestra un ejemplo correspondiente a las respuestas de un

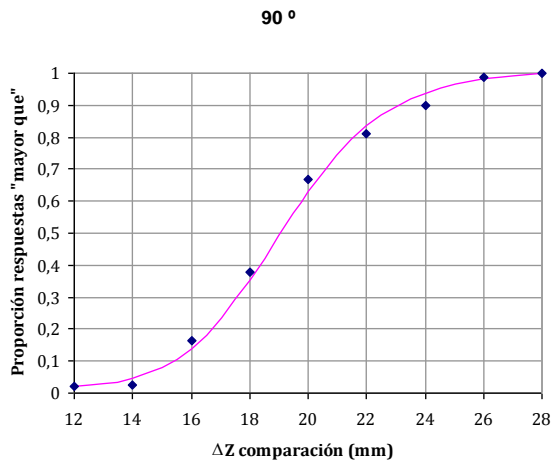


Fig. 4. Representación de los datos experimentales (puntos) y de la función psicométrica ajustada (línea continua) correspondiente al conjunto de respuestas de un observador cuando el estímulo se le presentaba orientado a 90°.

observador para la orientación de 90°. A partir de las funciones psicométricas ajustadas, se obtuvieron el |ECR| y la fracción de Weber correspondientes a cada observador y cada orientación.

La Tabla I muestra los valores medios de la exactitud de los observadores (|ECR|) y de su precisión (fracción de Weber), en función de la orientación del estímulo. De acuerdo con lo que se esperaba, la variabilidad del rendimiento visual de los observadores puede ser justificada por la orientación de los estímulos.

El ANOVA aplicado al conjunto de valores del |ECR| indica que la variabilidad debida a la orientación resultó estadísticamente significativa ( $p < ,001$ ). Para averiguar entre qué orientaciones fueron significativas las diferencias, se realizó un análisis post-hoc (HSD de Tukey) que agrupa los valores de la variable

en subconjuntos homogéneos significativamente distintos entre sí. Los resultados de dicho análisis se muestran en la Tabla I, e indican que las orientaciones de 0° y 90° fueron claramente diferentes al resto, aunque parecidas entre sí, y lo mismo sucede con las orientaciones más alejadas de las cardinales, especialmente 45° y 60°. Por otra parte, el signo del ECR, que no se indica en la Tabla, resultó negativo en todos los casos, lo que quiere decir que se produjo una subestimación de las distancias en profundidad, ΔZ, entre los segmentos del estímulo, en concordancia con numerosos resultados publicados previamente relativos tanto a estímulos virtuales [17], como a estímulos reales [18].

El ANOVA aplicado al conjunto de valores de la fracción de Weber indica que la variabilidad debida a la orientación resultó estadísticamente significativa ( $p < 0,001$ ). En este caso el mayor número de subconjuntos homogéneos establecidos mediante el análisis post-hoc indica que la orientación jugó un papel más relevante en la precisión de los observadores que en su exactitud. La Tabla I muestra que el valor de la fracción de Weber a 90° es significativamente distinto al resto y lo mismo ocurre a 45°. Por otra parte la orientación de 0° se distingue de la de 90°. En resumen, el peor rendimiento visual (mayor |ECR| y mayor fracción de Weber) se obtiene para las orientaciones más alejadas de las cardinales y, a su vez, la precisión a 90° (segmentos verticales) es mejor que a 0° (segmentos horizontales).

Este último resultado: mayor precisión cuando los segmentos se presentan verticales

TABLA I  
Subconjuntos homogéneos para  $\alpha=0,05$  resultantes del análisis post-hoc (HSD de Tukey) aplicado a los valores promedio del |ECR| (columnas 2 a 4) y la fracción de Weber (columnas 6 a 10) para cada orientación.

Orientación (°)	ECR  (%)			Orientación (°)	Fracción de Weber				
	1	2	3		1	2	3	4	5
90	4.09			90	0.093				
0	4.52			0		0.164			
15	5.38	5.38		75		0.185			
75		5.85	5.85	15			0.229		
30		6.03	6.03	30			0.246	0.246	
60			6.80	60				0.255	
45			7.00	45					0.300

(90°) que cuando se presentan horizontales (0°), está en línea con los ya citados en la introducción, [8] y [9], relativos a una mejor resolución espacial a lo largo de la línea media horizontal del campo visual que a lo largo de la línea media vertical. En efecto, para la orientación de 90° la comparación entre los dos segmentos del estímulo se realiza a lo largo de la línea media horizontal del campo visual, mientras que dicha comparación se realiza a lo largo de la línea media vertical para la orientación de 0°.

Westheimer [5] halló que el umbral de la agudeza Vernier de un grupo de observadores era 2.29 veces más alto para las orientaciones oblicuas que para las cardinales, lo que es indicativo de un rendimiento inferior. En nuestro estudio, el ECR hallado ha sido 1,7 veces superior a 45° respecto a 0°, mientras que la fracción de Weber ha sido 3,2 veces superior a 45° respecto a 90°. Teniendo en cuenta que los umbrales obtenidos por Westheimer se asemejan más a las medidas de exactitud de nuestro estudio, el orden de magnitud de las diferencias halladas ha sido algo menor (1,7 frente a 2,29), aunque ambos valores no pueden ser directamente comparables debido a las diferencias metodológicas existentes.

Por otra parte, se analizó la correlación entre la disparidad binocular vertical (DBV) y los indicadores de rendimiento visual para cada orientación, resultando ser significativa tanto para la exactitud promedio ( $p < 0,006$ ;  $R^2 = 0,807$ ), como para la precisión promedio ( $p < 0,014$ ;  $R^2 = 0,734$ ) de los observadores. Las Figs. 5 y 6 muestran, respectivamente, las gráficas comparativas entre los valores del |ECR| (exactitud) y la fracción de Weber (precisión) con la disparidad vertical calculada para los extremos centrales de los segmentos que constitúan los estímulos, y la Fig. 7 muestra las rectas de regresión obtenidas para ambas correlaciones.

Matthews *et al* [14] pusieron a prueba, mediante experimentos psicofísicos realizados con una muestra reducida de sujetos (cuatro), su teoría sobre la percepción en profundidad basada en la disparidad vertical, según la cual las células sensibles a la orientación en el córtex

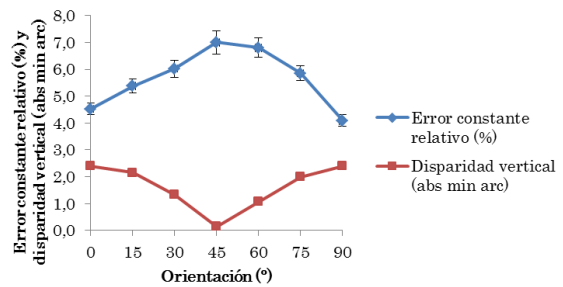


Fig. 5. Error constante relativo medio obtenido por la muestra en función de la orientación, junto con la disparidad vertical asociada a cada orientación.

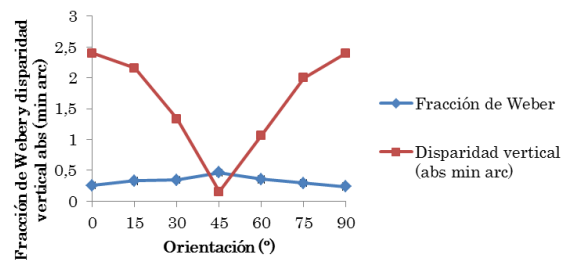


Fig. 6. Fracción de Weber media obtenida por la muestra en función de la orientación, junto con la disparidad vertical en minutos de arco asociada a cada orientación.

visual consideran la disparidad vertical como equivalente a una débil disparidad horizontal. Sus resultados confirmaron que la profundidad elicitada por la disparidad vertical dependía de la orientación. A pesar de que su teoría está basada en las propiedades de los camposreceptivos binoculares de V1, los autores señalan que ello no implica que la percepción de profundidad ocurra necesariamente allí, sino que procesamientos posteriores pueden refinar las respuestas generadas en V1. De hecho, procesos generados en los circuitos feedforward de V2 y en V3 pueden contribuir a la extracción de la disparidad vertical y, posteriormente, tal información retornaría a V1 a través de circuitos *feedback* para generar la percepción de profundidad.

Nuestros resultados están de acuerdo con esta teoría y aportan una nueva evidencia psicofísica a sus hipótesis. En efecto, el estudio que hemos desarrollado aporta información complementaria que da soporte al sesgo de orientación radial hipotetizado por el modelo de Matthews *et al*, afirmando que la disparidad vertical asociada a la orientación de los

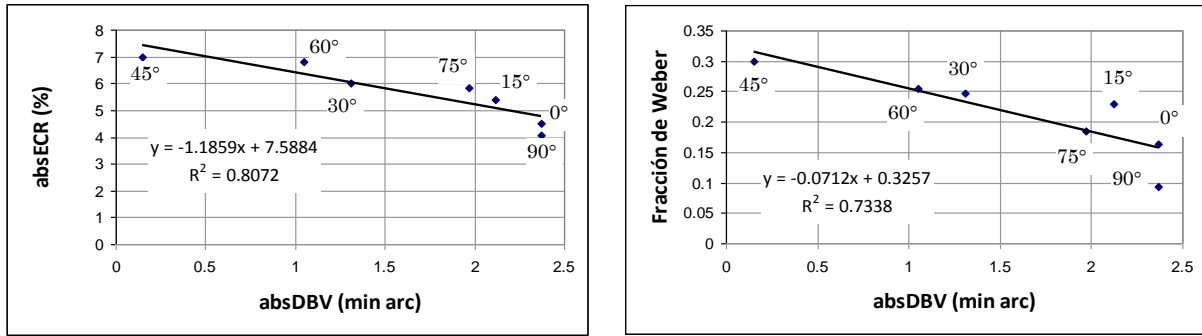


Fig. 7. Correlación lineal entre la disparidad binocular vertical (DBV) y (a) la exactitud media de los observadores (ECR); (b) la precisión media de los observadores (fracción de Weber).

estímulos correlaciona significativamente con el rendimiento de los sujetos.

Los entornos virtuales han sido ampliamente utilizados en los últimos años como herramientas de estudio en el campo de la percepción visual. La mayoría de los trabajos realizados consisten, como el nuestro, en evaluar el rendimiento visual en la estimación de longitudes y/o distancias. El conflicto entre el estímulo acomodativo (distancia hasta la pantalla) y el estímulo de convergencia (gobernado por el grado de disparidad simulada) que se produce en la visualización de escenas virtuales impide que éstas puedan ser exactamente comparables a las reales [17,19]. Aunque existe cierto consenso en que la percepción de las distancias se distorsiona más en los entornos virtuales que en los entornos reales [20], también existen estudios que reportan un mismo grado de error en juicios de distancias realizados en ambos entornos [21]. Por lo que se refiere a juicios de distancia en profundidad, experimentos similares a los del presente artículo, realizados en el marco del mismo proyecto de investigación, han demostrado que las anisotropías del espacio visual encontradas en un entorno virtual [22] se reproducían también utilizando estímulos reales comparables [23]. Todo parece indicar, pues, que los resultados obtenidos con estímulos virtuales aquí reportados se reproducirían al utilizar estímulos reales, y esperamos que pueda demostrarse en futuros estudios.

#### 4. Conclusiones

Nuestro experimento pone de manifiesto que el efecto oblicuo y la anisotropía vertical-horizontal se observan también en juicios de profundidad, lo que no se había reportado hasta la fecha. Las líneas paralelas que contenían los segmentos verticales correspondientes a la orientación de 90° se encontraban separadas horizontalmente además de en profundidad, de modo que la dirección horizontal era la utilizada por los observadores para comparar la profundidad relativa a la que se encontraban los segmentos del estímulo. Nuestros resultados indican, pues, un mejor rendimiento visual en juicios de distancias en profundidad cuando la dirección de comparación es la horizontal que cuando lo es la vertical (orientación de 0°), lo que podría relacionarse con el mayor soporte neuronal para el procesamiento visual en la dirección horizontal que en la vertical. Por otra parte, en nuestra vida cotidiana, los juicios de distancias en profundidad los realizamos habitualmente entre objetos que están además separados horizontalmente y sólo con una frecuencia notablemente inferior realizamos dichos juicios entre objetos separados además verticalmente. Así pues, el rendimiento visual de nuestros observadores resultó mejor en la condición más habitual de evaluación de distancias en profundidad.

Las correlaciones de la DVB con la exactitud y la precisión de los observadores pueden considerarse como una nueva evidencia de la contribución de la DBV a la percepción de la profundidad, que refuerza las citadas en la introducción realizadas con un número menor de observadores y con pruebas más indirectas.