

# SELECCIÓN PERCEPTUAL EN RIVALIDAD BINOCULAR: EXPERIMENTOS CON SERIES RÁPIDAS DE ESTÍMULOS VISUALES

*Luz I. Leirós, María José Sampedro,  
Dolores Ponte y Manuel J. Blanco*

*Departamento de Psicología Social,  
Básica y Metodología  
Universidad de Santiago de  
Compostela*

## INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la percepción sin conciencia es un tema persistente en psicología experimental y neurociencia cognitiva. La cuestión básica es si los estímulos invisibles, esto es, estímulos que no se perciben conscientemente aunque produzcan actividad neural a lo largo de la vía de procesamiento visual, tienen efectos conductuales y/o cognitivos similares a los de los estímulos visibles. La idea que subyace es que, comparando lo que las personas hacen con y sin conciencia, podemos conseguir información sobre sus funciones; es decir, para qué sirve la conciencia.

Durante más de 100 años, la investigación en psicología experimental sobre percepción sin conciencia ha sido muy controvertida; en parte, porque los hallazgos empíricos han sido difíciles de replicar, pero también porque los procedimientos experimentales no han conseguido establecer criterios claros de invisibilidad (véase Erdelyi, 1974; Dixon, 1981; Holender, 1986). Durante los últimos años, la base empírica del fenómeno parece más sólida. Por una parte, diferentes

líneas de investigación neuropsicológica y psicofísica están proporcionando evidencia de que los estímulos invisibles pueden procesarse, incluso a nivel semántico, y afectar a las funciones cognitivas (p.e. Gaillard, Del Cul, Naccache, Vinckier, Cohen y Dehaene, 2006; Jiang, Costello, Fang, Huang y He, 2006; ver Kouider y Dehaene, 2007 para una revisión crítica) y a las respuestas motoras (ver Jaskowski y Verleger, 2007). Por otra parte, investigaciones recientes en diferentes laboratorios han logrado identificar actividad neural asociada a estímulos invisibles en el córtex visual primario (Rees, Backus y Heeger, 2000) y áreas visuales superiores (p.e. Dehaene, Naccache, Cohen, Le Bihan, Mangin, Poline y Rivière, 2001; Fang y He, 2005; Naccache y Dehaene, 2001; Moutoussis y Zeki, 2002). Las técnicas principales para manipular la conciencia visual en estos estudios han sido el enmascaramiento y la rivalidad binocular.

El enmascaramiento es una reducción en la visibilidad de un estímulo breve (objetivo), producida por la presentación de otro estímulo (máscara), próximo en el espacio y tiempo (Breitmeyer, 1984). La presentación de ambos estímulos puede ser monocular (ambos estímulos a un ojo), binocular (ambos estímulos a ambos ojos) o dicóptica (un estímulo a cada ojo). El enmascaramiento puede ser “hacia atrás”, cuando la máscara sigue al objetivo, o “hacia delante”, cuando la máscara se presenta primero. En sus diferentes formas, está probado que la técnica funciona bien con un rango amplio de imágenes y en diferentes localizaciones del campo visual, aunque mucho mejor en la periferia que en la fovea. Sus principales limitaciones son dos: Una es que no funciona bien con estímulos grandes ( $> 1^\circ$  de ángulo visual), y otra es que el tiempo de invisibilidad ( $< 100$  ms) puede ser demasiado corto para la baja resolución temporal de algunas de las técnicas fisiológicas disponibles (p.e.,

imagen por resonancia magnética funcional; Tsuchiya y Koch, 2005). Es cierto que pueden conseguirse períodos de invisibilidad de varios segundos repitiendo rápidamente el par estímulo-máscara (o máscara-estímulo) (Macknik y Livingstone, 1998), pero este procedimiento sólo trabaja bien cuando determinadas características de ese par de estímulos, como los contornos o las texturas, son similares (Enns, 2002).

La técnica de la rivalidad binocular consiste en presentar simultáneamente, durante un período largo de tiempo, imágenes con contornos diferentes en posiciones retinianas correspondientes. Bajo estas condiciones, la percepción alterna con el tiempo de observación. A intervalos irregulares, uno de los estímulos se hace invisible -durante períodos más o menos largos-, mientras el otro se percibe con nitidez. Una ventaja de esta técnica es que funciona bien con un rango muy amplio de formas visuales; de hecho, prácticamente cualquier par de imágenes puede utilizarse para inducir rivalidad binocular. Sus limitaciones más importantes son tres: En primer lugar, al igual que ocurre con la técnica de enmascaramiento, funciona bien con estímulos pequeños pero no con estímulos grandes. De este modo, la supresión interocular es completa cuando las imágenes monoculares son pequeñas (1°) pero, cuando son grandes, el observador experimenta con frecuencia la llamada percepción “en mosaico”; esto es, visión simultánea de partes diferentes de ambas imágenes monoculares (Yang, Rose y Blake, 1992). Bajo estas condiciones, puede ser difícil informar qué se percibe. En segundo lugar, la supresión interocular en rivalidad binocular no es instantánea, sino que necesita un tiempo para completarse (Wolfe, 1983), lo que produce que, al comienzo de la rivalidad, el observador sea consciente de ambas imágenes monoculares. En tercer lugar, la medida de la conciencia visual podría estar afectada por factores de respuesta o atencionales.

En este artículo, presentamos un método psicofísico alternativo para producir invisibilidad por supresión interocular (ver Valle-Inclán, Blanco, Soto y Leirós, 2008). Nuestro procedimiento básico consiste en presentar dicópticamente (una en cada ojo) series rápidas de estímulos visuales (Rapid Serial Visual Presentations, RSVPs) de 1° de ángulo visual en la fovea. La tarea del observador es identificar un estímulo objetivo, que aparece dentro de una de esas series. Los primeros resultados muestran que, con este procedimiento, se puede conseguir la invisibilidad o supresión perceptual total de la información presentada a uno de los dos ojos, de tal forma que el rendimiento de un observador puede alcanzar el 100% de precisión en la serie presentada a un ojo, al tiempo que no es capaz de detectar ni un solo estímulo objetivo de la otra serie (Valle-Inclán y cols., 2008).

Este procedimiento es una combinación de las técnicas de rivalidad binocular y enmascaramiento dicóptico, pero con menos problemas metodológicos que los que presentan estos dos procedimientos cuando se aplican por separado. Una de sus ventajas es que permite calcular dos índices objetivos de la conciencia del estímulo, como son la precisión (porcentaje de identificaciones correctas) y el tiempo de reacción ante la percepción del objetivo. Además, este procedimiento minimiza la influencia de factores atencionales, debido a la rapidez de presentación de las series. Por último, este procedimiento de RSVPs dicópticas provoca períodos de invisibilidad prolongada (varios segundos), funciona bien con un rango amplio de estímulos y evita la percepción en mosaico.

Todos los experimentos descritos en este trabajo fueron aprobados previamente por el comité de ética de la Universidad de Santiago de Compostela.

## EXPERIMENTO 1. EFECTOS DEL TAMAÑO DE LAS IMÁGENES DICÓPTICAS SOBRE LA SUPRESIÓN INTEROCULAR

### MÉTODO

#### *Observadores*

Participaron 10 estudiantes de psicología (6 mujeres y 4 hombres) de la Universidad de Santiago de Compostela con edades entre 20 y 25 años. Ninguno conocía los objetivos de la investigación y todos recibieron créditos académicos por su participación. Primero se hacía una evaluación clínica de su visión con pruebas de agudeza visual y estereopsis. Incluimos también una prueba de dominancia ocular en rivalidad binocular con estímulos cara-casa (Tong, Nakayama, Vaughan y Kanwisher, 1998). Todos los

observadores tenían agudeza normal, o corregida a normal, y buena estereopsis. Seis de ellos tenían dominancia de ojo derecho y cuatro dominancia de ojo izquierdo.

#### *Aparatos y estímulos*

Utilizamos un monitor color IBM P275 (1024 x 768 pixels, 100 Hz) y un ordenador PC con una tarjeta Nvidia Pro TNT 64 MB bajo Windows XP. La tarea se programó con E-Prime V2.0 (Schneider, Eschman, y Zuccolotto, 2002). Los sujetos observaban la pantalla a través de un estereoscopio de espejos, desde una distancia de 37 cm., de manera que cada ojo sólo veía la mitad correspondiente de la pantalla. Para registrar la respuesta, utilizamos una caja de respuestas PST.

La figura 1 representa la tarea básica. La tarea era similar a la utilizada por Valle-Inclán y cols. (2008) para medir la domi-

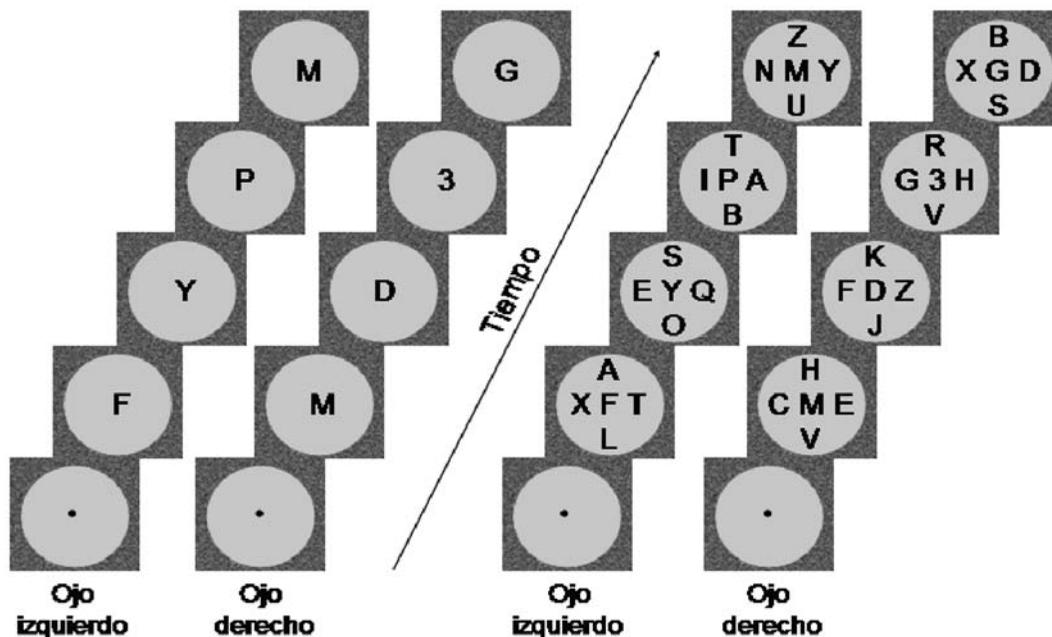


Figura 1. Representación del procedimiento de RSVPs dicópticas. A la izquierda, se representa la condición básica: una RSVP en el centro del campo visual de cada ojo. A la derecha, se representa la condición en la que las RSVPs centrales aparecen flanqueadas por otras cuatro. Las distancias entre RSVPs que aparecen en esta figura NO se corresponden con las empleadas en el experimento (ver texto para más detalles).

nancia ocular en rivalidad binocular. Cada sujeto pasaba por tres condiciones: En la primera condición se presentaban dos RSVPs dicópticas, una de ellas formada por 11 letras diferentes y un número y la otra por 12 letras diferentes. El número aparecía entre las posiciones 4 y 10 de la RSVP. La tarea consistía en identificar ese número. Las letras se seleccionaban al azar de entre todas las del alfabeto español -excluyendo “Ñ” y “W”- y el número de entre el 2 y el 9. La fuente utilizada fue Arial de 22 puntos (resultando un tamaño de aproximadamente  $1^\circ \times 1^\circ$ ). Los estímulos se presentaban en color negro y con una duración de 100 milisegundos (ms). Las RSVPs aparecían en el centro de un círculo gris ( $10 \text{ cd/m}^2$ , diámetro  $5^\circ$ ) que, a su vez, aparecía dentro de un rectángulo ( $6^\circ \times 6^\circ$ ) relleno de puntos blancos y negros al azar (ver Figura 1). Este fondo, idéntico en ambos ojos, tenía por objeto facilitar la fusión binocular. En las otras dos condiciones, las RSVPs presentadas en la fóvea aparecían flanqueadas por otras RSVPs diferentes, presentadas a  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$  (ver figura 1). Estas RSVPs eran distractores, pues el estímulo objetivo (número) nunca aparecía dentro de ninguna de ellas. En una de las condiciones con distractores, las RSVPs periféricas aparecían próximas a la RSVP central ( $0.5^\circ$ , aproximadamente) y en la otra condición más alejadas ( $3^\circ$ ). Incluimos también condiciones de visión monocular, en las que las RSVPs se presentaban sólo en un ojo, mientras que en el otro ojo se presentaban únicamente el rectángulo y el círculo interior, con objeto de facilitar la fusión binocular.

### *Procedimiento*

La sala permanecía sin luz durante todo el experimento, excepto la proveniente de la pantalla. Primero examinábamos la visión de cada

ojo. Después el sujeto realizaba varios ensayos de práctica de la tarea en las tres condiciones. Finalmente, hacía tres bloques de 200 ensayos cada uno con breves descansos entre ellos. El observador iniciaba cada ensayo presionando uno de los botones en la caja de respuestas. En primer lugar, aparecía un punto de fijación ( $0.2^\circ$  diámetro) -con la misma luminancia y color que los caracteres alfanuméricos- en el centro del círculo durante 500 ms. más tarde se presentaban las RSVPs. Al finalizar las RSVPs, el observador debía indicar si el número era par o impar presionando uno de dos botones en la caja de respuestas. La respuesta debía ser lo más rápida y precisa posible y dentro de una ventana temporal de 2000 ms. Dentro de cada bloque se presentaban al azar todas las condiciones experimentales. La serie con el número se presentaba siempre en el ojo no dominante (resultados idénticos a los aquí informados pueden obtenerse con RSVPs dicópticas con contrastes diferentes).

### *Resultados y discusión*

Calculamos las proporciones de respuestas correctas para cada sujeto y condición. La figura 2 representa la media y error típico de estas puntuaciones, en cada condición, para el grupo de observadores. Como puede verse en dicha figura, cuando se estimulaba sólo un ojo, la precisión era prácticamente del 100% en todas las condiciones, mientras que con estimulación dicóptica ésta disminuía sensiblemente. Los datos se analizaron con un ANOVA 2 (modo de presentación: dicóptica vs. monocular)  $\times$  3 (condición: sin distractores, distractores próximos, distractores alejados), con medidas repetidas en ambos factores. Como muestra la figura 2, se producía supresión interocular en todas las condiciones ( $p < .001$ ), aunque ésta era mayor con distractores próximos que con distractores alejados, y todavía mayor en relación a cuando no había distractores.

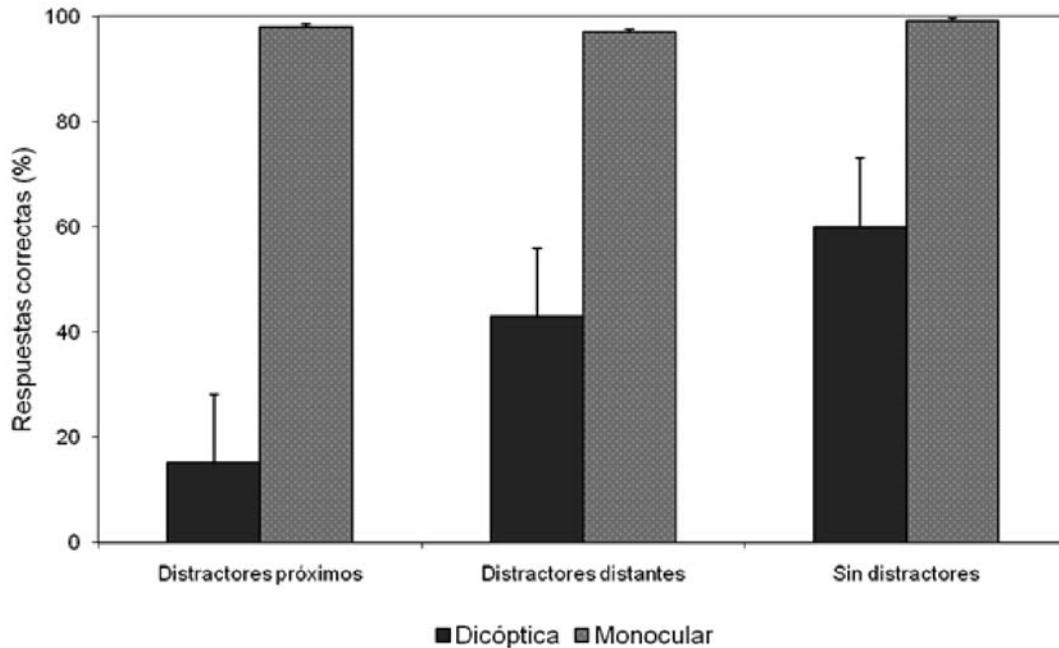


Figura 2. Resultados del experimento 1. Proporción de respuestas correctas en función del estímulo (RSVP central, con distractores próximos y con distractores distantes) y del tipo de visión (dicóptica vs monocular).

Nuestros resultados son consistentes con trabajos previos que demuestran que existen interacciones entre zonas locales de rivalidad binocular (Yang y cols., 1992); es decir, la estimulación de una zona de la retina afecta a la supresión de estímulos en otra zona próxima. En nuestro experimento, los estímulos periféricos en el ojo dominante afectaban a la supresión de los estímulos foveales en el otro ojo. Por esto, la mayor supresión interocular se producía cuando presentábamos varias RSVPs dicópticas próximas.

## EXPERIMENTO 2. ¿CUÁNTO DURA LA SUPRESIÓN RSVP?

¿Cuánto tiempo puede permanecer invisible un estímulo suprimido? Para responder a esta pregunta modificamos ligeramente el procedimiento seguido en el primer experimento. El estímulo objetivo aparecía ahora al final de una de las RSVPs y permanecía en pantalla, junto con el ítem dicóptico correspondiente, hasta que el sujeto daba la respuesta de identificación.

## MÉTODO

### Observadores

Participaron dos de los autores (MB y LL) y otros dos observadores que desconocían el propósito del trabajo. Los cuatro tenían visión normal (o corregida) y buena estereopsis, y todos eran observadores experimentados en rivalidad binocular. Dos de los observadores tenían dominancia de ojo derecho en rivalidad binocular (AF y LL), otro dominancia de ojo izquierdo (MB) y otro no mostraba signos de dominancia (EG).

### Procedimiento

Los estímulos fueron idénticos a los del experimento 1. En cada ensayo se presentaban RSVPs foveales dicópticas, cada una en el centro del campo visual de cada ojo. La longitud de las series variaba al azar entre ensayos. Cada RSVP dicóptica estaba formada por entre 1 y 10 ítems, de 150 ms de duración cada uno. El estímulo objetivo (un número entre 2 y 9)

aparecía siempre al final de una de las RSVPs y permanecía en pantalla hasta que el observador respondía. La RSVP con el número aparecía al azar en el ojo dominante o en el no dominante (resultados similares a los informados aquí se obtienen cuando se manipulan los contrastes de luminancia de las dos series). Cada observador realizaba 10 bloques de 100 ensayos cada uno, con breves descansos entre bloques.

### Resultados y discusión

Para cada observador y condición calculamos la mediana del tiempo de reacción (TR). En la figura 3 pueden verse los resultados para cada uno de los observadores. Los datos son claros: En todos los observadores con un ojo dominante (AF, MB y LL), la supresión RSVP incrementaba en función de la estimulación dicóptica precedente, con importantes diferencias entre observadores en el tiempo requerido para alcanzar la supresión máxima. Por ejemplo, MB alcanzaba la supresión máxima en la tercera presentación dicóptica (450 ms), mientras que LL la alcanzaba sólo después de siete presentaciones (1050 ms). El tiempo máximo de invisibilidad también era muy variable; por ejemplo, 1 segundo aproximadamente para AF y MB, y casi dos segundos para LL.

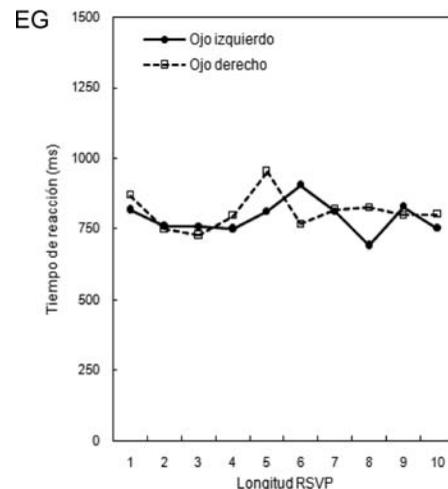
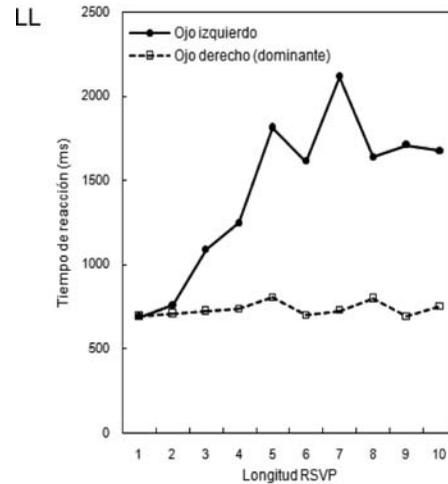
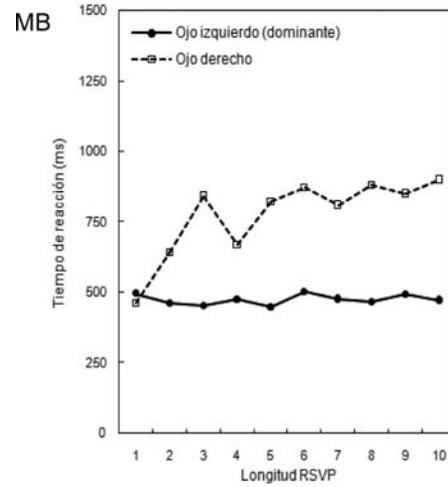
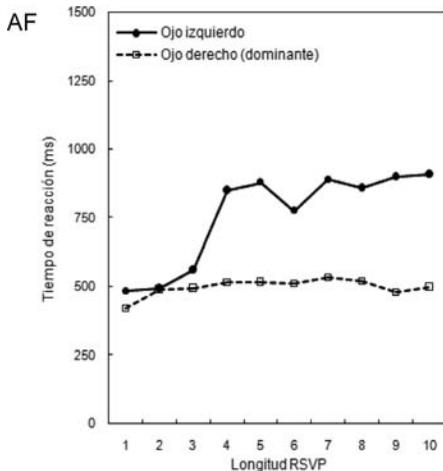


Figura 3. Resultados del experimento 2. Mediana del tiempo de reacción (ms) de identificación del estímulo, en función del ojo y de la longitud de la RSVP. Los datos se representan por separado para cada uno de los cuatro observadores.

El aumento de la supresión interocular como una función del tiempo desde el inicio de las RSVPs replica un hallazgo básico en la investigación sobre rivalidad binocular y, de alguna forma, valida nuestro procedimiento. Está bien establecido que la supresión interocular en rivalidad binocular requiere de un tiempo mínimo para desarrollarse (Wolfe, 1983). El procedimiento experimental estándar para examinar el curso temporal de la supresión interocular es el análisis de la relación entre la duración de los estímulos dicópticos y algún informe subjetivo de la percepción (Anderson, Bechtoldt y Dunlap, 1978; de Belsunce y Sireteanu, 1991; Goldstein, 1970; Wolfe, 1983, 1986). El hallazgo básico es que, con duraciones por debajo de los 150 ms, aproximadamente, los estímulos se perciben superpuestos o en transparencia, mientras que con duraciones más largas sólo se ve uno de ellos. Nuestro experimento replica este hallazgo básico, con el curso temporal de la supresión indicado por un cambio en el

tiempo de reacción como una función de la posición temporal del estímulo objetivo en la RSVP.

## CONCLUSIONES

No está claro cuál es el mecanismo que subyace al fenómeno de la supresión en rivalidad binocular (ver Tong, Meng y Blake, 2006). Una posibilidad es que las respuestas transitorias asociadas con cada presentación dicóptica desempeñen un papel fundamental en la supresión. Se ha demostrado que, bajo ciertas condiciones (Macknik y Livingstone, 1998; Macknik y Martínez-Conde, 2004), las respuestas transitorias a una máscara pueden inhibir las respuestas asociadas al estímulo objetivo en el otro ojo (enmascaramiento dicóptico). Esta posibilidad debe examinarse en futuros experimentos.

También el curso temporal de la supresión interocular merece una atención especial.

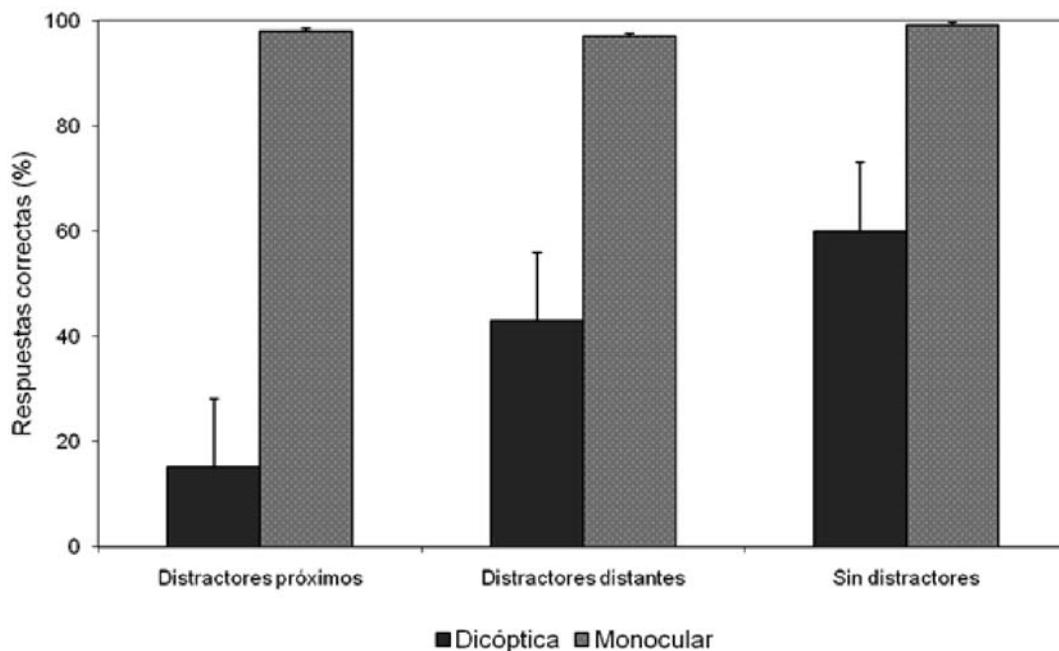


Figura 4. Comparación (a partir de Kim y Blake, 2005) de la técnica de RSVPs dicópticas con los procedimientos estándar de enmascaramiento dicóptico y rivalidad binocular, en cinco características: variedad de estímulos con los que se pueden utilizar las diferentes técnicas (letras, enrejadas, caras, etc.), campo visual (fóvea vs. periferia), tamaño del estímulo, duración de la invisibilidad y medida objetiva de la conciencia del estímulo.

Como ya hemos dicho, la supresión ocurre con menor probabilidad justo después del onset de los estímulos dicópticos que durante los períodos subsecuentes de observación (Hering, 1874/1964; Wolfe, 1983). Durante el período inicial de la rivalidad binocular prevalece la fusión sobre la supresión. Hay que descartar la hipótesis básica de que la fusión-onset representa el tiempo mínimo que requiere el sistema visual para comparar las dos imágenes. Por ejemplo, experimentos sobre los umbrales de duración para detectar disparidad binocular sugieren que este tiempo es de unos pocos milisegundos (Tyler y Julesz, 1976), un tiempo mucho más bajo que las duraciones de estímulo que producen fusión inicial (véase observador EG en el experimento 2). Nuestro procedimiento de RSVPs dicópticas puede ser útil en la investigación de estos problemas, en la medida que combina la eficacia de las técnicas de enmascaramiento dicóptico con las de la rivalidad binocular tradicional (ver figura 4 para una comparativa).

## REFERENCIAS

- Anderson, J. D., Bechtoldt, H. P. & Dunlap, G. L. (1978). Binocular integration in line rivalry. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 11(6), 399-402.
- Breitmeyer, B.G. (1984). *Visual masking: An integrative approach*. Oxford: Oxford Clarendon Press.
- de Belsunce, S. & Sireteanu, R. (1991). The time course of interocular suppression in normal and amblyopic subjects. *Investigative Ophthalmology & Visual Sciences*, 32 (9), 2645-2652.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Le Bihan, D., Mangin, J.F., Poline, J.B. & Rivière, D. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious rePETition priming. *Nature Neuroscience*, 4(7), 752-758.
- Dixon, N.F. (1981). *Preconscious processing*. Chichester: Wiley.
- Enns, J. T. (2002). Visual binding in the standing wave illusion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 489-496.
- Erdelyi, M.H. (1974). A new look at the new look: perceptual defense and vigilance. *Psychological Science*, 81(1), 1-25.
- Fang, F. & He, S. (2005). Cortical responses to invisible objects in the human dorsal and ventral pathways. *Nature Neuroscience*, 8(10), 1380-1385.
- Gaillard, R., Del Cul, A., Naccache, L., Vincier, F., Cohen, L. & Dehaene, S. (2006). Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access. *PNAS* 103, 7524-7529.
- Goldstein, A. G. (1970). Binocular fusion and contour suppression. *Perception & Psychophysics*, 7, 28-32.
- Hering, E. (1874/1964). *Outline of a theory of the light sense*. (L. Hurvich & D. Jameson, Traductores). Cambridge: Harvard University Press.
- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *Behavioral & Brain Sciences*, 9, 1-23.
- Jaskowski, P. & Verleger, R. (2007). What determines the direction of subliminal priming. *Advances in Cognitive Psychology*, 3, 181-192.
- Jiang, Y., Costello, P., Fang, F., Huang, M. & He, S. (2006). A gender- and sexual orientation-dependent spatial attentional effect of invisible images. *PNAS*, 103 (45), 17048-17052.
- Kim, C.Y. & Blake, R. (2005). Psychophysical strategies for rendering the normally visible "invisible". *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 381-388.

- Kouider, S. & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: a critical review. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 362 (1481), 857-875.
- Macknik, S.L. & Livingstone, M.S. (1998). Neuronal correlates of visibility and invisibility in the primate visual system. *Nature Neuroscience*, 1, 144-149.
- Macknik, S. L. & Martinez-Conde, S. (2004). Dichoptic visual masking reveals that early binocular neurons exhibit weak interocular suppression: Implications for binocular vision and visual awareness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1049-1059.
- Moutoussis, K. & Zeki, S. (2002). Responses of spectrally selective cells in macaque area V2 to wavelengths and colors. *Journal of Neurophysiology*, 87, 2104-2112.
- Naccache, L. & Dehaene, S. (2001). Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition*, 80, 215-229.
- Ress, D., Backus, B.T., & Heeger, D.J. (2000). Activity in primary visual cortex predicts performance in a visual detection task. *Nature Neuroscience* 3, 940 – 945.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Tong, F., Meng, M. & Blake, R. (2006). Neural bases of binocular rivalry. *Trends in Cognitive Science*, 10, 502-511
- Tong, F., Nakayama, K., Vaughan, J. T., & Kanwisher, N. (1998). Binocular rivalry and visual awareness in human extrastriate cortex. *Neuron*, 21, 753-759.
- Tsuchiya, N. & Koch, C. (2005). Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature Neuroscience* 8, 1096-1101.
- Tyler, C.W. & Julesz, B. (1976). The neural transfer characteristic (neurontropy) for binocular stochastic stimulation. *Biological Cybernetics* 23, 33-37.
- Valle-Inclán, F., Blanco, M., Soto, D., & Leirós, L.I. (2008). A new method to assess eye dominance. *Psicológica* 29, 57-66.
- Wolfe, J. M., (1983). Afterimages, binocular rivalry, and the temporal properties of dominance and suppression. *Perception* 12(4), 439 – 445.
- Wolfe, J. M., (1986). Stereopsis and binocular rivalry. *Psychological Review* 93, 269-282.
- Yang, V., Rose, D. & Blake, R. (1992). On the variety of perceptions associated with dichoptic viewing of dissimilar monocular stimuli. *Perception* 21(1), 47 – 62.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia de España (SEJ2007-61039/PSIC).