

# La teoría atencional de Posner: una tarea para medir las funciones atencionales de Orientación, Alerta y Control Cognitivo y la interacción entre ellas

M<sup>a</sup> Jesús Funes y Juan Lupiáñez  
Universidad de Granada

Según la teoría atencional de Posner, podemos distinguir tres funciones atencionales, orientación espacial, alerta y control cognitivo. Presentamos una tarea para medir las tres funciones y la relación entre ellas. Los participantes tenían que discriminar la dirección de una flecha que a su vez podía aparecer en una posición congruente o incongruente con dicha dirección. Como medida de alerta, encontramos menores tiempos de reacción en presencia de un tono que en ausencia de él. Como medida de orientación espacial observamos una mejor ejecución en presencia de señales espaciales válidas vs. inválidas. Por último, obtuvimos un efecto de congruencia como medida de control que además se veía incrementado en condiciones de alerta y reducido en condiciones de orientación. Discutimos los resultados en términos de relaciones entre las tres redes y proponemos el uso de medidas de este tipo como herramienta diagnóstica de déficits atencionales específicos en pacientes neuropsicológicos y con desórdenes psiquiátricos.

*Posner's Theory of Attention: a task to measure the attentional functions of Orienting, Alerting and Cognitive Control and the interactions between them.* According to Posner's theory of attention, we can differentiate three attentional functions, spatial orientation, alerting and cognitive control. We present a task to measure these three functions and the way they interact. Participants had to discriminate the direction of an arrow that could appear in a location either congruent or incongruent with its direction. As a measure of alerting we found people being faster on tone-present trials than on tone-absent ones. As a measure of orienting we observed better performance on valid trials vs. invalid ones. Finally, we found a congruency effect as a measure of control. Such effect was enhanced under conditions of high alerting but reduced under conditions of orienting. We discuss the results in terms of the relations between the three networks, and propose the use of such kind of measures as a diagnostic tool for specific attentional deficits in patients with cerebral damage and/or psychiatric disorders.

Si analizamos el uso del término «atención» en el lenguaje cotidiano podemos observar que se trata de un concepto ambiguo que posee más de un significado. Por ejemplo, cuando decimos que «el color de una camiseta nos llama la atención» queremos comunicar que se trata de un color llamativo o novedoso, gracias al cual nos hemos fijado especialmente en ella. Sin embargo, el significado del término atención es diferente cuando les indicamos a nuestros alumnos que «presten atención en la realización de un ejercicio complicado». En este caso «prestar atención» se convierte en un concepto que implica esfuerzo activo y concentración por parte del alumno.

Esta ambigüedad en el término atención también se ve reflejada en el ámbito clínico. Así, normalmente afirmamos que uno de los síntomas comúnmente asociado a muchos desórdenes psicoló-

gicos es la presencia de «déficits atencionales». Pacientes de Neglect, esquizofrénicos, pacientes con daño en el lóbulo frontal, niños hiperactivos, mayores con Alzheimer, etc., presentan problemas atencionales. Pero, ¿se trata del mismo tipo de déficit atencional para todos estos desórdenes cognitivos y emocionales, o se trata de déficits atencionales diferentes?

Desde sus inicios, el estudio científico de la Atención se ha caracterizado por un marcado énfasis en clarificar qué entendemos por atención, y para ello normalmente se ha alejado de concepciones demasiado unitarias. Las concepciones teóricas actuales sobre atención distinguen entre «variedades atencionales». Parasuraman y Davies (1984) dedican todo un volumen a la distinción entre procesos selectivos, intensivos, de alerta y mantenimiento, todos ellos considerados como diferentes variedades de atención. Según Van der Heijden (1992) podemos diferenciar entre atención o selección perceptual, expectativa e intención. La Berge (1995), por su parte, distingue entre diferentes manifestaciones de la atención, que serían selección, preparación y mantenimiento.

En un intento por clarificar y organizar teóricamente tanta diversidad de concepciones sobre atención, Posner y colaboradores han propuesto una teoría integradora. Esta teoría (Posner y Peter-

sen, 1990; Posner y Rothbart, 1991; Posner y Dehaene, 1994) defiende que dicha variedad de manifestaciones atencionales está producida por sistemas atencionales separados aunque relacionados entre sí. Así, para ellos la atención es un sistema modular compuesto por tres redes: la Red Atencional Posterior o de Orientación, la Red de Vigilancia o Alerta y la Red Anterior o de Control Ejecutivo. Cada una de estas redes estaría encargada de funciones atencionales distintas y a su vez estarían asociadas a áreas cerebrales diferenciadas.

La función más estudiada de *la Red Atencional Posterior* es la de orientación de la atención hacia un lugar en el espacio donde aparece un estímulo potencialmente relevante bien porque posee propiedades únicas, es novedoso, o porque aparece de manera abrupta en la escena visual (véase Ruz y Lupiáñez, 2002, para una revisión sobre captura atencional). Uno de los procedimientos originarios y más utilizados para estudiar esta función consiste en la presentación abrupta de una señal en una de las posibles posiciones del estímulo objetivo previamente a la presentación de éste (Posner, 1980; Posner y Cohen, 1984). Se suele encontrar mayor rapidez y precisión cuando la señal y el estímulo objetivo aparecen en la misma posición espacial (ensayos válidos) que cuando aparecen en distinta posición (ensayos inválidos). Este efecto de *Facilitación* parece indicar que al orientar la atención previamente hacia el lugar del estímulo objetivo se maximiza la percepción y velocidad de procesamiento de éste. Lo más llamativo de este resultado es que se produce aún cuando la señal no predice el lugar de aparición del objetivo. Existe gran evidencia proveniente de diversas metodologías como estudios con pacientes con daño cerebral (Petersen, Robinson, y Morris, 1987; Friedrich, Egly, Rafal y Beck, 1998) y estudios de neuroimagen con personas normales (Posner, Petersen, Fox y Raichle, 1988; Rafal, Henik y Smith, 1991; Corbetta, Kincade, Ollinger, McAvoy y Shulman, 2000) que muestra que las áreas cerebrales implicadas en esta función de orientación son el córtex parietal posterior, los núcleos pulvinar y reticular del tálamo y los colículos superiores.

*La Red Atencional de Vigilancia y/o Alerta* se encargaría de mantener un estado preparatorio o de «arousal» general, necesario para la detección rápida del estímulo esperado. Aunque hay estudios que enfatizan la función tónica o duradera del estado de alerta en tareas de vigilancia, también se atribuye a esta red la función de alerta fáscica o de corta duración producida por la presentación de señales de aviso que anuncian la inminente llegada de un estímulo. Se suele encontrar que aunque estas señales inespecíficas no informan del lugar o identidad del estímulo objetivo, somos más rápidos en responder a éste ante señales de alerta que en ausencia de ellas. Sin embargo, la mayor velocidad en la respuesta se ve acompañada por una menor precisión (se cometen más errores y/o anticipaciones). Este «balance velocidad-precisión» es un patrón muy consistente en estudios con este tipo de señales (Posner, Klein, Summers y Buggie, 1973) y podría estar indicando que la señal de alerta nos prepara para dar una respuesta más rápida pero sin mejorar la velocidad de procesamiento del estímulo (Posner, 1978). Estudios anatómicos con PET y de lesiones en humanos y en monos (Posner y Petersen 1990, para una revisión) han indicado que las áreas corticales asociadas a esta función están lateralizadas al hemisferio derecho, en los lóbulos frontales y parietales, que reciben proyecciones del *Locus Coeruleus* a través del neurotransmisor Norepinefrina.

Por último, *la Red Atencional Anterior* sería la encargada de ejercer el control voluntario sobre el procesamiento ante situaciones que requieren algún tipo de planificación, desarrollo de estra-

tegias, resolución de conflicto estimular o de respuesta, o situaciones que impliquen la generación de una respuesta novedosa (Posner y Raichle, 1994). A su vez, se considera que existe una relación muy estrecha entre esta red y los procesos de detección consciente de los estímulos (Posner y Rothbart, 1992), así como con procesos de memoria de trabajo (Posner y Dehaene, 1994). Una forma muy utilizada para el estudio de estas funciones ejecutivas ha sido mediante tareas que presentan conflicto estimular y/o de respuesta, tales como las tareas tipo Stroop (Stroop, 1935) o de flancos (Eriksen y Eriksen, 1974). En estas tareas se suele comparar la ejecución en una situación en la que dos dimensiones estímulares, una relevante y otra distractora, son congruentes o evocan respuestas compatibles, con una condición en la que la dimensión distractora es incongruente o está asociada a una respuesta incompatible con la elicitada por la dimensión relevante. Normalmente se encuentra que los participantes son más rápidos y precisos para los ensayos compatibles que para los incompatibles, de forma que para asegurar una respuesta correcta en los ensayos incompatibles, se pondrían en marcha procesos de control que resolverían el conflicto. Estudios con neuroimagen parecen converger en que las estructuras cerebrales implicadas en estas funciones de resolución de conflicto, así como en otras funciones de control, serían el cíngulo anterior y otras áreas prefrontales relacionadas, como el área dorsolateral prefrontal izquierda (Posner y Digirolamo, 1998; McDonald, Cohen, Stenger y Carter, 2000). Sin embargo, modelos más recientes proponen la necesidad de distinguir entre al menos dos subsistemas anatómicamente diferentes que se repartirían las funciones ejecutivas. Según el modelo de Corbetta y Shulman (2002) habría un subsistema que incluiría el córtex temporoparietal y el córtex frontal inferior lateralizado al hemisferio derecho, encargado de detectar novedad y estimulación saliente e inesperada. Por otro lado, existiría un sistema formado por el córtex intraparietal y el córtex frontal superior, que sería el responsable de funciones de desarrollo de expectativas. Una propuesta parecida hacen el grupo de Carter y Botvinick (Van Veen, Cohen, Botvinick, Stenge y Carter, 2001; Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter y Cohen, 1999, 2001), quienes disocian entre la función ejecutiva de detección y/o resolución de conflicto de respuestas incompatibles y otros procesos «top-down» como desarrollo de estrategias y selección de información relevante. Concretamente encuentran que el córtex cingulado anterior participa específicamente en la detección de situaciones de conflicto de respuesta, y no en otro tipo de funciones ejecutivas.

¿Son las redes de Posner independientes entre sí o existen relaciones entre ellas?

La teoría original de Posner defiende la idea de que las tres redes son sistemas anatómica y funcionalmente diferentes aunque interconectadas entre sí. El modelo otorga un papel especial a la red anterior, que tendría capacidad de modular a las otras dos redes a través del desarrollo de estrategias, cuando las condiciones de la tarea así lo requieran. En cuanto a la posible relación entre la red posterior y la de alerta, estudios neuroanatómicos han encontrado evidencia de importantes conexiones noradrenérgicas que parten del *Locus Coeruleus* (asociado a la activación de la red de alerta) y viajan directamente hacia el lóbulo parietal, el pulvinar y los colículos superiores, áreas que, como apuntábamos antes, formarían parte de la red posterior (Morrison y Foote, 1986; Marroco y Davidson, 1998), lo que parece ser un indicio de dependencia

entre las dos redes. Fernández-Duque y Posner (1997) realizaron varios experimentos para comprobar si esta relación anatómica entre la red de alerta y la red posterior tenía correlato a nivel comportamental. Sin embargo, encontraron que una señal de alerta de tipo auditivo no modulaba el efecto de validez producido por una señal predictiva de orientación espacial, por lo que concluyeron que ambos efectos se debían a la actuación de sistemas atencionales distintos con funciones independientes.

En relación a la posibilidad de que la red de alerta module la actuación de la red anterior, Cohen y colaboradores (Cohen, Semple, Gross, Holcomb, Dowling y Nordahl, 1988) encontraron evidencia neuroanatómica de que incrementos en la activación metabólica de zonas frontales en una tarea de vigilancia se veían acompañadas de decrementos en la activación del cíngulo anterior, área fuertemente asociada a funciones ejecutivas. Este resultado llevó a Posner y colaboradores (Posner y Petersen, 1990; Posner y Rothbart, 1991; Posner y Raiche, 1994) a proponer la idea de que la red de alerta pudiera estar inhibiendo a la red anterior para evitar que cualquier otra estimulación externa o interna (pensamientos, etc.) interfiera con el procesamiento del estímulo que esperamos. A este estado lo denominan «vaciado de conciencia».

Fan, McCandliss, Sommer, Raz y Posner (2002) han apostado por el carácter independiente de las tres redes. Utilizando una tarea que combinaba una tarea de flancos con un paradigma de señalización visual, encontraron efectos principales de alerta, orientación espacial y resolución de conflicto, que eran independientes entre sí, de acuerdo a un análisis de correlaciones. Sin embargo, el análisis de varianza mostraba una interacción entre tipo de señal y congruencia de los flancos, de modo que el efecto de congruencia era mayor ante una señal de alerta que sin dicha señal o con señales de orientación espacial. En general, los autores concluyen que sus resultados van a favor de la idea general de independencia entre las redes, aunque apuntan a la posibilidad de que exista cierta modulación de la red anterior por parte de la red de alerta.

En este contexto, nuestro trabajo tiene una doble vertiente: por un lado, estamos interesados en presentar una tarea sencilla y de corta duración que sirva para obtener índices comportamentales de las tres funciones atencionales simultáneamente, al igual que la de Fan et al (2002), que pueda ser utilizada como una herramienta diagnóstica fina de déficits atencionales específicos. En segundo lugar, queríamos que esta tarea permitiera estudiar el carácter independiente o de relación entre las tres redes propuestas por Posner. Para conseguir estos objetivos hemos realizado tres manipulaciones independientes para aislar las tres funciones atencionales y obtener una medida de cada una de ellas, así como las posibles interacciones.

Como apuntábamos antes, el trabajo de Fernández-Duque y Posner (1997) permitía estudiar las relaciones entre las funciones de orientación y alerta, aunque no permitía conocer las relaciones entre orientación y control o entre alerta y control, ya que no incluía ninguna variable para medir la función de control. Por otro lado, el trabajo de Fan y colaboradores (2002), aunque permite conocer las relaciones entre orientación y congruencia o alerta y congruencia, no permite estudiar las relaciones entre orientación y alerta, ya que en su diseño experimental midieron los componentes de alerta y orientación a través de la manipulación de una única variable. Sin embargo, en nuestro diseño experimental hemos medido las tres funciones de manera independiente, lo que nos permite estudiar todas las posibles relaciones entre las tres redes. Además, nótese que tanto en el trabajo de Fernández-Duque y

Posner como el de Fan y colaboradores se usaron señales espaciales que eran predictivas (80% y 100%, respectivamente). Pensamos que esto podría estar introduciendo un factor estratégico en la función de orientación espacial, por lo que en nuestra tarea utilizamos una señal espacial no predictiva que aislase mejor la función de orientación.

## Método

### *Participantes*

Los participantes fueron 30 alumnos de Psicología de la Universidad de Granada, 24 mujeres y 6 hombres. De ellos 2 eran zurdos y los 28 restantes diestros. La edad media de los participantes era 21 años y tenían visión normal o corregida. Todos desconocían el propósito del experimento y participaron voluntariamente para la obtención de créditos.

### *Aparatos y estímulos*

Los estímulos fueron presentados en un monitor de 15 pulgadas. Para la programación del experimento, la presentación de los estímulos y el registro de la respuesta se utilizó el programa MEL2 (Schneider, 1988). Los participantes estaban sentados a 57 cm del monitor aproximadamente. El estímulo a discriminar era una flecha blanca que apuntaba a la derecha o a la izquierda (10 mm de alto y 11 mm de largo). La flecha podía aparecer en el centro de una de dos cajitas colocadas simétricamente a ambos lados de la pantalla (a 25 mm del punto de fijación a la parte más interior). Las cajitas eran de color gris oscuro sobre un fondo negro, y medían 22 mm de alto y 35 mm de ancho. La señal de alerta consistía en un tono de 500 Hz de 250 ms de duración. La señal de orientación consistía en el parpadeo de una de las dos cajitas (se presentaba de color blanco durante 50 ms y después volvía a su color gris original).

### *Procedimiento*

La secuencia de eventos era la siguiente (véase la figura 1): al comienzo de cada ensayo aparecían el punto de fijación y las dos cajitas, que permanecían presentes durante todo el ensayo y sólo desaparecían entre ensayos. Tras un período de tiempo variable entre 750 y 1.500 ms, en la mitad de los ensayos se presentaba la señal de alerta durante 250 ms. Transcurridos 150 ms desde la desaparición del tono, una de las dos cajitas parpadeaba durante 50 ms, señalando una posición (izquierda o derecha). En los ensayos sin señal espacial el punto de fijación y las cajitas permanecían solas en la pantalla durante ese tiempo. Ciento cincuenta ms tras la desaparición de la señal espacial aparecía el estímulo objetivo (una flecha) dentro de una de las dos cajitas durante 200 ms. Tras la desaparición del objetivo, las cajitas y el punto de fijación aún permanecían en la pantalla y desaparecían cuando el participante respondía, o tras 3.000 ms, si no respondían. Tras la desaparición de las cajitas y el punto de fijación, la pantalla permanecía negra durante 1.000 ms. Después de este tiempo comenzaba el siguiente ensayo. La tarea de los participantes consistía en presionar la tecla «X» del teclado con el dedo índice de la mano izquierda cuando la flecha apuntaba hacia la izquierda y presionar la tecla «M» con el dedo índice de la mano derecha cuando la flecha apuntaba hacia la derecha. El experimento se interrumpía al finalizar cada bloque, y

los sujetos eran informados de que podían hacer un descanso entre bloques de unos segundos y presionar una tecla para comenzar el siguiente bloque de ensayos. La duración total de la tarea era de 25 minutos aproximadamente. Los participantes eran informados de que su tarea consistía en discriminar la dirección de la flecha y presionar la tecla asignada a cada dirección. Se les informaba de que el lugar de aparición de la flecha era irrelevante para la tarea, al igual que las señales espaciales y auditivas, y que por tanto debían ignorarlos. También se les inducía a que intentasen responder con la mayor rapidez posible, pero tratando de no cometer errores. Por último, se les instruyó para mantener la mirada en el punto de fijación y evitar movimientos oculares durante todos los ensayos.

*Diseño*

El diseño experimental consistía en 3 variables independientes manipuladas intra-participantes: *Alerta*, *Orientación* y *Congruencia*. La variable *Alerta* tenía dos valores: ausencia vs. presencia de señal auditiva. Para la variable *Orientación* el objetivo podía aparecer en la posición previamente ocupada por la señal (ensayos válidos), en la posición opuesta (ensayos inválidos) o no presentarse ninguna señal espacial (ensayos neutros). Por último, la variable *Congruencia* tenía dos niveles, ensayos congruentes (en los que la localización y la dirección de la flecha era la misma) y ensayos incongruentes (en los que la localización y la dirección de la flecha era la opuesta). Los niveles de todas estas variables independientes estaban completamente cruzados dentro de cada bloque, y tomaban cada valor con la misma probabilidad.

Los participantes realizaban un bloque de práctica seguido de 15 bloques de ensayos experimentales. Cada bloque consistía en 24 ensayos, 2 ensayos por condición experimental (uno en el que la flecha apuntaba hacia la derecha y otro en el que apuntaba hacia la izquierda). Así, el total de ensayos experimentales para la tarea era de 360 (30 por condición experimental).

Resultados y discusión

En primer lugar realizamos una medición de las tres funciones atencionales. Para obtener una medida de la función de *Alerta* restamos el tiempo de reacción (TR) promedio en la condición sin señal auditiva del TR promedio en la condición con señal auditiva. Sin embargo, restringimos la comparación a los ensayos neutros (cuando no aparecía ningún tipo de señal de orientación espacial), ya que resultados anteriores (Hebb, 1949; Fernández-Duque y Posner, 1997) demuestran que la aparición de una señal visual de orientación puede producir un pequeño efecto de alerta. De esta forma, el efecto de alerta obtenido fue de 28 ms con una desviación típica de 19 ms. Para la función de *Orientación espacial* sustrajimos el TR de los sujetos en los ensayos válidos del TR en los ensayos inválidos, obteniendo una medida de *Orientación* de 35

ms (23 ms de desviación típica). Para medir la función de *Control* restamos del promedio obtenido en los ensayos incongruentes el obtenido en los ensayos congruentes: 43 ms, con una desviación típica de 21 ms.

Para el análisis general de los resultados realizamos dos ANOVAs de medidas repetidas 2X3X2 con las variables *Alerta*, *Orientación* y *Congruencia* como variables intra-participantes, uno para los datos de TR y otro para el porcentaje de errores. Para el análisis de TR incluimos sólo los ensayos con respuesta correcta. En la tabla 1 podemos observar el promedio de TR y de porcentaje de errores por condición experimental.

El análisis de TR mostró efectos principales significativos de las tres variables,  $F(1, 29) = 69.63$ ,  $MCE = 435.4$ ,  $p < 0.001$ ,  $F(2, 58) = 58.94$ ,  $MCE = 867.17$ ,  $p < 0.001$  y  $F(1, 29) = 119.90$ ,  $MCE = 1393.12$ ,  $p < 0.001$ , para *Alerta*, *Orientación* y *Congruencia*, respectivamente. Recalculado el efecto de la variable *Alerta* únicamente para los ensayos neutros (sin señal visual), el efecto fue de nuevo significativo  $F(1, 29) = 70.40$ ,  $MCE = 344.56$ ,  $p < 0.001$ .

El análisis de errores también mostraba efectos principales significativos de las tres variables,  $F(1, 29) = 7.87$ ,  $MCE = 0.002$ ,  $p < 0.01$ ,  $F(2, 58) = 4.42$ ,  $MCE = 0.002$ ,  $p < 0.05$ ;  $F(1, 29) = 41.42$ ,  $MCE = 0.003$ ,  $p < 0.001$ , respectivamente, siendo el efecto de alerta marginalmente significativo ( $p = 0.053$ ) al restringir el análisis a los ensayos neutros. Sin embargo, los participantes mostraban más errores cuando se presentaba la señal auditiva (4%) que cuando no se presentaba (2.6%). Este resultado supone un balance velocidad-precisión con respecto a la medida de *Alerta* obtenida con TR, lo que corrobora lo que se viene observando en la literatura con este tipo de señales (Posner, Klein, Summers y Buggie, 1973; Posner, 1978; Fernández-Duque y Posner, 1997).

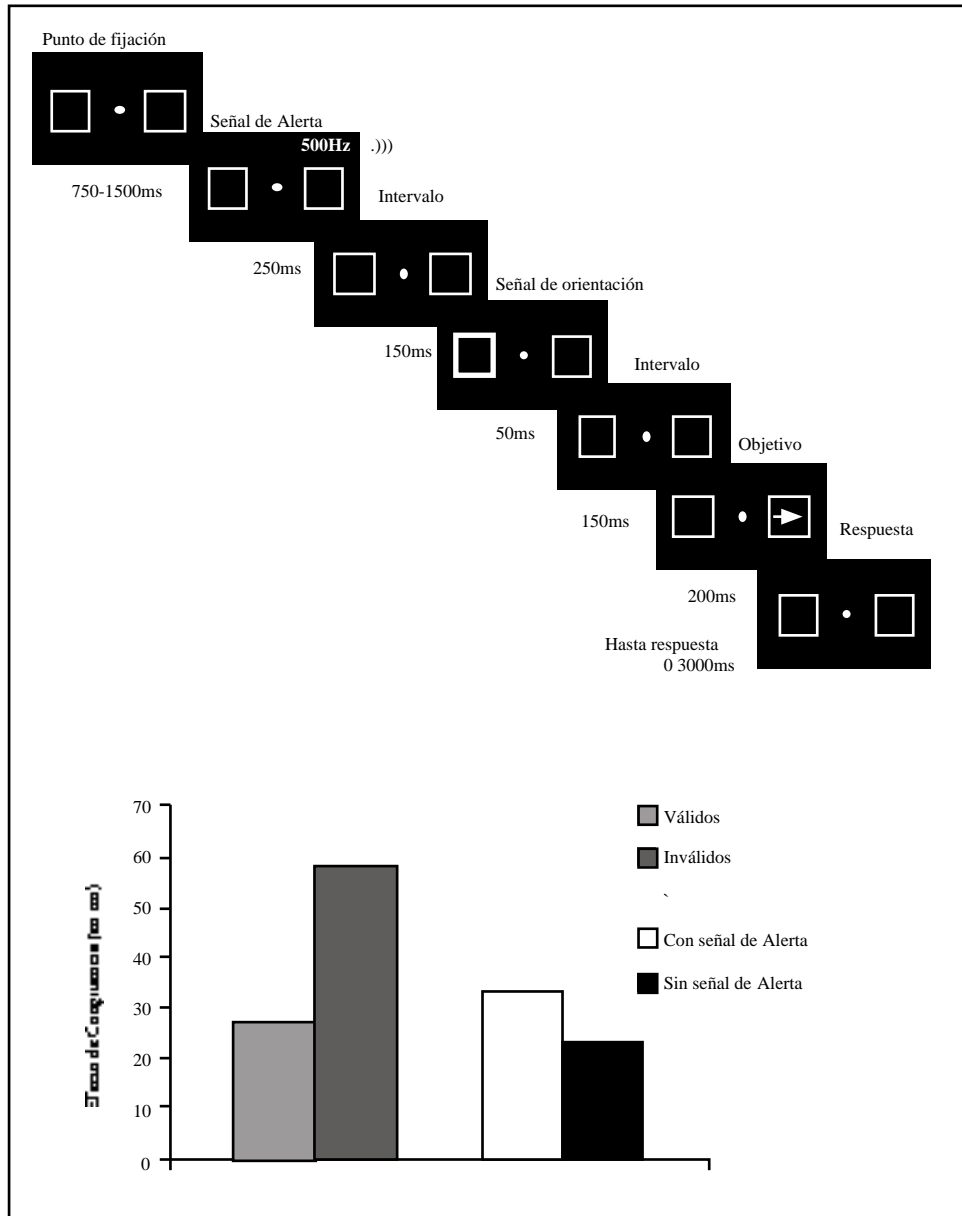
Se observaron igualmente algunos patrones de interacción interesantes. En primer lugar, el análisis de TR revelaba una interacción entre las variables *Alerta* y *Orientación*,  $F(2, 58) = 7.12$ ,  $MCE = 328.43$ ,  $p < 0.005$ . Para analizar detalladamente dicha interacción, hicimos un análisis separado del efecto de la señal auditiva para la condición sin señal de orientación (condición neutra) y las condiciones con señal de orientación (condiciones de ensayos válidos e inválidos). El análisis reveló que el efecto de alerta era significativo para las tres condiciones de orientación ( $F(1, 29) = 70.40$ ,  $MCE = 344.56$ ,  $p < 0.001$ ;  $F(1, 29) = 11.16$ ,  $MCE = 386.06$ ,  $p > 0.005$ ;  $F(1, 29) = 17.77$ ,  $MCE = 361.60$ ,  $p < 0.001$ , para los ensayos neutros, válidos e inválidos, respectivamente); sin embargo, el efecto de alerta era significativamente mayor (28ms) para los ensayos neutros con respecto a los ensayos con señal espacial válida o inválida ( $F(1, 29) = 11.66$ ,  $MCE = 347.95$ ,  $p < 0.005$ ;  $F(1, 29) = 9.79$ ,  $MCE = 291.76$ ,  $p < 0.005$ , respectivamente). Este resultado era el esperado, ya que las señales espaciales, además de su función de orientación, pueden producir un efecto de alerta o arousal generalizado que modifica la línea base de la alerta producida por la señal auditiva (Hebb, 1949; Fernández-Duque y Posner, 1997). Sin

Tabla 1  
Promedios de TR y porcentaje de errores (entre paréntesis) por condición experimental

	Con señal auditiva			Sin señal auditiva		
	Neutros	Válidos	Inválidos	Neutros	Válidos	Inválidos
Congruentes	454 (1,4%)	437 (1,0%)	455 (2,3%)	488 (1,6%)	449 (0,9%)	471 (1,4%)
Incongruentes	503 (5,5%)	465 (5,7%)	514 (8,1%)	526 (2,8%)	476 (3,1%)	527 (6,0%)

embargo, cuando restringimos el análisis a condiciones con señal de orientación visual observamos, al igual que Fernández-Duque y Posner (1997), que no existían diferencias significativas de TR entre el efecto de facilitación para los ensayos con y sin alerta ( $p > 0.1$ , 32ms y 36ms de facilitación para los ensayos con y sin señal auditiva, respectivamente), ni para el análisis de los errores ( $F < 1$ ; 1.9% y 1.8% de facilitación para los ensayos con y sin señal auditiva, respectivamente), lo cual apunta a la independencia entre estas dos funciones. En segundo lugar, la interacción entre las variables Alerta y Congruencia no llegó a ser significativa ( $p = 0.2$ ) para el análisis de TR, pero sí lo fue para el análisis del porcentaje de errores  $F(1, 29) = 5.41$ ,  $MCE = 0.002$ ,  $p < 0.05$ , de modo que el

efecto de Congruencia fue significativamente mayor para los ensayos con alerta (5%) que para los ensayos sin alerta (2.7%). Posteriormente realizamos un segundo análisis con las variables Alerta y Congruencia pero sólo incluyendo las condiciones sin señal visual (ensayos neutros), para comprobar si la falta de significación en el análisis de TR se debía a la contaminación del componente de alerta por la presencia de señales de orientación. Analizada la relación de esta manera obtuvimos una interacción marginalmente significativa de ambas variables ( $p = 0.07$ ), de modo que, como se puede ver en la figura 1, el efecto de congruencia era mayor para los ensayos con señal de alerta que para los ensayos sin dicha señal (49ms y 38ms, respectivamente).



**Figura 1.** En el panel superior se presenta la secuencia de eventos presentados en un ensayo (ejemplo de un ensayo congruente inválido –el objetivo aparece en la posición opuesta a la señal, congruente con la dirección de la flecha–). En el panel inferior se presentan los datos más importantes obtenidos en el experimento (representación gráfica del efecto de congruencia en función de la orientación –ensayos válidos vs. Inválidos, representado por las dos columnas de la izquierda– y la alerta –con y sin señal auditiva, restringido a los ensayos neutros, en las dos columnas de la derecha–). Véase el texto para una mayor explicación

Esto se vio corroborado por el análisis del porcentaje de errores  $F(1, 29) = 7.25$ ,  $MCE = 0.001$ ,  $p < 0.05$  (4.1% y 1.2% con y sin señal de alerta, respectivamente). Este fenómeno se puede interpretar como evidencia de que las señales de alerta producen estados de «Vaciado de Conciencia», tal y como apuntan Posner y colaboradores. De esta manera la red de alerta ejercería la inhibición de la red anterior, lo que se vería reflejado en una menor capacidad de resolución de conflicto.

Por último, el análisis de TR mostraba una interacción entre las variables Orientación y Congruencia,  $F(2, 58) = 20.04$ ,  $MCE = 350.50$ ,  $p < 0.001$ ). Como puede observarse en la figura 1, obtuvimos una reducción significativa del efecto de Congruencia para los ensayos válidos (27ms) en comparación con los ensayos neutros (44ms)  $F(1, 29) = 11.84$ ,  $MCE = 341.87$ ,  $p < 0.005$ . Adicionalmente, el efecto de Congruencia era significativamente mayor para los ensayos inválidos (58 ms) que para los neutros,  $F(1, 29) = 8.48$ ,  $MCE = 353.80$ ,  $p < 0.005$ . Un patrón muy similar se encontraba para el análisis de porcentaje de errores. La interacción entre las variables Orientación y Congruencia era significativa,  $F(2, 58) = 3.19$ ,  $MCE = 0.001$ ,  $p < 0.05$ , siendo el efecto de Congruencia significativamente menor para los ensayos neutros (2.7) que para los inválidos (5.3%),  $F(1, 29) = 2.9$ ,  $MCE = 0.001$ ,  $p < 0.05$ , aunque la diferencia entre el efecto de Congruencia para ensayos válidos y neutros no llegó a ser significativa, ( $p > 0.1$ ).

Este resultado de reducción del efecto de congruencia, especialmente para los ensayos válidos, puede resultar paradójico desde el marco teórico propuesto por Posner. Según su teoría, si lo que hacen las señales de orientación es orientar la atención hacia el lugar de aparición de un estímulo y potenciarlo, en los ensayos válidos la dimensión irrelevante «lugar de la flecha» estaría potenciada, puesto que la atención se ha dirigido hacia ese lugar, y lo que cabría esperar es una mayor interferencia de la dimensión irrelevante «lugar» con la dimensión relevante «dirección», es decir, un mayor efecto Stroop espacial en los ensayos válidos que en los inválidos. En la discusión general proponemos una hipótesis alternativa para explicar este resultado.

#### Discusión general

La tarea que hemos construido nos ha permitido obtener, en una única prueba, un índice significativo de cada uno de los tres componentes atencionales de Alerta, Orientación espacial y Control o Resolución de conflicto. Además, hemos conocido mejor la dinámica de interacciones existente entre ellos.

Con respecto a la relación entre los efectos de orientación y alerta, hemos encontrado, al igual que Fernández-Duque y Posner (1997), evidencia a favor de su independencia. Sin embargo, un estudio realizado en nuestro laboratorio, en el que se manipularon dos niveles de SOA (100 y 500 ms) para estudiar el curso temporal de la orientación en función de la presencia o ausencia de señales de alerta, mostró una modulación del efecto de facilitación en presencia de una señal auditiva, pero sólo en el SOA corto. Este dato podría estar apuntando a que la red de alerta modula a la red posterior, pero quizá no aumentando la magnitud de la función

de orientación en general, sino haciendo que dicha orientación se produzca antes en el tiempo (Callejas, Lupiáñez, Funes y Tudela, en preparación).

Por otro lado, el aumento del efecto de congruencia en presencia de señales de alerta va en la línea de lo encontrado por Cohen y colaboradores (1988) en tareas de vigilancia, y por tanto a favor de que la hipótesis de Vaciado de Conciencia se puede generalizar a la función de Alerta fásica con el uso de señales de aviso.

La reducción del efecto Stroop en los ensayos válidos corrobora los resultados de otros estudios obtenidos en nuestro laboratorio (Funes, Lupiáñez y Milliken, en preparación), lo que nos hace pensar que se trata de un efecto bastante robusto. Nuestra hipótesis es que las señales de orientación, además de producir la orientación de la atención hacia su lugar de aparición, también disparan la creación de una representación perceptual o fichero de objeto (Kahneman, Treisman y Gibbs, 1992). En el caso de los ensayos válidos, dicho fichero de objeto se actualizaría o integraría con información del siguiente evento, el estímulo objetivo, ya que señal y objetivo compartirían coordenadas espacio-temporales. Al procesarse ambos eventos como uno solo, es como si el procesamiento de la dimensión «lugar», proporcionada por la señal, fuese utilizado por el sistema para procesar el lugar de la flecha. De esta manera se separaría en el tiempo el procesamiento de la dimensión irrelevante (lugar de la flecha) y la relevante (dirección de la flecha). De acuerdo con el modelo de solapamiento temporal (Hommel, 1993), al separar en el tiempo ambos tipos de procesamiento y evitar su solapamiento, la interferencia Stroop se reduciría, que es precisamente lo que encontramos. En un ensayo inválido, sin embargo, no sería posible dicha integración automática señal-flecha, ya que no existe correspondencia espacial entre ambos eventos. En este caso será necesario la creación de una representación diferente para el segundo evento (la aparición de la flecha), proceso que consumiría más tiempo y esfuerzo que la actualización de una representación ya existente.

Por último, pensamos que esta tarea tiene la ventaja de proporcionar simultáneamente información sobre tres funciones atencionales, lo que puede servir en un futuro para disociar de manera fina los déficits atencionales concretos que presentan distintos pacientes, facilitando así la programación de una rehabilitación neuropsicológica más específica y personalizada. La introducción de este tipo de tareas en la evaluación neuropsicológica evitará la ambigüedad conceptual y funcional de términos generales como «déficit de atención». Además, la posibilidad de evaluar las interacciones particulares entre las tres redes atencionales permitirá un diagnóstico aún más específico, en el caso de que ciertos pacientes no presenten déficits en el funcionamiento de una red particular, sino en las conexiones entre ellas.

#### Notas de los autores

Esta investigación ha sido financiada mediante un proyecto de investigación del MCyT (BSO2000-1503) al segundo autor, y ha sido desarrollada en el contexto de la tesis doctoral de la primera autora, dirigida por el segundo autor.

## Referencias

- Botvinick, M., Nystrom, L.E., Fissell, K., Carter, C.S. y Cohen, J.D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402, 179-181.
- Callejas, A., Lupiáñez, J., Funes, M.J. y Tudela, P. (en preparación). Relaciones excitatorias e inhibitorias entre las redes atencionales.
- Cohen, R.M., Semple, W.E., Gross, M., Holcomb, H.J., Dowling, S.M. y Nordahl, T.E. (1988). Functional localization of sustained attention. *Neuropsychiatry, Neuropsychology and Behavioral Neurology*, 1, 3-20.
- Corbetta, M., Kicade, J.M., Ollinger, J.M., McAvoy, M.P. y Shulman, G. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3, 292-297
- Corbetta, M. y Shulman, G. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215.
- Eriksen, B.A. y Eriksen, C.W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 143-149.
- Fan, J., McCandliss, B.D., Sommer, T, Raz, A. y Posner, M.I. (2002) Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 340-347.
- Fernández-Duque, D. y Posner, M.I. (1997). Relating the mechanisms of orienting and alerting. *Neuropsychologia*, 35, 477-486.
- Funes, M.J., Lupiáñez, J. y Milliken, B. (en preparación). Modulation of Spatial Stroop by exogenous cueing.
- Friedrich, F.J., Egly, R., Rafal, R.D. y Beck, D. (1998). Spatial attention deficits in humans: A comparison of superior parietal and temporo-parietal junction lesions. *Neuropsychology*, 12, 193-207.
- Hommel, B. (1993). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research*, 55, 280-290.
- Kahneman, D., Treisman, A. y Gibbs, B.J. (1992). The reviewing of object files: object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24, 175-219.
- LaBerge (1995). *Attentional processing: The brain's art of mindfulness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Marroco, R.T. y Davidson, M.C. (1998). Neurochemistry of Attention. En R. Parasuraman (Ed.). *The Attentive Brain* (pp. 35-50). Cambridge: MIT Press.
- McDonald, A.W., Cohen, J.D., Stenger, V.A. y Carter, C.S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1.835-1.838.
- Morrison, J.H. y Foote, S.L. (1986). Noradrenergic and serotonergic innervation of cortical, thalamic and tectal visual structures in old and new world monkeys. *Journal of Comportamental, Neurology*, 243, 117-128.
- Parasuraman, R y Davis, D.R. (1984). *Varieties of Attention*. Orlando: Academic Press.
- Petersen, S.E., Robinson, D.L. y Morris, J.D. (1987). Contributions of the pulvinar to visual spatial attention. *Neuropsychology*, 25, 97-105.
- Posner, M.I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 23-25.
- Posner, M.I. y Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. En H. Bouma & D.G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and Performance X*, 531-556. Hillsdale, NJ:Erlbaum.
- Posner, M.I. y Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17, 75-79.
- Posner, M.I. y Petersen, S.E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M.I. y Rothbart, M.K. (1991). Attentional mechanisms and conscious experience. En A.D. Milner y M.D. Rugg (Eds.), *The neuropsychology of consciousness* (pp. 91-112), London: Academic Press.
- Posner, M.I., Petersen, S.E., Fox, P.T. y Raichle, M.E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240, 1.627-1.631.
- Posner, M.I., Klein, R., Summers, J. y Buggie, S. (1973). On the selection of signals. *Memory and Cognition*, 1, 2-12.
- Posner M.I. y Digirolamo, G.J. (1998). Executive attention: Conflict, target detection and cognitive control. En R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 401-423). Cambridge: MIT Press.
- Rafal, R., Henik, y Smith, J. (1991). Extrageniculate contributions to reflex visual orienting in normal humans: A temporal hemifield advantage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 323..329.
- Ruz, M. y Lupiáñez, J. (2002). A review of Attentional Capture: On it's automaticity to endogenous control. *Psicológica*, 23, 283-309.
- Schneider, W. (1988). Micro-experimental laboratory: An integrated system for IBM PC compatibles. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 20, 206-217.
- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Van der Heijden, A.D.H. (1992). *Selective Attention in Vision*. New York: Roulledge.
- Van Veen, V., Cohen, J.D., Botvinick, M.M., Stenger, V.A. y Carter, C.S. (2001). Anterior cingulate cortex, conflict monitoring and levels of processing. *Neuroimage*, 14, 1.302-1.308.