



CENTRO DE NEUROCIENCIAS DE CUBA

DEPARTAMENTO DE NEUROCIENCIAS COGNITIVAS

# **Control Atencional de la Lateralización Visuo-espacial**

Tesis presentada en opción al grado científico de  
Doctor en Ciencias de la Salud.

**AUTOR: ALEJANDRO PÉREZ FERNÁNDEZ**

**TUTOR: DR.C. MITCHELL VALDÉS-SOSA**

Ciudad de la Habana

2007



## INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. Introducción.....	6
1.1.1. La atención visual y sus limitaciones.....	6
1.1.2. Métodos para evidenciar limitaciones temporales y sesgos espaciales de la atención visual.....	7
1.1.3. Vínculo entre limitaciones temporales y sesgos espaciales.....	9
1.1.4. Mecanismos neurofisiológicos.....	12
1.1.5. Sesgos atencionales laterales y dislexia.....	14
1.2. Hipótesis.....	15
1.3. Objetivos.....	15
1.4. Relevancia.....	16
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Parpadeo atencional.....	18
2.2. Síndromes de Inatención Visual Espacial.....	28
2.3. Juicio de Orden temporal.....	32
2.4. Lateralización hemisférica.....	38
2.4.1. Asimetrías hemisféricas en la atención visual.....	40
3. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES.....	43
3.1. Participantes.....	43
3.2. Procedimientos.....	43

3.3.	Diseño .....	44
3.4.	Estimación de parámetros y análisis estadístico de la conducta.....	46
3.5.	Recogida de EEG.....	48
3.6.	Análisis estadístico de la electrofisiología.....	49
4.	EXPERIMENTO 1 .....	51
4.1.	Introducción .....	51
4.2.	Materiales y Métodos.....	51
4.3.	Resultados.....	54
4.4.	Discusión .....	56
5.	EXPERIMENTO 2 .....	59
5.1.	Introducción.....	59
5.2.	Materiales y Métodos.....	61
5.3.	Resultados.....	63
5.3.1.	Bloque Ignora-T1.....	63
5.3.2.	Bloque de Atiende-T1.....	65
5.3.3.	Comparación entre bloques .....	67
5.4.	Discusión .....	68
6.	EXPERIMENTO 3 .....	72
6.1.	Introducción.....	72
6.2.	Materiales y Métodos.....	73
6.3.	Resultados.....	76

6.3.1.	Conducta .....	76
6.3.2.	Análisis de los cambios del poder espectral de la banda alfa .....	78
6.3.2.1	Tarea combinada T1 y JOT .....	78
6.3.2.2	Tarea Sólo-T1 .....	82
6.3.2.3	Correlación electrofisiológica-conductual .....	83
6.4.	Discusión .....	85
7.	EXPERIMENTO 4 .....	91
7.1.	Introducción .....	91
7.2.	Materiales y Métodos.....	93
7.3.	Resultados.....	94
7.4.	Discusión .....	99
8.	DISCUSIÓN GENERAL .....	107
9.	CONCLUSIONES.....	111
10.	RECOMENDACIONES.....	112
11.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	113
12.	Glosario.....	132
13.	Abreviaturas.....	133

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción.

### 1.1.1. La atención visual y sus limitaciones.

¿Alguna vez ha tenido la vivencia subjetiva de que puede atender simultáneamente a todos los elementos de una escena? Es muy probable que viendo una película le haya pasado. Pero en ese caso su vivencia no estaba en correspondencia con lo que realmente ocurría, ya que siempre hay estímulos que quedan fuera del procesamiento atencional. *Contamos con una capacidad atencional limitada*, y por tanto, seleccionamos para atender sólo una parte de la información. Los estímulos compiten por esa capacidad limitada. El resultado de la competencia depende de la *prominencia* y la *relevancia* que el estímulo posea.

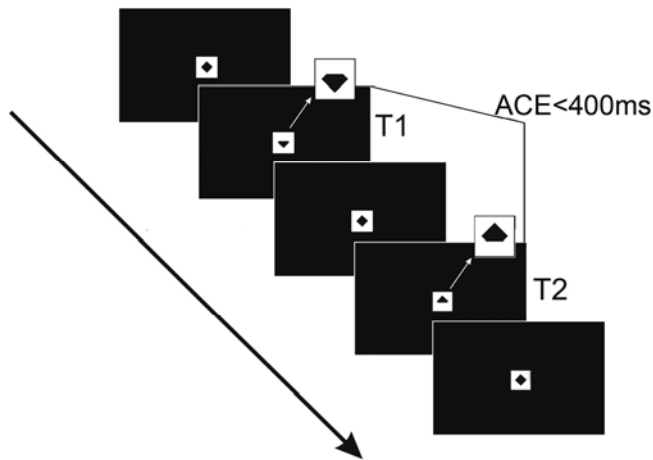
La prominencia sensorial del estímulo, está dada por sus propiedades físicas y contenido emocional. Por ejemplo, los objetos brillantes o grandes tienden a capturar nuestra atención de forma automática <sup>1-4</sup>. La relevancia depende del contexto de la tarea, ya que está en función de nuestras intenciones, metas y estados internos <sup>5</sup>. Es decir, podemos seleccionar voluntariamente a qué atender, basados en nuestras experiencias y expectativas <sup>6</sup>. Los elementos prominentes y relevantes resultan atendidos ya que producen gran activación en las múltiples regiones cerebrales que responden a las entradas visuales, inclinando a su favor la competencia por la capacidad atencional limitada <sup>5,7</sup>. Se ha definido a la atención visual como la propiedad emergente de muchos mecanismos neurales trabajando para resolver la competencia entre estímulos que pugnan por controlar el procesamiento visual y la conducta <sup>7</sup>.

Aunque intuitivamente pudiera pensarse que la selección atencional ocurre de igual forma en todos los instantes de tiempo y se ubica homogéneamente por todo el espacio, esto no es

así. *Existen limitaciones temporales*<sup>8-11</sup> y *sesgos espaciales*<sup>12-17</sup> que no resultan fácilmente evidentes por no constituir impedimentos para la vida diaria. Las limitaciones temporales pueden manifestarse en efectos simples con los cuales estamos familiarizados, como puede ser el enlentecimiento que ocurre cuando se trata de ejecutar de forma rápida dos tareas al mismo tiempo<sup>18</sup>. Por otra parte, en sujetos sanos bajo condiciones normales existe un pequeño sesgo espacial hacia la izquierda<sup>19-21</sup>, el cual pasa inadvertido a no ser que se ejecuten determinadas tareas experimentales. Por lo tanto, ha sido necesario estudiar el sistema atencional bajo condiciones extremas (logradas a través de manipulaciones experimentales) para develar sus limitaciones y sesgos.

### **1.1.2. Métodos para evidenciar limitaciones temporales y sesgos espaciales de la atención visual.**

El *parpadeo atencional* (PA)<sup>22-26</sup> es una evidencia de las limitaciones temporales en nuestra habilidad para atender conscientemente a múltiples eventos<sup>8</sup>. Ocurre cuando se trata de identificar visualmente dos estímulos presentados de forma secuencial, y separados por un tiempo muy breve. El PA consiste en que si se percibe con exactitud al primero se tiende a fallar en el reconocimiento del segundo<sup>9</sup>, como si la mente efectuara un “parpadeo virtual” (ver figura 1). Otras evidencias son la llamada ceguera al cambio, que es la dificultad para notar grandes cambios sorprendidos en las escenas visuales<sup>10</sup>, y la ceguera de repetición que es la falla para detectar repeticiones de estímulos cuando son presentados de forma seriada y rápida<sup>11</sup>.



*Figura 1. Ejemplificación de un paradigma de parpadeo atencional. Se presentan de forma secuencial dos estímulos (llamados T1 y T2) que en este ejemplo hipotético consisten en rombos que pierden una de sus esquinas durante un tiempo muy breve. La tarea del sujeto es identificar cuál es la esquina que pierde el rombo. La precisión para la segunda tarea se afecta cuando el tiempo que separa al T1 del T2 es menor de 400 ms. El efecto de disminución de la exactitud es el llamado parpadeo atencional.*

Uno de los métodos empleados para develar las asimetrías atencionales espaciales derecha-izquierda es la tarea de *juicio de orden temporal* (JOT) (ver figura 2). Esta tarea es muy precisa para determinar los sesgos espaciales en diferentes patologías<sup>27,28</sup>. Consiste en reportar el orden de aparición de dos estímulos lateralizados que se presentan de forma consecutiva<sup>29</sup>. Los sujetos normales reportan de forma muy exacta el estímulo que se presentó primero, a diferencia de lo que ocurre con otras tareas espaciales donde manifiestan un pequeño sesgo hacia la izquierda. La simetría desaparece cuando se manipula la atención hacia un lado mediante un pre-aviso espacial<sup>30</sup>.



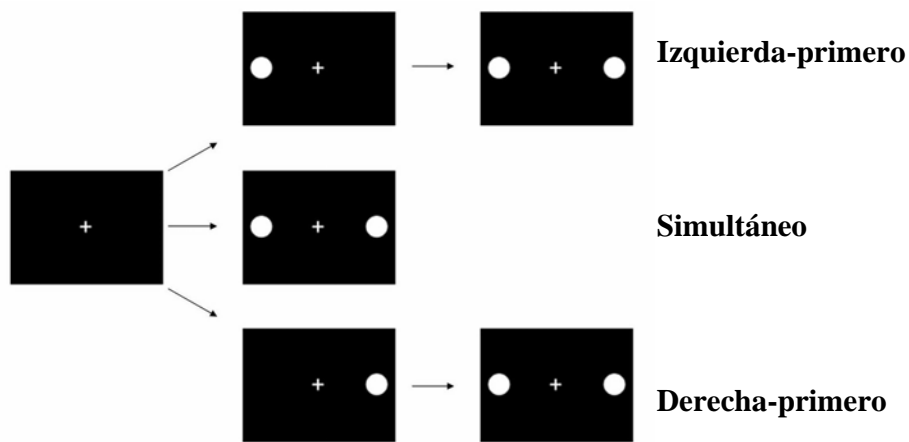


Figura 2. Ejemplo del paradigma de juicio de orden temporal (JOT). Se presenta el primer estímulo en uno de los hemisferios visuales (derecho o izquierdo) y luego aparece el otro en el hemisferio visual opuesto. La tarea de los participantes es reportar cuál estímulo apareció primero. En ausencia de claves externas, la precisión del sujeto no se afecta por el hemisferio en que aparece el primer estímulo (es simétrica) y cuando aparecen los dos estímulos simultáneamente (como en la secuencia del medio), su respuesta es al azar.

### 1.1.3. Vínculo entre limitaciones temporales y sesgos espaciales.

Durante mucho tiempo las limitaciones temporales y los sesgos espaciales de la atención se estudiaron de forma independiente. Sin embargo, comienzan a acumularse evidencias acerca de la existencia de un vínculo entre ellos, tanto en sujetos normales como en pacientes con lesiones (negligencia y extinción) u otras patologías (dislexia y trastorno con déficit de atención e hiperactividad), lo cual evidencia una relación entre la distribución espacial y temporal de los recursos atencionales.

La negligencia y la extinción son dos síndromes neuropsicológicos donde la atención visual se lateraliza de forma patológica hacia la derecha. En la primera, los pacientes ignoran una mitad del espacio o de las cosas <sup>31-34</sup> y en la segunda el paciente deja de atender a un estímulo lateral pero sólo cuando coexiste con otro estímulo en el lado opuesto <sup>31,35-37</sup>.

Como es de esperar los pacientes con negligencia fallan en la tarea de JOT siempre que el primer estímulo se presenta a la izquierda. Sin embargo, si la presentación de los estímulos es precedida por un sonido de aviso no lateralizado, la tendencia de estos pacientes a atender casi exclusivamente hacia la derecha disminuye y la atención vuelve a ser relativamente simétrica, como en sujetos normales <sup>27</sup>. O sea, el incremento del nivel de alerta corrige momentáneamente el sesgo espacial hacia la derecha.

Si bien lo más llamativo en los pacientes con negligencia son los defectos atencionales espaciales, cuando se explora el curso temporal de la atención también aparecen deficiencias. Se ha demostrado que en el paradigma de parpadeo atencional es necesario un tiempo mayor entre T1 y T2 para identificar el segundo estímulo. Ellos necesitan tiempos hasta tres veces mayores que los 400 ms descritos en sujetos normales. El PA prolongado y el JOT asimétrico presentes en la negligencia, implican la coexistencia de una limitación temporal con un sesgo espacial lateralizado <sup>38</sup>.

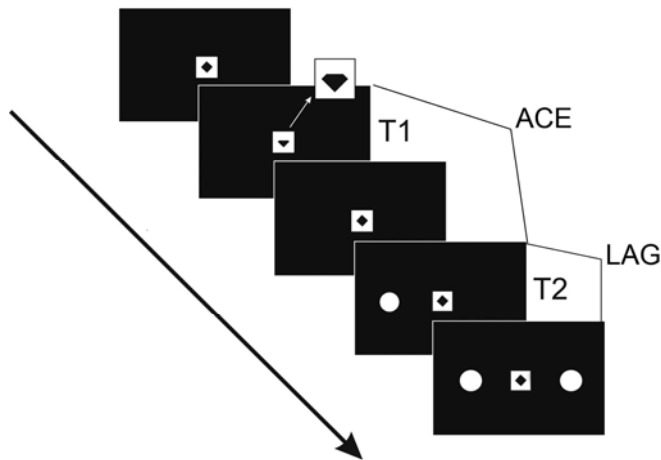
Hay otras patologías donde se reporta esta concurrencia. En la dislexia, un trastorno del aprendizaje de la lectura, el PA también se encuentra prolongado <sup>39-42</sup> y se ha descrito un sesgo espacial hacia la derecha (“mini-negligencia”) <sup>43-45</sup>. El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) es otra patología donde aparentemente concurren limitaciones temporales y sesgos espaciales. Además de la notable dificultad de estos niños para mantener la atención y los niveles de alerta incluso por cortos periodos de tiempo, se han descrito sesgos espaciales hacia la derecha <sup>46-49</sup>.

En sujetos normales igualmente existen evidencias de relación entre limitaciones temporales y sesgos espaciales de la atención. Se ha demostrado una correlación directa entre los puntajes obtenidos en una tarea que mide la capacidad para sostener la atención en

el tiempo y otra que mide los sesgos espaciales <sup>50</sup>. También se ha demostrado que el aumento de la carga atencional provoca sesgos espaciales. Tanto en sujetos sanos como en pacientes se ha comprobado que cuando se realizan dos tareas simultáneas (tarea dual) se produce una tendencia a atender hacia la derecha <sup>51</sup>. También ocurre una tendencia atencional hacia la derecha con la reducción del nivel de alerta (mediante la privación de sueño o la fatiga por ejecución continua de una tarea) <sup>52</sup>. La fatiga y la falta de sueño probablemente disminuyan los recursos atencionales disponibles y hagan más susceptibles al individuo a la carga atencional. Aunque la tarea de PA aumenta la carga atencional, hasta ahora ningún estudio ha explorado si la simetría de la atención espacial se ve afectada en estas condiciones.

Resumiendo, existen evidencias convincentes tanto en sujetos normales como en pacientes, de que *el nivel de alerta modula los sesgos espaciales* <sup>27,50,52</sup> y que *un incremento de la demanda atencional provoca un cambio de la atención hacia la derecha* <sup>51</sup>. Al parecer existe una relación directa entre la disponibilidad de recursos atencionales y la distribución espacial de la atención. Esto conduce a una idea que será central en esta tesis: es posible que en sujetos sanos las condiciones de PA sean capaces de producir un sesgo atencional hacia la derecha, lo cual puede ser examinado con una tarea JOT.

Para demostrarlo se debe combinar en un mismo experimento las condiciones de PA y un JOT (ver figura 3). En otras palabras, se le debe pedir a los sujetos juzgar el orden temporal de dos estímulos inmediatamente después de que se les ocupe la atención con una tarea de reconocimiento visual. Los sujetos deben hacer por tanto el JOT con recursos atencionales disminuidos debido a la alta carga atencional.



*Figura 3. Ejemplo de la tarea que proponemos: combinación de las tareas PA y JOT (ver figuras 1 y 2). Si se pide atender a T1 (identificar cuál esquina se pierde) y el ACE entre T1-T2 es menor de 400 ms, el JOT se realiza bajo condiciones de PA.*

Un inconveniente del paradigma que planteamos, consiste en la posibilidad de que la aparición de un sesgo atencional en la realización de la segunda tarea (JOT), se deba al procesamiento lateralizado del primer estímulo (T1). Esta suposición se basa en el modelo de Kinsbourne <sup>53</sup>, el cual postula que el incremento relativo en la activación de un hemisferio cerebral orientará la atención hacia el espacio contralateral. Por lo tanto, si el primer estímulo activa preferentemente uno de los dos hemisferios cerebrales, orientará a posteriori la atención hacia el hemicampo visual que ese hemisferio procesa. Para desechar esta posibilidad es necesario emplear tanto estímulos procesados por el hemisferio izquierdo (verbales), como estímulos procesados por el hemisferio derecho (no-verbales, espacial) y comprobar si la dirección del sesgo se mantiene.

#### **1.1.4. Mecanismos neurofisiológicos.**

Una pregunta hasta ahora sin responder es en qué estadio de procesamiento ocurren los mencionados sesgos atencionales lateralizados. Los actuales modelos neurofisiológicos de la atención hacen una distinción entre mecanismos de expresión y mecanismos de control

de la atención <sup>54</sup>. Los *mecanismos de expresión* encarnan la esencia de la competencia atencional entre estímulos y son la forma en la cual se resaltan o se suprimen las representaciones neurales de los objetos <sup>5,7</sup>. Mediante estos mecanismos, se modula la ganancia de las señales visuales recibidas de acuerdo con su relevancia atencional. Están relacionados con factores que reflejan la estimulación sensorial (factores abajo-arriba). Estos procesos han sido asociados anatómicamente con actividad de la corteza visual extraestriada <sup>55,56</sup>, tanto para la selección basada en objetos <sup>57</sup> como para la basada en el espacio <sup>58</sup>.

Por su parte, los *mecanismos de control* están más específicamente involucrados en la asignación de la atención, ayudando a seleccionar cuáles objetos y lugares del espacio serán atendidos. Están más relacionados con los factores cognitivos como el conocimiento y las metas (factores arriba-abajo). Estos mecanismos preceden a la percepción y ocurren durante la anticipación o preparación de un evento próximo <sup>59-61</sup>. Por ejemplo, cuando un pre-aviso espacial te previene sobre dónde aparecerá un estímulo, la atención se orienta en esa dirección. Estos procesos han sido asociados con regiones de la corteza dorsolateral prefrontal y parietal superior <sup>62,63</sup>, así como regiones del cíngulo anterior <sup>64,65</sup>. Los factores sensoriales (abajo-arriba) y cognitivos (arriba-abajo) invariablemente interactúan <sup>66</sup> y en esa interacción dinámica se selecciona dónde, cuándo y a qué atendemos <sup>6</sup>.

Investigaciones previas han mostrado que la actividad de banda alfa (~7.5-13 Hz) del electroencefalograma (EEG) es un sensible indicador de los cambios en la atención visual. En varios estudios se ha observado una disminución de la actividad alfa (desincronización) en los sitios que procesan el lado atendido del espacio <sup>67-69</sup> mientras que un incremento (sincronización) es visto en las regiones que procesan el lado no atendido <sup>69-71</sup>. Además, se

ha observado que el ritmo alfa es sensible a las demandas atencionales <sup>72,73</sup> y que la duración de su desincronización se incrementa con el aumento de la complejidad de la tarea <sup>74</sup>, apoyando de esta forma la idea de que puede servir como un indicador de los mecanismos de expresión atencional.

De forma interesante, cuando se usan tareas atencionales con pre-avisos visuales se ha visto, sobre la parte de la cabeza contralateral al hemisferio visual avisado, una desincronización sostenida de la actividad de la banda alfa después de la presentación del pre-aviso y antes de la aparición del estímulo diana. Esto sugiere un cambio anticipatorio de la atención visuo-espacial potencialmente asociado con mecanismos de control atencional <sup>70,75-77</sup>. O sea, la desincronización del alfa ha sido observada tanto en relación con un despliegue anticipatorio de la atención espacial, como en relación al procesamiento sensorial del estímulo que es objeto de atención <sup>71</sup>. Esto nos permite utilizar las técnicas electrofisiológicas para tratar de determinar la relativa importancia de los mecanismos de control y expresión asociados al sesgo espacial inducido por alta carga atencional. Por ese motivo examinaremos la actividad oscilatoria en la banda alfa del EEG para estudiar los sesgos atencionales inducidos por la alta carga atencional. Este método ha sido aplicado al estudio de sesgos atencionales inducidos por estímulos externos (exógenos), pero no a los sesgos creados por procesos endógenos como haremos aquí.

#### **1.1.5. Sesgos atencionales laterales y dislexia.**

Como ya dijimos antes, en la dislexia se ha reportado aumento del PA <sup>39-42</sup> y claros sesgos laterales (mini-negligencia) <sup>41,44</sup>. Este último hallazgo no se ha replicado en todos de los estudios con niños disléxicos. Hay autores que sí encuentran el sesgo hacia la derecha <sup>45</sup> y otros que no <sup>78,79</sup>. La descripción inicial del fenómeno en adultos fue con un JOT <sup>44</sup>. El otro

trabajo que emplea una tarea de JOT, no encuentra la llamada mini-negligencia estudiando un grupo con edad media de 17 años <sup>80</sup>.

Adicionalmente, en la dislexia hay una dificultad para adquirir habilidades de lectura, habilidades que se han relacionado mucho con las asimetrías visuales <sup>81-86</sup> debido a los mecanismos asimétricos de la búsqueda del elemento del texto más a la izquierda y el barrido izquierda-derecha de la fijación de la vista <sup>87</sup> (en el caso de la lengua española). Por otra parte, hay pocos estudios que han investigado el desempeño de los niños en las tareas visuales de JOT <sup>47,88,89</sup>.

Sería de enorme importancia entonces el estudio de la lateralización de la atención en muestras de niños disléxicos y sanos tanto por la posibilidad de mejorar la comprensión de los procesos atencionales relacionados a la edad y de caracterizar mejor el trastorno, como por el beneficio que podría aportar un conocimiento como este en la intervención sobre el proceso de adquisición de la lectura, tan complejo y laborioso para el niño.

## **1.2. Hipótesis.**

Nos propusimos como hipótesis general de trabajo la siguiente:

Cuando la capacidad atencional disponible es baja se ponen en evidencia sesgos laterales subyacentes en la misma, que se deben a cambios de excitabilidad cortical reflejados en el EEG.

## **1.3. Objetivos.**

Nos propusimos como objetivos los siguientes:

1. Determinar si hay distorsión de la simetría espacial en el JOT cuando se reduce la atención disponible desviándola hacia otra tarea visual demandante aunque no-lateralizada (i.e. en condiciones de PA).
2. Esclarecer si la dirección del sesgo espacial en el JOT, inducido por alta carga atencional, aparece por igual ante una primera tarea de naturaleza verbal y ante una tarea de naturaleza no-verbal.
3. Determinar si los sesgos en el JOT, inducidos por alta carga atencional, están asociados con mecanismos de expresión y/o de control en la actividad oscilatoria de la banda alfa del EEG.
4. Determinar las características de los sesgos laterales en los JOT, y su afectación por alta carga atencional, en niños con desarrollo típico y niños disléxicos.

#### **1.4. Relevancia.**

A pesar de décadas de estudio todavía no se comprende por qué el daño cerebral induce sesgos laterales de la atención tan dramáticos en síndromes como la negligencia. La reciente comprensión de que estos sesgos podrían existir en otras patologías (como la dislexia y el TDAH) y que estos coexisten con defectos en procesos no-lateralizados, como la atención sostenida y la capacidad de manejar la atención en el tiempo, han complicado la interpretación. Resulta entonces importante desarrollar metodologías que permitan estudiar de forma cuantitativa, la relación psicofísica entre lateralización de la atención y su despliegue en el tiempo. Este propósito se aborda en la tesis con la creación del paradigma combinado de PA/JOT, paradigma original descrito por primera vez. Por otra parte la relación entre lateralización de la atención y su despliegue en el tiempo se debe estudiar con técnicas neurofisiológicas, lo cual se aborda en el análisis tiempo-frecuencia del EEG,



que en esta tesis se aplican por primera vez al estudio de sesgos espaciales inducidos por proceso endógenos. Este desarrollo metodológico, además de contribuir al estudio de las bases neurales de la atención, crea herramientas para caracterizar poblaciones con patologías cerebrales, como se ilustra con el estudio de la dislexia. De manera general, los resultados presentados sugieren que la asimetría en la atención después de una lesión cerebral, no es causada totalmente por el daño neural, sino que es el desenmascaramiento de una asimetría ya presente en sujetos normales y que se suprime en condiciones típicas por la atención activa. Finalmente, a pesar de constituir una investigación de carácter fundamentalmente básico, los resultados obtenidos tienen una posible salida práctica en su aplicación a cualquier situación en la que se requiera que un individuo procese gran cantidad de información visual y que se tomen decisiones de modo rápido y preciso. De modo similar, el complejo y laborioso proceso de adquisición de la lectura se beneficiaría de un conocimiento como este.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Parpadeo atencional.**

El cambio atencional de un estímulo a otro no es instantáneo. La identificación del estímulo requiere de determinado tiempo y luego se necesita tiempo adicional para hacer el cambio e identificar a otro. Todo ese tiempo que transcurre entre el reconocimiento de los dos estímulos se llama *tiempo de tránsito atencional* y constituye la medida crítica de la interferencia de un objeto sobre otro <sup>90</sup>. La existencia del tiempo de tránsito atencional expresa las limitaciones para la distribución de la atención a través del tiempo. El fenómeno del parpadeo atencional (PA) es una expresión específica de estas mismas limitaciones temporales y aparece sólo en determinadas condiciones. Haremos una descripción de estas condiciones y sus posibles interpretaciones.

Durante el curso de muchas actividades visuales como la lectura o la exploración de una escena, fijamos la mirada en una determinada área del campo visual y luego con movimientos oculares de sacudida, la dirigimos hacia otra locación. Este comportamiento óculo-motor permite el muestreo de porciones limitadas del campo visual para su procesamiento más detallado <sup>91</sup>. Algo similar puede modelarse en condiciones de laboratorio, al hacer que sucedan unos tras otros de forma rápida estímulos presentados brevemente, por lo general en la misma locación espacial. Puede ser por ejemplo, una presentación consecutiva de letras o de palabras. Son las llamadas presentaciones visuales seriadas rápidas de objetos (PVSR), procedimiento con el cual podemos estudiar los límites que rigen la habilidad del cerebro al lidiar con el flujo continuo de información <sup>92</sup>.

Las PVSR se utilizaron en paradigmas experimentales que examinaban las características temporales de los procesos atencionales y perceptuales <sup>93,94</sup>. Cuando fueron combinadas

con procedimientos de tareas múltiples mostraron la existencia de dificultades para la identificación correcta de un estímulo cuando este ha sido precedido por otro que también tiene que ser identificado. Este hallazgo sugiere la existencia de un costo para estímulos ulteriores asociado a la identificación del primero <sup>11,92,95-97</sup>. Al demostrarse que los déficits encontrados para la identificación del segundo estímulo desaparecían cuando se ignoraba el primer estímulo quedó demostrada la naturaleza atencional del fenómeno <sup>9</sup>. Fueron Raymond, Shapiro y Arnell <sup>9</sup> quienes en ese estudio acuñan el término de “parpadeo atencional” por su analogía con lo que sucede en la visión: el cierre del párpado se acompaña de una supresión visual y usualmente se parpadea después de adquirir la información de la escena. Ellos también demostraron que es necesaria la existencia de un estímulo intermedio que interfiera con la identificación del segundo estímulo para que el defecto aparezca <sup>9</sup>.

Por lo tanto, en el paradigma de PA dos estímulos de una PVSR deben ser codificados y reportados (tarea dual). El hallazgo usual es que cuando el intervalo temporal entre la presentación de T1 y T2 (o ACE) es de aproximadamente 200-400 ms, la precisión en el reporte del segundo estímulo se ve afectada. Con un ACE mayor la afectación de la precisión es mínima.

Surge entonces la primera propuesta para explicar el PA: el modelo de “apagado-y-cierre”. Este postula que el déficit de procesamiento, resulta de la interferencia causada por T2 cuando la identificación de T1 aún no ha sido completada. El sistema se percata de esto e inicia un mecanismo de supresión: la entrada atencional se “apaga y cierra”, es como si la entrada de T1 en la memoria visual a corto término cerrara durante un tiempo la entrada a

otro estímulo, haciendo que el próximo episodio atencional consuma más tiempo en realizarse.

Posteriormente se añaden nuevas descripciones, como son el aumento en la dificultad para identificar el T2 con el incremento de la numerosidad del T1 y la existencia efecto de PA independientemente de que los estímulos sean presentados en diferentes locaciones espaciales <sup>90</sup>. En el diseño experimental utilizado en este estudio se presentan dos estímulos consecutivos en diferentes locaciones espaciales y se manipula la carga atencional, no ya pidiendo que se ignore o que se atienda el primer estímulo, sino empleando pre-avisos sobre el lugar de aparición del segundo estímulo. Debido a que el pre-aviso disminuye la interferencia se confirma la naturaleza atencional del PA. Los autores también concluyen que el deterioro del nivel de acierto en la detección de T2 ocurre debido a que el estímulo no se detecta y no debido a falsos positivos, o sea, que el PA está reflejando lo que el sistema deja de percibir <sup>90</sup>.

En este estudio se enuncia un modelo que aunque referido a lo que acontece en la búsqueda visual, también sirve para explicar lo que sucede en el contexto del PA. Este es el modelo de la ‘capacidad limitada en paralelo’ el cual postula que a un primer nivel pre-atencional todos los estímulos se reconocen en paralelo. Los estímulos diana deben pasar hacia un segundo nivel con capacidad limitada antes de conformar una percepción que se pueda reportar. La competencia por el acceso al sistema de capacidad limitada, resulta en un deterioro del desempeño de detección cuando dos estímulos se presentan de forma simultánea <sup>98</sup>.

Chun y Potter <sup>99</sup> demuestran que el PA ocurre posterior a cada ítem identificado y no sólo después del primero. También modulan la magnitud del déficit para identificar T2 a través

de cambios en el grado de dificultad para la identificación de T1. Esto indica que el T1 influye sobre el umbral de criterio para la detección del estímulo diana y la iniciación del segundo estadio de procesamiento. Recalcan sobre algo esencial: el déficit para identificar T2 ocurre sólo o más fuertemente cuando una estimulación post-estímulo diana interfiere con T1. Esto lo comprueban comparando el efecto de la inserción después de T1 de un intervalo en blanco, con el efecto de insertar un estímulo intermedio <sup>99</sup>.

Estos autores proponen el ‘modelo de los dos estadios’ como posible explicación del PA. Donde se afirma la existencia de un primer estadio de detección perceptual, seguido por un segundo estadio de capacidad limitada. Este segundo estadio es el requerido para la detección consciente de la identidad del estímulo diana y su posterior reporte y constituye el “cuello de botella” que produce el déficit de procesamiento para los próximos estímulos. Este modelo es el más aceptado en la actualidad <sup>99</sup>.

El trabajo de Seiffert y Di Lollo <sup>25</sup> apoya la validez del ‘modelo de dos estadios’. Ellos refieren que hay una relación entre la degradación del T1 y el PA. Los efectos de PA están ausentes cuando una máscara no se presenta después del T1, o sea, que la máscara influye de forma indirecta en la detección del T2 <sup>25</sup>. Estos resultados van en contra del modelo de “apagado-y-cierre” debido a que este no tiene ningún mecanismo que relacione la dificultad del procesamiento de T1 con el PA. Sin embargo, el ‘modelo de los dos estadios’ sí contiene una explicación para lo observado: si el déficit en el PA proviene del decaimiento del T2 en el primer estadio perceptual mientras el segundo estadio está ocupado procesando el T1, cualquier operación que incremente la dificultad de procesamiento del T1 va a resultar en un mayor déficit de procesamiento de T2.

En un trabajo posterior Chun <sup>100</sup> demuestra que la ceguera de repetición (CR) y el PA son dos efectos independientes, aunque sea común a ambos el que la correcta identificación de un primer estímulo interfiera con el procesamiento de un segundo. La CR se refiere a la dificultad que tienen los sujetos en detectar o reportar repeticiones de palabras, letras o imágenes presentadas en PVS, aún cuando las dos instancias estén separadas por otro estímulo. Chun <sup>100</sup> prueba que el curso de tiempo en la CR y el PA es diferente y enuncia un nuevo enfoque sobre el PA. Este enfoque no es una modificación cualitativa del modelo de los dos estadios, sino que consiste en la interpretación del PA dentro del contexto más general de las representaciones del objeto como “tipo” y como “archivo de objeto”.

Se denomina representación de un objeto como “tipo”, a la representación de un objeto como instancia particular, con todas sus particularidades, a menudo arbitrarias. Por ejemplo: una taza amarilla con la agarradera rota colocada en la mesa. Una vez que nos formamos una representación como tipo de un objeto percibido, tratamos de igualar su contenido con otro almacenado en nuestro diccionario de tipos de objetos (en caso de que el objeto sea completamente nuevo la operación no debe poderse realizar).

Pero los objetos usualmente no permanecen inmutables sino que sufren transformaciones en el tiempo. Las transformaciones pueden estar dadas por algo tan sencillo como el cambio de nuestra perspectiva visual, ya que cada vez que cambiamos nuestra posición es una imagen nueva la que llega a la retina. Para lidiar con esa necesidad de integrar en el tiempo cualquier objeto en particular, es que existe el concepto de archivo de objeto, donde la información sobre determinado objeto se colecciona, interrelaciona y actualiza <sup>101</sup>.

Insertado dentro de ese marco, el PA resulta el reflejo de un fallo para crear la representación de “tipo” del objeto. Ocurre debido a que hay un límite general en la

velocidad con la cual sucesivos estímulos pueden ser individualizados como “tipos” separados. La percepción entonces estaría limitada con el objetivo de minimizar la información sensorial que debe tomarse en cuenta para crear la representación de “tipo”. Esto se corresponde con el estadio dos del modelos de los dos estadios <sup>100</sup>. Esta noción permite generar nuevas predicciones para el PA, además de establecer un vínculo teórico con el fenómeno de la ceguera de repetición <sup>11,102</sup>.

La más reciente evidencia teórica sobre el tema del PA, aparece centrada en dos vertientes: la descripción de fenómenos que aunque no satisfacen todos los requisitos descritos, son análogos al PA <sup>103,104</sup> y la descripción de nuevos requisitos para que aparezca el fenómeno luego de demostrar que no aparece en las condiciones ya descritas <sup>105,106</sup>. Ambas tendencias convergen, ya que cuestionan los modelos de la atención que están en la base misma del PA.

De la primera vertiente es el trabajo de Pinilla y cols.<sup>103</sup>. Refiere que hay un costo asociado al cambio atencional rápido entre dos superficies ilusorias y que esto ocurre a pesar de la superposición espacial entre ellas. Los autores sostienen que es un fenómeno diferente, avalados en que está asociado a variaciones en las amplitudes de los componentes tempranos P1 y N1 y al parecer en el PA la supresión de la información es relativamente tardía. Esto indicaría la posible existencia de dos mecanismos subyacentes para la atención selectiva <sup>103</sup>.

El trabajo de Sheppard y cols.<sup>105</sup>, se inserta dentro de la línea que agrega nuevos conocimientos sobre las condiciones necesarias para la aparición del PA. En un trabajo previo no se había encontrado PA cuando la primera tarea era la detección de un simple espacio o una pausa dentro del flujo de estímulos <sup>107</sup>. Los autores afirman que al parecer

más que el tipo de estímulo, es el juicio que se requiere sobre él lo que elimina la aparición del PA. Específicamente: si el T1 es percibido como la ruptura del ritmo de aparición en un solo objeto en curso, no se produce PA. Sugieren que el compromiso de la atención hacia un nuevo evento perceptual es el proceso necesario para desencadenar el PA. Algo análogo a adicionar una nueva descripción a un archivo de objeto ya existente. Concluye que las demandas atencionales son determinadas en gran medida por el número de objetos activos o de archivos de objeto y no simplemente por la cantidad de información a ser extraída desde la entrada visual. Sugiriendo un análogo temporal entre la atención dividida y el concepto de archivo de objeto.

También Raymond <sup>106</sup> nos señala nuevos requisitos para producir el PA. En su paradigma los estímulos diana sucesivos están definidos por la aparición de nuevos atributos (como el cambio de orientación), no de nuevos objetos y logra eliminar el efecto de PA. Esta eliminación no resulta de que el T1 y el T2 sean el mismo objeto, sino de que el T1 sea un objeto “viejo”, es decir, igual a los estímulos que le anteceden. Controlan la posibilidad de que la desaparición del PA se deba a un enmascaramiento inefectivo, ya que cuando el T1 se enmascaraba con el mismo objeto era mucho más difícil de discriminar <sup>106</sup>. Concluye que presentar un objeto como T1 no es suficiente para que se provoque el PA, es necesaria la creación de una nueva representación a nivel de objeto para que ocurra.

Las observaciones hechas la llevan a formular un nuevo modelo. Postula que el PA es el resultado de la interferencia al seleccionar los ítems a reportar desde la memoria visual a corto plazo (MVCP). En este modelo el T1 y el T2, además del ítem siguiente a cada uno de ellos, entra a la MVCP mediante un proceso de ajuste a un modelo y compiten por el reporte. El ajuste a un modelo requiere de atención y opera a un nivel de objeto, por lo que



ninguna interferencia (no PA) debe ser esperada si T1 y T2 representan un mismo objeto. Mantiene la idea de que el PA refleja un cuello de botella en el procesamiento perceptual que se requiere para crear representaciones durables de nuevos objetos. Subraya la posibilidad de que durante el PA haya procesamiento de la información, pero que no llega a ser consciente. O sea, no llega a ser procesada al nivel de representación del objeto como un todo, pero es capaz de generar efectos de pre-activación en la información semántica subsiguiente.

La primera evidencia electrofisiológica del efecto de PA se debe a Luck, Vogel y Shapiro<sup>23</sup>. Ellos utilizan un paradigma de N400, el cual es un componente electrofisiológico que refleja el grado de correspondencia entre una palabra y un contexto semántico establecido previamente. Reproducen en la conducta de los sujetos los resultados esperados durante el PA y a la vez observan como el componente N400 se modula a pesar de no poderse reportar el significado de las palabras que lo evocan. Esto sugiere que palabras presentadas durante el periodo de PA son analizadas hasta el punto de la extracción del contenido, aun cuando esos contenidos extraídos no puedan ser reportados posteriormente. Lo cual sugiere que los mecanismos atencionales que subyacen en la selección de la información perceptual de un arreglo espacial son diferentes de los mecanismos que subyacen en la selección de información conceptual más altamente procesada en el tiempo. Este experimento pone de manifiesto que el PA refleja una pérdida de la información en un estadio post-perceptual de procesamiento<sup>23,108</sup>.

Mediante el uso de la técnica de Resonancia Magnética Nuclear funcional (RMNf) se ha tratado de identificar la actividad neural asociada con las limitaciones de procesamiento que producen el déficit atencional que significa el PA. En un estudio de Marois, Chun y Gore

<sup>109</sup> se comparan las activaciones neurales producidas ante diferentes grados de complejidad de una tarea de PA. Los autores encuentran que la localización de la activación diferencial, se concentra en el lóbulo parietal y tiene un sesgo hacia el hemisferio derecho. El surco intra-parietal es señalado concretamente como el sitio de ubicación de la limitación para el procesamiento de información visual bajo condiciones de interferencia perceptual <sup>109</sup>.

En otro experimento <sup>24</sup> se usa un diseño con RMNf para determinar si los dos estadios de procesamiento de la información visual, descritos en los modelos cognitivos de la atención, están o no implementados por diferentes sustratos neurales. El paradigma de PA emplea como estímulos caras y casas, cuyas respuestas hemodinámicas en áreas cerebrales distintas no se traslapan <sup>110</sup> y pueden ser medidas fácilmente. Este experimento concluye que la corteza sensorial es activada en menor grado aún cuando los sujetos fallen en percibir conscientemente el estímulo. Pero es la respuesta de la corteza frontal la que refleja si el sujeto reportó conscientemente el estímulo o no, ya que sólo se activa con los reportes exitosos. Es decir, que la corteza temporal medial permite una rápida categorización de la entrada visual, mientras que la corteza frontal es parte de la capacidad atencional limitada para el reporte consciente. Estos resultados proveen de un apoyo neural a la teoría de los dos estadios, donde el segundo estadio estaría asociado a la corteza frontal.

Un trabajo reciente de Sergent, Baillet y Dehane <sup>111</sup> explora las dinámicas temporales del acceso a conciencia durante el PA con potenciales evocados visuales. Encuentran que los componentes tempranos evocados por el T2 ocurren durante el PA y son independientes de la percepción del estímulo, pero que los más tardíos difieren en dependencia de si el estímulo es o no visto. Todos sus datos son consistentes con el modelo de los dos estadios. Afirman que el principal parámetro que determina el PA es la presencia o ausencia de una

tarea en T1 y sugieren que el PA es causado por una competición entre los procesos neurales que subyacen en el componente P300 evocado por T1 y aquellos que subyacen en la N200 evocada por T2 <sup>111</sup>.

Dehaene, Sergent y Changeux <sup>112</sup> utilizan el conocimiento que se tiene del PA para validar un modelo de la conciencia. Simulan el PA con un modelo de redes neurales donde se vincula el reporte consciente con los parámetros fisiológicos de la actividad neuronal objetiva que lo acompaña. Si bien lo que tratan es de explicar los mecanismos que permiten la percepción consciente, crean una base interesante para interpretar el PA. Además se generaron predicciones, sobre la existencia de una bifurcación dinámica tipo todo-o-nada en la actividad neural. Esta predicción es comprobada en un experimento adicional de PA, donde se pide a los sujetos clasificar mediante una escala de visibilidad, cuán bien ha visto el estímulo. Los resultados indicaron que efectivamente la percepción subjetiva durante el PA se comportaba de la forma “todo-o-nada” <sup>112</sup>.

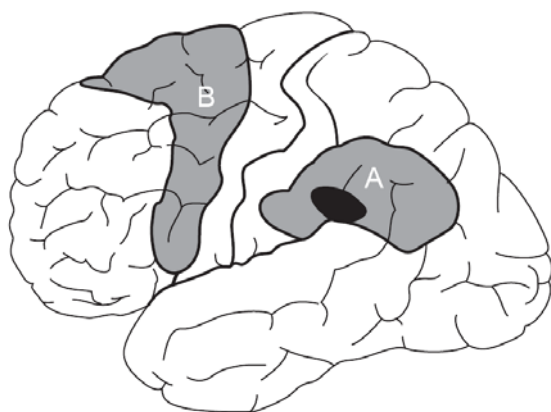
Acorde al modelo de conciencia que postulan se puede interpretar el PA. Plantean que el fenómeno subyacente que vincula las diferentes evidencias fisiológicas de la percepción consciente, lo constituye la actividad del cerebro dentro de un estado de actividad temporal global meta-estable. La disponibilidad de la información consciente resulta de la entrada del estímulo sensorial en un “espacio de trabajo” neuronal global, el cual es capaz de interconectar áreas hasta un estado de actividad global a escala cerebral. Las neuronas que son temporalmente movilizadas inhiben a otras neuronas de “espacio de trabajo” circundantes, las cuales no pueden procesar otros estímulos <sup>113</sup>.

La investigación sobre el complejo tema de la conciencia cuenta con el PA para ayudar a esclarecer los pasos necesarios para la percepción consciente <sup>114</sup> y su vez con ello el PA

resultará cada vez más esclarecido en todas las interrogantes que no han sido respondidas. Hasta ahora no están identificados los procesos cognitivos asociados a los eventos neurofisiológicos implicados en el PA, ni como estos eventos son afectados por las variaciones experimentales. Tampoco está claro si el PA refleja una limitación para la creación de representaciones de nuevos rasgos de objetos o una limitación para la creación de representaciones de un nuevo estímulo. Es posible la descripción completa de la secuencia de eventos neurofisiológicos que están en la base del PA, así que en un futuro su estudio nos aportará nuevos conocimientos acerca de las limitaciones temporales de la atención <sup>8</sup>.

## 2.2. Síndromes de Inatención Visual Espacial.

Un daño cerebral focalizado a menudo puede provocar síndromes neuropsicológicos caracterizados por sesgos en la atención visual-espacial (ver figura 4).



*Figura 4. Zonas corticales relacionadas con los síndromes de inatención. En la mayoría de los pacientes la lesión ocurre en lóbulo parietal inferior derecho en el giro supra-marginal (A) y particularmente en la unión temporo-parietal (de negro). Pero también ocurre por lesiones de la corteza pre-motora frontal, regiones más dorsales y mediales de la corteza pre-motora y giro temporal superior (B).*

El síndrome de inatención visuo-espacial unilateral o negligencia es un trastorno neurológico frecuente que implica un fallo en percibir y responder a los estímulos localizados en el lado del espacio opuesto a la lesión cerebral focal que lo ocasiona. El déficit no es atribuible a ningún factor sensorial o motor. Usualmente aparece como consecuencia de un daño en el hemisferio derecho, afectando por tanto, a los eventos que ocurren en el hemicampo visual izquierdo <sup>31</sup>. Los pacientes con negligencia, “ignoran” la mitad izquierda de los objetos o la mitad izquierda del espacio. Por ejemplo, pueden dejar la comida servida en la parte izquierda del plato o afeitarse sólo la mitad derecha de la cara.

El síndrome de extinción visual contralateral o extinción es un trastorno muy relacionado a la negligencia e igualmente más frecuente debido a lesiones ocurridas en el hemisferio cerebral derecho. Se caracteriza por una pérdida de la percepción visual consciente de los estímulos ubicados en el hemicampo procesado por el hemisferio lesionado, pero sólo cuando estos co-ocurren con otro estímulo contralateral que le genere competencia <sup>35</sup>. En otras palabras, los pacientes con extinción perciben un estímulo presentado en el lado izquierdo si está solo y lo ignoran si se presenta conjuntamente con otro en el lado derecho.

La extinción y la negligencia no son fenómenos exclusivos del sistema visual, pueden ocurrir en cualquier otra modalidad sensorial. La extinción incluso puede ser multimodal, y aparecer con estímulos presentados por diferentes vías sensoriales. Es decir, un estímulo táctil en la mitad derecha del cuerpo puede “extinguir” un estímulo visual presentado en el lado izquierdo.

En ambos síndromes está dañada la percepción consciente aún cuando las vías aferentes y la corteza visual primaria están intactas, lo cual refleja más un trastorno atencional que un

trastorno sensorial <sup>115</sup>. Debido a que los procesos de segmentación visual están preservados los estímulos “abandonados” pueden ser procesados inconscientemente e incluso puede llegar a existir algún grado de identificación <sup>34</sup>.

Las tareas más empleadas para poner en evidencia las dificultades espaciales de estos pacientes son: la tarea de cancelación, donde se le pide al paciente tachar determinados elementos insertados dentro de un conjunto; la tarea de bisección de líneas, en la cual se debe marcar el punto medio en rayas horizontales; la percepción de figuras quiméricas, donde se debe reportar lo observado en figuras compuestas por mitades con relativa incongruencia <sup>116</sup> y la tarea de la escala de grises, donde el sujeto debe decidir cuál de los extremos de dos barras con un determinado gradiente de luminosidad, es el más oscuro (las barras son un reflejo en espejo la una de la otra) <sup>117</sup>. No obstante, la tarea de JOT se considera como la más efectiva y precisa de todas las empleadas para este fin <sup>28</sup> y se discute en sección aparte.

Los modelos espaciales lateralizados que se han propuesto para explicar estos síndromes (atencionales <sup>118</sup>, motores <sup>119</sup> o representacionales <sup>33</sup>), tienen dificultades para la total interpretación de la conducta en estos pacientes <sup>120-122</sup>. Estos modelos se concentran en el defecto espacial debido a que los mecanismos lateralizados son inobjetablemente críticos, pero no explican las afectaciones de los procesos no-lateralizados que exacerbaban la severidad del sesgo y se asocian con una mala recuperación de los pacientes <sup>122</sup>. El desequilibrio espacial de la atención se considera que es necesario pero no suficiente para que persista el trastorno <sup>121</sup>, razón por lo cual es importante establecer el vínculo entre sesgos espaciales y procesos no-lateralizados.

Por ejemplo, en pacientes con negligencia existe un efecto de PA prolongado (hasta 1200 ms), tres veces mayor que el de los sujetos sanos<sup>38</sup>. También la memoria a corto plazo está reducida bilateralmente<sup>123</sup> y ocurre una reducción de la capacidad para percibir el movimiento aparente<sup>124</sup>. Los déficits en la atención sostenida pueden ser ocasionados por lesiones cerebrales que no provocan un síndrome de inatención<sup>125,126</sup>, pero de forma común ambos trastornos se han visto asociados. Por ejemplo, cuando en los pacientes con negligencia se han explorado los déficits espaciales en el transcurso de largos intervalos de tiempo mediante tareas de rivalidad binocular<sup>127</sup>, se ha manifestado un daño en la habituación a los estímulos, o sea, se quedan enganchados en un mismo estímulo<sup>128</sup>. Las dificultades en la atención sostenida existen aún cuando la tarea usada para explorar la función se realice sólo con el lado “bueno” (ipsilesional)<sup>129</sup>.

Las lesiones que provocan defectos en la búsqueda visual no son específicas de la negligencia pero están relacionadas con ella pues comparten muchas veces un lugar común<sup>130-132</sup> y una observación común en los pacientes con negligencia es que a menudo reinspeccionan los ítems a los cuales ya han mirado<sup>133</sup>, no recuerdan haberlos inspeccionado y los consideran como si fueran un estímulo novedoso<sup>134</sup>. La falla en retener las ubicaciones de los objetos durante los movimientos de sacudida de los ojos puede ser un importante factor independiente que contribuya al defecto, aunque también es posible que exprese un déficit de memoria a corto plazo o memoria operativa<sup>134,135</sup>. La combinación de un sesgo lateral y el fallo de la memoria de trabajo, ofrece una explicación para la inhabilidad de estos pacientes de dirigir la búsqueda hacia el lado contralesional<sup>120</sup>.

Los estudios neurofisiológicos también aportan evidencias de déficits atencionales no-lateralizados. Las lesiones unilaterales en la unión temporo-parietal eliminan el componente

electrofisiológico denominado P300 <sup>136</sup> que se obtiene con la aparición de estímulos infrecuentes dentro de una serie de estímulos frecuentes. Por su parte, las lesiones del lóbulo frontal, en dependencia de donde sean, causan un incremento o un decremento de estos potenciales <sup>137</sup>. Como las regiones mencionadas se han visto dañadas en pacientes con síndromes de inatención y el componente P300 puede ser utilizado como un marcador de la captura atencional, los estudios mencionados constituyen una evidencia electrofisiológica indirecta de que en estos síndromes existen déficits en la captura atencional. Estudios de RMNf apoyan la existencia de estos déficits utilizando un paradigma equivalente al de la P300 <sup>138,139</sup>. Al parece en la negligencia hay una dificultad para codificar la prominencia de un estímulo aunque este sea presentado centrado en el espacio <sup>120</sup>.

Todo lo expuesto parece indicar que los sesgos presentes en los síndromes de inatención no se deben de forma exclusiva a la naturaleza lateralizada del daño, sino que deben coexistir el sesgo espacial y la pérdida de capacidades atencionales no-lateralizadas para que estos se manifiesten.

### **2.3. Juicio de Orden temporal.**

El JOT constituye una tarea indisolublemente ligada a la investigación del fenómeno de entrada previa. La Ley de la Entrada Previa <sup>140</sup> enuncia que cuando un objeto es atendido llega a la conciencia más rápidamente que los otros objetos a los cuales no estamos atendiendo. Los estudios sobre entrada previa debieron su origen a un fenómeno que ocurría en la astronomía de hace 200 años atrás <sup>141</sup>. Los astrónomos, para determinar el tiempo exacto en el cual una estrella cruzaba la línea del meridiano de su telescopio, debían atender simultáneamente al movimiento de la estrella y al tic-tac de su reloj (estímulo visual y auditivo, respectivamente). Las consistentes diferencias en los tiempos reportados



dio pie a proponer que según la preferencia individual a atender más a una modalidad sensorial u otra, variaban las estimaciones <sup>29</sup>.

Luego de postularse la ley el JOT surge como una herramienta para su estudio, siendo el método más empleado para lidiar con todos los problemas teóricos que plantea. Por definición se realiza un JOT cuando se le pide a un observador que emita una respuesta sobre la secuencia temporal de dos (o más) estímulos situados en localizaciones diferentes del espacio. Los estímulos pueden ser de la misma modalidad sensorial o de modalidades distintas (visuales, táctiles o auditivos) y la tarea puede estar dirigida a indicar cuál de los estímulos llegó primero (modo encendido) o cuál desapareció primero (modo apagado). Los estímulos son presentados en una sucesión serial, con diferentes tiempos de aparición (o desaparición) entre uno y otro (lapsos de ajuste gradual, LAG), pero también pueden ocurrir de forma simultánea.

Las primeras tareas de JOT, usaban estímulos de distintas modalidades sensoriales para determinar las consecuencias de la atención voluntaria (orientada de forma implícita o explícita en la tarea), sobre los aspectos temporales de la percepción multisensorial. Posteriormente los investigadores se dedicaron a examinar las características del sesgo en el JOT, introduciendo además factores atencionales exógenos (dependientes del estímulo) <sup>142,143</sup>. Hoy en día, los paradigmas de JOT se emplean mucho para estudiar la atención visual espacial y los estímulos se presentan lateralizados <sup>144-146</sup>.

En los JOT visuales lateralizados, se mide la proporción de ensayos en que el sujeto reporta primero el estímulo de la derecha en función del LAG entre la aparición (o desaparición) de uno y otro. Usualmente para la interpretación de lo ocurrido en la tarea, se calculan el punto de simultaneidad subjetiva (PSS) y la diferencia perceptible justa (DPJ). El PSS se refiere

al punto en el cual los observadores tienen la mayor incertidumbre acerca de cuál estímulo se presentó (o desapareció) primero. Por tanto, se corresponde con el LAG donde se produce la percepción subjetiva de simultaneidad entre ellos. Concretamente, es el LAG entre los estímulos donde se responde al azar (50%). Cuando la atención se dirige por igual hacia ambos lados del espacio, la simultaneidad subjetiva debe corresponder con la simultaneidad real de los estímulos, y por tanto el PSS debe ser cero (ver figura 5).

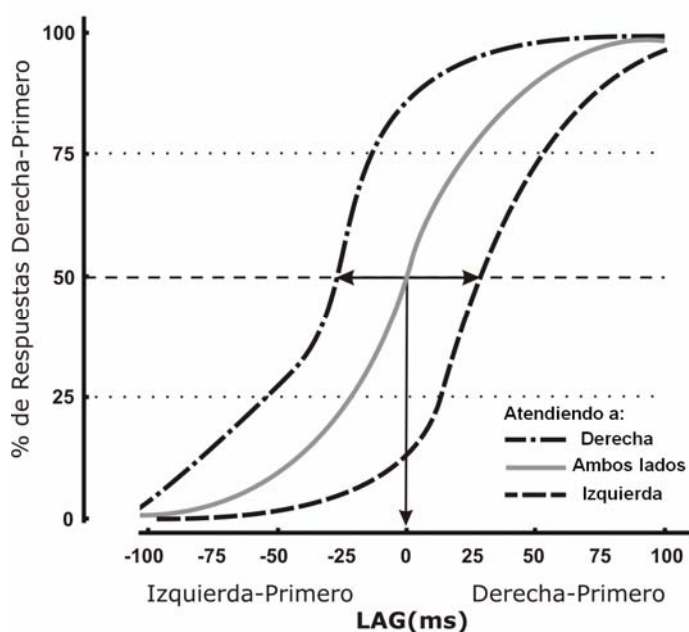


Figura 5. Cambios del PSS (doble flecha) según la dirección de la atención. El PSS se corresponde con el valor de LAG donde se responde al azar (50%). Si se atiende por igual a ambos lados los dos estímulos se perciben simultáneamente en el LAG cero (en línea gris continua). Cuando atendemos hacia la derecha el estímulo de la izquierda tuviera que presentarse antes para percibirse a la par, el PSS se desplaza hacia los LAG negativos (línea discontinua de puntos y rayas). Cuando atendemos hacia la izquierda el estímulo de la derecha tuviera que ser presentado antes para percibirse a la par, por lo que el PSS se desplaza hacia los LAG positivos (representado en línea discontinua de rayas). (Datos hipotéticos).

Cuando la atención está favorecida en un sentido se tiende a percibir mejor el estímulo de ese lado y para lograr la percepción de simultaneidad subjetiva el estímulo favorecido debe ser presentado con un tiempo de retraso. Por lo tanto, si la atención se dirige hacia un lado del espacio el PSS se hace diferente de cero. La magnitud del cambio de PSS indica el tiempo de diferencia que debe haber entre los dos estímulos para que se perciban como simultáneos. Convencionalmente se representa con valores de tiempo negativos cuando el estímulo de la izquierda es el primero y con valores positivos cuando es el de la derecha. Un PSS negativo indica que la atención está favorecida hacia la derecha y uno positivo que está favorecida hacia la izquierda.

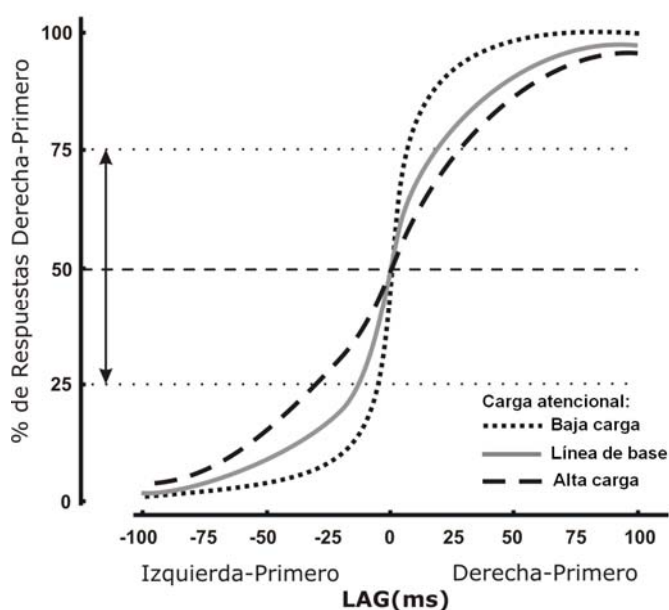


Figura 6. Cambios de la DPJ según las condiciones de carga atencional. Se calcula como la mitad del rango de LAG entre el 75 y el 25% de respuestas 'derecha-primero' (doble flecha). La alta carga puede causar disminución de la precisión reflejada en una DPJ mayor (línea discontinua de rayas). La baja carga permite una mayor precisión reflejada en menores valores de DPJ (línea discontinua de puntos). La raya gris representa una línea de base con un nivel de carga intermedio (Datos hipotéticos).

En cambio, la DPJ ofrece una medida de la precisión con que se puede hacer el JOT (ver figura 6). Específicamente nos dice qué tiempo de separación debe existir entre los dos estímulos para poder reportar con exactitud su orden temporal. El DPJ se define como la mitad del intervalo temporal entre los valores de LAG que producen los puntos del 25% y el 75% en la curva psicométrica.

El desempeño durante los JOT puede estar potencialmente influenciado por errores en la respuesta. O sea, tendencias durante la emisión de la respuesta que inhiben un juicio imparcial y que pueden causar asimetrías. Por ejemplo, si en una misma tarea al observador se le instruye responder “qué estímulo percibe como primero” se obtienen efectos diferentes que cuando se le pregunta “qué estímulo percibe como segundo”<sup>142,147</sup>. Aunque las tareas son en principio dos versiones idénticas se obtienen efectos diferentes en el JOT. Los resultados indican que se favorece la percepción temporal del lado atendido, cuando se instruye al sujeto que responda qué estímulo percibió primero y cuando se le pide que identifique cuál apareció segundo, aparece un efecto que indica que se percibe mejor el lado no atendido. Elementos de confusión como el ejemplificado, pueden ocurrir en las tareas de JOT y son difíciles de eliminar.

Para reducir la contribución de los sesgos en la respuesta en el JOT se ha introducido la metodología de claves ortogonales<sup>142</sup>. Esta consiste en reportar un atributo del estímulo que sea independiente de la dirección. Por ejemplo, debe reportar el estímulo que ocurrió primero nombrándolo por el color en vez de reportarlo nombrando la localización (derecha o izquierda). Al parecer esta manipulación es efectiva reduciendo el sesgo relacionado con la respuesta<sup>148</sup>.

En un plano teórico hay tres posibles mecanismos que pueden ser los responsables de producir las respuestas conductuales en un JOT <sup>143</sup>. Estos pudieran ser: 1) facilitación sensorial, no estaría causada por la atención, sino por interacciones sensoriales locales entre el estímulo y el aviso usado para orientar la atención; 2) aceleración sensorial, donde la atención es la que hace acelerar el procesamiento de un estímulo relativo al otro y 3) efectos cognitivos, la alteración del criterio ocurre dentro del proceso de decisión que compara los tiempos de arribo de los estímulos y conduce a la respuesta conductual <sup>149</sup>.

Se ha demostrado que los efectos conductuales observados en el JOT tienen un respaldo electrofisiológico. En un trabajo de McDonald y cols.<sup>30</sup> se emplean los potenciales evocados visuales (PEV) durante una tarea de JOT para determinar si la captura de la atención mediante un pre-aviso en forma de sonido, modula o no la velocidad de procesamiento en el sistema visual humano. Encuentran que la influencia atencional del pre-aviso no se refleja en la latencia de los PEV pero sí en la amplitud. Con ello demuestran que la actividad neural en el sistema visual está relacionada con el tiempo real de los eventos y que los cambios inducidos por la atención en la percepción del orden temporal deben arribar de modulaciones de la fuerza de la señal en vez de la velocidad de procesamiento en las vías visuo-corticales tempranas <sup>30</sup>.

La banda alfa (~7.5–13 Hz) también es un indicador sensible de los cambios en la atención visual, disminuyendo o incrementando su poder espectral según se atienda o no se atienda respectivamente <sup>150</sup>. La actividad alfa de cada mitad de la cabeza (correspondiente a cada hemisferio cerebral), está en relación con el procesamiento del hemicampo visual opuesto, al igual que los potenciales visuales. Debido a esa propiedad se emplea en la investigación de la lateralización producida por pre-avisos externos y se ha demostrado que detecta los

sesgos atencionales momentáneos producidos por ese pre-aviso <sup>67,69,69-71</sup>. Inclusive es posible estimar la dirección momentánea izquierda o derecha de la atención a partir de un índice de lateralización de la actividad alfa <sup>68</sup>. Debido a todo lo anterior también es posible emplear el examen de la potencia espectral de alfa para observar los cambios de excitabilidad cortical asociados a los cambios atencionales expresados conductualmente en el JOT.

#### **2.4. Lateralización hemisférica.**

La lateralización cerebral humana ha sido desde hace mucho tiempo un tema de interés, baste decir que más del 90% de la población humana tiene mayores habilidades usando la mano derecha en vez de la izquierda <sup>151</sup>. Pero a pesar de la larga tradición investigativa, la literatura sobre el tema está poco unificada y en ocasiones es confusa o poco concluyente desde los niveles más elementales. Un ejemplo de ello es que aunque existe amplio consenso alrededor de la idea de que un cerebro lateralizado confiere ventajas biológicas, no se ha esclarecido bien cuáles son estas ventajas <sup>152</sup>. Otro ejemplo es que no hay una demostración concluyente acerca del rol de la cultura en el establecimiento de la dominancia hemisférica <sup>153</sup>. Por tanto, resulta de utilidad delimitar algunos aspectos generales <sup>154</sup> al abordar el tema.

1.- La asimetría hemisférica existe e influye sobre el comportamiento: Se conoce la asimetría hemisférica de diferentes procesos cognitivos. Los ejemplos más representativos son: el lenguaje, localizado en el hemisferio izquierdo en la mayoría de las personas y el reconocimiento espacial, localizado en el hemisferio derecho <sup>155</sup>. Pero también hay otras diferencias entre los hemisferios. Por ejemplo, el hemisferio izquierdo es dominante para el procesamiento matemático y lógico <sup>156</sup>, así como para el procesamiento y análisis de

atributos locales <sup>157</sup>. Por su parte el hemisferio derecho se destaca en el reconocimiento de formas, la atención espacial, el procesamiento global <sup>62</sup>, emocional y musical, y las funciones artísticas <sup>158</sup>. También existe una activación preferencial del hemisferio derecho con en el aumento de la vigilancia y el nivel de alerta <sup>159-161</sup>. Lo mismo ocurre en el hemisferio izquierdo durante el procesamiento atencional temporal <sup>162</sup>.

2.-Tenemos un solo cerebro, no dos: Los trabajos en pacientes con comisurotomías han contribuido a que se popularice la idea de los dos cerebros, debido a la demostración de la relativa independencia entre ambos hemisferios y a la existencia de grandes diferencias entre ellos en cuanto a sus habilidades <sup>163,164</sup>. Pero extrapolar este modelo de funcionamiento a un cerebro normal constituye un problema. La falta de cuerpo calloso puede estar eliminando mecanismos del procesamiento inter-hemisférico como pueden ser: la inhibición callosa, la competencia interhemisférica y la división de procesamiento en tareas complejas con múltiples subcomponentes. Además, pudieran verse expresados fenómenos de plasticidad cerebral. Durante condiciones normales los hemisferios trabajan como un sistema unificado.

3.-Otras especies también tienen asimetrías: La existencia de asimetrías es un hecho común para muchos vertebrados. Nos sugiere que pudiera contribuir de una forma importante en el ajuste biológico de los organismos <sup>165</sup>.

4.-Las asimetrías difieren entre los individuos: Se ha demostrado que existen diferentes patrones de asimetrías hemisféricas durante el efecto Stroop y para el procesamiento global-local en dependencia de si los sujetos tienen manualidad izquierda o derecha <sup>166</sup>. También, estudios de las diferencias morfológicas y funcionales entre los cerebros de hombres y mujeres indican que ambos abordan las mismas tareas de formas

cualitativamente diferentes y que esas diferencias en la estrategia de procesamiento tienen su base en la lateralización cerebral <sup>167</sup>. La manera en la cual el cerebro de un individuo está estructural y funcionalmente organizado puede provocar diferencias en las tendencias de procesamiento y de las subsecuentes habilidades cognitivas<sup>168</sup>.

5.-Las asimetrías se desarrollan con el tiempo (ontogenia-filogenia): La especialización hemisférica se desarrolla a partir de la misma etapa prenatal <sup>153</sup> pero también se ha desarrollado a través del proceso evolutivo del hombre <sup>165</sup>.

#### **2.4.1. Asimetrías hemisféricas en la atención visual.**

Las asimetrías hemisféricas en la atención visual son las más específicamente relacionadas con el tema de tesis. La evidencia más dramática de su existencia está en los síndromes neurológicos de la negligencia y la extinción (ver revisión bibliográfica del tema). Estos trastornos dieron lugar a la formulación de modelos que permiten explicar los sesgos atencionales patológicos. Los modelos posteriormente se generalizaron a la población sana. Uno de los más importantes es el ‘modelo de sesgo orientacional’ de Kinsbourne <sup>53</sup>, el cual está muy sustentado por la evidencia. De manera básica postula que cada hemisferio contiene un procesador atencional orientado contra-lateralmente e inhibido por el hemisferio opuesto <sup>53</sup>. El gradiente atencional del hemisferio izquierdo sería mayor que el del derecho, por lo tanto, después de daños cerebrales derechos, la atención del hemisferio izquierdo se orienta poderosamente hacia el derecho. No sucede lo mismo cuando el daño es en el hemisferio derecho que tiene un gradiente débil <sup>13</sup>. En otras palabras, plantea que cada hemisferio trata de manejar la orientación de la atención hacia el espacio contralateral generando un sesgo atencional contralateral. Kinsbourne <sup>53</sup> sugiere que a niveles menos extremos que el daño cerebral, los factores que normalmente incrementan o reducen el



nivel de activación de un hemisferio relativo al otro pueden producir sesgos más modestos<sup>169</sup>.

Otro modelo es el de Heilman<sup>170</sup> quien propone que el procesamiento de la información espacial está dividido entre los hemisferios a través de un límite que define el hemicampo izquierdo y derecho. Cada hemisferio atiende al espacio contralateral, el cual puede ser definido por coordenadas centradas en los ojos, cabeza o cuerpo<sup>171</sup>. Plantea que el hemisferio derecho es el dominante para el nivel de alerta y la atención especial<sup>172</sup> y que es capaz de dirigir la atención hacia los dos hemicampos visuales, mientras el hemisferio izquierdo dirige la atención sólo al espacio contralateral. Por tanto, después de daño cerebral derecho, el hemisferio izquierdo está mal equipado para dirigir la atención del hemicampo izquierdo. Sin embargo, después de daño izquierdo el derecho es capaz de dirigir la atención dentro de los dos hemicampos y la negligencia no ocurre con la misma severidad como después de un daño derecho<sup>170</sup>. Estos dos modelos son los más difundidos dentro de la literatura.

En cuanto a la investigación relacionada al tema de la lateralización cerebral y el procesamiento temporal, encontramos el trabajo de Nicholls<sup>173</sup>, quien en un meta-análisis que incluye experimentación clínica, no-clínica y electrofisiológica, revisa toda la evidencia existente sobre las capacidades de los hemisferios cerebrales para procesar la información temporal. El meta-análisis apunta a la existencia de una ventaja del hemisferio izquierdo sobre el derecho en cuanto a resolución temporal<sup>173</sup>, lo cual cuestiona la asunción de que la asimetría hemisférica sólo aparece en los niveles cognitivos más altos. Esta mayor resolución temporal en el hemisferio izquierdo pudiera facilitar que se instalen las habilidades verbales, textuales y motoras finas.

Las diferencias hemisféricas atencionales entre el hemicampo visual izquierdo y derecho en cuanto a la magnitud del PA también se han investigado. En un diseño experimental donde se presenta una tarea de PA en cada hemicampo visual por separado, resulta que el desempeño en el hemicampo visual izquierdo es más exacto que en el derecho. Al parecer hay una pequeña atenuación del efecto de PA en el hemisferio izquierdo <sup>174</sup>.

Al igual que en el experimento anterior, la mayoría de las investigaciones sobre las asimetrías de procesamiento izquierda-derecha emplea la presentación lateralizada de los estímulos. Pero en la vida real los estímulos se encuentran componiendo escenas. Se ha demostrado que las asimetrías pueden ser organizadas dentro de las escenas sin que exista un acceso diferencial de la información a los hemisferios <sup>15</sup>. Esto nos deja abierta la interrogante sobre la posibilidad de que los experimentos tradicionales sean una sobresimplificación de lo que ocurre realmente en el sistema visual.

Aunque las pruebas conductuales y psicológicas, siempre estarán en la base de la determinación de la lateralización cognitiva, en la actualidad la forma de abordar el tema se diversifica. El uso de la RMN aporta nueva evidencia sobre las asimetrías funcionales y estructurales del cerebro <sup>175</sup>. Mediante esa técnica se ha estudiado como compiten los hemisferios cerebrales ante la estimulación simultánea y ante diferente carga atencional y se han evidenciado asimetrías hemisféricas en la competencia entre estímulos en áreas parietales <sup>176</sup>. Esto podría estar relacionado con los síndromes de negligencia y extinción que ocurren después de lesionadas estas áreas. También con el empleo de la RMN se comienzan a conocer las bases fisiológicas de la lateralización de algunos procesos tan importantes como el lenguaje <sup>177,178</sup>. E inclusive se han empezado a considerar las asimetrías cerebrales desde un nivel molecular <sup>155</sup>.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

#### 3.1. Participantes

Los sujetos que participaron en los experimentos de esta tesis fueron reclutados como voluntarios (ver tabla 1). Todos poseían una visión normal o corregida a la normalidad y una manualidad derecha, según la evaluación con el Inventario de Lateralidad de Edimburgo <sup>179</sup>. En los experimentos 1, 2 y 3 los participantes fueron adultos que obtuvieron puntuaciones mayores de 85 en dicho Inventario y ninguno refirió la existencia de antecedentes psiquiátricos o neurológicos. En el Experimento 4 los participantes fueron niños divididos en dos grupos: 10 niños con dislexia y 10 niños con desarrollo típico, como grupo control.

*Tabla 1. Descripción de los participantes en cada experimento (F significa femenino y M masculino).*

Nº Experimento	Número de participantes	Distribución por sexo	Rango de edades (años)	Nivel de escolaridad
Experimento 1	14	10 F 4 M	27-34	Superior
Experimento 2	14	3 F 11 M	22-45	Superior
Experimento 3	20	6 F 14 M	18-32	Medio y superior
Experimento 4	10 Controles	1 F 9 M	10-12	Primario
	10 Disléxicos	1 F 9 M		

#### 3.2. Procedimientos

Los estímulos fueron presentados empleando un monitor sVGA de 15 pulgadas de tamaño con resolución de pantalla 800 x 600 píxeles, controlado por una computadora Intel Pentium III Copermine a 933 MHz. Las tareas fueron programadas usando Delphi 5.0 o

Cogent 2000 el cual corre sobre Matlab 6.5. Los experimentos se llevaron a cabo en una habitación tranquila con iluminación natural atenuada. Los sujetos permanecieron sentados a una distancia visual de 50 cm con respecto a la pantalla del monitor. Se les instruyó que mantuvieran la vista sobre el estímulo central a lo largo de todo el experimento. Se hizo hincapié para que procuraran la precisión del juicio más que la velocidad de las respuestas, así como que permanecieran lo más quietos posible. Todos los estímulos presentados fueron de color blanco y el resto de la pantalla negro. Los bordes más exteriores de los estímulos laterales siempre subtendían un mismo ángulo visual de  $4.2^\circ$  al punto central de fijación, garantizando con ello ubicarse dentro del área foveal de la retina. Cada bloque experimental se precedió por un breve entrenamiento de aproximadamente 10 ensayos, lo cual garantizaba la comprensión de las instrucciones por parte del sujeto. Se utilizó la mano derecha para dar todas las respuestas, excepto en el experimento con recogida de EEG donde se contrabalanceó la mano de respuesta a través de los sujetos.

### **3.3. Diseño**

El diseño de cada experimento en específico se explica en el capítulo correspondiente. De forma general se diseñó un paradigma que combina las tareas de parpadeo atencional y juicio de orden temporal (ver figura 3). Se le pedía a los sujetos juzgar el orden de ocurrencia de dos estímulos (esto se corresponde con el estímulo T2 en el paradigma clásico de PA) inmediatamente después de que se les ocupaba la atención con una tarea de reconocimiento visual (correspondiente con el estímulo T1). El tiempo entre T1 y la presentación de la tarea de JOT (conocido como asincronía entre el comienzo de los estímulos, ACE) se manipuló para obtener dos condiciones de carga atencional, una alta (ACE corto igual a 280 ms) y una baja (ACE largo igual a 1030 ms). Durante el ACE corto

se provoca una condición de PA para la tarea de JOT que no está presente durante el ACE largo. En la tarea de JOT se variaba el intervalo entre los estímulos (conocido como lapso de ajuste gradual, LAG), utilizando cuatro valores: 30, 60, 90 y 120 ms. Cada una de las condiciones de estimulación estaba balanceada y se presentaban de forma pseudo-aleatoria. Los resultados de este paradigma se presentan en forma de una gráfica que tiene por el eje de las abscisas los diferentes LAG utilizados en la tarea de JOT y por las ordenadas el rendimiento del sujeto. Cada condición de carga atencional (ACE corto o ACE largo) se representa en una curva diferente (ver figura 7).

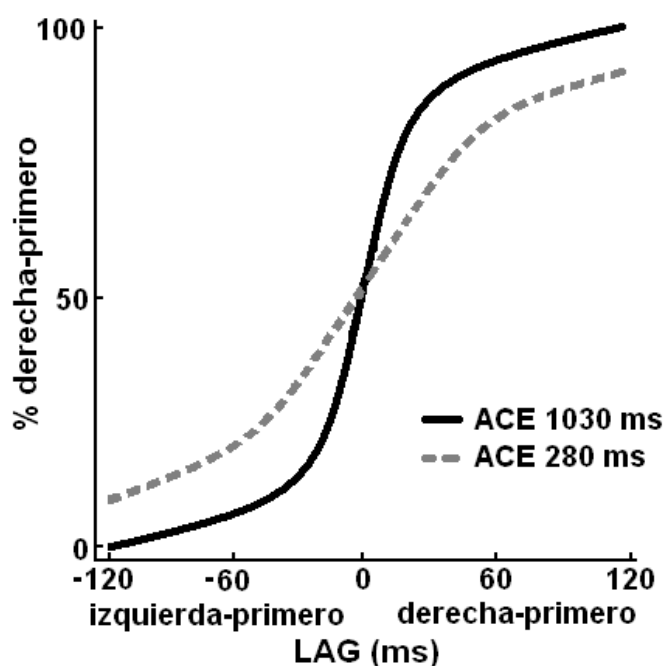


Figura 7: Ejemplo de gráfica hipotética de resultados en el paradigma de JOT combinado con un paradigma de PA diseñado para este trabajo.

Los valores de LAG se representan como negativos cuando el primer estímulo aparecía a la izquierda (son los ensayos que llamamos ‘izquierda-primero’) y como positivos cuando

era a la derecha (llamados ‘derecha-primer’). El valor de LAG cero representa la ocurrencia simultánea de los dos estímulos del JOT.

El rendimiento de los sujetos (eje Y) se expresa en forma porcentaje de respuestas ‘derecha-primer’. Debe notarse que el “% derecha-primer” no es en sí mismo un porcentaje de aciertos o errores. Coincide con el porcentaje de acierto para las condiciones de ‘derecha-primer’, y si se quiere obtener el porcentaje de aciertos en las condiciones ‘izquierda-primer’ se calcula 100 menos “% derecha-primer”.

La tarea del sujeto con relación al estímulo T1 era variable en cada experimento. La respuesta del sujeto en la tarea de JOT se recogió siempre como una elección forzada (‘derecha-primer’ o ‘izquierda-primer’) pulsando las teclas flecha-derecha o flecha-izquierda del teclado de la computadora, respectivamente. Solamente se procesaban las respuestas del JOT cuando el sujeto acertaba en su respuesta al estímulo T1.

### **3.4. Estimación de parámetros y análisis estadístico de la conducta**

Los “% derecha-primer” se transformaron en sus valores-Z equivalentes mediante un análisis de tipo probit <sup>148,180</sup> asumiendo una distribución normal acumulativa <sup>181</sup>. Esta transformación nos permite realizar una regresión lineal con los datos transformados (valores-Z) y los valores de LAG. De la pendiente y el intercepto de la línea ajustada se derivan dos parámetros, (i) la diferencia perceptible justa (DPJ) y (ii) el punto de simultaneidad subjetiva (PSS), los cuales se obtienen en cada condición de carga atencional (ACE corto y ACE largo), para cada individuo.

i.- La diferencia perceptible justa (DPJ): es el intervalo de tiempo entre los dos estímulos del JOT que es necesario para identificar correctamente en el 75% de las veces su orden de

aparición. Refleja la precisión con que se realizó la tarea, mientras menor sea el valor de DPJ, mayor es la precisión. Se calcula según la fórmula:

$$DPJ = \frac{0.675}{\text{pendiente}}$$

Los DPJ obtenidos para cada condición de carga atencional (ACE corto y ACE largo) se compararon mediante el estadígrafo t de Student. Si existe una diferencia entre los valores de DPJ indica la presencia de un PA

ii.- El punto de simultaneidad subjetiva (PSS): es el valor de LAG (intervalo de tiempo entre los dos estímulos del JOT) donde el sujeto responde al nivel del azar, 50%. Si la atención está distribuida por igual entre ambos hemisferios visuales, el valor de PSS debe ser cercano a cero. Si este valor es diferente a cero significa que la atención se ha desplazado en una dirección. Valores negativos indican que el hemisferio derecho está favorecido, si son valores positivos, es el hemisferio izquierdo el que está favorecido. Se calcula según la fórmula:

$$PSS = -\frac{\text{intercepto}}{\text{pendiente}}$$

Los PSS para cada condición de carga atencional se analizaron con una prueba de media nula mediante el estadígrafo t de Student, para demostrar si existía sesgo, específicamente, los valores de PSS fueron comparados contra media cero. Aunque este parámetro tiene interpretación teórica directa y permite medir el fenómeno del sesgo atencional de forma precisa, no siempre se cumple el supuesto teórico de la forma de distribución normal acumulativa.

Por eso otra manera de analizar las diferencias de rendimiento en el JOT de acuerdo a la carga atencional (ACE corto y ACE largo) fue mediante la comparación del “% derecha-

primero” en cada LAG. Este tipo de análisis aunque no tiene una interpretación teórica directa, no requiere que se cumplan los supuestos teóricos sobre la distribución normal de los datos y permite evaluar si el efecto de la carga atencional ocurre en los mismos valores de tiempo para un hemisferio y otro. El lado del espacio favorecido pudo ser indicado por una menor cantidad de valores de LAG donde las condiciones de atención no difirieran significativamente. La comparación estadística entre los valores medios de cada condición, se realizó mediante el estadígrafo t de Student. Se utilizó como nivel de significación, el valor de probabilidad ajustado según la corrección de Bonferroni ( $\alpha / \#$  pruebas de hipótesis), donde  $\alpha = 0.05$ .

Para realizar todos los cálculos se utilizó Matlab 6.5 y el paquete estadístico Statistica V5 para Windows.

### **3.5. Recogida de EEG**

El EEG se registró usando el sistema MEDICID 5. Los datos electrofisiológicos fueron adquiridos de 14 canales (P3, P4, O1, O2, T3, T4, T5, T6, C3, C4, F3, F4, F7 y F8), colocados acorde al Sistema Internacional 10-20 y usando electrodos con discos de oro. Todos los electrodos fueron referenciados a un electrodo colocado en la punta de la nariz. La impedancia se mantuvo por debajo de los 5 k $\Omega$ . Se monitorizaron los movimientos oculares –electrooculograma (EOG)– mediante un registro bipolar con cuatro electrodos. Un par fue colocado un cm por encima y un cm por debajo del ojo derecho y en el otro par en los cantos externos de cada ojo. Las señales fueron amplificadas por un factor de 1000 y filtradas entre 0.05–30 Hz. El EEG fue recogido de forma continua con una frecuencia de muestreo de 200 Hz. Se crearon ventanas de tiempo que comenzaban 400 ms antes de la aparición del T1 y continuaban hasta los 1100 ms. Cada segmento del EEG fue



inspeccionado visualmente y aquellos contaminados con artefactos del EOG fueron rechazados manualmente.

### **3.6. Análisis estadístico de la electrofisiología**

Los efectos de fase fija en cada segmento de EEG se corrigieron mediante la sustracción del potencial evocado visual promedio (PEV)<sup>182,183</sup>. Para cada participante, condición experimental y canal se obtuvo el espectro de potencia variable en el tiempo de cada ensayo por medio de un análisis de wavelet Morlet<sup>184,185</sup> en el rango de frecuencia de uno a 30 Hz en pasos de 0.5 Hz. La wavelet Morlet compleja fue fijada a un radio constante de siete para lograr un compromiso óptimo entre tiempo y resolución de frecuencia<sup>186,187</sup>.

Luego el espectro de potencia fue promediado a través de los ensayos para obtener la media del poder espectral (MPE), el cual fue dividido por el MPE en el periodo pre-estímulo como forma de corregir la línea de base. El MPE individual con la línea de base corregida fue promediado en la banda alfa, definida desde 7.5 hasta 13 Hz. Finalmente, para análisis posterior, elegimos una ventana de tiempo sincronizada con la aparición de T1 de 800 ms con -200 ms de línea de base, obteniendo así un conjunto de datos consistente en una serie de tiempo de MPE en la banda alfa (200 instantes de tiempo) para cada electrodo (14 canales), condiciones (2) y sujetos (20).

Para determinar diferencias significativas de MPE en la banda alfa entre las dos condiciones atencionales se usó una prueba estadística de permutaciones<sup>188,189</sup> realizada simultáneamente sobre todos los electrodos e instantes de tiempo recogidos. Este es una prueba libre de distribución, que no requiere asumir ninguna correlación en la estructura de los datos y nos provee de valores p exactos para cualquier número de sujetos. El procedimiento ofrece diferentes distribuciones empíricas, las cuales pueden entonces ser

usadas para obtener los valores de significación que controlan el error relacionado con el experimento para las comparaciones simultáneas múltiple entre condiciones experimentales. Esto se uso para encontrar aquellos sitios en los cuales las condiciones experimentales son significativamente diferentes (prueba de permutaciones multivariada) y para determinar la ventana de tiempo significativa en los sitios seleccionados (prueba de permutaciones univariada). Se adoptó un valor de significación de  $p=0.01$  para la prueba de permutaciones multivariada y de  $p=0.001$  para la prueba de permutaciones univariada.

## **4. EXPERIMENTO 1**

### **4.1. Introducción**

Como se expuso anteriormente, se han descrito vínculos entre la distribución espacial de la atención y la demanda o carga atencional a que se encuentra sometido el sujeto. Esto se ha demostrado en sujetos sanos<sup>50-52</sup> y en patologías<sup>27,51,122</sup>. Por otra parte, se ha demostrado que el paradigma de PA produce efectos claros y cuantificables acerca del funcionamiento de la atención en diferentes condiciones de carga atencional<sup>22,111,112</sup>. Sin embargo, hasta ahora no se ha empleado este paradigma para estimar de manera precisa el efecto de la alta carga atencional sobre la distribución espacial de la atención.

Por esta razón decidimos diseñar un experimento donde se combinen los paradigmas de PA y el JOT. En este caso, utilizamos una tarea de decisión lexical seguida de un JOT, y manipulamos el tiempo entre las dos tareas (ACE) para producir dos condiciones de carga atencional: un ACE corto (para la condición de alta carga atencional) y otro ACE largo (para la condición de baja carga atencional). Se esperaba que la comparación entre los rendimientos de los sujetos en la tarea JOT en cada una de estas condiciones pusiera de manifiesto si durante el PA la atención visual se lateralizaba.

### **4.2. Materiales y Métodos**

Participantes: Aplicamos este paradigma en una muestra de 14 sujetos sanos (ver Tabla 1 materiales y métodos generales).

Tarea lexical: Consistió en la presentación de una máscara central que subtendía un ángulo visual vertical de 0.8° y horizontal de 3.6°. La misma desaparecía y en su lugar aparecía una palabra. Se escogieron 640 palabras de un Diccionario de Frecuencia de palabras de

habla hispana<sup>190</sup>. Todas las palabras fueron formas verbales o sustantivos de alta frecuencia de uso (>11) y un número de letras menor o igual a seis. Se empleó tipografía arial y tamaño de fuente 26. El sujeto tenía que categorizar si la palabra era un nombre pulsando la tecla flecha-arriba y si indicaba una acción pulsando la tecla flecha-abajo.

Tarea de JOT: Consistió en la presentación de dos círculos laterales y simétricos, con radio de 0.7°. Los mismos se presentaban sobre la línea media a ambos lados de la máscara central. Uno de ellos desaparecía primero y luego de un breve intervalo de tiempo, desaparecía el segundo. El sujeto debía reportar el lado en el cual desaparecía el primer círculo ('derecha-primer' o 'izquierda-primer').

La secuencia de eventos en cada ensayo fue la siguiente (ver figura 8). Para comenzar aparecían en la pantalla los dos círculos laterales y la máscara, que se mantenían hasta que el sujeto iniciaba el ensayo pulsando la tecla de barra-espaciadora. Después de un intervalo de 300 ms, la máscara desaparecía y daba paso a la presentación de una palabra (T1), la cual era mostrada por 250 ms, pasados los cuales se reponía la máscara. Los tiempos de post-estímulo fueron de 30 ms para la condición de alta carga, lo cual representa un ACE=280 ms, y otro de 780 ms para la condición de baja carga, lo que representa un ACE=1030 ms. Seguidamente era presentada la tarea de JOT y el primer círculo desaparecía (a la izquierda o al derecha de forma aleatoria) durante un tiempo ( $\Delta T$ ) variable (LAG de 0, 30, 60, 90 ó 120 ms) pasado el cual desaparecía el segundo círculo. Nótese que cuando el LAG es igual a cero los dos círculos desaparecían simultáneamente. Después que los dos círculos desaparecían, la máscara permanecía en pantalla por otros 200 ms. Una vez pasado este tiempo el sujeto daba sus respuestas. Primero clasificaba la palabra, si era un sustantivo pulsando la tecla flecha-arriba y si indicaba una acción (verbo) pulsando la tecla

flecha-abajo. En la segunda respuesta seleccionaba si la desaparición del círculo había sido ‘derecha-primero’ (tecla flecha-derecha) o ‘izquierda-primero’ (tecla flecha-izquierda).

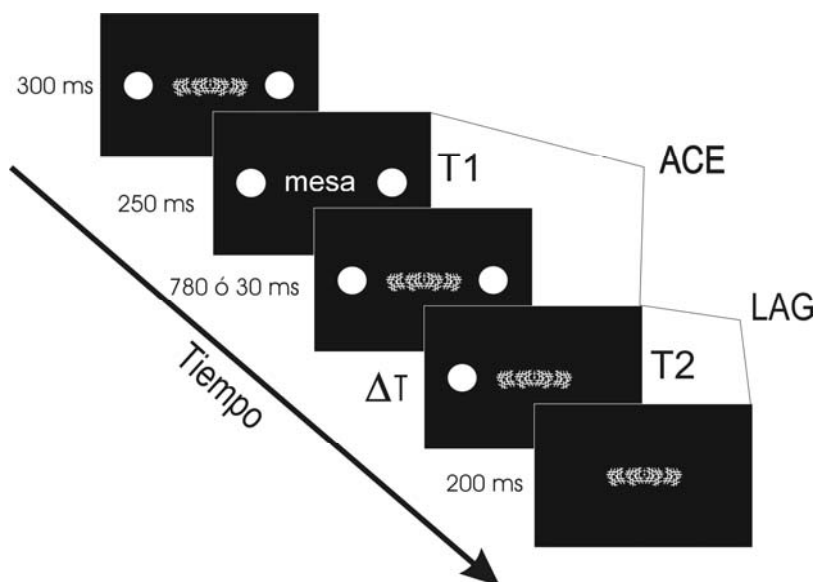


Figura 8: Carta de tiempo del paradigma combinado de PA y JOT empleado en el Experimento 1. Los círculos laterales y la máscara se mantienen 300 ms después de apretada la tecla de inicio. Luego aparece una palabra que se presenta por 250 ms. Se repone la máscara durante 780 ó 30 ms produciendo un ACE de 1030 ó de 280 ms. A continuación se desaparece uno de los círculos un intervalo  $\Delta T$  variable que se corresponde con los diferentes valores de LAG. A este evento le sucede la desaparición del otro círculo por lo cual se muestra la máscara sola. Esta permanece en pantalla durante 200 ms más.

Se presentaron un total de 360 ensayos, combinando de forma aleatoria las condiciones de ACE y LAG, así como el lado del cambio en la tarea de JOT, de modo que el sujeto no podía predecir la condición experimental. Tal como se explicó en materiales y métodos generales, antes de comenzar la prueba los sujetos realizaban un pequeño entrenamiento donde se comprobó si habían entendido la tarea.

### 4.3. Resultados

Un sujeto fue excluido del análisis ya que no reportó estímulos ‘izquierda-primero’ durante las condiciones de alta carga atencional. En un examen posterior practicado con la técnica de RMN, en este participante se detectó una anomalía cerebral asintomática.

La tarea de decisión lexical fue realizada con precisión por todos los sujetos. La exactitud promedio obtenida fue del 96% (DE=1.7).

En la figura 9 se presentan los resultados de la tarea de JOT para las dos condiciones de carga atencional. Para el ACE largo los sujetos identificaron con precisión cuál estímulo desaparecía primero en todos los valores de LAG. Inclusive en los intervalos de tiempo más cortos (de 30 ms) se obtuvieron porcentajes de aciertos cercanos al 90%, tanto para el hemisferio derecho como para el izquierdo, dibujándose una gráfica simétrica. Como era de esperar cuando se presentaban simultáneamente los dos círculos (LAG=0) los sujetos respondieron al nivel del azar.

Sin embargo, durante el ACE corto el rendimiento difiere comparado con el ACE largo en la capacidad de discriminación y ocurre un efecto de lateralización. Para el hemisferio visual derecho se observa una disminución en el rendimiento estadísticamente significativo sólo para el LAG de 60 ms, alcanzándose un rendimiento similar en el resto de los valores de LAG. Hacia la izquierda se observa que las curvas se separan mucho más que lo observado en el lado derecho, debido a que el rendimiento de los sujetos es peor para la izquierda en la condición de ACE corto, alcanzando valores de 60%, para los intervalos más cortos y sólo del 80% para los más largos. El análisis estadístico demostró que existen diferencias significativas entre los porcentajes de acierto para los valores de LAG de 90 y 60 ms. El rendimiento durante la desaparición simultánea en la condición de ACE corto

(56% de respuestas derecha-primero) indicó una tendencia a percibir que el círculo de la derecha desaparecía primero. En contraste durante el ACE largo hubo un 46% de respuestas derecha-primero lo que indica una tendencia a percibir que el círculo de la izquierda desaparecía primero. Esta diferencia fue significativa para  $p < 0.05$  (aunque no con el criterio de Bonferroni). Todos estos resultados indican que la atención estaba lateralizada hacia la derecha en presencia del PA durante el ACE corto.

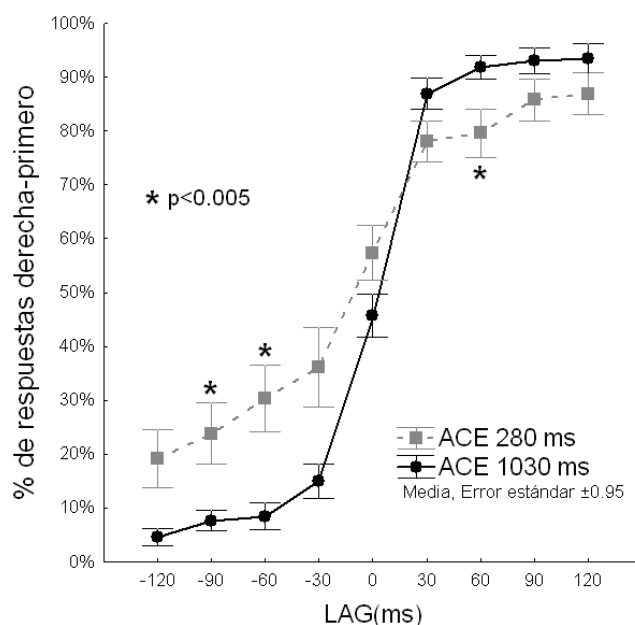


Figura 9. Rendimiento de los sujetos en la tarea de JOT. Cada punto representa la media del porcentaje de respuestas ‘derecha-primero’ y las barras representan la magnitud del error estándar. En línea gris discontinua se representan los valores para la condición de alta carga (ACE=280 ms) y en línea negra continua los valores para la condición de baja carga (ACE=1030 ms). Los asteriscos señalan los puntos donde hay diferencias significativas ( $p < 0.005$ ) entre las dos condiciones de ACE.

Con el objetivo de obtener una medida general de la precisión con que se realizaba la tarea, se calculó el valor DPJ para cada una de las curvas. La media del DPJ durante el ACE corto fue de 78.3 ms (DE=73.9), mientras que en el ACE largo fue de 33 ms (DE=14.6). Estos

dos valores resultaron significativamente diferentes ( $t=2.4$ ,  $p<0.04$ ,  $gl=12$ ), reflejando que en el ACE corto se necesitó una mayor separación temporal entre los estímulos para identificar con precisión cuál de ellos desapareció primero. Ese deterioro de la exactitud del desempeño concomitante con la alta carga atencional provocada por el ACE corto, demuestra que existió un PA.

Para obtener una medida de lateralización de la atención, se calculó el parámetro PSS para cada una de las curvas. La media de los valores de PSS para el ACE corto fue de 18.4 ms ( $DE=61.6$ ) y la obtenida para el ACE largo fue de 6.6 ms ( $DE=18.5$ ). La prueba t-Student no mostró que estos valores difirieran significativamente de cero. Por tanto, a diferencia de lo que ocurre con el análisis punto a punto de las curvas explicado anteriormente, el parámetro PSS no demuestra la existencia de una lateralización asociada al PA. Sin embargo, esto puede deberse a que el cálculo de los valores PSS requiere que los valores se ajusten a una distribución normal acumulativa, lo cual no se cumple para nuestros datos de la condición de ACE largo ( $W=0.78$ ,  $p<0.02$  en la prueba W de normalidad de Shapiro-Wilk con los valores de LAG promedio). Por lo tanto, en este experimento resulta más confiable el análisis estadístico de la curva punto a punto, cuasi-no paramétrico, que no requiere el cumplimiento de ese supuesto.

#### **4.4. Discusión**

En condiciones de baja carga atencional (ACE largo), la tarea de JOT se realizó con exactitud. En cambio, en la condición de alta carga (ACE corto) la información acerca de los “tiempos de arribo”<sup>149</sup> fue defectuosa debido al PA y se produjo una disminución del rendimiento general. El análisis estadístico de las diferencias entre las curvas de ACE corto y ACE largo demuestra claramente que, durante las condiciones de PA (ACE corto) se



juzgó más veces que el estímulo de la derecha era el primero en desaparecer en comparación con las condiciones normales de atención (ACE largo). Los resultados indican que para el lado izquierdo los porcentajes de aciertos en la condición de PA son menores que en la condición de baja carga atencional para dos de los valores de LAG, mientras que a la derecha sólo son diferentes en un valor de LAG. Este efecto durante el PA sugirió una tendencia atencional hacia la derecha. Por tanto, la predicción planteada en la introducción de este trabajo se confirmó. Las condiciones de alta carga atencional (i.e. PA) provocaron un cambio de la atención hacia la derecha.

La disminución de la precisión en la tarea de JOT no es simétrica, lo que excluye dos posibles explicaciones para este fenómeno. Una es la posibilidad de que hubiera una falla más general en el desempeño del JOT. Si el sujeto respondiera al azar debido a una ceguera provocada por el PA para los estímulos presentados en el JOT, el número de respuestas ‘izquierda-primero’ y ‘derecha-primero’ debería haber sido aproximadamente igual, pero esto no fue así. Igualmente hubiera sucedido si el menor desempeño en el JOT se hubiera producido por un efecto de enmascaramiento del estímulo T1 sobre los estímulos de JOT, el cual ocurre a un nivel sensorial anterior a la atención <sup>25,191</sup>. Nuestros resultados además indican que los estímulos ‘derecha-primero’ fueron percibidos en el orden correcto en una proporción mayor que los ‘izquierda-primero’. Esto sugiere que la reducción de los recursos atencionales no sólo aumentó el grado de incertidumbre en las respuestas, sino que conllevó a un desplazamiento de la atención hacia la derecha.

Descartamos la posible influencia de los movimientos oculares sobre los resultados obtenidos. Esto es posible debido a que la máxima diferencia de tiempo entre la ocurrencia de los estímulos laterales fue de 120 ms y el tiempo promedio necesario para ejecutar un

movimiento ocular es de 180 ms. O sea, que no existió tiempo suficiente para mover los ojos en determinada dirección (perjudicando un lado del espacio), antes de que los dos estímulos hubieran ocurrido <sup>134</sup>. Por otra parte, como nuestro primer estímulo es central, no atrajo la mirada hacia ninguno de los lados.

En resumen, los datos obtenidos en este experimento parecen confirmar nuestra hipótesis inicial de que el JOT se lateraliza en condiciones de PA. Sin embargo, el haber utilizado una tarea de naturaleza verbal como el estímulo T1 complica la interpretación de los resultados. Es posible preguntarse si la lateralización de la atención hacia la derecha depende de la naturaleza lingüística de la primera tarea. Es conocido que existe lateralización hemisférica de las funciones cognitivas. El izquierdo está más relacionado con el procesamiento verbal, el procesamiento matemático y lógico <sup>156</sup>, mientras que el derecho es dominante en el reconocimiento espacial <sup>155</sup> y el reconocimiento de formas <sup>62</sup>.

Por tanto, se ha postulado que los sesgos espaciales pueden emerger debido al incremento o reducción en el nivel de activación de un hemisferio con respecto al otro producto de la naturaleza de la tarea que se realiza <sup>13</sup>. Según esta hipótesis, si el estímulo T1 activa preferentemente uno de los dos hemisferios cerebrales, orientará la atención a posteriori hacia el hemicampo visual que ese hemisferio procesa. Aplicado a nuestro paradigma, si se usa un primer estímulo de naturaleza verbal, el cual se procesa en el hemisferio izquierdo, pudiéramos explicar el sesgo hacia la derecha en el JOT por la pre-activación del hemisferio izquierdo.

Para descartar esta posible explicación diseñamos un experimento similar en el cual empleamos como estímulo T1 una tarea espacial, el cual se explica a continuación.

## **5. EXPERIMENTO 2**

### **5.1. Introducción**

En el experimento anterior utilizamos como primera tarea, una decisión lexical sobre palabras escritas. Las funciones del lenguaje están lateralizadas en el hemisferio cerebral izquierdo <sup>175</sup> por lo que según el modelo de Kinsbourne <sup>53</sup> la naturaleza de este T1 pudo haber pre-activado recurrentemente el hemisferio cerebral izquierdo favoreciendo la atención sobre el hemicampo visual derecho en el JOT. Para determinar si el cambio atencional hacia la derecha se debió a la naturaleza verbal del primer estímulo o si ocurre de forma general en las condiciones de PA, en este experimento utilizamos como primera tarea la discriminación de un cambio de forma local. Esta tarea tiene una naturaleza espacial y un procesamiento preferencial en el hemisferio derecho <sup>192,193</sup> por lo cual debería provocar un cambio de la atención hacia la izquierda. En la figura 10 se muestra las predicciones según el modelo de Kinsbourne.

Por otra parte, en el experimento anterior se comprobó la presencia del PA mediante la comparación entre el ACE corto y ACE largo <sup>9</sup>, pero existe otra manera de constatar su presencia. Esta consiste en comparar la condición de ACE corto con otra condición donde se le pida al sujeto que ignore T1 <sup>90</sup>. En esta comparación la precisión en el ACE corto deberá mostrar una disminución significativa. La adición de un bloque donde se pida ignorar el T1 tiene la ventaja adicional de permitirnos una comparación entre los dos valores de ACE (largo y corto). Esto garantizará eliminar la posibilidad de que el resultado observado se debiera a un efecto de enmascaramiento del primer estímulo sobre el segundo, es decir, debido a un efecto sensorial de más bajo nivel y que no fuera atencional <sup>25,191</sup>.

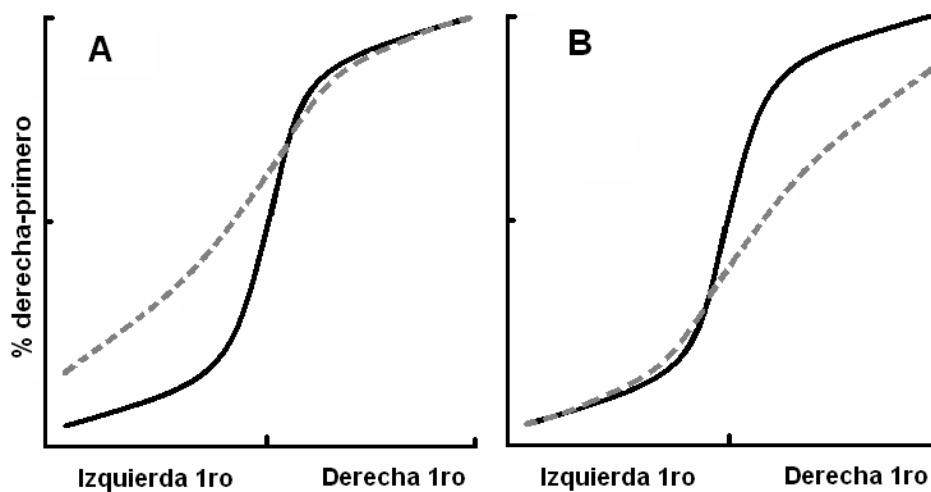


Figura 10: Predicciones derivadas del modelo de Kinsbourne. En línea negra continua representamos el rendimiento en el JOT sin perturbar la atención con una carga atencional, y en línea gris discontinua lo predicho según este modelo. En el panel A se representa el efecto esperado si el sesgo de la atención responde a una pre-activación del hemisferio izquierdo debido a un T1 de naturaleza verbal, tal como se utilizó en el Experimento 1. En el panel B se representa lo que ocurriría si el sesgo de la atención respondiera a la pre-activación del hemisferio cerebral derecho debido a la naturaleza espacial del T1 en este Experimento 2.

Para ello utilizamos dos bloques de estimulación idénticos, pero en uno se le pidió a los sujetos atender al T1 (Atiende-T1) y en el otro que lo ignorase (Ignora-T1), manteniendo los dos mismos valores de ACE corto y largo. Si los efectos obtenidos en el JOT se deben a un enmascaramiento también deberían aparecer en el ACE corto del bloque Ignora-T1. En cambio si cuando se ignora T1 el desempeño de los sujetos no difiere entre los dos valores de ACE quedaría demostrada la naturaleza atencional del efecto.

Adicionalmente se cambió la modalidad de la tarea JOT pidiéndole al sujeto que identificara cuál de dos estímulos aparecía primero (modalidad encendido) en vez de preguntar cuál era el que desaparecía primero como en el Experimento 1.

En este experimento cumplimos el objetivo de esclarecer si la dirección del sesgo espacial en el JOT es igual ante una primera tarea lexical y una tarea espacial. Y también comprobamos la naturaleza atencional del PA con el método tradicional de ignorar a T1 y determinamos la influencia sobre nuestros resultados del JOT en modalidad de encendido.

## **5.2. Materiales y Métodos**

Participantes: Aplicamos este paradigma en una muestra de 14 sujetos sanos (ver Tabla 1 materiales y métodos generales).

Tarea de discriminación de forma local: Consistió en la presentación de un cuadrado central que subtendía un ángulo visual de  $0.8^\circ$ . En el centro del cuadrado había un rombo negro y que servía como punto de fijación. Una de las cuatro esquinas del rombo desaparecía. El sujeto debía reportar cuál esquina desapareció.

Tarea de JOT: Consistió en la presentación de dos barras laterales simétricas, colocadas en posición horizontal sobre la línea media. Las barras subtendían un ángulo visual vertical de  $0.1^\circ$  y horizontal de  $1.4^\circ$ , y estaban colocados a una distancia de  $0.4^\circ$  de ángulo visual con respecto a los bordes exteriores del cuadrado central. Una de las barras aparecía primero y luego de un breve intervalo de tiempo aparecía la segunda. El sujeto debía reportar el lado en el cual aparecía la primera barra ('derecha-primero' o 'izquierda-primero').

La secuencia de eventos en cada ensayo fue la siguiente (ver figura 11). Para comenzar aparecía en la pantalla el cuadrado, que se mantenían hasta que el sujeto iniciaba el ensayo pulsando la tecla de barra-espaciadora. Después de un intervalo de 300 ms, una de las cuatro esquinas del rombo interior desaparecía (T1) durante 30 ms, pasados los cuales se reponía la esquina perdida. El tiempo de post-estímulo fue de 250 ms para la condición de alta carga (ACE=280 ms) y de 1000 ms para la condición de baja carga (ACE=1030 ms).

Seguidamente era presentada la tarea de JOT y la primera barra aparecía (a la izquierda o al derecha de forma aleatoria) durante un tiempo ( $\Delta T$ ) variable (LAG de 0, 30, 60, 90 ó 120 ms) pasado el cual aparecía la segunda barra. Nótese que cuando el LAG es igual a cero las dos barras aparecían simultáneamente. Después que las dos barras aparecían, el cuadrado y las barras permanecían en pantalla hasta que se completaran los 1500 ms desde el inicio del ensayo. Una vez pasado este tiempo el sujeto daba sus respuestas. Primero indicaba cuál esquina del rombo había desaparecido, si arriba, abajo, izquierda o derecha pulsando la tecla flecha-arriba, flecha-abajo, flecha-izquierda o flecha-derecha respectivamente. La desaparición de la esquina del rombo estuvo contrabalanceada en las cuatro direcciones, en el caso de influir en la atención posterior lo hizo uniformemente y ningún efecto es explicable por ella. En la segunda respuesta se respondía si la aparición de la barra había sido ‘derecha-primero’ (tecla flecha-derecha) o ‘izquierda-primero’ (tecla flecha-izquierda). Se presentaron dos bloques, cada uno compuesto por 360 ensayos. En un tipo de bloque se les pedía a los sujetos que ejecutaran las dos tareas, y se le llamó bloque Atiende-T1. En el otro tipo de bloque se le pedía a los sujetos que ignoraran el primer estímulo o T1, por tanto, contienen una baja carga atencional. A estos bloques se les denominó “Ignora-T1”. En este bloque se le pedía al sujeto que para responder al T1 pulsara siempre la misma tecla (flecha-arriba). Para facilitar que el T1 fuera ignorado la esquina que se desaparecía fue siempre la misma (la esquina superior). Nótese que en esta condición no hay diferencias de carga atencional entre el ACE corto y el ACE largo. El orden de aplicación de los bloques estuvo contra-balanceado.

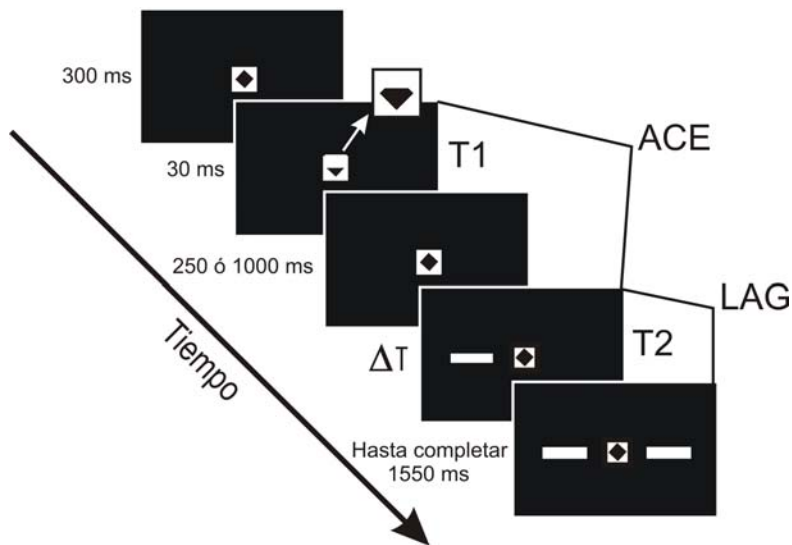


Figura 11: Secuencia y tiempo de presentación de los estímulos empleados en el Experimento 2. Los círculos laterales y la máscara se mantienen 300 ms después de apretada la tecla de inicio. Luego el rombo interior del cuadrado central pierde una de sus esquinas 30 ms. Efecto que se logra convirtiendo a color blanco 16 píxeles en cualquiera de sus ángulos. La imagen con la esquina repuesta se presenta entonces durante 250 ó 1000 ms produciendo un ACE de 280 ó de 1030 ms. A continuación aparece una de las barras por un intervalo  $\Delta T$  variable que se corresponde con los diferentes valores de LAG. Le sucede a este evento la aparición de la otra barra permaneciendo todos los elementos presentados hasta que se completan 1550 ms con respecto al inicio de la secuencia.

### 5.3. Resultados

#### 5.3.1. Bloque Ignora-T1

En la figura 12A se presentan los resultados de la tarea de JOT para el bloque Ignora-T1. Debido a que atender a T1 es un requisito indispensable para que se produzca un PA, en este bloque el efecto de PA no era esperado. Se observa un desempeño muy similar en los dos tipos de ACE, obteniéndose dos curvas superpuestas y sin diferencias significativas en los valores de LAG en el JOT. En ambos casos, los mayores porcentajes de aciertos se obtenían para los mayores valores de LAG lo que indica que resultaba más fácil identificar

cuál fue el primer estímulo del JOT en aparecer en la medida que el tiempo de separación entre los dos era mayor. La gráfica no es simétrica ya que los porcentajes de acierto fueron mayores para lado izquierdo en todos los valores de LAG.

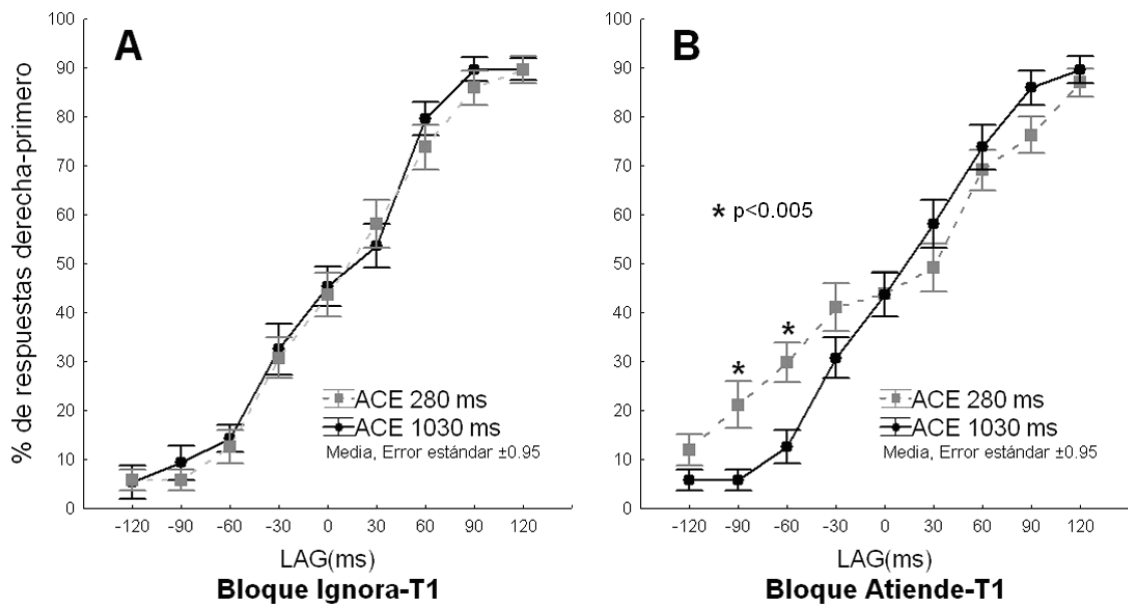


Figura 12: Rendimiento de los sujetos en la tarea de JOT. El panel A corresponde al bloque en que el primer estímulo debe ser ignorado y sólo se ejecuta la tarea de JOT. El panel B corresponde al bloque donde se ejecutan las dos tareas. Cada punto representa la media del porcentaje de respuestas 'derecha-primero' y las barras representan la magnitud del error estándar. En línea negra continua se representan los valores para la condición de ACE largo y en línea gris discontinua los valores para la condición de ACE corto. Los asteriscos señalan los puntos donde hay diferencias significativas entre las dos condiciones de ACE.

Con el objetivo de obtener una medida general de la precisión con que se realizaba la tarea, se calculó el valor DPJ para cada una de las curvas. La media del DPJ durante el ACE corto fue de 36.6 ms (DE=21.7), muy similar a la media de 35.3 ms (DE=25.7) en el ACE largo. No se encontró una diferencia en la comparación estadística, reflejando que en cada ACE se necesitó el mismo tiempo entre los estímulos para identificar con precisión cuál de ellos



desapareció primero, es decir la manipulación del ACE no tuvo efecto sobre la precisión en el JOT cuando el sujeto ignoraba el primer estímulo, indicando la ausencia de PA.

Para obtener una medida de lateralización de la atención, se calculó el parámetro PSS para cada una de las curvas. La media de los valores de PSS para el ACE corto fue de 16.3 ms (DE=22.3) y la obtenida para el ACE largo fue de 17.7 ms (DE=16.7). Las distribuciones de estos valores estuvieron significativamente desplazadas hacia valores mayores que cero tanto en el ACE corto ( $t=2.7$ ,  $p<0.02$ ,  $gl=13$ ) como en el ACE largo ( $t= 4.0$ ,  $p<0.002$ ,  $gl=13$ ). Esta diferencia significativa indica que la simultaneidad subjetiva se logró cuando el estímulo de la derecha se presentaba ligeramente antes que el de la izquierda, y no para el LAG cero, lo que sugiere una preferencia atencional hacia la izquierda consistente con el fenómeno de la pseudonegligencia.

### **5.3.2. Bloque de Atiende-T1**

La discriminación del cambio de forma local en el bloque Atiende-T1 tuvo una exactitud promedio del 91% (DE=5.5), lo cual representa un buen nivel de discriminación.

En la figura 12B se presentan los resultados del bloque Atiende-T1 para las dos condiciones de carga atencional, en la tarea de JOT. En ambos tipos de ACE se observan mayores porcentajes de aciertos para los mayores valores de LAG lo que indica una mayor facilidad para identificar el primer estímulo del JOT en la medida que el tiempo de separación con el segundo es mayor. Durante la presentación simultánea (LAG=0) el desempeño en los dos tipos de ACE es prácticamente idéntico, reportándose 43% de las veces derecha primero. La curva del ACE largo es muy semejante a las obtenidas en el bloque Ignora-T1 y son esencialmente simétricas.

Para el ACE corto la capacidad de discriminación disminuye y ocurre un efecto de lateralización en el JOT. Para el hemicampo visual derecho no se observa una disminución en el rendimiento estadísticamente significativa comparada con el ACE largo. Hacia la izquierda se observa que el rendimiento disminuye significativamente para los LAG de 90 y 60 ms, cayendo desde el 95 y 90% hasta el 80 y el 70% respectivamente. Todos estos resultados indican que la atención estaba lateralizada hacia la derecha en presencia del PA. Es decir, aún cuando la tarea es de naturaleza espacial, se mantiene la lateralización de la atención a la derecha, similar a la obtenida en el Experimento 1. Nótese que los datos se corresponden al patrón correspondiente a la figura 10A y no a los resultados predichos para este experimento según el modelo de Kinsbourne.

La media de los valores de DPJ que representan la precisión con que se ejecuta la tarea, fueron de 78 ms (DE=68.7) durante el ACE corto y de 46 ms (DE=36.7) durante el ACE largo, reflejando que en el ACE corto se necesitó una mayor separación temporal entre los estímulos del JOT para identificar con precisión cuál de ellos desapareció primero. No obstante, la diferencia entre ellos no fue estadísticamente significativa. Nótese que la precisión en la tarea durante el ACE largo es mucho menor que el obtenido en la tarea verbal del Experimento 1, lo que indica que la misma es más difícil y cambia la forma de la curva.

La media de los valores de PSS para el ACE corto fue de 6.7 ms (DE=22.4) y para el ACE largo fue de 17.6 ms (DE=35.9). Los valores positivos de PSS para el ACE largo diferían significativamente de la media ideal cero ( $t=2.93$ ,  $p<0.05$ ,  $gl=13$ ), es decir, para percibir la simultaneidad subjetiva el estímulo de la derecha debía ser presentado antes que el de la izquierda. Este fenómeno también fue encontrado en el bloque Ignora-T1 donde de forma

similar existía una baja carga atencional. Este resultado es consistente con la existencia de una pseudonegligencia que se ha descrito previamente en tareas específicas de lateralización espacial, y constituye un hallazgo de este fenómeno en tarea de JOT. Sin embargo, en el ACE corto no hubo diferencia de la media cero, indicando que la simultaneidad fue percibida cuando los dos estímulos fueron presentados a la vez. Esta atenuación del sesgo atencional hacia la izquierda, constituye un cambio atencional hacia la derecha bajo las condiciones de PA.

Buscando posibles efectos producidos por la fatiga debido al tiempo de ejecución de la tarea, los ensayos de cada bloque fueron divididos en dos mitades sucesivas las cuales se compararon entre sí. Se pudo comprobar que no hubo diferencias entre los primeros y los últimos ensayos de cada bloque en cuanto a los “% derecha-primero”, por lo que la fatiga no tuvo efectos sobre los resultados. Los resultados obtenidos tampoco estuvieron influidos por el orden de presentación de los bloques, ya que los “% derecha-primero” fueron similares independientemente de si uno u otro bloque se presentaba de primero o de segundo.

### **5.3.3. Comparación entre bloques**

Puede considerarse que la condición para la cual hay más atención disponible es en el bloque Ignora-T1 en el ACE más largo. Por otro lado el momento en que menos recursos atencionales debe haber para el JOT debe ser la condición cuando se atiende T1 y el ACE es corto, por eso comparamos estas dos condiciones. Cuando se comparan los valores de DPJ en el ACE corto del bloque Atiende-T1 y los valores de DPJ obtenidos en el ACE largo del bloque Ignora-T1 se obtuvo una diferencia significativa ( $t=2.4$ ,  $p<0.04$ ,  $gl=13$ ), la cual confirmó que en las condiciones de ACE corto en el bloque Atiende-T1 los sujetos

requerían más tiempo entre la aparición de los dos estímulos para responder correctamente. Estas son las condiciones en las cuales los recursos atencionales disponibles para el procesamiento de JOT difieren más y por lo tanto la diferencia entre ellas evidencia la presencia de un efecto de PA.

#### **5.4. Discusión**

Los resultados de este experimento demuestran que: 1) cuando se ignora T1 no existen diferencias en el desempeño de los sujetos, lo que demuestra que el efecto que estudiamos es atencional. 2) en condiciones de alta carga atencional (PA) se produjo un desplazamiento de la atención hacia la derecha, en el mismo sentido que se produjo en el Experimento 1, lo que implica que esta lateralización no depende de la naturaleza de la primera tarea. 3) en condiciones de baja carga se evidenció una pseudonegligencia similar a la descrita en tareas de lateralización espacial. 4) Adicionalmente, el hecho de que el desplazamiento de la atención se produjera en el JOT usando la aparición de estímulos y no la desaparición como en el Experimento 1, demuestra la robustez del fenómeno y su independencia de factores sensoriales de bajo nivel.

El efecto de la atención sobre el desempeño en la tarea resulta un hallazgo importante. Cuando se pidió ignorar a T1 no aparecieron diferencias en el rendimiento de los sujetos en diferentes condiciones de carga atencional (ACE corto y ACE largo). Esto indicó que no se producían efectos sensoriales de bajo nivel como el enmascaramiento<sup>25</sup>, ya que este no se afecta si la atención se le retira al estímulo que enmascara. Por lo tanto, confirmamos que nuestros resultados son consecuencia exclusiva de factores atencionales y similares a los efectos de PA descritos en la literatura<sup>9,105,111</sup>.

Existieron diferencias entre los resultados obtenidos en el Experimento 1 y 2, como fueron una disminución general de la exactitud en el JOT y la aparición del fenómeno de la pseudonegligencia. La disminución de la exactitud pudiera ser explicada por un aumento en la dificultad de discriminar a T1. Los sujetos del primer experimento realizaron la tarea verbal (habilidad altamente automatizada y con mucha práctica) con un 96% de efectividad mientras que los sujetos del segundo experimento tuvieron una precisión media para discriminar T1 del 91% (la tarea era novedosa exigiendo la percepción de detalles finos). Esta significativa diferencia en el desempeño ( $t=3.1$ ,  $p<0.005$ ,  $gl=26$ ), evidencia que la dificultad de la tarea espacial era mayor. Para equiparar ambas tareas en cuanto al grado de dificultad sería necesario un proceso de calibración. Es posible explicar la disminución general de la exactitud en el JOT para el Experimento 2, por la mayor dificultad en la discriminación de T1, tal y como se ha demostrado en otros paradigmas de PA<sup>99</sup>.

La tarea empleada en el Experimento 2 se asemejaba más a las utilizadas en los estudios de pacientes con negligencia<sup>27</sup> y dislexia<sup>44,80</sup>, en el sentido de que los estímulos presentados eran barras horizontales en lugar de círculos y aparecían en la pantalla en lugar de desaparecer. No obstante, replicamos lo obtenido en el Experimento 1, lo cual facilita la comparación con otros estudios que emplearon tareas de JOT descritos en la literatura<sup>27</sup>  
44,80.

Por otra parte, el hecho de que el estímulo se encendiera en lugar de apagarse puede haber influido en las diferencias de rendimiento de los sujetos en la tarea de JOT. Está descrito que la atención visual retrasa la percepción de la desaparición de los estímulos<sup>194</sup> y también se conoce que los estímulos al irrumpir en el campo visual captan mejor la atención que los que desaparecen<sup>3</sup>. Por tanto el JOT en encendido debió ser más fácil de

ejecutar, lo que no sucedió en nuestro experimento. Entonces, en el caso de que el encendido del estímulo influyera sobre el desempeño en el JOT, no se puso de manifiesto en nuestros datos.

De manera interesante, durante las condiciones de atención que no eran de alta carga (las del bloque Ignora-T1 y en Atiende-T1-ACE-largo), apareció un sesgo espacial hacia la izquierda consistente con el fenómeno de la pseudonegligencia <sup>19</sup>. El sesgo natural de la pseudonegligencia, ha sido explicado en términos de la teoría de Kinsbourne <sup>195</sup>. Esto se debe a que la pseudo-neglencia se observa en una amplia gama de tareas espaciales <sup>196-198</sup>, como por ejemplo la bisección de líneas. Como las tareas espaciales de forma muy preferente activan el hemisferio derecho, al ser ejecutadas la atención se movería hacia la izquierda <sup>195</sup>. El juicio de orden temporal requiere una discriminación de tiempo y se ha reportado que el desempeño de los sujetos es muy simétrico, no siendo de nuestro conocimiento que la pseudonegligencia se reflejara en las tareas de JOT.

No obstante a que la tarea espacial de T1 haya provocado una tendencia a atender más hacia la izquierda en condiciones normales de atención, esta se revirtió durante las condiciones de alta carga atencional. La tendencia atencional que obtuvimos no va en el sentido izquierdo preactivado por T1, lo cual quiere decir que el cambio atencional hacia la derecha producido por la alta carga de procesamiento, se mantiene de forma independiente a la naturaleza del T1. La curva predicha según el modelo de Kinsbourne para el efecto de la carga atencional sobre el JOT en este experimento está representada en la figura 10B. Recordamos que la discriminación de T1 en este caso es de naturaleza espacial (no-verbal) y por tanto debe pre-activar el hemisferio derecho. Si el desplazamiento del sesgo espacial obedece a la activación preferencial de un hemisferio se esperaría este resultado teórico. Sin

embargo, el resultado mostrado en la figura 12B no se corresponde con esta predicción, más bien produce el efecto representado en la figura 10A que además es el resultado obtenido en el Experimento 1 con una T1 de naturaleza verbal.

En conclusión, este experimento ratifica que existe un cambio atencional hacia la derecha independiente de la naturaleza de la tarea. Sería útil examinar desde el punto de vista electrofisiológico los mecanismos de la atención que están involucrados en el cambio atencional hacia la derecha en condiciones de alta carga atencional.

## **6. EXPERIMENTO 3**

### **6.1. Introducción**

Hemos visto como la alta carga atencional inducida por una primera tarea favorece los JOT hacia la derecha. Varios estudios han mostrado que los pre-avisos exógenos de un lado del campo visual favorecen los JOT en el sentido del lado pre-avisado<sup>30,142,143,147,199</sup>. Como en nuestro estudio la manipulación de la atención fue no-lateralizada ya que el T1 se presentó centralmente y sin llamar la atención hacia un lado, nos preguntamos si los cambios atencionales por avisos espaciales compartirían los mismos mecanismos neurales que el cambio inducido por alta carga atencional.

Los mecanismos de expresión atencional podían ser similares dado que los pre-avisos espaciales lateralizados y el PA inducen un mismo fenómeno subjetivo en el orden temporal. Debe ser notado sin embargo que los pre-avisos espaciales dirigen la atención de forma explícita hacia un lado del espacio visual (procesos abajo-arriba). Por el contrario, el cambio hacia la derecha de las capacidades atencionales residuales que hemos descrito se induce de forma implícita, ya que no existía ninguna señal de aviso lateralizado (procesos arriba-abajo). Por lo tanto era más difícil predecir la implicación de los mecanismos atencionales anticipatorios.

En este estudio empleamos un diseño similar al de los otros experimentos y de forma simultánea recogíamos el EEG. Se midieron los cambios en el poder espectral de la banda alfa mientras ejecutaban una tarea de JOT, en condiciones de alta y baja carga atencional, con el objetivo de determinar si la tendencia atencional hacia la derecha se relacionaba con una respuesta cerebral asimétrica. Más específicamente, buscamos una supresión del poder de la banda alfa del EEG en el hemisferio izquierdo y/o un aumento de este poder en el



hemisferio derecho. Si ocurrieran asimetrías en la banda alfa con anticipación al JOT (o en su ausencia), entonces podrían estar involucrados los mecanismos de control atencional. Si ocurrieran después de la presentación del JOT, entonces sería más probable que estuviesen involucrados los mecanismos de expresión de la atención.

## **6.2. Materiales y Métodos**

Participantes: Aplicamos este paradigma en una muestra de 20 sujetos sanos (ver Tabla 1 materiales y métodos generales).

Tarea de discriminación de forma local: Similar a la del Experimento 2, indicar cuál esquina del rombo desaparecía.

Tarea de JOT: Consistió en la presentación sobre la línea media de dos círculos laterales y simétricos, con radio de  $0.7^\circ$ . Uno de ellos aparecía primero y luego de un breve intervalo de tiempo aparecía el segundo. El sujeto debía reportar el lado en el cual aparecía el primer círculo ('derecha-primero' o 'izquierda-primero').

En este experimento incluimos dos tipos de ensayos, uno donde se presentaba sólo la tarea de discriminación de forma (ensayos que llamamos Sólo-T1) y otro donde se presentaban las dos tareas combinadas como en los experimentos anteriores. Se presentaron dos bloques de estimulación cada uno compuesto por los dos tipos de ensayos mezclados de forma aleatoria. En un bloque se le pedía al sujeto que atendiera a T1 (bloque Atiende-T1) y en el otro se le pedía que ignorara T1 (bloque Ignora-T1). El orden de los bloques se contrabalanceó a través de los sujetos.

El total de ensayos en cada bloque fue de 400 y estuvieron distribuidos de la siguiente manera: 150 ensayos (37.5%) Sólo-T1 y 250 (62.5% restante) donde se presentaba la tarea

combinada. De los ensayos donde se presentaba la tarea combinada, los correspondientes al LAG cero constituían a su vez el 37.5% del total de los 400 ensayos. El resto de los ensayos (25%) estuvo distribuido de forma balanceada entre los cuatro valores de LAG restantes. El EEG se recogía de forma continua durante la realización de la tarea y se marcaban los momentos en que se presentaban los estímulos para su análisis posterior.

Ensayos Sólo-T1: La secuencia de eventos fue la siguiente. Para comenzar aparecía en la pantalla el cuadrado central, que se mantenían hasta que el sujeto iniciaba el ensayo pulsando la tecla de barra-espaciadora. Después de un intervalo de tiempo aleatorio (entre 500 y 800 ms), una de las cuatro esquinas del rombo desaparecía (el tiempo se aleatorizó para impedir la aparición de un componente motor en el EEG). Pasados 30 ms se reponía la esquina perdida. Cuando se completaban 650 ms desde el inicio del ensayo se emitía un tono por las bocinas de la computadora, colocadas enfrente al sujeto. El tono avisaba a los participantes de que podían dar las respuestas, asegurando no contaminar el registro. La respuesta consintió en indicar cuál esquina del rombo había desaparecido (arriba, abajo, izquierda, derecha) pulsando la tecla-flecha correspondiente a la dirección de la pérdida.

Ensayos con la tarea combinada, T1 y JOT: La secuencia de eventos en cada ensayo fue la siguiente (ver figura 13). Al comenzar aparecía en la pantalla la misma tarea de discriminación explicada para los ensayos Sólo-T1, consistente en la desaparición de una de las esquinas del rombo después de un intervalo de tiempo aleatorio. En estos ensayos en lugar de pasar a la señal de respuesta se presentaba a continuación la tarea JOT. El tiempo de post-estímulo de T1 fue de 250 ms, lo que representa un ACE=280 ms, capaz de provocar un PA. Seguidamente se presentaba el primer círculo de la tarea JOT, el cual aparecía (a la izquierda o al derecha de forma aleatoria) durante un tiempo ( $\Delta T$ ) variable

(LAG de 0, 90 ó 120 ms) pasado el cual aparecía el segundo círculo. Luego los dos círculos permanecían en la pantalla por 400 ms antes de desaparecer, quedando sólo el cuadrado central el cual nunca era retirado de la pantalla. Cuando se completaban 1180 ms desde el inicio del ensayo se emitía el tono de respuesta. En este caso el sujeto tenía que emitir dos respuestas, primero indicaba cuál esquina del rombo había desaparecido (arriba, abajo, izquierda, derecha) y después seleccionaba si la aparición del círculo había sido ‘derecha-primero’ (tecla flecha-derecha) o ‘izquierda-primero’ (tecla flecha-izquierda).

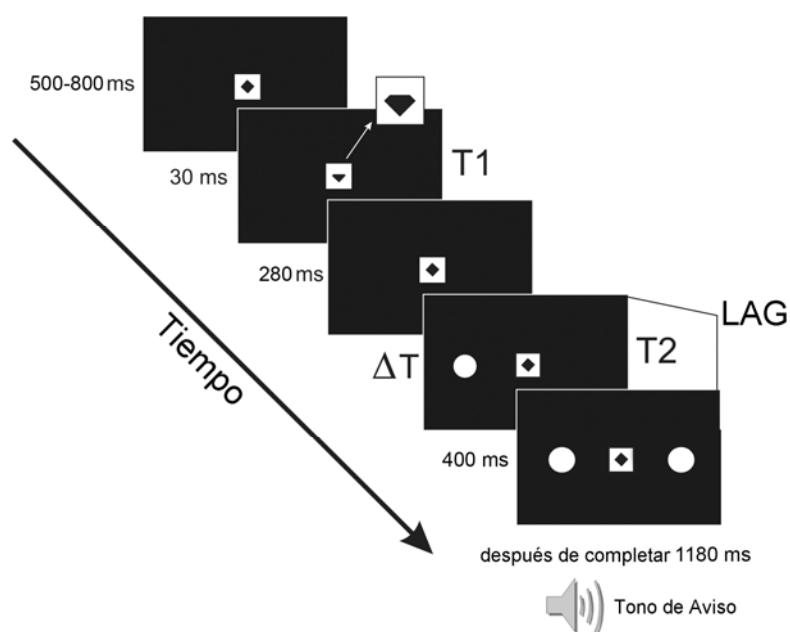


Figura 13. Secuencia y tiempo de presentación de los estímulos empleados en el Experimento 3.

### **6.3. Resultados**

#### **6.3.1. Conducta**

Los sujetos ejecutaron la tarea de discriminación del cambio de forma con una efectividad promedio del 95% (DE=5.4).

En la figura 14 se presentan los resultados de la tarea de JOT para las dos condiciones de carga atencional. Para la baja carga se obtuvo alrededor de un 85% de precisión en la respuesta para todos los valores de LAG, excepto en el LAG cero que las respuestas estuvieron al nivel del azar. De manera que la gráfica emerge simétrica. Sin embargo, durante el ACE corto el rendimiento de la capacidad de discriminación difiere comparado con el ACE largo y ocurre un efecto de lateralización. Para el hemisferio visual derecho los rendimientos son similares en ambas condiciones. Pero hacia la izquierda se observa que las curvas se separan mucho evidenciando que el rendimiento de los sujetos es peor para este lado que para la derecha bajo la misma condición de alta carga. En el lado izquierdo el rendimiento en la discriminación correcta alcanza sólo valores de 60% y 70%. El análisis estadístico demostró que existen diferencias significativas entre los porcentajes de acierto para los dos valores de LAG negativos. Todos estos resultados indicaron que la atención se lateralizó hacia la derecha en presencia del PA. La comparación entre la condición de alta y baja carga en cada valor de LAG resultó significativa en el LAG negativo de -90 ( $t=2.1$ ,  $p<0.04$ ,  $gl=19$ ) y en el de -120 ms ( $t=3.1$ ,  $p=0.006$ ,  $gl=19$ ), demostrando también el mismo desplazamiento de la atención.

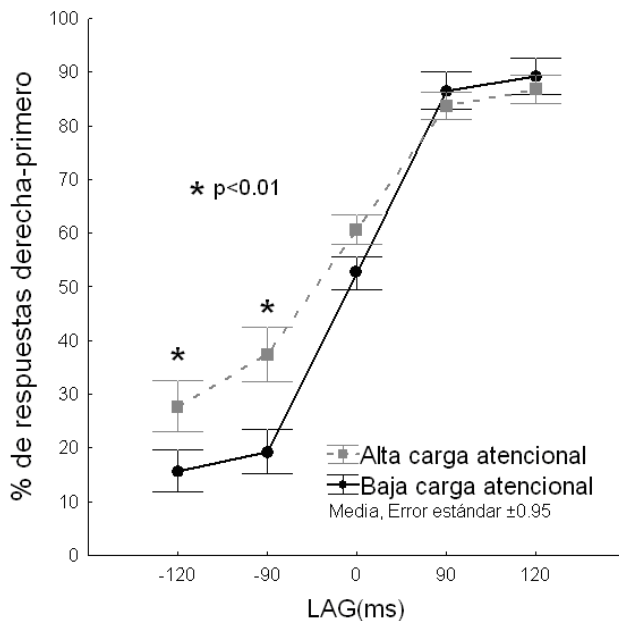


Figura 14. Rendimiento de los sujetos en la tarea de JOT. Cada punto representa la media del porcentaje de respuestas ‘derecha-primero’ y las barras representan la magnitud del error estándar. En línea gris discontinua se representan los valores para la condición de alta carga (Atiende-T1) y en línea negra continua los valores para la condición de baja carga (Ignora-T1). El asterisco señala el punto donde hay diferencias significativas entre las dos condiciones de atención ( $p < 0.01$ ).

Con el objetivo de obtener una medida general de la precisión con que se realizaba la tarea, se calculó el valor DPJ para cada una de las curvas. La media del DPJ durante la condición de alta carga atencional fue de 94.4 ms (DE=73.6), mientras que en la condición de baja carga fue de 53.1 ms (DE=33.7). Estos dos valores resultaron significativamente diferentes ( $t=2.7$ ,  $p < 0.02$ ,  $gl=19$ ), reflejando que en el ACE corto se necesitó una mayor separación temporal entre los estímulos para identificar con precisión cuál de ellos desapareció primero. Ese deterioro de la exactitud del desempeño en condiciones de alta carga atencional, demostró la existencia de un PA.

Para obtener la medida de lateralización de la atención, se calculó el parámetro PSS para cada una de las curvas. La media de los valores de PSS para la condición de baja carga fue cercana a cero, de -1.9 ms (DE=60.1) y la obtenida para la alta carga fue de -47.9 ms (DE=48.8). La prueba t-Student mostró que los valores de PSS de alta carga diferían significativamente de cero ( $t=-3.5$ ,  $p<0.01$ ,  $gl=19$ ), indicando que la simultaneidad subjetiva durante el PA se lograba cuando los estímulos de la izquierda aparecían primero. Por tanto, en las condiciones de PA ocurre un sesgo de la atención hacia la derecha.

### **6.3.2. Análisis de los cambios del poder espectral de la banda alfa**

El análisis de los resultados electrofisiológicos se realizó por separado para los dos tipos de ensayos, aquellos donde se presentaban las dos tareas combinadas (T1 y JOT) y aquellos donde sólo se presentaba T1.

#### **6.3.2.1 Tarea combinada T1 y JOT**

Para calcular la media del poder espectral alfa sólo se computaron los ensayos correspondientes al valor LAG=0 en la tarea de JOT.

El poder espectral (i.e. MPE) asociado a las condiciones de alta carga atencional y baja carga para cada electrodo se presenta en la figura 15A. Con el objetivo de analizar los cambios producidos en el EEG en función de las dos tareas presentadas al sujeto, se marcaron con línea de puntos verticales los valores de tiempo donde se presentaba el estímulo T1 (0 ms) y la tarea del JOT (280 ms). Como se observa en la figura, en los electrodos frontales no existieron grandes diferencias entre las dos condiciones de ACE, salvo para F7 donde se ve un ligero incremento del poder espectral para el ACE corto después del estímulo T1 y antes del JOT. Este mismo efecto se observa más claramente para los electrodos T3 y T4. Para los electrodos posteriores (T5, T6, P3, P4, O1 y O2) no se

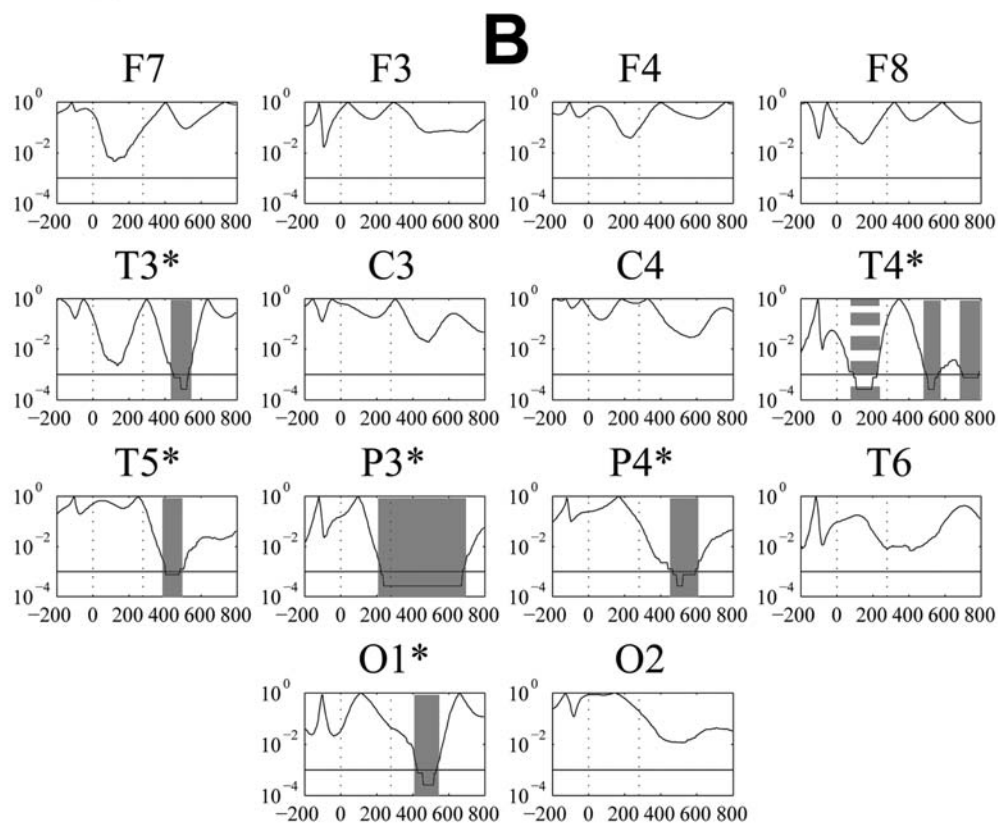
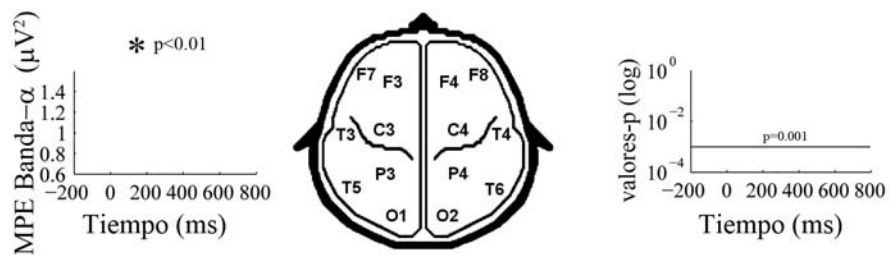
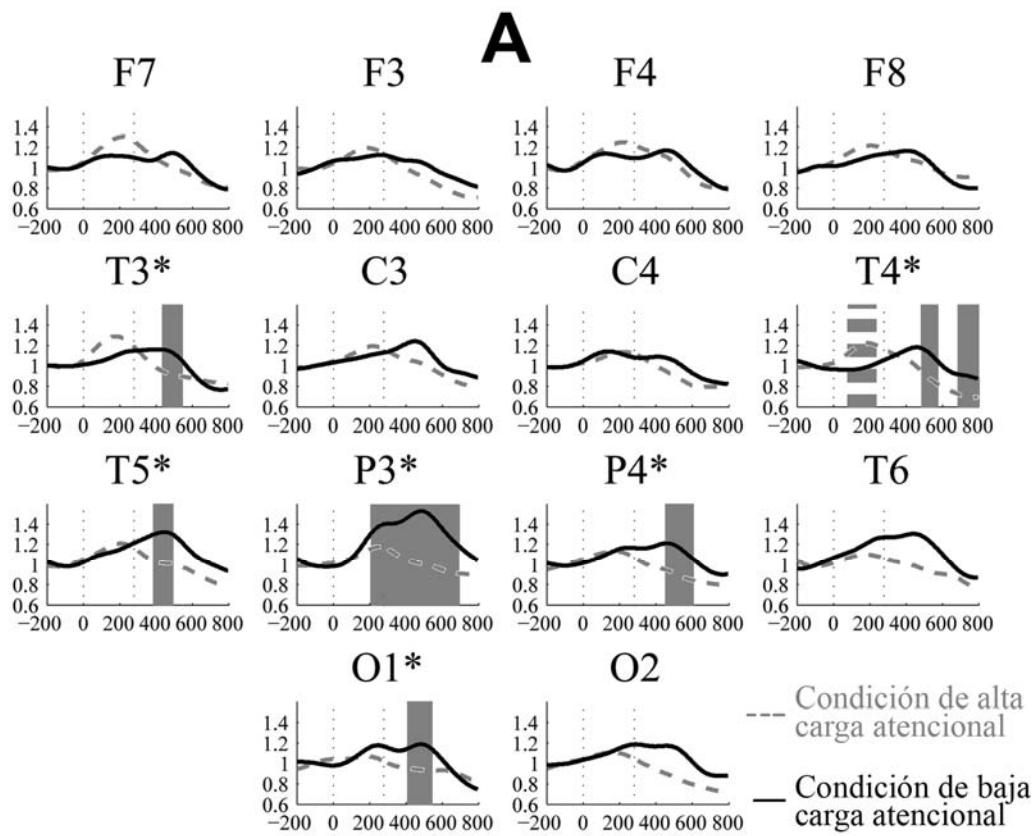
observa este incremento de poder espectral, sino que ocurre un decremento de poder espectral después del momento de presentación del JOT (a partir de 280 ms), manteniéndose esta caída hasta los 600 ms aproximadamente.

En la figura 15B, se presentan los resultados de la prueba estadística punto a punto para todos los instantes de tiempo y todos los electrodos, entre las condiciones. Para cada electrodo se muestra el resultado del análisis de las diferencias de poder espectral. Como se observa en la gráfica el incremento del poder espectral para la condición de alta carga sólo alcanza significación estadística en el electrodo T4 para el intervalo de tiempo entre 70 y 230 ms (zona gris discontinua). Intervalo de tiempo que se encuentra entre el T1 y el JOT. Por su parte, la disminución del poder espectral vista después de la presentación de la tarea de JOT se mostró significativa en varios electrodos (zona gris continua): T3 (desde 440 a 510 ms), T4 (500-560ms y 650-800ms), T5 (400-480ms), P3 (230-700ms), P4 (470-560ms) y O1 (430-540ms). Nótese que en P3, el efecto fue mayor que en P4 y la diferencia significativa comenzó más tempranamente que la presentación del JOT.

En resumen, encontramos un incremento del poder espectral de la banda alfa antes de la presentación de la tarea de JOT y un decremento de la misma después de su presentación, que ocurre fundamentalmente en los electrodos más posteriores. El primer efecto estuvo restringido a un sólo electrodo del hemisferio derecho (T4). El segundo a cuatro electrodos del hemisferio izquierdo (O1, T5, T3 y P3) y dos del derecho (T4 y P4) (marcados con asteriscos en la figura 15). Es decir, la modulación de la banda alfa es asimétrica, hay una sincronización (incremento) que antecede al JOT restringida al hemisferio derecho y una desincronización (disminución) más marcada hacia el hemisferio izquierdo lo que indica

una lateralización del poder espectral de la banda alfa relacionada con las condiciones de carga atencional.





*Figura 15. A) Curso de tiempo del gran promedio de la MPE de banda alfa en función de la condición atencional para todos los electrodos en los ensayos donde se presenta T1 y JOT. B) Los valores P de probabilidades en cada instante de tiempo obtenido de las pruebas de permutaciones univariadas buscando diferencias en el MPE de banda alfa entre las dos condiciones atencionales para todos los electrodos representados en el panel A. (Línea vertical valor de significación,  $p=0.001$ ). Marcados con asterisco los electrodos donde las MPE de alfa difirió significativamente ( $p<0.01$ ) entre condiciones para la ventana de tiempo mostrada. Líneas discontinuas verticales: momento de presentación de los estímulos, T1 en 0 ms y JOT en 280 ms.*

### **6.3.2.2 Tarea Sólo-T1**

Se presentan los resultados obtenidos en los ensayos donde ocurría el T1 pero no aparecía la tarea de JOT. Como se presentaban mezclados con los ensayos donde se presentaban las dos tareas, los sujetos se quedaban a la expectativa de la aparición del JOT.

En la figura 16 se muestra las curvas de poder espectral (i.e. MPE) para cada electrodo. En este caso se mantiene la sincronización del alfa que sigue al estímulo T1 y antes del JOT en el electrodo T4. El análisis estadístico de permutaciones demostró diferencias significativas de este incremento para la condición de alta carga atencional (ACE corto) en el intervalo de tiempo entre 70 a 100 ms. Este resultado replica exactamente lo encontrado en la tarea combinada T1 y JOT.

Adicionalmente, también apareció una desincronización de alfa durante la alta carga atencional en algunos electrodos en la región de tiempo entre 280 y 600 ms, a pesar de no haber presentado la tarea JOT (ver figura 16). Esta desincronización apareció en los electrodos O1 y F3, con significación estadística en los intervalos de tiempo 430 a 500 ms y desde 350 a 600 ms respectivamente. Como se observa esta vez de nuevo encontramos una coincidencia en la desincronización en el electrodo O1 con relación a la tarea combinada.

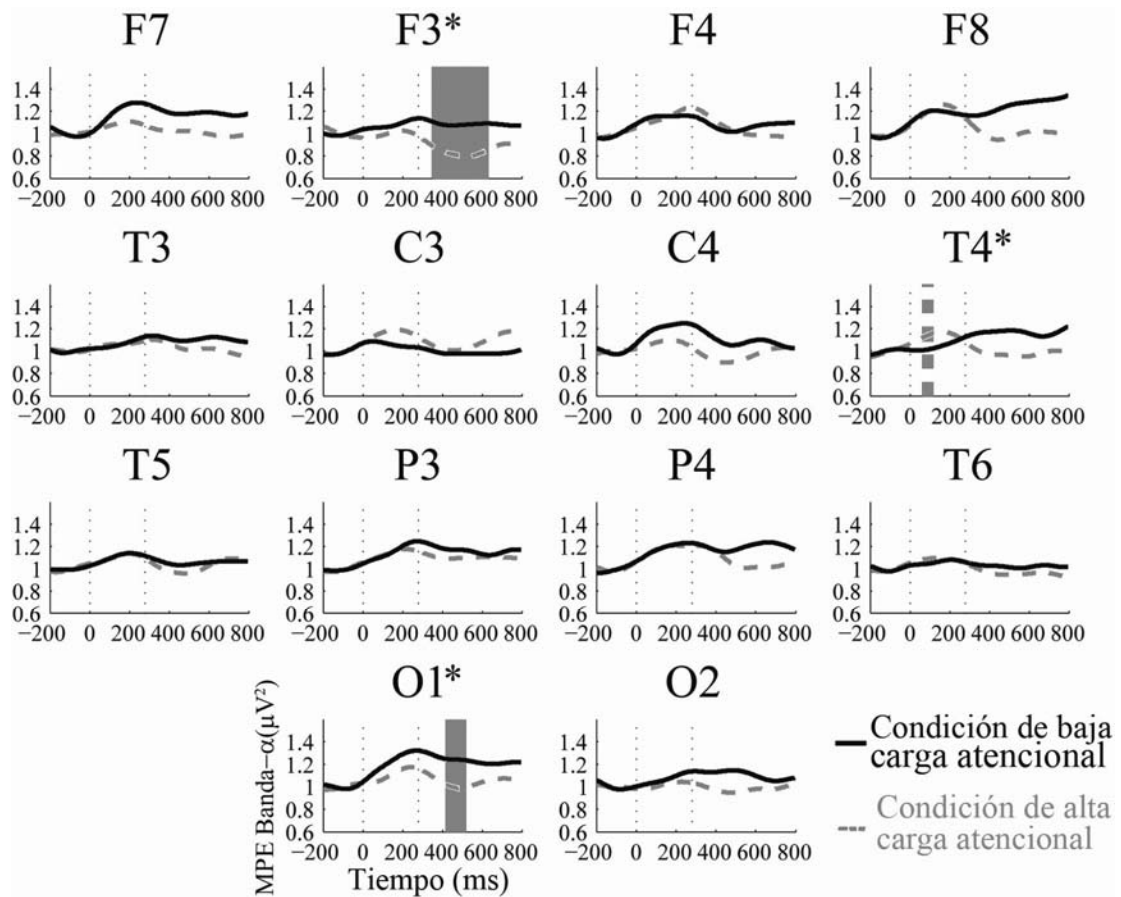
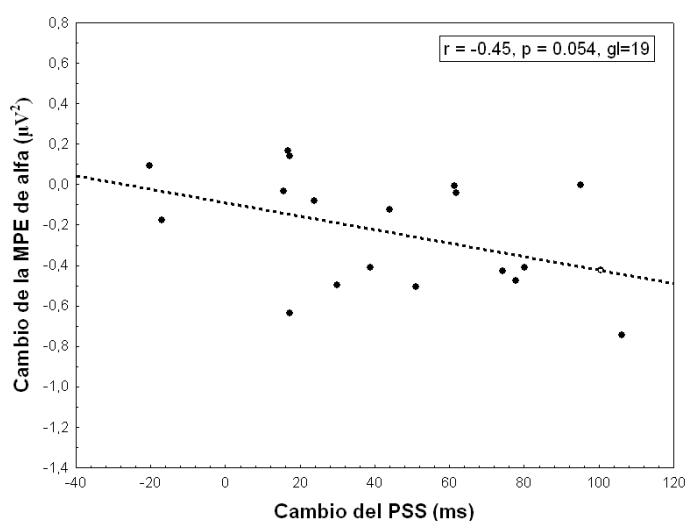


Figura 16. Curso de tiempo del gran promedio de la MPE de banda alfa en función de la condición atencional para todos los electrodos en los ensayos donde se presenta Sólo-T1. Marcados con asterisco los electrodos donde la MPE de alfa difirió significativamente ( $p < 0.01$ ) entre condiciones para la ventana de tiempo mostrada. Líneas discontinuas verticales: en 0 ms momento de presentación del estímulos T1, y en 280 ms donde hubiera correspondido la aparición del JOT. Áreas grises representan una  $p < 0.001$ .

### 6.3.2.3 Correlación electrofisiológica-conductual

Con el objetivo de buscar un vínculo entre el efecto atencional medido en la conducta y el efecto atencional electrofisiológico, se analizó la correlación entre los cambios debidos a la carga atencional en el PSS y en el poder espectral de alfa (i.e. MPE) en los dos tipos de tarea (T1 y JOT y Sólo-T1). Tanto el cambio en el PSS como el cambio en el poder

espectral se expresaron como la resta de los valores de la condición de ACE largo menos la condición de ACE corto. La resta del poder espectral de alfa entre condiciones se efectuó en todos los electrodos donde estas condiciones fueron significativamente diferentes (O1, P3, P4, T3, T4, y F3). Se uso un solo valor que se obtuvo de promediar los puntos de las restas en las ventanas de tiempo que fueron significativas para esos electrodos.



*Figura 17. Correlación lineal entre la media del cambio en la potencia de alfa (baja carga atencional menos alta carga atencional), representado en el eje 'Y', y la media del cambio en el PSS (baja carga atencional menos alta carga atencional), en el eje 'X'. En una ventana de tiempo de 70 a 230 ms, en el electrodo T4. Falta un punto en la gráfica pues los valores de PSS en un individuo excedían los 120 ms que es el LAG máximo utilizado.*

La gráfica de la figura 17 muestra la correlación obtenida para T4 en la condición de tarea combinada T1 y JOT. Este fue el único electrodo donde la correlación entre el cambio de PSS y cambio de MPE fue marginalmente significativa. Se observa como a medida que disminuye el valor del cambio en el PSS, aumenta el cambio en el poder espectral alfa. El análisis estadístico reveló una correlación lineal marginalmente significativa ( $r=-0.45$ ,  $p=0.054$ ,  $df=19$ ). Este resultado sugiere que en la medida que mayor es el cambio

atencional hacia la derecha mayor es la sincronización del alfa previa al JOT en el hemisferio derecho. No se encontraron valores de correlación significativa para ningún otro electrodo, para ninguna de las dos tareas.

#### **6.4. Discusión**

En línea con los experimentos previos, encontramos que el incremento de la carga atencional conlleva a un sesgo de la atención hacia la derecha en la tarea de JOT. Este cambio de la atención estuvo asociado con una disminución (desincronización) de la actividad de la banda alfa en el hemisferio izquierdo y un incremento (sincronización) en el hemisferio derecho. Los cambios producidos antes (o en ausencia) de la tarea de JOT indican que están actuando mecanismos de control sobre la lateralización de la atención y los cambios ocurridos después de la presentación de la tarea JOT estarían sugiriendo que están involucrados los mecanismos de expresión.

El desplazamiento hacia la derecha de la atención durante la tarea de JOT estuvo asociado con una disminución del poder espectral de la banda alfa en el hemisferio izquierdo. Esto está en correspondencia con la descrita desincronización del ritmo alfa en las áreas que procesan el lado del espacio atendido <sup>67-69</sup>. La desincronización del poder espectral de la actividad de la banda alfa lateralizada al hemisferio izquierdo apareció alrededor de la presentación de la tarea JOT y sostenida un tiempo después de la misma. Estos resultados apoyan la idea de que están operando mecanismos de expresión en el desplazamiento atencional hacia la derecha.

Sin embargo, nuestros resultados demuestran claramente que también están operando mecanismos de control durante la lateralización de la atención. Adicionalmente a la desincronización de alfa en el hemisferio izquierdo, se observó una sincronización en el

hemisferio derecho para la condición de alta carga atencional en el electrodo T4. Esto sugiere que el desplazamiento de la atención hacia el lado derecho puede ser el resultado de la disminución de los recursos atencionales para los estímulos del lado izquierdo<sup>50,52</sup>. En efecto, una sincronización de alfa ha sido previamente observada en las regiones que procesan el lado no-atendido del espacio<sup>69-71</sup>. Aún más, se ha sugerido que la sincronización de alfa sirve como una supresión activa de las entradas visuales que se encuentran en las posiciones no atendidas del espacio<sup>200</sup>. Entonces, la presencia de una sincronización de alfa, previa a la aparición de la tarea de JOT y en los ensayos de sólo-T1 indica la influencia de procesos de control atencional.

Un elemento que refuerza el efecto anticipatorio de la respuesta del hemisferio derecho, lo cual implica mecanismos de control en el sesgo espacial atencional, estuvo dado por la asociación entre los mayores grados del sesgo conductual hacia la derecha y el mayor poder espectral en la banda alfa en el electrodo T4.

Otra indicación de la influencia de los mecanismos de control se refiere a la aparición de una desincronización lateralizada en los electrodos O1 y F3 en la tarea de Sólo-T1, tal como aparece para la tarea combinada, aunque en este caso con una distribución topográfica mucho más restringida. Esto está en correspondencia con otros reportes que describen la desincronización en la fase anticipatoria a la aparición de un estímulo avisado<sup>70,71</sup>. Las diferencias de distribución topográfica de la desincronización en ausencia de la tarea JOT se pueden explicar por el efecto propio de la tarea JOT, en la cual se presentan estímulos que también modulan la actividad eléctrica.

Es también importante considerar que la desincronización en el electrodo P3 aparece antes de la presentación de la tarea JOT. Esto pudiera indicar un efecto anticipatorio al JOT, o

bien, una superposición espacio temporal de la actividad electrofisiológica asociada a los mecanismos de control con los mecanismos de expresión, que no se resuelven del todo con la resolución del método que estamos usando (ver <sup>201</sup>).

Estudios de EEG previos han demostrado la participación de la banda alfa en el cambio atencional anticipatorio con avisos espaciales <sup>70,71,193</sup>. Aquí extendimos estos hallazgos presentando que las asimetrías en la banda alfa pueden también reflejar un cambio de la atención sobre el espacio en tareas de JOT, provocado por las condiciones de alta carga atencional. Aunque en los avisos espaciales la atención visual está explícitamente dirigida a un lado del espacio y en las condiciones de alta carga atencional el cambio espacial es inducido implícitamente, estas dos formas probablemente compartan mecanismos neurales comunes. El curso temporal de ambos efectos permite suponer que en ambos casos los mecanismos de control están actuando en los cambios atencionales espaciales.

A lo largo de todos los experimentos la demanda de recursos atencionales del estímulo T1 a llevado a una reducción de los recursos disponibles y un cambio de la atención hacia la derecha. Recuérdese que el efecto contrario ha sido observado en pacientes con negligencia quienes al ser avisados con un tono revierten el sesgo hacia la derecha <sup>27</sup>. Una posible explicación para nuestros resultados sería que existe una tendencia latente a atender hacia la derecha (en individuos sanos bajo circunstancias normales) la cual es sobre-compensada por mecanismos de arriba-abajo y conducen al fenómeno de la pseudonegligencia. Cuando las demandas atencionales están incrementadas o los mecanismos del control atencional están dañados se pone de manifiesto la tendencia latente a atender hacia la derecha.

Una explicación alternativa, puede ser que el hemisferio izquierdo y derecho compitan igualmente por los recursos atencionales y que las demandas aumentadas de la tarea

reduzcan los procesos de pre-activación neural <sup>51,202,203</sup>, los cuales están lateralizados al hemisferio derecho. Esto tendría como consecuencia una desventaja competitiva de los ítems presentados del lado izquierdo del campo visual (procesados por el hemisferio derecho).

De acuerdo con el modelo de la ‘competencia sesgada’ <sup>7</sup>, los dos lados del campo visual pueden ser considerados como compitiendo por la atención y por lo tanto por la fuerza, prioridad y claridad de sus representaciones fenomenológicas. De hecho, una competencia inter-hemisférica en la red asociadas con la atención espacial, distribuida por regiones frontales y parietales, ha sido ampliamente descrita <sup>204-206</sup>. Parece ser como si los cambios espaciales de la atención pudieran ser implementados mediante la supresión de estímulos competidores <sup>70</sup>. Entonces, la disminución del poder del alfa sobre el hemisferio izquierdo bajo condiciones de alta carga atencional podría indicar la liberación de la inhibición por parte de la corteza visual de asociación en ese lado <sup>67</sup>. La actividad alfa del EEG ha sido interpretada como un indicador de la inhibición cortical <sup>75,207,208</sup>. A partir de esta hipótesis la disminución del poder del alfa en nuestros resultados pueden ser interpretados como un regulador atencional que facilita al estímulo competidor del lado derecho.

Cuando la atención está completamente dedicada a determinados estímulos (i.e. con el sujeto alerta, no fatigado y con la atención focalizada), la fuerza de las representaciones de esos estímulos competidores pudiera ser desnivelada por mecanismos atencionales de arriba-abajo, como sugiere la sobre-estimación del lado izquierdo en la población normal (pseudonegligencia) <sup>20,21,209</sup>. De hecho, Thut y cols.<sup>68</sup> encontraron una ventaja del hemicampo izquierdo en la distribución de la atención relacionada con la actividad alfa para sujetos sanos en condiciones normales. Una diferencia hemisférica en la banda alfa



como expresión de los mecanismos de selección, ha sido también descrita por Kelly y cols.<sup>71</sup>. Sin embargo, si los recursos atencionales están agotados (por somnolencia, fatiga, o por estímulos que distraigan) entonces la competencia es llevada a cabo sin la orientación de los mecanismos de arriba-abajo y la atención espacial se desplaza hacia la derecha<sup>50-52</sup>.

Una posible limitación del presente experimento es el hecho de que la preparación de la repuesta motora genera una actividad electrofisiológica en la corteza sensorimotora que puede ser encontrada en bandas de frecuencias similares al alfa<sup>210,211</sup>. Las modulaciones de los componentes anticipatorios “contingente variación negativa” o el ritmo Mu tienen casi las mismas características temporales que la estructuración del alfa<sup>212</sup>. Esto es poco probable que explique nuestros resultados, ya que las respuestas fueron balanceadas entre las dos manos. Con ello evitamos también la activación del hemisferio derecho por el uso de la mano izquierda y el consiguiente aumento de la atención hacia el lado izquierdo (o vice versa)<sup>213,214</sup>. Nuestros hallazgos tampoco pueden ser explicados por distorsiones debido a los potenciales relacionados a eventos (PRE), porque la MPE está desprovista de actividad EEG con fase fija. Nosotros asumimos que la MPE refleja oscilaciones inducidas que son moduladas por estímulos o eventos que (en contraste con los ritmos evocados) no responden a manera de bloqueo de fase<sup>75</sup>.

En resumen, en este experimento obtuvimos un desplazamiento de la atención hacia la derecha bajo condiciones de alta carga atencional. Este desplazamiento estuvo asociado a una sincronización y desincronización asimétricas de la banda alfa por lo que nuestros resultados contribuyen a enriquecer las evidencias de una vinculación de las oscilaciones alfa con los sesgos visuo-espaciales<sup>68,70,71,193,215</sup>. La participación de mecanismos de expresión atencionales fue reflejada por la desincronización del alfa. Mientras que los

mecanismos de control se reflejaron tanto por una desincronización del ritmo alfa que se expresa aún en ausencia de los estímulos del JOT como por una sincronización anticipatoria del ritmo alfa en el hemisferio opuesto al hemicampo visual inatendido. Esto apoya la idea de que el desplazamiento de la atención hacia la derecha inducido implícitamente por la reducción de los recursos atencionales se implementa al igual que lo hacen las alertas visuales explícitas, a través de los mecanismos de control atencional.

## 7. EXPERIMENTO 4

### 7.1. Introducción

La dislexia es un trastorno caracterizado por la dificultad en la adquisición de habilidades para la lectura a pesar de una inteligencia y educación adecuadas, y en ausencia de problemas físicos o psicológicos. Puede tener co-morbilidad con otros trastornos como el TDAH, la disgrafía, la discalculia y la dispraxia <sup>216,217</sup>. Hay un amplio consenso en considerarla como un trastorno neurológico con un componente genético <sup>218-220</sup>, aunque, no hay un completo acuerdo acerca de cuáles procesos cognitivos son los que están afectados.

Se han reportado múltiples alteraciones cognitivas en la dislexia que incluyen entre otras: déficits en la percepción fonológica <sup>221</sup>, desempeño pobre en tareas motoras <sup>218,222</sup>, trastornos visuales <sup>223</sup>, dificultades para la detección del cambio <sup>79,218</sup>, dificultad en percibir el orden de estímulos auditivos y visuales <sup>224-227</sup>, y trastornos atencionales <sup>41,44</sup>. Aunque muchos de estos trastornos pueden estar o no presentes en los pacientes, el déficit fonológico parece ser común a todos. Es muy probable que la dislexia sea una condición muy heterogénea, con un predominio de distintos tipos de trastornos cognitivos en dependencia de la variedad de dislexia en cuestión <sup>228,229</sup>.

Se han estudiado también los procesos atencionales en esta patología, demostrado en varios estudios que el PA se prolonga significativamente tanto en adultos como en niños disléxicos <sup>39-42</sup>. Por otra parte, en adultos se han encontrado sesgos espaciales hacia la derecha <sup>230</sup>, un fenómeno al que se le ha denominado desde su descripción inicial “mini-negligencia” <sup>43,44</sup>. Sin embargo, el hallazgo de esta mini-negligencia en poblaciones de niños disléxicos no ha sido constante. Mientras existen autores que sí encuentran un efecto similar al de los adultos empleando tareas de bisección de líneas <sup>45</sup>, otros no las encuentran

en esta misma tarea <sup>78</sup> o con tareas de reconocimiento lateral de estímulos <sup>79</sup>. Lo mismo ocurre con tareas de JOT, donde a diferencia de la asimetría descrita por Hari y cols.<sup>44</sup>, existen reportes donde no se encuentra este efecto usando la misma tarea <sup>80</sup>.

Esta variabilidad no es exclusiva de los disléxicos, en los niños lectores típicos también hay diferencias con respecto a los adultos en cuanto a la atención espacial, inclusive con las tareas visuales de JOT <sup>47,47,88,89</sup>. La complejidad es grande ya que de hecho hay mecanismos dependientes de la lectura <sup>87</sup> posiblemente envueltos en las preferencias laterales durante el reconocimiento <sup>85</sup>.

De acuerdo con lo anterior, sería de enorme importancia el estudio de la lateralización de la atención en condiciones de alta carga atencional, tal como las obtenidas en nuestro paradigma, en muestras de niños disléxicos. La condición de alta carga atencional puede poner de manifiesto déficits del JOT más sutiles que no puedan ser explorados consistentemente en condiciones normales de atención. Sin embargo, el hecho de que no existan muchos estudios precedentes en niños normales acerca de como se desarrolla el proceso de lateralización atencional durante el desarrollo, hace necesario estudiar también una muestra de niños sanos con el mismo paradigma.

Como primer objetivo específico nos proponemos caracterizar la muestra de niños lectores normales que sirvieron como controles, en cuanto al desempeño en un JOT. En un segundo objetivo específico de este experimento nos proponemos determinar si el sesgo espacial atencional potencialmente existente en los niños con dislexia se modula con las condiciones de de alta carga atencional. Existen dos posibles resultados, uno es que el sesgo se acentúe con la retirada de los recursos y el otro es que no haya modulación del efecto debido a que los recursos atencionales ya de por sí se encuentran agotados. De manera general queremos

determinar si los posibles sesgos tanto en niños disléxicos como en niño con desarrollo típico se encuentran en la misma dirección que el encontrado en adultos.

## **7.2. Materiales y Métodos**

Participantes: Aplicamos este paradigma en una muestra de 10 niños con dislexia y 10 niños con un desarrollo típico como grupo control (ver Tabla 1 materiales y métodos generales).

Todos estos niños fueron seleccionados por (1) tener un coeficiente de inteligencia (CI) de 90 o superior (Wechsler Intelligence Scale for Children, WISC-III), (2) poseer visión normal sin errores binoculares o refractivos, (3) ausencia de un trastorno de déficit de atención e hiperactividad (4) no tener problemas conductuales o emocionales (5) no seguir una terapia con psicofármacos y (6) cursar la enseñanza primaria con edades comprendidas entre los 10 y los 12 años. El criterio empleado para el diagnóstico de la dislexia fue: poseer un retraso mayor de dos años en la edad de lectura comparada con la edad cronológica. La evaluación se realizó mediante la Batería de Trastornos de Lectura, la cual mide la velocidad de lectura para palabras y pseudo-palabras acorde a una norma cubana estandarizada por la edad. El grupo de niños con dislexia estuvo subdividido por subtipos de dislexia: cinco niños tenían una dislexia de tipo superficial y los otros cinco de tipo fonológico<sup>228</sup>. El grupo de disléxicos y el grupo control estuvo pareado en cuanto a sexo, edad y CI (ver tabla 2).

*Tabla 2. Comparación entre el grupo de niños disléxicos y el grupo de niños controles.*

	<b>Disléticos</b> Media y desviación estándar	<b>Controles</b> Media y desviación estándar	df	F	p
Edad cronológica (años)	10.6 (0.83)	10.5 (0.51)	18	2.65	0.16
CI (WISC)	94.6 (6.51)	100.1 (8.35)	18	1.64	0.47
Edad de lectura (años)	7.7 (0.3)	10.2 (0.7)	18	2.71	0.72
Tiempo de reacción para palabras (seg.)	11.7 (6.68)	3.25 (2.55)	18	6.87	<b>0.004*</b>
Tiempo de reacción para no-palabras (seg.)	9.3 (5.4)	3.37 (2.67)	18	4.08	<b>0.01*</b>
Número de errores en la lectura de palabras	8.8 (4.8)	2.25 (2.5)	18	3.5	<b>0.005*</b>
Número de errores en la lectura de no- palabras	6.0 (4.0)	2.25 (1.9)	18	4.4	<b>0.03*</b>

El diseño experimental es exacto al del Experimento 2. Sólo se varió la cantidad de ensayos por bloque que se redujo a 216 (12 repeticiones por condición de 20 anteriormente) para evitar que los niños se fatigaran o perdieran el interés en la tarea.

### 7.3. Resultados

Los valores de DPJ no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la condición de ACE corto y la de ACE largo. Por esta razón, el número de observaciones se duplicó, al considerar ambos ACE como observaciones independientes para la comparación entre niños disléxicos y controles (20 y 20 respectivamente).

La precisión media en la discriminación del estímulo T1 fue menor en el grupo de los disléxicos (media=80%, DE=6.6) que en el grupo control (media=90%, DE=6.3). Este efecto fue significativo con una prueba t-Student para muestras independientes ( $t=2.78$ ,  $p<0.03$ ,  $gl=18$ ).

En la figura 18 se presentan los resultados de los dos grupos en la tarea de JOT para los dos bloques de estimulación. En el bloque donde se Atiende-T1 (figura 18A) para los niños controles se observa que excepto en el LAG positivo de 120 ms, de forma general hay mayores porcentajes de aciertos para los mayores valores de LAG. Esto indica una mayor facilidad para identificar el primer estímulo en la medida que el tiempo de separación con el segundo es mayor. También se observa que los porcentajes de acierto para la izquierda son mayores que para la derecha. Este incremento es pequeño (alrededor del 5%) en los LAG de 60 y 30 ms y más notable en el LAG de 120 ms (10%). Cuando se presentaban los estímulos de forma simultánea el desempeño era al nivel del azar.

Por su parte, para los niños disléxicos se observa una curva que evidencia un desempeño fuertemente lateralizado. Los disléxicos reportaron siempre con mayor probabilidad el estímulo de la izquierda como el primero en aparecer. Sus porcentajes de acierto para la izquierda fueron iguales a los de los niños controles en los LAG de 120 y 90 ms e inclusive mayores en los LAG de 60 y 30 ms, aunque la diferencia no alcanzó la significación estadística. Nótese que las respuestas fueron siempre ‘izquierda-primero’, aun cuando los estímulos se presentaran de forma simultánea o el estímulo de la derecha era el primero en presentarse. En el mayor valor de LAG positivo es cuando se observa un desempeño al nivel del azar, lo cual indica que los niños disléxicos percibieron que los estímulos como simultáneos cuando el del lado derecho antecedía al del izquierdo por 120 ms. Esta tendencia a percibir primero el estímulo de la izquierda, aún con valores de LAG grandes, manifiesta un fuerte sesgo atencional hacia la izquierda de los disléxicos en condiciones de atención relativamente normales.

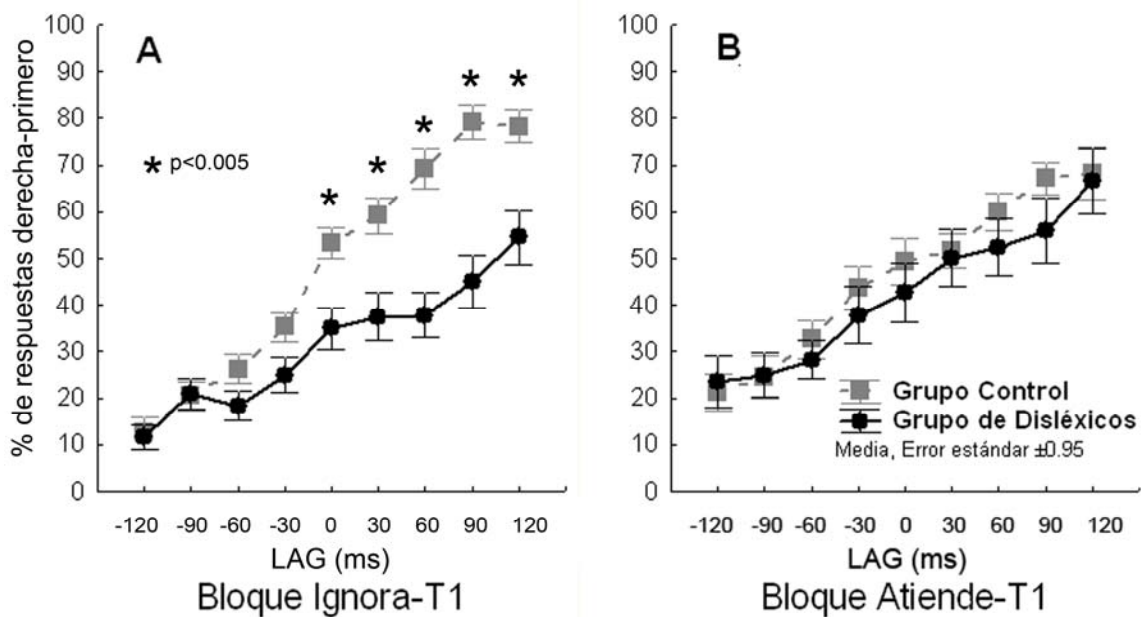


Figura 18: Media de los ‘% derecha-primero’ en función del LAG y el grupo. En el panel A, el bloque Ignora-T1. En el panel B, bloque Atiende-T1. En el bloque Ignora-T1 hubo una diferencia significativa entre los grupos en cuanto a la simetría de la atención.

En la figura 18B se presentan los resultados de ambos grupos para el bloque Atiende-T1 donde la carga atencional era mayor. Como se observa, no hay diferencias entre las curvas, que son muy aplanadas. Si se comparan estas curvas con las del bloque Ignora-T1, se observa que son similares a las de los niños disléxicos. En los niños controles se observan del lado izquierdo porcentajes de acierto mayores del 70% comparado con los LAG equivalentes del lado derecho (menores del 70%). Cuando los estímulos ocurren simultáneos la respuesta es al azar. Los porcentajes de acierto de los niños controles disminuyeron en comparación con el bloque Ignora-T1 acercándose al azar. Esta disminución es de aproximadamente un 10% para casi todos los valores de LAG, pero no es significativa, excepto en el valor de LAG positivo de 90 ms (ver figura 19).



En este mismo bloque atiende T1, los porcentajes de acierto de los niños disléxicos fueron muy similares a los de los controles (figura 18B) y no se observan diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos. Se observa que para la izquierda el porcentaje de aciertos de los disléxicos fue mayor del 70% en los valores de LAG de 90 y 60 ms. Para la derecha en esos mismos valores de LAG las respuestas estuvieron cercanas al nivel del azar. En el LAG de 120 ms también hubo un porcentaje de aciertos mayor hacia la izquierda (80%) que hacia la derecha (70%). Los niños disléxicos respondieron al azar en el LAG positivo de 30 ms y hubo una tendencia a responder más hacia la izquierda cuando los estímulos se presentaron simultáneos. De forma interesante, estos porcentajes de acierto para el lado derecho fueron mayores comparados con el bloque Ignora-T1. En el lado derecho los porcentajes de acierto sí disminuyeron como era lo esperado, ya que en este bloque la carga atencional es más alta. Estas diferencias entre los porcentajes de acierto en el bloque Atiende-T1 e Ignora-T1 no demostraron ser estadísticamente significativos en ninguno de los valores de LAG (ver figura 19).

En resumen, la figura 18 nos muestra un desempeño diferente de los disléxicos comparados con los controles durante las condiciones de baja carga atencional, manifestando los niños disléxicos un fuerte sesgo hacia la izquierda. Cuando aumenta la carga atencional el desempeño de ambos grupos se hace igual de inexacto. Los niños controles disminuyen su precisión y los disléxicos se comportan de forma muy parecida a como lo hicieron en condiciones de atención normales.

Con el objetivo de obtener una medida general de la precisión con que se realizaba la tarea, se calculó el valor DPJ y para obtener una medida de lateralización de la atención, se calculó el parámetro PSS. Esto se hizo para cada grupo en cada bloque (ver tabla 3).

*Tabla 3. Medidas de PSS y DPJ para los dos grupos en cada uno de los bloques. Señalado con asterisco el único valor que resultó significativo. Esta significación fue alcanzada tanto en una comparación contra la media cero como comparado con el valor correspondiente del grupo control.*

	Grupo de Disléxicos		Grupo Control	
	<b>Bloque Ignora-T1</b>	<b>Bloque Atiende-T1</b>	<b>Bloque Ignora-T1</b>	<b>Bloque Atiende-T1</b>
	Media (ms) (DE)	Media (ms) (DE)	Media (ms) (DE)	Media (ms) (DE)
DPJ	245.7 (340.2)	41 (273.5)	209.4 (602.8)	266.4 (550.6)
PSS	290.7 (468.2) *	-128 (923.4)	11.6 (33)	65 (142.8)

El análisis estadístico de los valores de DPJ con una prueba t-Student para muestras independientes no evidenció ninguna diferencia significativa entre los grupos. Por su parte el análisis con una prueba t-Student para muestras dependientes evidenció que no había diferencia significativa entre los bloques Atiende-T1 e Ignora-T1, dentro de cada grupo. Esto indica que el grado de precisión con que se realizó el JOT fue muy similar entre grupos y entre condiciones de atención.

En cuanto a la comparación contra cero de los valores de PSS en cada condición y grupo, sólo en el grupo de disléxicos, bloque de Ignora-T1, la diferencia resultó significativa ( $t=2.8$ ,  $p<0.02$ ,  $gl=19$ ). Como los valores de la media del PSS están a la derecha de cero (ver tabla 3), la diferencia expresa que la simultaneidad subjetiva se logró cuando el estímulo de la derecha se presentaba mucho antes que el de la izquierda, y por lo tanto existe un sesgo hacia la izquierda. En los niños controles no se evidencian sesgos.

#### **7.4. Discusión**

En la tarea de discriminación de un cambio de forma local se evidenció una dificultad por parte de los niños con dislexia. En los disléxicos se ha descrito una disfunción magnocelular/parietal <sup>231,232</sup> y por tanto de la vía visual que procesa la forma, lo cual los hace menos sensibles que los lectores normales en las tareas de discriminación. Nuestros datos replicaron resultados previos en los cuales los disléxicos (de edad media 11 años) requirieron tiempos mayores en comparación con lectores normales, para detectar cambios en estímulos visuales <sup>79</sup>. Nuestra tarea no nos permitió identificar si las afectaciones fueron debidas al tiempo que necesitaron para el reconocimiento o a un déficit en la función de alerta. Esta diferencia durante la ejecución de la primera tarea, podía influir en la comparación entre grupos referida al desempeño en la tarea de JOT. Era posible que esta mayor dificultad ocasionara una reducción de los recursos dedicados al JOT resultando en una peor ejecución con respecto a los controles, pero esto no sucedió.

Referido al JOT, se esperaba que debido a la interferencia de la primera tarea hubiera menor precisión del desempeño durante la condición de mayor carga atencional (bloque Atiende-T1). En otras palabras, que la atención dividida en el tiempo tuviera consecuencias para la atención espacial. Sin embargo, esto no ocurrió en ninguno de los dos grupos. En el grupo de disléxicos ocurrió un efecto opuesto a lo esperado, mejoraban sus ejecuciones en el hemisferio visual derecho cuando la primera tarea debía ser atendida. Por su parte, en el grupo de niños normales aunque hubo una tendencia a la disminución de la precisión esta no alcanzó la significación estadística. Esto se puede ver más claramente en la figura 19

donde se presentan los resultados del JOT en un tipo de gráfica alternativa que nos permite una más fácil comparación entre los tres grupos estudiados con la misma tarea (adultos

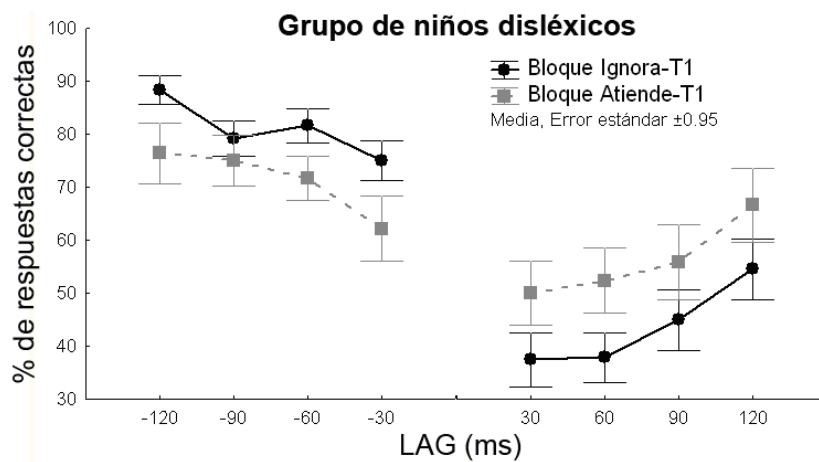
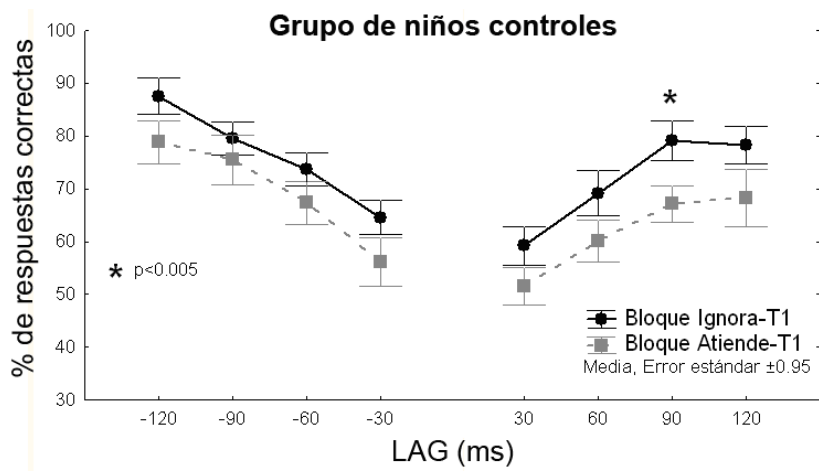
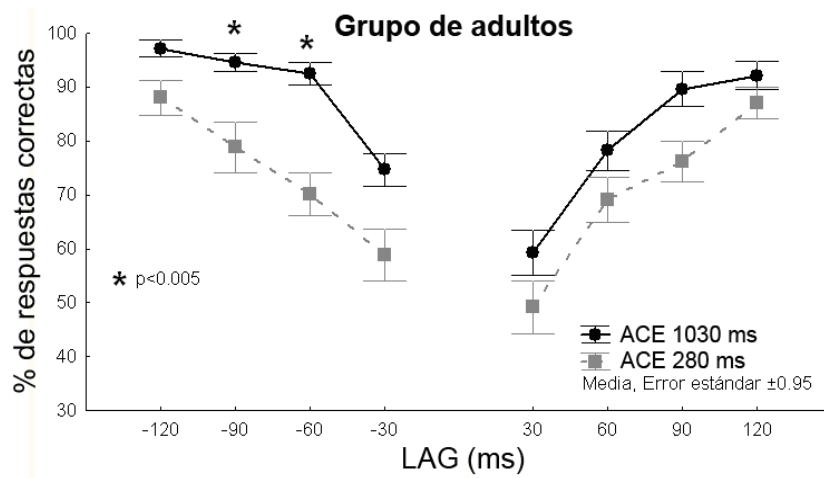


Figura 19: Medias de los porcentajes de respuestas correctas para cada lado durante el JOT, en función del LAG y de las condiciones de atención para cada uno de los grupos.

normales, niños disléxicos y niños controles). En vez de mostrar los “% derecha-primero” como en las gráficas tradicionales, en este caso en el eje de las “Y” se representan los porcentajes de respuestas correctas. El LAG cero queda excluido, ya que en la simultaneidad no existen las respuestas correctas.

Es llamativo que en los niños controles las manipulaciones de la atención no tuvieran influencia sobre la exactitud en el JOT y que no se provocara una PA con nuestra tarea. Comparados con los adultos (ver figura 19) sus porcentajes de acierto de forma general fueron menores. Sin embargo, el desempeño en la primera tarea no fue diferente entre niños y adultos. Por lo tanto, la disminución del rendimiento en el JOT no puede ser explicada por una mayor dificultad para discriminar T1. No obstante, podemos considerar algunas posibles explicaciones. Una primera sería que los niños, debido a inmadurez en el control de impulsos no lograron ignorar el primer estímulo <sup>233</sup>. En el caso de no haberlo podido ignorar activamente y que su atención fuera capturada de forma automática, el resultado en el desempeño para las condiciones de atender o ignorar sería muy similar. Otra explicación estaría relacionada con la menor capacidad de los niños para la atención sostenida <sup>234</sup>. Una mayor distractibilidad luego de realizar la primera tarea también podría explicar la disminución de forma general en los aciertos y con ello la ausencia de diferencias significativas. Por otra parte, se ha descrito que la intensa utilización de video juegos puede disminuir el PA <sup>235</sup>. Esa fue otra posibilidad que quedó abierta ya que esa variable no se controló.

Por otra parte, en los niños normales se observó simetría en la distribución de la atención en el espacio. La simetría encontrada se correspondió con estudios previos que tampoco encuentran lateralización de la atención con una tarea de JOT visual en niños de 11 y 12

años<sup>89</sup> ni pseudonegligencia en los niños menores de 13 años con tareas de bisección de líneas<sup>236</sup>. Estos resultados contrastan con la pseudonegligencia encontrada en los adultos con la misma tarea en el Experimento 2. Por tanto, la pseudonegligencia podría ser un fenómeno que emerge sólo en la adultez y pudiera deberse a la asignación de la atención activa.

En cuanto a los niños disléxicos, mostraron una marcada desventaja en el hemisferio visual derecho durante la condición de baja carga atencional. El procesamiento temporal era asimétrico y defectuoso en el hemisferio derecho relativo al izquierdo y comparado con los lectores normales. Este fenómeno se puede interpretar como una forma exacerbada de pseudonegligencia<sup>19</sup> y está en contradicción con la mini-negligencia descrita por Hari y cols.<sup>44</sup>. Nótese que en los niños disléxicos, para la aparición del sesgo hacia la izquierda no fueron necesarias condiciones de alta carga atencional. Interpretamos que el sesgo atencional no empeoraba debido a que los recursos atencionales en la condición de baja carga atencional eran ya de por sí reducidos. La existencia de un sistema atencional sobrecargado en los disléxicos sustenta esa explicación<sup>40,42,43</sup>. De hecho, los porcentajes de acierto para la derecha aumentaban en la condición de mayor carga atencional (ver figura 19). Si consideramos al estímulo T1 como una alerta sobre la llegada del JOT, estos resultados podrían ser explicados por un efecto similar al descrito por Robertson y cols.<sup>27</sup>, en el cual las alertas fásicas pueden reducir los sesgos espaciales en la percepción consciente.

Hay autores que han sugerido que en niños disléxicos sí puede existir la mini-negligencia debido a que han observado un efecto de flancos reducido en el lado izquierdo del estímulo diana y aumentado en el lado derecho<sup>237</sup>. Sus observaciones apoyan una falta de atención a

la izquierda del punto de fijación y una tendencia a la distracción hacia la derecha del punto de fijación <sup>238,239</sup>. Sin embargo, hay otros trabajos que han mostrado que los niños con dislexia tienen una región de inhibición atencional que es más fuerte alrededor de los 4.5 grados a la derecha del punto de fijación <sup>231</sup>, nosotros usamos una posición similar para los estímulos del JOT. Toda esta evidencia sugiere que la dislexia está asociada con asimetrías de la atención espacial y que ambos lados del campo visual sufren afectaciones. Nuestros resultados confirman que existen diferencias en cuanto al sesgo espacial atencional entre los niños lectores normales y los disléxicos evaluados mediante una tarea de JOT.

¿Por qué una pseudonegligencia en vez de una mini-negligencia? Aunque las causas no están claras, consideramos dos explicaciones. Una primera se refiere a que existen diferentes tipos de dislexia <sup>240</sup>. Por consiguiente, es posible que los disléxicos de la muestra de Hari y cols.<sup>44</sup> y de la nuestra fueran diferentes. El pequeño tamaño de la muestra no nos permitió hacer una comparación efectiva entre sub-grupos de disléxicos. Además existen muchos componentes incluyendo los factores genéticos y culturales que pueden diferir entre las dos muestras <sup>220,240,241</sup>.

Segundo, la diferencia podría ser debida a mecanismos dependientes de la edad. La evidencia más importante sobre la mini-negligencia viene de estudios con adultos disléxicos <sup>41</sup> y existen estudios que han fracasado en obtener este efecto en los niños <sup>78,79</sup>. En el caso del estudio usando una tarea de JOT aunque la edad media de los disléxicos fue de 17 años, tampoco encontraron la mini-negligencia, sino más bien un efecto similar al nuestro donde el lado izquierdo era el favorecido <sup>80</sup>. También, han sido encontrados patrones distintos de activación cerebral en adultos y niños disléxicos usando RMNf. Los lectores disléxicos más viejos comprometen regiones frontales del sistema neural



posiblemente como compensación del trastorno en las regiones posteriores, lo cual no ocurre en los disléxicos más jóvenes<sup>242</sup>. Por su parte, también existen diferencias en cuanto al sesgo lateralizado entre niños y adultos normales<sup>47,88,89,236</sup>.

Ha sido propuesto que la dislexia es un trastorno de la atención espacial<sup>243,244</sup>, pero nuestros hallazgos sólo sugieren una correlación entre la inhabilidad de la lectura y un déficit atencional cuantificable<sup>88</sup>. Una posible explicación a esto podría ser la descrita relación entre el efecto de los hábitos de escaneo en la lectura y la asimetría de desempeño en tareas lateralizadas<sup>245</sup>. Existen dos mecanismos relacionados con las preferencias laterales en el reconocimiento, y uno de ellos es la búsqueda del elemento más a la izquierda<sup>87</sup>. Este mecanismo orienta automáticamente la atención hacia el lado donde la lectura usualmente comienza<sup>85</sup> (la izquierda en el caso de la lengua española) y pudiera facilitar la atención en ese sentido, una vez instalado con la práctica. En nuestros disléxicos, a pesar de sus dificultades para la lectura, este mecanismo pudiera hallarse bien instalado debido al entrenamiento en la lectura que reciben para mejorar el déficit. La dificultad para desenganchar la atención de estímulos previos<sup>41</sup> podría resultar entonces en un mayor costo para atender hacia la derecha, lo cual incrementaría los errores para los estímulos que aparecen primero a la derecha. Además, hay evidencias de una interrupción de las funciones del hemisferio izquierdo en los disléxicos<sup>242,246</sup> y esto debe crear una desventaja atencional para los estímulos del lado derecho del espacio.

Este estudio probablemente adoleció de bajo poder estadístico concerniente a la comparación entre los grupos, así como también para efectos entre los sujetos, debido al pequeño número de participantes (N=10). Pero de cualquier forma los sesgos laterales y la posible influencia de las condiciones de alta carga atencional aquí encontrados, adicionan

evidencia a la considerable co-morbilidad entre los trastornos atencionales y los sesgos espaciales <sup>38,46,48,50</sup>. La interacción entre estos dos tipos de déficits podrían expresar un vínculo y posiblemente procesos comunes subyacentes, los cuales podría ayudarnos a comprender los aspectos fundamentales de los mecanismos atencionales en el cerebro.

## 8. DISCUSIÓN GENERAL

Hemos presentado cuatro experimentos. En el primero demostramos que la retirada de la atención mediante un PA produce un sesgo hacia la derecha en el JOT. En el segundo demostramos que la dirección del cambio atencional no estuvo provocada por el procesamiento lateralizado del primer estímulo, ya que las asimetrías encontradas en el JOT favorecen a la derecha sin importar que la tarea que lo preceda tenga su procesamiento ubicado de manera preferente en el hemisferio cerebral izquierdo o en el derecho. Además, el desplazamiento del sesgo hacia la derecha ocurre tanto con estímulos que aparecen como con estímulos que desaparecen en el JOT. En un tercer experimento encontramos una implicación de los mecanismos de control atencional como lo indica la asimétrica sincronización de la banda alfa en un momento previo a la presentación del JOT. Posteriormente, en el cuarto experimento, se encontraron diferentes patrones de sesgos relacionados con la edad y la dislexia.

Una conclusión general que se extrae de los experimentos del 1 al 3 es que hay una clara y replicable distorsión de la simetría espacial de la atención en poblaciones de adultos cuando las condiciones de carga atencional son altas, la cual es reflejada en el JOT. Este efecto no se observó en niños normales, lo que sugiere que puede variar durante el desarrollo cognitivo<sup>88,214</sup>, algo que deberá ser determinado en un estudio ontogénico. Como todos los sujetos estudiados eran de manualidad derecha manifiesta, no se pudo determinar el efecto de esta variable sobre la distorsión de la simetría, lo que debe examinarse en estudios posteriores. No queda duda de que el paradigma es efectivo en lograr una distorsión de la distribución de la atención en el espacio, por lo que el propósito metodológico se logró.

Nuestra conclusión es congruente con los estudios previos que demostraron que la simetría lateral de la distribución de la atención en el espacio se altera en sujetos normales cuando hay condiciones de baja atención, causadas estas por fatiga, bajos niveles de vigilancia y alta carga perceptual <sup>51,52</sup>. Sin embargo, nuestro resultado se diferencia en que muestra el papel de la fluctuación momentánea de la atención selectiva (aunque relacionados, la vigilancia y la atención selectiva dependen de mecanismos neurales distintos). Esto fue posible al incorporar en el paradigma diseñado el procedimiento del PA, el cual se creó para medir con precisión el despliegue de la atención en el tiempo <sup>90</sup>. El único trabajo que se acerca al nuestro en este aspecto metodológico (la precisión en medir el despliegue de la atención en el tiempo) fue el recién publicado por Peers y cols.<sup>51</sup> quienes estudiaron el efecto sobre la lateralización de la atención (medido por otro método, el acierto en cada hemisferio visual para una tarea de reconocimiento visual) en condiciones de tarea dual. A pesar de las diferencias metodológicas, sus resultados concuerdan en que la carga atencional alta (inducida por una tarea auditiva) orienta la atención hacia derecha.

Es llamativo que mediante un proceso central y endógeno, se logre un efecto similar al alcanzado en la literatura clásica del JOT con maniobras experimentales muy distintas <sup>143,147,247,248</sup>. Tradicionalmente se describe que llamar la atención hacia un lado del campo visual con un estímulo fuerte, produce un sesgo de la atención hacia ese lado <sup>30,199</sup>. También un estímulo muy prominente (muy intenso, grande etc.) en un lado, distorsiona el JOT, haciéndolo parecer como más temprano <sup>249</sup>. Estas maniobras son lateralizadas. No es asombroso que lateralicen también la atención. En nuestro caso, la maniobra usada fue aumentar la carga atencional mediante un estímulo colocado centralmente. A pesar de esta localización simétrica del estímulo inductor de la carga, la atención a estímulos

subsiguientes se orienta hacia la derecha. Esto sugiere una asimetría básica de la atención, que subyace todo el tiempo, y que sólo se libera cuando no hay capacidad cognitiva libre para controlarla.

El estudio del EEG demostró que cuando hay alta carga atencional se produce una modulación asimétrica sobre los dos hemisferios cerebrales de la banda alfa. En el hemisferio izquierdo se desincroniza (signo de procesamiento cortical activo) <sup>67-69</sup> más que en el lado derecho, mientras que el hemisferio derecho se sincroniza (signo de desactivación cortical) <sup>69-71</sup> más que en el izquierdo. El segundo efecto ocurre incluso antes de la aparición de los estímulos del JOT, por lo que se estarían reflejando mecanismos de control. Esto es similar a lo descrito antes sobre la banda alfa del EEG cuando la atención desvía hacia un lado, llamándola con un estímulo lateral de pre-aviso <sup>70,75-77</sup>.

Este trabajo de tesis ha demostrado por primera vez la lateralización de actividad cortical (reflejada en la banda alfa del EEG) debido a un proceso endógeno. La identidad de efectos logrados en nuestro trabajo con una maniobra endógena y central, y de los trabajos previos logrados con maniobras exógenas y lateralizadas <sup>68,71,200</sup>, indican la existencia de un mecanismo neurofisiológico susceptible a ambos tipos de manipulación. Es posible que el control de la atención este parcializado hacia la derecha por una ventaja competitiva del hemisferio izquierdo, que se pone de manifiesto al retirarse control activo <sup>7</sup>. Para precisar la naturaleza de este mecanismo neurofisiológico sería necesario realizar otros estudios con resonancia magnética funcional y potenciales evocados relacionados a eventos.

También se aplicó el método psicofísico desarrollado, a una muestra de niños disléxicos, como ilustración del potencial clínico del método. El hallazgo más llamativo fue la imposibilidad de replicar los resultados reportados por Hari y cols.<sup>44</sup>, describiendo un sesgo

hacia la derecha en la dislexia. De hecho encontramos un claro sesgo hacia el lado contrario en nuestra muestra de disléxicos. No tenemos explicación para esta diferencia, aunque hay una serie de factores a considerar. Hari y cols.<sup>44</sup> estudió adultos, nosotros niños. No está claro por qué un sesgo lateral asociado a una patología cerebral pueda cambiar de dirección con la edad, pero está el hallazgo de una falta de sesgo de la atención en los niños normales (en contraposición a los adultos)<sup>78-80</sup> que alerta del papel que podría jugar la ontogenia en el surgimiento de estos sesgos. También Hari y cols.<sup>44</sup> estudiaron lectores de finlandés, y nosotros lectores del español. Hay evidencias de que distintos sistemas de lectura con direcciones diferentes de desplazamiento de la vista (izquierda hacia derecha en inglés vs. derecha hacia izquierda en árabe) producen sesgos opuestos de la atención<sup>81,82,84-86,250,251</sup>. Aunque el finlandés y el español exigen desplazamientos de los ojos en la misma dirección, no se pueden excluir que otras características del lenguaje sean relevantes. Es necesario explorar muestras mayores de disléxicos y otras patologías para explorar el potencial clínico del método.

Resumiendo, este trabajo muestra un nuevo hallazgo en la psicofísica de la atención visual que parece reflejar un desequilibrio atencional entre hemisferios cerebrales en las personas sanas desde el punto de vista neurológico. Creemos que estos resultados preliminares pueden tener un importante número de implicaciones para el estudio de diferentes patologías y para la comprensión de los procesos atencionales.

## 9. CONCLUSIONES

1. La simetría espacial del JOT se distorsiona cuando se reduce la atención disponible mediante un PA apareciendo sesgos hacia la derecha.
2. La dirección del sesgo espacial observado en el JOT e inducido por alta carga atencional, no difiere cuando se usa una primera tarea de naturaleza verbal con respecto a cuando se utiliza una primera tarea de naturaleza espacial.
3. Los sesgos hacia la derecha inducidos por alta carga atencional y observados en el JOT, están asociados con asimetrías en la sincronización y desincronización de la actividad oscilatoria de la banda alfa del EEG, lo cual sugiere que el proceso endógeno estudiado en la tesis actúa mediante los mismos mecanismos neurales de control atencional que los descritos por otros autores para las influencias exógenas.
4. Los sesgos en el JOT inducidos por alta carga atencional, se desvían hacia la izquierda en la muestra de niños disléxicos estudiada, en dirección opuesta a lo encontrada en adultos, y están ausentes en niños con desarrollo típico.
5. El novedoso método psicofísico descrito en la tesis produce una desviación robusta del sesgo de la atención hacia el hemisferio visual derecho, que es invariante frente a varios cambios en los estímulos utilizados, y puede tener un uso en la caracterización de diversas patologías de la atención.

## **10. RECOMENDACIONES**

1. Continuar el estudio el estudio de los sesgos espaciales inducidos por una alta carga atencional con registros de potenciales relacionados a eventos y de RMNf, para precisar las áreas corticales implicadas en el fenómeno.
2. Estudiar muestras de individuos con manualidad izquierda para observar la influencia de la lateralización cerebral.
3. Estudiar muestras de distintas edades para ver la ontogenia de este fenómeno.
4. Dado los resultados inesperados en cuanto al sesgo atencional lateral en los disléxicos, estudiar muestras mayores y más homogéneas.
5. Estudiar muestras de sujetos con hábitos de lectura derecha-izquierda como pueden ser los lectores nativos del idioma árabe.



## 11. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Posner, M. I., Snyder, C. R. & Davidson, B. J. Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology* **109**, 160-174 (1980).
2. Enns, J. T., Austen, E. L., Lollo, V. D., Rauschenberger, R. & Yantis, S. New objects dominate luminance transients in setting attentional priority. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **27**, 1287-1302 (2001).
3. Donk, M. & Theeuwes, J. Visual marking beside the mark: prioritizing selection by abrupt onsets. *Perception & Psychophysics* **63**, 891-900 (2001).
4. Yantis, S. & Jonides, J. Abrupt visual onsets and selective attention: evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **10**, 601-621 (1984).
5. Duncan, J., Humphreys, G. & Ward, R. Competitive brain activity in visual attention. *Current Opinion in Neurobiology* **7**, 255-261 (1997).
6. Corbetta, M. & Shulman, G. L. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews. Neuroscience* **3**, 201-215 (2002).
7. Desimone, R. & Duncan, J. Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience* **18**, 193-222 (1995).
8. Marois, R. Two-timing attention. *Nature Neuroscience* **8**, 1285-1286 (2005).
9. Raymond, J. E., Shapiro, K. L. & Arnell, K. M. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **18**, 849-860 (1992).
10. Simons, D. J. & Rensink, R. A. Change blindness: past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences* **9**, 16-20 (2005).
11. Kanwisher, N. G. Repetition blindness: type recognition without token individuation. *Cognition* **27**, 117-143 (1987).
12. Robertson, L. C. Covert orienting biases in scene-based reference frames: orientation priming and visual field differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **21**, 707-718 (1995).
13. Reuter-Lorenz, P. A., Kinsbourne, M. & Moscovitch, M. Hemispheric control of spatial attention. *Brain and Cognition* **12**, 240-266 (1990).

14. Reuter-Lorenz, P. A., Drain, M. & Hardy-Morais, C. Object-centered attentional biases in the intact brain. *Journal of Cognitive Neuroscience* **8**, 540-550 (1996).
15. Rhodes, D. L. & Robertson, L. C. Visual field asymmetries and allocation of attention in visual scenes. *Brain and Cognition* **50**, 95-115 (2002).
16. Posner, M. I. & Cohen, Y. *Attention and performance X*. Bouma, H. & Bouwhuis, D. G. (eds.), pp. 531-557 (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1984).
17. Heilman, K. M., Chatterjee, A. & Doty, L. C. Hemispheric Asymmetries of Near-Far Spatial Attention. *Neuropsychology* **9**, 58-61 (1995).
18. Pashler, H. Dual-Task Interference in Simple Tasks: Data and Theory. *Psychological Bulletin* **116**, 220-244 (1994).
19. Bowers, D. & Heilman, K. M. Pseudoneglect: effects of hemispace on a tactile line bisection task. *Neuropsychologia* **18**, 491-498 (1980).
20. Bultitude, J. H. & Aimola, A. M. Putting attention on the line: investigating the activation-orientation hypothesis of pseudoneglect. *Neuropsychologia* **44**, 1849-1858 (2006).
21. Jewell, G. & McCourt, M. E. Pseudoneglect: a review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia* **38**, 93-110 (2000).
22. Jolicoeur, P. & Dell'Acqua, R. Selective influence of second target exposure duration and Task-1 load effects in the attentional blink phenomenon. *Psychonomic Bulletin & Review* **7**, 472-479 (2000).
23. Luck, S. J., Vogel, E. K. & Shapiro, K. L. Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature* **383**, 616-618 (1996).
24. Marois, R., Yi, D. J. & Chun, M. M. The neural fate of consciously perceived and missed events in the attentional blink. *Neuron* **41**, 465-472 (2004).
25. Seiffert, A. E. & Di Lollo, V. Low-level masking in the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **23**, 1061-1073 (1997).
26. Shapiro, K. L. The attentional blink: a view on attention and a glimpse on consciousness. *Trends in Cognitive Sciences* **1**, 291-296 (1997).
27. Robertson, I. H., Mattingley, J. B., Rorden, C. & Driver, J. Phasic alerting of neglect patients overcomes their spatial deficit in visual awareness. *Nature* **395**, 169-172 (1998).

28. Rorden, C., Mattingley, J. B., Karnath, H. O. & Driver, J. Visual extinction and prior entry: impaired perception of temporal order with intact motion perception after unilateral parietal damage. *Neuropsychologia* **35**, 421-433 (1997).
29. Shore, D. I. & Spence, C. *Neurobiology of Attention*. Itti, L. L., Rees, G. & Tsotsos, J. (eds.), pp. 89-95 (Elsevier Academic Press, New York, 2005).
30. McDonald, J. J., Teder-Salejarvi, W. A., Di Russo, F. & Hillyard, S. A. Neural basis of auditory-induced shifts in visual time-order perception. *Nature Neuroscience* **8**, 1197-1202 (2005).
31. Driver, J. & Vuilleumier, P. Perceptual awareness and its loss in unilateral neglect and extinction. *Cognition* **79**, 39-88 (2001).
32. Bartolomeo, P. & Chokron, S. Orienting of attention in left unilateral neglect. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* **26**, 217-234 (2002).
33. Danckert, J. & Ferber, S. Revisiting unilateral neglect. *Neuropsychologia* **44**, 987-1006 (2005).
34. Driver, J. & Mattingley, J. B. Parietal neglect and visual awareness. *Nature Neuroscience* **1**, 17-22 (1998).
35. Vuilleumier, P. *Neurobiology of Attention*. Itti, L. L., Rees, G. & Tsotsos, J. (eds.), pp. 351-357 (Elsevier Academic Press, New York, 2005).
36. Di Pellegrino, G. & De Renzi, E. An experimental investigation on the nature of extinction. *Neuropsychologia* **33**, 153-170 (1995).
37. Vuilleumier, P. & Rafal, R. D. A systematic study of visual extinction. Between and within field deficits of attention in hemispatial neglect. *Brain* **123**, 1263-1279 (2000).
38. Husain, M., Shapiro, K., Martin, J. & Kennard, C. Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature* **385**, 154-156 (1997).
39. Facoetti, A., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R. & Molteni, M. Visual and auditory attentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* **65**, 61-72 (2005).
40. Facoetti, A. *et al.* The time course of attentional focusing in dyslexic and normally reading children. *Brain and Cognition* **53**, 181-184 (2003).
41. Hari, R., Valta, M. & Uutela, K. Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neuroscience Letters* **271**, 202-204 (1999).
42. Ben Yehudah, G., Banai, K. & Ahissar, M. Patterns of deficit in auditory temporal processing among dyslexic adults. *Neuroreport* **15**, 627-631 (2004).

43. Hari, R. & Koivikko, H. Left-sided minineglect and attentional sluggishness in dyslexic adults. *Abstracts - Society for Neuroscience* **25**, 1664 (1999).
44. Hari, R., Renvall, H. & Tanskanen, T. Left minineglect in dyslexic adults. *Brain* **124**, 1373-1380 (2001).
45. Sireteanu, R., Goertz, R., Bachert, I. & Wandert, T. Children with developmental dyslexia show a left visual "minineglect". *Vision Research* **45**, 3075-3082 (2005).
46. George, M., Dobler, V., Nicholls, E. & Manly, T. Spatial awareness, alertness, and ADHD: the re-emergence of unilateral neglect with time-on-task. *Brain and Cognition* **57**, 264-275 (2005).
47. Dobler, V. B. *et al.* Asymmetric deterioration of spatial awareness with diminishing levels of alertness in normal children and children with ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* **46**, 1230-1248 (2005).
48. Manly, T., Cornish, K., Grant, C., Dobler, V. & Hollis, C. Examining the relationship between rightward visuo-spatial bias and poor attention within the normal child population using a brief screening task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* **46**, 1337-1344 (2005).
49. Klimkeit, E. I., Mattingley, J. B., Sheppard, D. M., Lee, P. & Bradshaw, J. L. Perceptual asymmetries in normal children and children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Brain and Cognition* **52**, 205-215 (2003).
50. Bellgrove, M. A., Dockree, P. M., Aimola, L. & Robertson, I. H. Attenuation of spatial attentional asymmetries with poor sustained attention. *Neuroreport* **15**, 1065-1069 (2004).
51. Peers, P. V., Cusack, R. & Duncan, J. Modulation of spatial bias in the dual task paradigm: evidence from patients with unilateral parietal lesions and controls. *Neuropsychologia* **44**, 1325-1335 (2006).
52. Manly, T., Dobler, V. B., Dodds, C. M. & George, M. A. Rightward shift in spatial awareness with declining alertness. *Neuropsychologia* **43**, 1721-1728 (2005).
53. Kinsbourne, M. The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica* **33**, 193-201 (1970).
54. Talsma, D., Slagter, H. A., Nieuwenhuis, S., Hage, J. & Kok, A. The orienting of visuospatial attention: an event-related brain potential study. *Brain research. Cognitive Brain Research* **25**, 117-129 (2005).
55. Mangun, G. R., Buonocore, M. H., Girelli, M. & Jha, A. P. ERP and fMRI measures of visual spatial selective attention. *Human Brain Mapping* **6**, 383-389 (1998).

56. Spitzer, H., Desimone, R. & Moran, J. Increased attention enhances both behavioral and neuronal performance. *Science* **240**, 338-340 (1988).
57. Valdes-Sosa, M., Bobes, M. A., Rodriguez, V. & Pinilla, T. Switching attention without shifting the spotlight object-based attentional modulation of brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience* **10**, 137-151 (1998).
58. Mangun, G. R. & Hillyard, S. A. Allocation of visual attention to spatial locations: tradeoff functions for event-related brain potentials and detection performance. *Perception & Psychophysics* **47**, 532-550 (1990).
59. Gazzaniga, M. S. *Cognitive neuroscience: the biology of mind*. Norton, New York (1998).
60. LaBerge, D. *Attentional Processing: The Brain's Art of Mindfulness*. Harvard University Press, Cambridge (1995).
61. LaBerge, D. Attention, consciousness, and electrical wave activity within the cortical column. *International Journal of Psychophysiology* **43**, 5-24 (2001).
62. Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L. & Petersen, S. E. A PET study of visuospatial attention. *The Journal of Neuroscience* **13**, 1202-1226 (1993).
63. Chafee, M. V. & Goldman-Rakic, P. S. Inactivation of parietal and prefrontal cortex reveals interdependence of neural activity during memory-guided saccades. *Journal of Neurophysiology* **83**, 1550-1566 (2000).
64. Posner, M. I. & Petersen, S. E. The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience* **13**, 25-42 (1990).
65. Mesulam, M. M., Nobre, A. C., Kim, Y. H., Parrish, T. B. & Gitelman, D. R. Heterogeneity of cingulate contributions to spatial attention. *Neuroimage*. **13**, 1065-1072 (2001).
66. Egeth, H. E. & Yantis, S. Visual attention: control, representation, and time course. *Annual Review of Neuroscience* **48**, 269-297 (1997).
67. Sauseng, P. *et al.* A shift of visual spatial attention is selectively associated with human EEG alpha activity. *European Journal of Neuroscience* **22**, 2917-2926 (2005).
68. Thut, G., Nietzel, A., Brandt, S. A. & Pascual-Leone, A. Alpha-band electroencephalographic activity over occipital cortex indexes visuospatial attention bias and predicts visual target detection. *The Journal of Neuroscience* **26**, 9494-9502 (2006).
69. Yamagishi, N. *et al.* Attentional modulation of oscillatory activity in human visual cortex. *Neuroimage* **20**, 98-113 (2003).

70. Worden, M. S., Foxe, J. J., Wang, N. & Simpson, G. V. Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha-band electroencephalography increases over occipital cortex. *The Journal of Neuroscience* **20**, RC63 (2000).
71. Kelly, S. P., Lalor, E. C., Reilly, R. B. & Foxe, J. J. Increases in alpha oscillatory power reflect an active retinotopic mechanism for distracter suppression during sustained visuospatial attention. *Journal of Neurophysiology* **95**, 3844-3851 (2006).
72. Ray, W. J. & Cole, H. W. EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science* **228**, 750-752 (1985).
73. Mulholland, T. B. *Attention in neurophysiology*. Evans, C. R. & Mulholland, T. B. (eds.), pp. 100-127 (Butterworths, London, 1969).
74. Valdes-Sosa, M. *et al. Oscillatory Event-Related Brain Dynamics*. Pantev, C., Elbert, T. & Lütkenhöner, B. (eds.), pp. 147-166 (Plenum Press, New York and London, 1994).
75. Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T. & Schwaiger, J. Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters* **244**, 73-76 (1998).
76. Bastiaansen, M. C., Bocker, K. B., Brunia, C. H., de Munck, J. C. & Spekreijse, H. Event-related desynchronization during anticipatory attention for an upcoming stimulus: a comparative EEG/MEG study. *Clinical Neurophysiology* **112**, 393-403 (2001).
77. Babiloni, C. *et al.* Sub-second "temporal attention" modulates alpha rhythms. A high-resolution EEG study. *Brain research. Cognitive Brain Research* **19**, 259-268 (2004).
78. Polikoff, B. R., Evans, B. J. & Legg, C. R. Is there a visual deficit in dyslexia resulting from a lesion of the right posterior parietal lobe? *Ophthalmic & Physiological Optics* **15**, 513-517 (1995).
79. Rutkowski, J. S., Crewther, D. P. & Crewther, S. G. Change detection is impaired in children with dyslexia. *J. Vis.* **3**, 95-105 (2003).
80. Jaskowski, P. & Rusiak, P. Temporal order judgment in dyslexia. *Experimental Psychology* (2006).
81. Chokron, S. & De, A. M. Reading habits and line bisection: a developmental approach. *Brain research. Cognitive Brain Research* **3**, 51-58 (1995).
82. Chokron, S. & Imbert, M. Influence of reading habits on line bisection. *Brain research. Cognitive Brain Research* **1**, 219-222 (1993).

83. Chokron, S., Bernard, J. M. & Imbert, M. Length representation in normal and neglect subjects with opposite reading habits studied through a line extension task. *Cortex* **33**, 47-64 (1997).
84. Spalek, T. M. & Hammad, S. The left-to-right bias in inhibition of return is due to the direction of reading. *Psychological Science* **16**, 15-18 (2005).
85. Eviatar, Z. Reading direction and attention: effects on lateralized ignoring. *Brain and Cognition* **29**, 137-150 (1995).
86. Eviatar, Z. Language experience and right hemisphere tasks: the effects of scanning habits and multilingualism. *Brain and Language* **58**, 157-173 (1997).
87. HERON, W. Perception as a function of retinal locus and attention. *The American Journal of Psychology* **70**, 38-48 (1957).
88. Hood, M. & Conlon, E. Visual and auditory temporal processing and early reading development. *Dyslexia*. **10**, 234-252 (2004).
89. Bellgrove, M. A. *et al.* Impaired Temporal Resolution of Visual Attention and Dopamine Beta Hydroxylase Genotype in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry* (2006).
90. Duncan, J., Ward, R. & Shapiro, K. Direct measurement of attentional dwell time in human vision. *Nature* **369**, 313-315 (1994).
91. Posner, M. I. Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* **32**, 3-25 (1980).
92. Broadbent, D. E. & Broadbent, M. H. From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics* **42**, 105-113 (1987).
93. Treisman, A. M. & Gelade, G. A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology* **12**, 97-136 (1980).
94. McLean, J. P., Broadbent, D. E. & Broadbent, M. H. Combining attributes in rapid serial visual presentation tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* **35**, 171-186 (1983).
95. Kanwisher, N. & Potter, M. C. Repetition blindness: the effects of stimulus modality and spatial displacement. *Memory & Cognition* **17**, 117-124 (1989).
96. Weichselgartner, E. & Sperling, G. Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science* **238**, 778-780 (1987).
97. Reeves, A. & Sperling, G. Attention gating in short-term visual memory. *Psychological Review* **93**, 180-206 (1986).

98. Duncan, J. & Humphreys, G. W. Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review* **96**, 433-458 (1989).
99. Chun, M. M. & Potter, M. C. A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **21**, 109-127 (1995).
100. Chun, M. M. Types and tokens in visual processing: a double dissociation between the attentional blink and repetition blindness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **23**, 738-755 (1997).
101. Kahneman, D., Treisman, A. & Gibbs, B. J. The reviewing of object files: object-specific integration of information. *Cognitive Psychology* **24**, 175-219 (1992).
102. Kanwisher, N. G. & Potter, M. C. Repetition blindness: levels of processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **16**, 30-47 (1990).
103. Pinilla, T., Cobo, A., Torres, K. & Valdes-Sosa, M. Attentional shifts between surfaces: effects on detection and early brain potentials. *Vision Research* **41**, 1619-1630 (2001).
104. Valdes-Sosa, M., Cobo, A. & Pinilla, T. Attention to object files defined by transparent motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **26**, 488-505 (2000).
105. Sheppard, D. M., Duncan, J., Shapiro, K. L. & Hillstrom, A. P. Objects and events in the attentional blink. *Psychological Science* **13**, 410-415 (2002).
106. Raymond, J. E. New objects, not new features, trigger the attentional blink. *Psychological Science* **14**, 54-59 (2003).
107. Shapiro, K. L., Raymond, J. E. & Arnell, K. M. Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **20**, 357-371 (1994).
108. Vogel, E. K., Luck, S. J. & Shapiro, K. L. Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **24**, 1656-1674 (1998).
109. Marois, R., Chun, M. M. & Gore, J. C. Neural correlates of the attentional blink. *Neuron* **28**, 299-308 (2000).
110. Epstein, R. & Kanwisher, N. A cortical representation of the local visual environment. *Nature* **392**, 598-601 (1998).



111. Sergent, C., Baillet, S. & Dehaene, S. Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nature Neuroscience* **8**, 1391-1400 (2005).
112. Dehaene, S., Sergent, C. & Changeux, J. P. A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **100**, 8520-8525 (2003).
113. Dehaene, S. & Changeux, J. P. Ongoing spontaneous activity controls access to consciousness: A neuronal model for inattention blindness. *Plos Biology* **3**, 910-927 (2005).
114. Dehaene, S., Changeux, J. P., Naccache, L., Sackur, J. & Sergent, C. Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences* **10**, 204-211 (2006).
115. Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J. & Rafal, R. D. Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *Journal of Neuroscience* **4**, 1863-1874 (1984).
116. Vallar, G. Spatial hemineglect in humans. *Trends in Cognitive Sciences* **2**, 87-97 (1998).
117. Mattingley, J. B. *et al.* The greyscales task: a perceptual measure of attentional bias following unilateral hemispheric damage. *Neuropsychologia* **42**, 387-394 (2004).
118. Bartolomeo, P., Sieroff, E., Decaix, C. & Chokron, S. Modulating the attentional bias in unilateral neglect: the effects of the strategic set. *Experimental Brain Research* **137**, 432-444 (2001).
119. Pouget, A. & Driver, J. Relating unilateral neglect to the neural coding of space. *Current Opinion in Neurobiology* **10**, 242-249 (2000).
120. Husain, M. & Rorden, C. Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nature reviews. Neuroscience* **4**, 26-36 (2003).
121. Robertson, I. H. Do we need the "lateral" in unilateral neglect? Spatially nonselective attention deficits in unilateral neglect and their implications for rehabilitation. *Neuroimage* **14**, S85-S90 (2001).
122. Husain, M. *Neurobiology of Attention*. Itti, L. L., Rees, G. & Tsotsos, J. (eds.), pp. 345-350 (Elsevier Academic Press, New York, 2005).
123. Duncan, J. *et al.* Systematic analysis of deficits in visual attention. *Journal of experimental psychology. General* **128**, 450-478 (1999).
124. Battelli, L. *et al.* Unilateral right parietal damage leads to bilateral deficit for high-level motion. *Neuron* **32**, 985-995 (2001).

125. Rueckert, L. & Grafman, J. Sustained attention deficits in patients with right frontal lesions. *Neuropsychologia* **34**, 953-963 (1996).
126. Rueckert, L. & Grafman, J. Sustained attention deficits in patients with lesions of posterior cortex. *Neuropsychologia* **36**, 653-660 (1998).
127. Blake, R. & Logothetis, N. K. Visual competition. *Nature reviews. Neuroscience* **3**, 13-21 (2002).
128. Bonnef, Y. S., Pavlovskaya, M., Ring, H. & Soroker, N. Abnormal binocular rivalry in unilateral neglect: evidence for a non-spatial mechanism of extinction. *Neuroreport* **15**, 473-477 (2004).
129. Robertson, I. H. *et al.* Auditory sustained attention is a marker of unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia* **35**, 1527-1532 (1997).
130. Heide, W. *et al.* Activation of frontoparietal cortices during memorized triple-step sequences of saccadic eye movements: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience* **13**, 1177-1189 (2001).
131. Duhamel, J. R., Goldberg, M. E., Fitzgibbon, E. J., Sirigu, A. & Grafman, J. Saccadic dysmetria in a patient with a right frontoparietal lesion. The importance of corollary discharge for accurate spatial behaviour. *Brain* **115**, 1387-1402 (1992).
132. Heide, W., Blankenburg, M., Zimmermann, E. & Kompf, D. Cortical control of double-step saccades: implications for spatial orientation. *Annals of Neurology* **38**, 739-748 (1995).
133. Behrmann, M., Watt, S., Black, S. E. & Barton, J. J. Impaired visual search in patients with unilateral neglect: an oculographic analysis. *Neuropsychologia* **35**, 1445-1458 (1997).
134. Husain, M. *et al.* Impaired spatial working memory across saccades contributes to abnormal search in parietal neglect. *Brain* **124**, 941-952 (2001).
135. Wojciulik, E., Husain, M., Clarke, K. & Driver, J. Spatial working memory deficit in unilateral neglect. *Neuropsychologia* **39**, 390-396 (2001).
136. Knight, R. T., Scabini, D., Woods, D. L. & Clayworth, C. C. Contributions of temporal-parietal junction to the human auditory P3. *Brain Research* **502**, 109-116 (1989).
137. Barcelo, F., Suwazono, S. & Knight, R. T. Prefrontal modulation of visual processing in humans. *Nature Neuroscience* **3**, 399-403 (2000).
138. Clark, V. P., Fannon, S., Lai, S., Benson, R. & Bauer, L. Responses to rare visual target and distractor stimuli using event-related fMRI. *Journal of Neurophysiology* **83**, 3133-3139 (2000).

139. Marois, R., Leung, H. C. & Gore, J. C. A stimulus-driven approach to object identity and location processing in the human brain. *Neuron* **25**, 717-728 (2000).
140. Titchener, E. B. *Lectures on the Elementary Psychology of Feeling and Attention*. Macmillan, New York (1908).
141. Mollon, J. D. & Perkins, A. J. Errors of judgement at Greenwich in 1796. *Nature* **380**, 101-102 (1996).
142. Shore, D. I., Spence, C. & Klein, R. M. Visual prior entry. *Psychological Science* **12**, 205-212 (2001).
143. Schneider, K. A. & Bavelier, D. Components of visual prior entry. *Cognitive Psychology* **47**, 333-366 (2003).
144. Correa, A., Sanabria, D., Spence, C., Tudela, P. & Lupianez, J. Selective temporal attention enhances the temporal resolution of visual perception: Evidence from a temporal order judgment task. *Brain Research* **1070**, 202-205 (2006).
145. Cardoso-Leite, P., Gorea, A. & Mamassian, P. Temporal order judgment and simple reaction times: Evidence for a common processing system. *J. Vis.* **7**, 1-14 (2007).
146. Casarotti, M., Michielin, M., Zorzi, M. & Umiltà, C. Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition* **102**, 101-117 (2007).
147. Frey, R. D. Selective attention, event perception and the criterion of acceptability principle: evidence supporting and rejecting the doctrine of prior entry. *Human Movement Science* **9**, 481-530 (2006).
148. Zampini, M., Shore, D. I. & Spence, C. Multisensory temporal order judgments: the role of hemispheric redundancy. *International Journal of Psychophysiology* **50**, 165-180 (2003).
149. Sternberg, S. & Knoll, R. L. *Attention and performance IV*. Kornblum, S. (ed.), pp. 625-685 (Academic Press, New York, 1973).
150. Vázquez Marrufo, M., Vaquero, E., Cardoso, M. J. & Gómez, C. M. Temporal evolution of alpha and beta bands during visual spatial attention. *Brain research. Cognitive Brain Research* **12**, 315-320 (2001).
151. Corballis, M. C. From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness. *The Behavioral and Brain Sciences* **26**, 199-208 (2003).
152. Vallortigara, G. Cerebral lateralization: a common theme in the organization of the vertebrate brain. *Cortex* **42**, 5-7 (2006).

153. Previc, F. H. A general theory concerning the prenatal origins of cerebral lateralization in humans. *Psychological Review* **98**, 299-334 (1991).
154. O'Boyle, M. W. On what's left and still right about Hemispheric Asymmetry. *Trends in Neurosciences* **25**, 221-222 (2002).
155. Sun, T. & Walsh, C. A. Molecular approaches to brain asymmetry and handedness. *Nature reviews. Neuroscience* **7**, 655-662 (2006).
156. Gazzaniga, M. S. Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nature reviews. Neuroscience* **6**, 653-659 (2005).
157. Driver, J., Baylis, G. C. & Rafal, R. D. Preserved figure-ground segregation and symmetry perception in visual neglect. *Nature* **360**, 73-75 (1992).
158. Borod, J. C., Bloom, R. L., Brickman, A. M., Nakhutina, L. & Curko, E. A. Emotional processing deficits in individuals with unilateral brain damage. *Applied Neuropsychology* **9**, 23-36 (2002).
159. Pardo, J. V., Fox, P. T. & Raichle, M. E. Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature* **349**, 61-64 (1991).
160. Sturm, W. *et al.* Functional anatomy of intrinsic alertness: evidence for a fronto-parietal-thalamic-brainstem network in the right hemisphere. *Neuropsychologia* **37**, 797-805 (1999).
161. Manly, T. *et al.* Enhancing the sensitivity of a sustained attention task to frontal damage: convergent clinical and functional imaging evidence. *Neurocase*. **9**, 340-349 (2003).
162. Coull, J. T. & Nobre, A. C. Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *Journal of Neuroscience* **18**, 7426-7435 (1998).
163. Sperry, R. W. A modified concept of consciousness. *Psychological Review* **76**, 532-536 (1969).
164. Springer, S. & Deutsch, G. *Left brain, right brain*. W.H. Freeman & Company, New York (1989).
165. Corballis, M. C. Cerebral asymmetry motor on. *Trends in Cognitive Sciences* **2**, 152-157 (1998).
166. Christman, S. D. Individual differences in stroop and local-global processing: a possible role of interhemispheric interaction. *Brain and Cognition* **45**, 97-118 (2001).
167. Kimura, D. *Sex and Cognition*. MIT Press, Cambridge, Mass (1999).

168. O'Boyle, M. W. A new millennium in cognitive neuropsychology research: the era of individual differences? *Brain and Cognition* **42**, 135-138 (2000).
169. Kinsbourne, M. *Unilateral Neglect: Clinical and Experimental Studies*. Robertson, I. H. & Marshall, J. C. (eds.), pp. 63-86 (Erlbaum, Hove, 1993).
170. Heilman, K. M. & Van Den, A. T. Right hemispheric dominance for mediating cerebral activation. *Neuropsychologia* **17**, 315-321 (1979).
171. Speedie, L. J. *et al.* Reading direction and spatial neglect. *Cortex* **38**, 59-67 (2002).
172. Heilman, K. M. & Van Den Abell, T. Right hemisphere dominance for attention: The mechanisms underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology* **30**, 327-330 (1980).
173. Nicholls, M. E. Temporal processing asymmetries between the cerebral hemispheres: evidence and implications. *Laterality* **1**, 97-137 (1996).
174. Hollander, A., Corballis, M. C. & Hamm, J. P. Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP. *Neuropsychologia* **43**, 35-40 (2005).
175. Hugdahl, K. Lateralization of cognitive processes in the brain. *Acta Psychologica* **105**, 211-235 (2000).
176. Schwartz, S. *et al.* Attentional load and sensory competition in human vision: modulation of fMRI responses by load at fixation during task-irrelevant stimulation in the peripheral visual field. *Cerebral Cortex* **15**, 770-786 (2005).
177. Galuske, R. A., Schlote, W., Bratzke, H. & Singer, W. Interhemispheric asymmetries of the modular structure in human temporal cortex. *Science* **289**, 1946-1949 (2000).
178. Hutsler, J. & Galuske, R. A. Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks. *Trends in Neurosciences* **26**, 429-435 (2003).
179. Oldfield, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* **9**, 97-113 (1971).
180. Sinnott, S., Juncadella, M., Rafal, R., Azanon, E. & Soto-Faraco, S. A dissociation between visual and auditory hemi-inattention: Evidence from temporal order judgements. *Neuropsychologia* **45**, 552-560 (2007).
181. Finney, D. J. *Probit analysis: Statistical treatment of the sigmoid curve*. Cambridge University Press, London (1964).
182. Priestley, M. B. *Non-linear and non-stationary time series analysis*. Academic Press, London (1988).

183. Muller, M. M. *et al.* Visually induced gamma-band responses in human electroencephalographic activity--a link to animal studies. *Experimental Brain Research* **112**, 96-102 (1996).
184. Tallon-Baudry, C. & Bertrand, O. Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends in Cognitive Sciences* **3**, 151-162 (1999).
185. Bertrand, O. & Pantev, C. *Oscillatory Event-Related Brain Dynamics*. Pantev, C., Elbert, T. & Lütkenhöner, B. (eds.), pp. 231-242 (Plenum Press, New York, 1994).
186. Gruber, T., Muller, M. M., Keil, A. & Elbert, T. Selective visual-spatial attention alters induced gamma band responses in the human EEG. *Clinical Neurophysiology* **110**, 2074-2085 (1999).
187. Tallon-Baudry, C. Attention and awareness in synchrony. *Trends in Cognitive Sciences* **8**, 523-525 (2004).
188. Karniski, W. & Blair, R. C. Topographical and temporal stability of the P300. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* **72**, 373-383 (1989).
189. Galán, L., Biscay, R., Rodriguez, J. L., Perez-Abalo, M. C. & Rodriguez, R. Testing topographic differences between event related brain potentials by using non-parametric combinations of permutation tests. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* **102**, 240-247 (1997).
190. Piñeiro, A., Reigosa, V. & Manzano, M. Frecuencia escrita y oral de palabras del lenguaje infantil. *Revista CNIC de Ciencias Biológicas* **30**, 176-178 (1999).
191. Enns, J. T. & Di Lollo, V. What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences* **4**, 345-352 (2000).
192. Weintraub, S. & Mesulam, M. M. Right cerebral dominance in spatial attention. Further evidence based on ipsilateral neglect. *Archives of Neurology* **44**, 621-625 (1987).
193. Foxe, J. J., McCourt, M. E. & Javitt, D. C. Right hemisphere control of visuospatial attention: line-bisection judgments evaluated with high-density electrical mapping and source analysis. *Neuroimage* **19**, 710-726 (2003).
194. Rolke, B., Ulrich, R. & Bausenhart, K. M. Attention delays perceived stimulus offset. *Vision Research* (2006).
195. McCourt, M. E., Freeman, P., Tahmahkera-Stevens, C. & Chaussee, M. The influence of unimanual response on pseudoneglect magnitude. *Brain and Cognition* **45**, 52-63 (2001).

196. Milner, A. D., Brechmann, M. & Pagliarini, L. To halve and to halve not: an analysis of line bisection judgements in normal subjects. *Neuropsychologia* **30**, 515-526 (1992).
197. Nicholls, M. E., Mattingley, J. B. & Bradshaw, J. L. The effect of strategy on pseudoneglect for luminance judgements. *Brain research. Cognitive Brain Research* **25**, 71-77 (2005).
198. Luh, K. E., Rueckert, L. M. & Levy, J. Perceptual Asymmetries for Free Viewing of Several Types of Chimeric Stimuli. *Brain and Cognition* **16**, 83-103 (1991).
199. Jaskowski, P. Selective attention and temporal-order judgment. *Perception* **22**, 681-689 (1993).
200. Rihs, T. A., Michel, C. M. & Thut, G. Mechanisms of selective inhibition in visual spatial attention are indexed by alpha-band EEG synchronization. *European Journal of Neuroscience* **25**, 603-610 (2007).
201. Makeig, S. Auditory Event-Related Dynamics of the EEG Spectrum and Effects of Exposure to Tones. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* **86**, 283-293 (1993).
202. Smit, A. S., Eling, P. A. & Coenen, A. M. Mental effort affects vigilance enduringly: after-effects in EEG and behavior. *International Journal of Psychophysiology* **53**, 239-243 (2004).
203. Smit, A. S., Eling, P. A. & Coenen, A. M. Mental effort causes vigilance decrease due to resource depletion. *Acta Psychologica* **115**, 35-42 (2004).
204. Hilgetag, C. C., Theoret, H. & Pascual-Leone, A. Enhanced visual spatial attention ipsilateral to rTMS-induced 'virtual lesions' of human parietal cortex. *Nature Neuroscience* **4**, 953-957 (2001).
205. Rushworth, M. F. S., Ellison, A. & Walsh, V. Complementary localization and lateralization of orienting and motor attention. *Nature Neuroscience* **4**, 656-661 (2001).
206. Vuilleumier, P., Hester, D., Assal, G. & Regli, F. Unilateral spatial neglect recovery after sequential strokes. *Neurology* **46**, 184-189 (1996).
207. Hummel, F., Andres, F., Altenmuller, E., Dichgans, J. & Gerloff, C. Inhibitory control of acquired motor programmes in the human brain. *Brain* **125**, 404-420 (2002).
208. Jensen, O., Gelfand, J., Kounios, J. & Lisman, J. E. Oscillations in the alpha band (9-12 Hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cerebral Cortex* **12**, 877-882 (2002).

209. Porac, C., Searleman, A. & Karagiannakis, K. Pseudoneglect: Evidence for both perceptual and attentional factors. *Brain and Cognition* (2006).
210. Kaiser, J., Birbaumer, N. & Lutzenberger, W. Event-related beta desynchronization indicates timing of response selection in a delayed-response paradigm in humans. *Neuroscience Letters* **312**, 149-152 (2001).
211. Kaiser, J., Ulrich, R. & Lutzenberger, W. Dynamics of sensorimotor cortex activation to spatial sounds precueing ipsi- versus contralateral manual responses. *Brain research. Cognitive Brain Research* **17**, 573-583 (2003).
212. Filipovic, S. R., Jahanshahi, M. & Rothwell, J. C. Uncoupling of contingent negative variation and alpha band event-related desynchronization in a go/no-go task. *Clinical Neurophysiology* **112**, 1307-1315 (2001).
213. Dobler, V. *et al.* Interaction of hand use and spatial selective attention in children. *Neuropsychologia* **39**, 1055-1064 (2001).
214. Failla, C. V., Sheppard, D. M. & Bradshaw, J. L. Age and responding-hand related changes in performance of neurologically normal subjects on the line-bisection and chimeric-faces tasks. *Brain and Cognition* **52**, 353-363 (2003).
215. Fu, K. M. *et al.* Attention-dependent suppression of distracter visual input can be cross-modally cued as indexed by anticipatory parieto-occipital alpha-band oscillations. *Brain research. Cognitive Brain Research* **12**, 145-152 (2001).
216. Artigas-Pallares, J. Problems associated with dyslexia. *Revista de Neurología* **34**, 7-13 (2002).
217. Richardson, A. J. & Ross, M. A. Fatty acid metabolism in neurodevelopmental disorder: a new perspective on associations between attention-deficit/hyperactivity disorder, dyslexia, dyspraxia and the autistic spectrum. *Prostaglandins, leukotrienes, and essential fatty acids* **63**, 1-9 (2000).
218. Ramus, F. *et al.* Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* **126**, 841-865 (2003).
219. Grigorenko, E. L. The first candidate gene for dyslexia: Turning the page of a new chapter of research. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **100**, 11190-11192 (2003).
220. Fisher, S. E. & DeFries, J. C. Developmental dyslexia: genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature reviews. Neuroscience* **3**, 767-780 (2002).
221. Bradley, L. & Bryant, P. E. Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature* **271**, 746-747 (1978).



222. Nicolson, R. I. *et al.* Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet* **353**, 1662-1667 (1999).
223. Lovegrove, W. J., Bowling, A., Badcock, D. & Blackwood, M. Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science* **210**, 439-440 (1980).
224. Hari, R. & Renvall, H. Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences* **5**, 525-532 (2001).
225. Meng, X. *et al.* Auditory and speech processing and reading development in Chinese school children: behavioural and ERP evidence. *Dyslexia* **11**, 292-310 (2005).
226. Buller, N. & Ptok, M. Is there a correlation between low-level auditory processing and phonological processing in preschool children? *HNO* **54**, 715-720 (2006).
227. Bretherton, L. & Holmes, V. M. The relationship between auditory temporal processing, phonemic awareness, and reading disability. *Journal of Experimental Psychology* **84**, 218-243 (2003).
228. Zabell, C. & Everatt, J. Surface and phonological subtypes of adult developmental dyslexia. *Dyslexia* **8**, 160-177 (2002).
229. Milne, R. D., Nicholson, T. & Corballis, M. C. Lexical access and phonological decoding in adult dyslexic subtypes. *Neuropsychology* **17**, 362-368 (2003).
230. Stein, J. & Walsh, V. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences* **20**, 147-152 (1997).
231. Steinman, S. B., Steinman, B. A. & Garzia, R. P. Vision and attention. II: Is visual attention a mechanism through which a deficient magnocellular pathway might cause reading disability? *Optometry and Vision Science* **75**, 674-681 (1998).
232. Stein, J. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* **7**, 12-36 (2001).
233. Bohm, B., Smedler, A. C. & Forsberg, H. Impulse control, working memory and other executive functions in preterm children when starting school. *Acta Paediatrica* **93**, 1363-1371 (2004).
234. van der Meere, J. & Stemerink, N. The development of state regulation in normal children: An indirect comparison with children with ADHD. *Developmental Neuropsychology* **16**, 213-225 (1999).
235. Green, C. S. & Bavelier, D. Action video game modifies visual selective attention. *Nature* **423**, 534-537 (2003).

236. Hausmann, M., Waldie, K. E. & Corballis, M. C. Developmental changes in line bisection: a result of callosal maturation? *Neuropsychology* **17**, 155-160 (2003).
237. Facoetti, A. & Turatto, M. Asymmetrical visual fields distribution of attention in dyslexic children: a neuropsychological study. *Neuroscience Letters* **290**, 216-218 (2000).
238. Facoetti, A., Paganoni, P. & Lorusso, M. L. The spatial distribution of visual attention in developmental dyslexia. *Experimental Brain Research* **132**, 531-538 (2000).
239. Facoetti, A. & Molteni, M. The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia* **39**, 352-357 (2001).
240. Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C. & Petersen, A. On the bases of two subtypes of developmental [corrected] dyslexia. *Cognition* **58**, 157-195 (1996).
241. Galaburda, A. M. & Cestnick, L. Developmental dyslexia. *Revista de Neurologia* **36**, 3-9 (2003).
242. Shaywitz, B. A. *et al.* Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry* **52**, 101-110 (2002).
243. Vidyasagar, T. R. Attentional gating in primary visual cortex: a physiological basis for dyslexia. *Perception* **34**, 903-911 (2005).
244. Vidyasagar, T. R. & Pammer, K. Impaired visual search in dyslexia relates to the role of the magnocellular pathway in attention. *Neuroreport* **10**, 1283-1287 (1999).
245. Nicholls, M. E. & Roberts, G. R. Can free-viewing perceptual asymmetries be explained by scanning, pre-motor or attentional biases? *Cortex* **38**, 113-136 (2002).
246. Temple, E. Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Current Opinion in Neurobiology* **12**, 178-183 (2002).
247. Shore, D. I., Spry, E. & Spence, C. Confusing the mind by crossing the hands. *Brain research. Cognitive Brain Research* **14**, 153-163 (2002).
248. Spencer, K. M. & Banich, M. T. Hemispheric biases and the control of visuospatial attention: an ERP study. *BMC Neuroscience* **6**, 51 (2005).
249. Jaskowski, P. & Verleger, R. Attentional bias toward low-intensity stimuli: an explanation for the intensity dissociation between reaction time and temporal order judgment? *Consciousness and Cognition* **9**, 435-456 (2000).
250. Chokron, S. & De, A. M. Reading habits influence aesthetic preference. *Brain research. Cognitive Brain Research* **10**, 45-49 (2000).

251. Chokron, S., Bartolomeo, P., Perenin, M. T., Helft, G. & Imbert, M. Scanning direction and line bisection: a study of normal subjects and unilateral neglect patients with opposite reading habits. *Brain research. Cognitive Brain Research* **7**, 173-178 (1998).

## 12. GLOSARIO

- **Atención sostenida:** Se refiere a la habilidad de mantener una respuesta conductual consistente durante una actividad repetitiva y continua.
- **Comisurotomía:** Ablación del cuerpo caloso. Consistente en la sección del cuerpo caloso de un sujeto (normalmente dejando otras comisuras más pequeñas intactas), de forma que se impida la comunicación entre los dos hemisferios cerebrales.
- **Efecto de flancos:** Se produce cuando los estímulos que rodean o flanquean al estímulo diana interfieren o facilitan la tarea que se haga con este.
- **Efecto Stroop:** Es una demostración de interferencia en el tiempo de reacción de una tarea.
- **Estímulo diana:** En un experimento es el estímulo de prueba, con el cual el sujeto debe ejecutar una tarea o al cual debe responder.
- **Máscara:** Estímulo que se usa para producir interferencia en la percepción de otro estímulo.
- **Mini-negligencia:** Sesgo espacial semejante al que ocurre en la negligencia (hacia la derecha) pero de menor magnitud.
- **Pre-avisos espaciales:** Estímulo que al ser presentado previamente indica el lugar de aparición de un segundo estímulo posterior.
- **Pseudonegligencia:** Pequeño sesgo atencional hacia la izquierda que ocurre en sujetos normales.
- **Rivalidad binocular:** Es un fenómeno de la percepción visual en el cual la percepción alterna entre imágenes diferentes presentadas a cada ojo.
- **Sesgo:** Tendencia, orientación, desplazamiento.

### **13. ABREVIATURAS**

**PA:** Parapadeo atencional

**JOT:** Juicio de orden temporal

**ACE:** Asincronía entre comienzo de estímulos

**LAG:** Lapso de ajuste gradual

**EEG:** Electroencefalograma

**EOG:** Electrooculograma

**T1:** Primer estímulo en la tarea de PA

**T2:** Segundo estímulo en la tarea de PA

**DPJ:** Diferencia perceptible justa

**PSS:** Punto de simultaneidad subjetiva

**RMN:** Resonancia Magnética Nuclear

**RMNf:** Resonancia Magnética Nuclear funcional

**Hz:** Hertz

**ms:** Milisegundos

**MPE:** Media del poder espectral

**PEV:** Potenciales evocados visuales

**CI:** Coeficiente intelectual

**DE:** Desviación estándar

**TDAH:** Trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

**PVSR:** Presentaciones visuales seriadas rápidas