UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Departamento de Psicoloxía Clínica e Psicobioloxía

CARACTERIZACIÓN PSICOFISIOLÓGICA DE LA CAPTURA AUTOMÁTICA DE LA ATENCIÓN VISUAL

Sonia Doallo Pesado

Santiago de Compostela, 2006

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Departamento de Psicoloxía Clínica e Psicobioloxía

CARACTERIZACIÓN PSICOFISIOLÓGICA DE LA CAPTURA AUTOMÁTICA DE LA ATENCIÓN VISUAL

Tesis Doctoral presentada por
Sonia Doallo Pesado
para optar al grado de doctor, dirigida por
el Dr. Fernando Cadaveira Mahía
y la Dra. Socorro Rodríguez Holguín

Santiago de Compostela, 2006

A mis padres, Mela y Antonio

A mis hermanos, Alex y Miguel

Y, naturalmente, a Gemma, mi hermana gemela

AGRADECIMIENTOS

Desearía expresar mi agradecimiento a mi director de tesis, Fernando Cadaveira, por haberme dado la oportunidad de aprender a su lado y por la confianza depositada en mí desde el primer día. Por su guía, su visión crítica, sus ideas y sus innumerables orientaciones y sugerencias. Le agradezco, en especial, el imprescindible apoyo, los sabios consejos y la amistad que me brindó en los momentos difíciles.

Me gustaría expresar mi gratitud a mi directora de tesis, Coqui Rodríguez Holguín, por la cuidadosa dirección y supervisión de esta tesis, sus continuas y brillantes aportaciones y, muy especialmente, quiero darle las gracias por haber multiplicado las horas para dedicarme tiempo del que no disponía. Su claridad de ideas, su buen criterio y su inagotable capacidad de trabajo han sido un ejemplo para mí durante todos estos años.

A Elena Amenedo, por su inestimable ayuda en el laboratorio y su asesoramiento y continua disponibilidad durante el desarrollo de la investigación incluida en esta tesis.

A Begoña, Carmen, Laura y Paula, mis compañeras de despacho y de fatigas; nuestras interminables charlas y las miles de risas compartidas han hecho más fácil y grato el trabajo diario.

A Mónica Lindín, por su increíble calidad humana y por disponer siempre de una sonrisa.

Quiero agradecer a los profesores Salvador Bará y Marisol Rodríguez su asesoramiento en distintas cuestiones metodológicas surgidas durante la elaboración de esta tesis.

Deseo mostrar también mi gratitud a los compañeros y compañeras del área de Psicobiología y de la Facultad de Psicología que se han interesado por este trabajo y que me han ofrecido su ayuda y colaboración en numerosas ocasiones.

A mis amigas de siempre, Alma, Rosa, María e Isa, por algo tan difícil como es saber escuchar. Sé que siempre podré contar con vosotras.

Me gustaría expresar de forma muy especial mi gratitud a mi familia por su apoyo constante y su paciencia. A mis padres, porque sin su sacrificio y su infinita generosidad a lo largo de todos estos años, esta tesis no habría sido posible. Soy realmente afortunada por tenerlos a mi lado. A mis hermanos, Alex y Miguel, por escucharme y confiar en mí más que yo misma. Y, por supuesto, gracias Gemma, porque a ti te debo lo que soy. Desearía agradecer también a mis cuñados, Eva, María y Pedro, su comprensión y continuo afecto.Y, finalmente, un último y especial agradecimiento a mis sobrinos, que vienen ya de camino, porque son el mejor regalo que mis hermanos podían hacerme.

ÍNDICE

I. PRESENTACIÓN 1

II. EXPERIMENTO 1. INDICES PSICOFISIOLÓGICOS DE LOS EFECTOS DE LA ORIENTACIÓN VOLUNTARIA E INVOLUNTARIA DE LA ATENCIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO VISUAL TEMPRANO 5

1. INTRODUCCIÓN 5

1.1. La señalización válida de la localización del estímulo objetivo facilita la ejecución conductual. 5

1.2. La orientación voluntaria de la atención espacial afecta al procesamiento visual temprano de los estímulos. 8

1.3. Los efectos de la orientación automática de la atención espacial sobre el procesamiento visual temprano están menos claros. 11

1.3.1. Efectos de la señalización periférica sobre el componente P1 12

1.3.2. Efectos de la señalización periférica sobre el componente N1 23

1.4. Resumen de los efectos de la orientación visoespacial voluntaria e involuntaria sobre el procesamiento visual temprano. 24

2. OBJETIVOS 25

3. MÉTODO 26

3.1. Sujetos 26

3.2. Equipos y material 26

3.3. Procedimiento y estímulos 27

3.3.1. Condición de señal central informativa (SC) 27

3.3.2. Condición de señal periférica informativa (SP) 29

3.3.3. Condición de señal periférica no informativa (SPN) 30

3.3.4. Procedimiento general para todas las condiciones 30

3.4. Registro electrofisiológico y análisis de datos 31

3.4.1. Registro electrofisiológico 31

3.4.2. Procesamiento del EEG e identificación de los componentes de los PE 32

3.4.3. Análisis de datos 34

4. RESULTADOS 35

4. 1. Resultados conductuales 35

4. 2. Resultados de PE 37

4.2.1. Amplitud de P1 37

4.2.2. Amplitud de N1 46

4.2.3. Resumen de resultados significativos para cada tipo de señal y condición de SOA. 57

5. DISCUSIÓN 58

5.1. Efectos de la señalización central y periférica en la ejecución conductual. 58

5.2. Efectos de la señalización central y periférica sobre el procesamiento visual temprano: modulaciones del componente P1. 62

5.3. Efectos de la señalización central y periférica sobre el procesamiento visual temprano: modulaciones del componente N1. 69

III. EXPERIMENTO 2. CARACTERIZACIÓN PSICOFISIOLÓGICA DE LA CAPTURA AUTOMÁTICA DE LA ATENCIÓN VISUAL POR ESTÍMULOS EMOCIONALES: EFECTOS DE LA CARGA ATENCIONAL 79

1. INTRODUCCIÓN 79

1.1. El contenido emocional de los estímulos dirige la atención y facilita el procesamiento visual. 79

1.2. Evidencia de un sesgo atencional hacia estímulos con valencia emocional negativa. 82

1.3. La captura automática de la atención por estímulos emocionales presentados fuera del foco atencional: evidencia convergente y debates actuales. 84

1.4. La carga atencional de la tarea relevante modula el procesamiento de los estímulos distractores: ¿Son los estímulos emocionales inmunes a este factor?. 93

2. OBJETIVOS 101

3. MÉTODO 101

3.1. Sujetos 101

3.2. Procedimiento y estímulos 102

3.3. Registro electrofisiológico y análisis de datos 103

3.3.1. Análisis de los PE ante estímulos distractores 105

3.3.2. Análisis de los PE ante estímulos objetivo 106

4. RESULTADOS 107

4.1. Resultados conductuales 107

4.2. Resultados de PE 109

4.2.1. Resultados de PE ante estímulos distractores 109

4.2.2. Resultados de PE ante estímulos objetivo 129

5. DISCUSIÓN 138

5.1. Los estímulos distractores con valencia emocional negativa capturan la atención de forma automática sólo en condiciones de baja carga atencional: evidencia desde las modulaciones de amplitud de N1-P2. 139

5.2. Los estímulos distractores con valencia emocional negativa capturan la atención de forma automática sólo en condiciones de baja carga atencional: evidencia a partir de sus efectos sobre el procesamiento sensorial de los estímulos relevantes. 148

5.3. Cuestiones metodológicas 153

5.4. Conclusiones 155

IV. CONCLUSIONES GENERALES 159

V. CONSIDERACIONES FINALES Y PROPUESTAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES 163

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 167

ANEXOS 181

ANEXO I: Artículos publicados relativos al Experimento 1

ANEXO II: Procedimiento de corrección de la posible superposición de PE

ANEXO III: Media y desviación típica en las dimensiones de valencia y arousal de cada diapositiva del IAPS con valencia afectiva neutra y negativa

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios de señalización periférica mediante PE **13**

Tabla 2. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de TR (ms) en función del SOA, campo visual y validez en cada una de las condiciones de señalización..... **36**

Tabla 3. Resumen del análisis estadístico (valores *p*) del efecto de validez sobre la amplitud de P1 en localizaciones occipitales y parietales en las condiciones de SC, SP y SPN **37**

Tabla 4. Resumen del análisis estadístico (valores *p*) del efecto de validez sobre la amplitud de P1 en localizaciones occipitales y parietales para cada SOA en las condiciones de SP y SPN **38**

Tabla 5. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de la amplitud de N1 (en microvoltios) en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales al estímulo objetivo en la condición de SC **46**

Tabla 6. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de la amplitud de N1 (en microvoltios) en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales a la localización del estímulo objetivo en la condición de SP **52**

Tabla 7. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de la amplitud de N1 (en microvoltios) en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales a la localización del estímulo objetivo en la condición de SPN..... **56**

Tabla 8. Valores medios de TR (ms) y tasa de aciertos (% de respuestas correctas) con sus desviaciones típicas (entre paréntesis), en función del tipo de distractor previo en las condiciones fácil y difícil..... **108**

Tabla 9. Contrastes *post-hoc* del factor Región sobre la amplitud de N1-P2 ..... **109**

Tabla 10. Valores *F* y *p* de los efectos principales e interacciones significativas de primer orden en el análisis general de las amplitudes medias

en cada uno de los intervalos temporales evaluados con los factores Valencia, Dificultad, Hemisferio, Región y Campo visual **119**

Tabla 11. Valores *F* y *p* de los efectos principales e interacciones significativas de primer y segundo orden obtenidos en el análisis de las amplitudes medias en los intervalos temporales con efectos significativos en el factor Valencia para cada una de las condiciones experimentales..... **120**

Tabla 12. Efectos e interacciones significativas de primer y segundo orden obtenidos en el análisis de las amplitudes medias en las distintas regiones evaluadas para la condición fácil **121**

Tabla 13. Efectos e interacciones significativas de primer y segundo orden obtenidos en el análisis de las amplitudes medias en las distintas regiones evaluadas para la condición difícil **122**

Tabla 14. Significación del factor Valencia en función del hemisferio o del campo visual en las regiones posteriores para los intervalos 80-100 y 100-120 ms, condición fácil..... **123**

Tabla 15. Significación del factor Valencia en el hemisferio derecho ante estímulos presentados en el campo visual izquierdo en el intervalo 80-100 ms, condición difícil..... **124**

Tabla 16. Efectos de lateralidad (H x CV) en función de la valencia del estímulo en las regiones con interacciones V x H x CV significativas en el intervalo 80-100 ms, condición difícil **125**

Tabla 17. Efectos de lateralidad (H x CV) en función de la valencia del estímulo en las regiones con interacciones V x H x CV significativas en el intervalo 100-120 ms, condición difícil **126**

Tabla 18. Efectos del campo visual de presentación del estímulo y del hemisferio de registro en función de la valencia del estímulo en las regiones con interacciones V x H x CV significativas en el intervalo 260-280 ms, condición fácil..... **127**

Tabla 19. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de P1 .. **132**

Tabla 20. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de P1 en cada una de las regiones craneales **133**

Tabla 21. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de P1 en la condición fácil **133**

Tabla 22. Factores e interacciones significativas en la amplitud de P1 en la condición difícil **134**

Tabla 23. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1.. **134**

Tabla 24. Significación del factor Distractor sobre la amplitud de N1 en cada una de las regiones craneales **135**

Tabla 25. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1 de los factores analizados en cada hemisferio..... **136**

Tabla 26. Factores e interacciones significativas en la amplitud de N1 en la condición fácil **136**

Tabla 27. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1 en cada una de las regiones craneales en la condición fácil **137**

Tabla 28. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1 en cada hemisferio en la condición fácil..... **137**

Tabla 29. Factores e interacciones significativas en la amplitud de N1 en la condición difícil **137**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de las series de estímulos utilizados en la condición de señal central informativa **28**

Figura 2. Representación esquemática de las series de estímulos utilizados en las condiciones de señal periférica informativa y no informativa **29**

Figura 3. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SP en el SOA de 100 ms **39**

Figura 4. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SP en el SOA de 500 ms **40**

Figura 5. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 100 ms **42**

Figura 6. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 300 ms **43**

Figura 7. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 500 ms **44**

Figura 8. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 700 ms **45**

Figura 9. Curso temporal del efecto de validez en N1 en la condición de SC: diferencias entre ensayos válidos-inválidos en función del SOA **47**

Figura 10. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SC en el SOA de 100 ms **48**

Figura 11. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SC en el SOA de 500 ms **49**

Figura 12. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en la condición de SC en el SOA de 300 ms..... **50**

Figura 13. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SC en el SOA de 700 ms **51**

Figura 14. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en la condición de SP en el SOA de 300 ms..... **54**

Figura 15. Trazados de los PE en ensayos válidos e inválidos para SP en el SOA de 700 ms **55**

Figura 16. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual izquierdo en la condición fácil..... **110**

Figura 17. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual derecho en la condición fácil..... **111**

Figura 18. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual izquierdo en la condición difícil **112**

Figura 19. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual derecho en la condición difícil..... **113**

Figura 20. Medias estimadas de N1-P2 en localizaciones frontales (F), frontocentrales (FC), centrales (C), centroparietales (CP), parietales (P), temporales (T), parietoccipitales (PO) y occipitales (O)..... **114**

Figura 21. Efectos de la valencia afectiva de los estímulos distractores sobre la amplitud de N1-P2 en la condición fácil..... **115**

Figura 22. Medias estimadas de la amplitud de N1-P2 en las regiones parietoccipital y occipital del hemisferio izquierdo (HI) y derecho (HD) en función del campo visual de presentación de los estímulos distractores (CVI: campo visual izquierdo; CVD: campo visual derecho)**.....116**

Figura 23. Mapas topográficos 2-D de la actividad eléctrica calculados a partir de las grandes medias en la latencia de máxima amplitud (220 ms) para distractores neutros (N) y emocionales (E-) en las dos condiciones experimentales**.....117**

Figura 24. Condición fácil: Grandes promedios obtenidos en respuesta a los estímulos objetivo centrales no precedidos por estímulos distractores y precedidos por estímulos distractores emocionales negativos (E-) o neutros (N) presentados en el campo visual izquierdo (CVI) y el campo visual derecho (CVD) **.....130**

Figura 25. Condición difícil: Grandes promedios obtenidos en respuesta a los estímulos objetivo centrales no precedidos por estímulos distractores y precedidos por estímulos distractores emocionales negativos (E-) o neutros (N) presentados en el campo visual izquierdo (CVI) y el campo visual derecho (CVD) **.....131**

Figura 26. Medias estimadas de P1 en localizaciones parietales (P), temporales (T), parietoccipitales (PO) y occipitales (O)**.....132**

Figura 27. Medias estimadas de N1 en localizaciones parietales (P), temporales (T), parietoccipitales (PO) y occipitales (O)**.....134**

I. PRESENTACIÓN

La presente tesis se desarrolla dentro de un proyecto de investigación que tiene como objetivo la caracterización psicofisiológica de los procesos de atención visual, principalmente orientación y captura de la atención. Así mismo, desde esta línea de investigación se pretenden identificar los procesos de facilitación e interferencia sobre la atención visual. Dentro de este contexto, la revisión teórica de las investigaciones realizadas hasta la actualidad sobre Potenciales Evocados (PE) y atención visual, puso de manifiesto que la gran mayoría de los estudios que se han ocupado de los índices psicofisiológicos de la orientación visual se han basado en el paradigma de orientación encubierta desarrollado por Posner (Posner, 1980; Posner, Nissen y Ogden, 1978). Este tipo de paradigma se caracteriza por la presentación de una señal visual que indica la localización más probable en la cual aparecerá con posterioridad un estímulo objetivo. La orientación visoespacial encubierta puede ser iniciada por dos tipos de señales: señales centrales (asociadas con un mecanismo de orientación voluntario) o señales periféricas (relacionadas con un mecanismo de orientación involuntario). Teniendo en cuenta estas consideraciones, el primer experimento presentado en esta tesis utiliza el paradigma de orientación atencional de Posner con el fin de determinar los efectos facilitadores y/o inhibidores de la orientación voluntaria e involuntaria de la atención visual sobre el procesamiento sensorial en el córtex visual. La caracterización de los índices psicofisiológicos de la modulación del procesamiento visual temprano que ocurre como consecuencia de la orientación atencional automática (en respuesta a señales periféricas) y voluntaria (en respuesta a señales centrales), se llevará a cabo mediante la manipulación de determinados parámetros estimulares (intervalo entre la señal y el estímulo objetivo y valor informativo de las señales) que influyen en los efectos de la orientación visoespacial y modulan el curso temporal de dichos efectos.

En un segundo experimento, se pretende profundizar y ampliar esta investigación inicial acerca de los correlatos psicofisiológicos de la captura automática de la atención mediante la inclusión de estímulos de mayor significación biológica para los sujetos, específicamente, estímulos con valencia emocional. En el experimento previo, se consideraron los efectos sobre el procesamiento visual de la orientación guiada a través de la manipulación de la expectativa de estímulos neutros, esto es, estímulos sin valor emocional. No obstante, un importante cuerpo de investigaciones ha defendido, partiendo de un punto de vista evolutivo, que en ambientes naturales, la dirección de la atención se encuentra principalmente determinada por el significado motivacional de los estímulos (Lang, Bradley y Cuthbert, 1997). En relación con esto, se ha propuesto que los estímulos con valor emocional negativo pueden capturar la atención automática más fácilmente, y producen una mayor interferencia sobre tareas en curso que los estímulos con valencia emocional positiva o neutra. Dentro de este contexto, una cuestión que se encuentra actualmente a debate sobre la relación entre atención y emoción hace referencia a la posibilidad del procesamiento automático de estímulos irrelevantes (distractores) con valencia emocional, independientemente de la carga de procesamiento de la tarea en curso. Así, en esta tesis se presenta un segundo experimento que fue llevado a cabo con la finalidad de contribuir a la clarificación, mediante la técnica de los PE, de si los estímulos emocionales poseen un status privilegiado para capturar los recursos atencionales, dada su significación biológica, y en qué medida esta captura involuntaria de la atención se encuentra modulada por la carga de procesamiento exigida por una tarea relevante para el sujeto. Con estos objetivos, se realizó un estudio en el que se registraron los PE ante estímulos emocionales no atendidos presentados en el contexto de tareas de atención controlada que variaban en carga atencional.

La tesis se estructura en dos grandes bloques que se corresponden, respectivamente, con el primer y segundo experimentos realizados. Cada uno de los estudios comienza con un apartado introductorio en el que se delimita el marco teórico en el que se desarrolla la investigación propuesta, incluyendo una revisión bibliográfica de los datos experimentales existentes, tanto desde una perspectiva conductual como psicobiológica, la cual derivará en el planteamiento del problema y los objetivos. A continuación se describen el diseño y las características metodológicas de los experimentos realizados, así como los principales resultados obtenidos; seguidamente, se expone la discusión e implicaciones de estos resultados.

Finalmente, se presenta una última parte en la que se recogen las conclusiones generales del trabajo realizado y se perfilan algunas de las líneas de investigación futuras que de la presente tesis doctoral se derivan.

II. EXPERIMENTO 1. INDICES PSICOFISIOLÓGICOS DE LOS EFECTOS DE LA ORIENTACIÓN VOLUNTARIA E INVOLUNTARIA DE LA ATENCIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO VISUAL TEMPRANO

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La señalización válida de la localización del estímulo objetivo facilita la ejecución conductual.

La orientación de la atención visoespacial ha sido extensamente investigada mediante el paradigma de orientación encubierta desarrollado por Posner (Posner, 1980; Posner *et al.*, 1978). Con este paradigma, este autor inició una línea de investigación pionera sobre estudios denominados de señalización espacial, los cuales se caracterizan por la presentación de una señal visual que indica la localización más probable en la cual aparecerá con posterioridad un estímulo objetivo.

Posner utilizó tres tipos de ensayos: ensayos válidos, en los cuales la señal indicaba correctamente la localización del estímulo objetivo posterior; ensayos inválidos, en los cuales la señal indicaba una localización incorrecta, y ensayos neutros, en los cuales la señal no proporcionaba información sobre la localización del estímulo objetivo. En comparación con la condición de señal neutra, encontró que los tiempos de reacción (TR) fueron más rápidos ante estímulos objetivo señalados de forma válida (beneficios) y más lentos ante estímulos objetivo señalados de forma inválida (costes). La diferencia entre las respuestas a los estímulos objetivo señalados válida e inválidamente se conoce con el nombre de efecto de validez (*validity effect*).

Aunque la atención a sucesos visuales a menudo implica localizar el estímulo relevante en la fóvea, estos efectos de la atención espacial han sido obtenidos también en ausencia de movimientos oculares,

independientemente de cambios en la posición retinal del estímulo. Bajo tales circunstancias, se dice que la atención ha sido dirigida de forma encubierta a localizaciones en el campo visual.

Estos beneficios en el TR observados bajo condiciones de señalización válida se han interpretado como consecuencia de una mayor eficiencia del procesamiento perceptivo de estímulos presentados en localizaciones atendidas (Posner, 1980).

La orientación encubierta de la atención puede ser iniciada por dos tipos de señales. Las *señales centrales (*o *simbólicas)* se presentan normalmente en el punto de fijación, e inician el desplazamiento de la atención en función de la información simbólica que contienen acerca de la localización probable del estímulo objetivo. Las *señales periféricas*, suelen presentarse en o cerca de la localización en la cual puede aparecer el estímulo objetivo. Las señales periféricas no requieren la interpretación de su significado antes de que la atención pueda ser desplazada hacia la localización indicada; estas señales atraen la atención directamente hacia la posición en la que aparecen.

Los mecanismos de orientación de la atención visual mediante señales centrales y periféricas han sido extensamente investigados mediante estudios conductuales. Estos trabajos han puesto de manifiesto que ambos tipos de señales facilitan la atención, pero los efectos obtenidos con unas y otras difieren en algunos aspectos. Específicamente, se han propuesto dos sistemas de orientación atencional diferentes para describir los procesos que subyacen a los efectos de la señalización central y periférica: el sistema voluntario –endógeno o *top-down*– y el sistema involuntario –exógeno o *bottom-up*– (Briand y Klein, 1987; Jonides, 1981; Müller y Rabbitt, 1989).

En relación con esto, hay evidencia de que el curso temporal de los efectos de validez de la señal difiere entre señales centrales y periféricas. Las señales periféricas parecen dirigir la atención rápida y automáticamente; la facilitación resultante en el TR para estímulos objetivo señalados de forma válida puede ocurrir con intervalos temporales entre el comienzo de la señal y el comienzo del estímulo objetivo (SOAs; *stimulus onset asynchronies*) tan cortos como 50-100 ms (Posner y Cohen, 1984). Cuando una señal periférica

no proporciona información sobre la localización del estímulo objetivo (la probabilidad de que éste aparezca en el lugar señalado es del 50%), con SOAs más largos (300 ms o más), los TR a estímulos señalados de forma válida son más lentos que los TR a estímulos señalados de forma inválida (Posner y Cohen, 1984). Este efecto se conoce como "Inhibición de Retorno" (IR). Posner y Cohen (1984) explicaron este efecto de la siguiente forma: una vez capturada la atención en una de las localizaciones del campo visual por la presentación de una señal periférica, la atención facilita el procesamiento en esa posición, pero transcurrido un tiempo la atención se desplaza de nuevo hacia la fijación ocular. Si el estímulo objetivo aparece en la localización previamente señalada, las respuestas son más lentas porque se inhibe que la atención vuelva al mismo lugar. Así, este efecto se encuentra relacionado con un mecanismo inhibitorio que impide la exploración repetitiva de la misma posición, favoreciendo, de este modo, la exploración de localizaciones nuevas en el ambiente.

Sin embargo, cuando una señal periférica predice con una alta probabilidad la localización del estímulo objetivo, el efecto de validez continúa con SOAs de 300 ms o más (Wright y Richard, 2000). Los hallazgos de este tipo han sido interpretados como el resultado de un proceso de orientación voluntaria hacia la localización señalada inducido por la señalización periférica informativa con SOAs largos, que supera el efecto de IR.

Estas características temporales de los efectos de las señales periféricas no se observan ante señalización central; las señales centrales producen un desplazamiento voluntario, endógeno, de la atención que tiene un tiempo de comienzo relativamente lento (al menos 200 ms) (Müller y Rabbitt, 1989), pero cuyos efectos son más persistentes e independientes del SOA señal-estímulo objetivo (Yamaguchi, Tsuchiya y Kobayashi, 1994), y no provocan IR (Posner y Cohen, 1984).

1.2. La orientación voluntaria de la atención espacial afecta al procesamiento visual temprano de los estímulos.

La orientación visoespacial encubierta en respuesta a señales centrales y periféricas se ha investigado también mediante PE. Estos estudios han revelado que la ejecución más eficiente por señalización central válida se encuentra asociada con incrementos de la amplitud de los componentes P1 (en el rango de latencia de 70 a 120 ms) y N1 (a los 130-200 ms) ante estímulos presentados en localizaciones señaladas de forma válida, comparados con estímulos presentados en localizaciones señaladas de forma inválida (Mangun, Hansen y Hillyard, 1987; Mangun y Hillyard, 1991). Estas modulaciones de la amplitud de los componentes sensoriales tempranos han sido interpretadas en términos de un mecanismo de ganancia sensorial que actúa para incrementar o disminuir la magnitud de la actividad neural provocada por el estímulo, de acuerdo con la cantidad de atención asignada a ese canal (Hillyard, Vogel y Luck, 1999).

No obstante, varios estudios han informado de disociaciones entre los efectos de atención P1 y N1 en distintas tareas de atención visoespacial (Heinze, Luck, Mangun y Hillyard, 1990; Heinze y Mangun, 1995; Luck, Heinze, Mangun y Hillyard, 1990; Luck y Hillyard, 1995; Mangun y Hillyard, 1991). Estas disociaciones sugieren que estos dos componentes de los PE reflejan diferentes procesos atencionales (para una revisión véase Luck, 1995). Hay evidencia que muestra que las modulaciones de amplitud de P1 reflejan un control de ganancia atencional dentro del córtex visual extraestriado (Gómez, Clark, Fan, Luck y Hillyard, 1994; Heinze *et al.*, 1994; Mangun, Hillyard y Luck, 1993; Mangun, Hopfinger, Kussmaul, Fletcher y Heinze, 1997; Martínez *et al.*, 1999). Luck *et al.* (1994), en un estudio de señalización espacial que incluía ensayos neutros –los cuales permiten distinguir entre beneficios y costes atencionales– encontraron amplitudes de P1 reducidas en ensayos inválidos comparados con ensayos neutros, sugiriendo que el efecto de atención en P1 podría reflejar un mecanismo que suprime información desde localizaciones no atendidas.

El significado funcional del efecto de atención N1 no ha sido todavía bien establecido. Luck (1995), a partir de varias líneas de evidencia, propuso que "refleja un proceso discriminativo de capacidad limitada que se aplica a estímulos atendidos"[1]. En primer lugar, el efecto de atención N1 refleja una facilitación del procesamiento de estímulos presentados en la localización atendida (Luck y Hillyard, 1995; Luck *et al.*, 1994). En segundo lugar, este efecto está únicamente presente cuando los sujetos realizan una tarea de discriminación en la localización atendida (Mangun y Hillyard, 1991). En tercer lugar, se ha observado una reducción o supresión del efecto de atención N1 en condiciones en las que el tiempo entre estímulos sucesivos en la localización atendida es corto (Heinze *et al.*, 1990; Luck *et al.*, 1990), lo que podría ser un índice de la capacidad limitada de este proceso. Más recientemente, Vogel y Luck (2000) han ofrecido nueva evidencia consistente con la hipótesis de que el componente N1 refleja un proceso discriminativo visual en localizaciones atendidas. De forma similar, Hopf, Vogel, Woodman, Heinze y Luck (2002) en un estudio reciente en el que combinaron registros de PE y magnetoencefalográficos (MEG), encontraron una mayor negatividad en el rango de latencia de N1 en regiones del córtex occipito-temporal y occipital inferior cuando los sujetos ejecutaban una respuesta discriminativa comparada con una respuesta simple. Estos autores sugirieron que este efecto de discriminación N1 refleja una modulación *top-down* del procesamiento discriminativo en áreas del sistema visual ventral.

De esta forma, la evidencia derivada de estudios conductuales y de PE indica que la orientación voluntaria de la atención hacia una localización resulta en respuestas más rápidas y más precisas ante estímulos presentados en la localización atendida (Posner, 1980), y que la atención voluntaria hacia una localización espacial en respuesta a una señal simbólica central da lugar a

[1] El componente N1 visual puede dividirse en subcomponentes anteriores y posteriores, con distintas latencias. Los efectos de atención sobre las ondas N1 anterior y posterior pueden disociarse bajo algunas condiciones experimentales (Heinze *et al.*, 1990). El componente N1 posterior es el que se ha propuesto que refleja la aplicación de un mecanismo de discriminación a estímulos en la localización atendida (Hillyard *et al.*, 1999).

una facilitación del procesamiento en el córtex visual extraestriado que comienza en torno a los 70 a 80 ms (latencia del comienzo del componente P1) tras la presentación del estímulo objetivo (Heinze *et al.*, 1994; Mangun y Hillyard, 1991; Mangun *et al.*, 1993).

Diversos estudios de neuroimagen han informado de una red distribuida de áreas frontales y parietales, implicada en el control atencional voluntario, responsable de la modulación de la actividad en regiones corticales visuales, que facilita el procesamiento de los estímulos presentados en localizaciones atendidas (Hopfinger, Buonocore y Mangun, 2000; Kastner, Pinsk, De Weerd, Desimone y Ungerleider, 1999; Woldorff *et al.*, 2004).

Sin embargo, no se ha podido establecer todavía de manera consistente si los efectos de la atención involuntaria sobre el procesamiento visual son similares a los que resultan de la orientación voluntaria de la atención (Hopfinger y Mangun, 1998; Mangun, Jha, Hopfinger y Handy, 2000). Las diferencias observadas entre la atención voluntaria e involuntaria sugieren que la segunda podría estar controlada por mecanismos neurales parcial o completamente diferentes de los implicados en atención voluntaria.

En este sentido, Corbetta y Shulman (2002) han propuesto que la atención visual está controlada por dos, y no sólo una, redes neurales parcialmente segregadas aunque interactuantes. De acuerdo con su modelo, una red frontoparietal dorsal (que incluye el surco intraparietal y los campos oculares frontales) está relacionada con la atención endógena y se encuentra implicada en la selección de estímulos y respuestas relevantes para la tarea (es decir, este sistema asocia las representaciones sensoriales relevantes con las representaciones motoras relevantes). En segundo lugar, una red frontoparietal ventral (que incluye la unión temporoparietal y el córtex frontal ventral y se encuentra principalmente lateralizada al hemisferio derecho) está relacionada con la atención exógena y es responsable de la detección de estímulos conductualmente relevantes, particularmente cuando son salientes, inesperados o novedosos. Según los autores, este sistema funciona como un mecanismo de alerta del sistema dorsal, ya que puede interrumpir la actividad

cognitiva en curso y redirigir la atención a estímulos significativos localizados fuera del foco de procesamiento.

No obstante, algunos estudios de neuroimagen han informado también de activaciones comunes cuando se comparan condiciones de orientación endógena y exógena (Kim *et al.*, 1999; Peelen, Heslenfeld y Theeuwes, 2004; Rosen *et al.*, 1999). En este sentido, Mayer, Dorflinger, Rao y Seidenberg (2004) han llevado a cabo recientemente un estudio de resonancia magnética funcional (RMf) en el que examinaron las bases neurales implicadas en los distintos modos de orientación en función del tipo de señal utilizada y su valor informativo, incluyendo la facilitación endógena, la facilitación exógena y la IR. Estos autores hallaron diferencias significativas entre la orientación endógena y exógena cuando estos componentes se examinan de forma independiente. Sus resultados mostraron redes neurales separadas para el control de la atención exógeno y endógeno, mientras que la facilitación endógena y la IR parecen estar mediadas por redes neurales similares.

1.3. Los efectos de la orientación automática de la atención espacial sobre el procesamiento visual temprano están menos claros.

Por lo que se refiere a los estudios de PE con señalización periférica, no han permitido obtener resultados concluyentes acerca de los efectos de la atención automática sobre el procesamiento visual. A continuación se describen los principales hallazgos obtenidos en las investigaciones realizadas hasta el momento que han estudiado los efectos de la señalización periférica sobre los PE. En aras de una mayor claridad expositiva se muestran, en primer lugar, las modulaciones informadas sobre la amplitud del componente P1 y, en segundo lugar, aquéllas observadas en N1.

1.3.1. Efectos de la señalización periférica sobre el componente P1

La revisión de los resultados obtenidos en los estudios de PE que han examinado los efectos de las señales periféricas sobre el procesamiento visual temprano, pone de manifiesto que existen importantes discrepancias entre ellos en cuanto a las modulaciones observadas en el componente P1. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los estímulos y procedimientos experimentales utilizados en cada uno de estos estudios, y los efectos observados sobre la amplitud de este componente.

Tabla 1. Estudios de señalización periférica mediante PE.

AUTORES	CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL	SOA	RESPUESTA	RESULTADOS CONDUCTUALES (TR)	RESULTADOS AMPLITUD P1
Hillyard, Luck y Mangun (1994)	Informativa (.75) Excentricidad 6.4º	600-800 ms	TR elección	Menor en ensayos válidos	Igual en ensayos válidos e inválidos
Eimer (1994a)	Expto.1:Informativa (.73.3) Expto.2: No informativa (.50) Excentricidad 6º	900 ms	TR elección	Expto.1:Menor en ensayos válidos Expto.2:No efecto de validez en el TR	Menor en ensayos válidos en los dos esperimentos
Anllo-Vento (1995)	Informativa (.70) Señal bilateral (.15) Excentricidad 14º Diferente localización señal y estímulo	200 ms 600 ms	TR simple (tarea de detección)	Menor en ensayos válidos Mayor efecto de validez con SOA 200 ms	Mayor P1N1 con SOA 600 ms
Hopfinger y Mangun (1998)	No informativa (.50) (20% ensayos “trampa”)	34-234 ms 566-766 ms	TR elección	Menor en ensayos válidos con SOA 34-234 ms No efecto de validez con SOA 566-766ms	Mayor en ensayos válidos con SOA 34-234 ms Menor en ensayos válidos con SOA 566-766 ms
McDonald, Ward y Kiehl (1999)	No informativa (.50) (20% ensayos “trampa”) Expto.2: Diferente localización señal y estímulo	Expto.1:500-700 ms 900-1100 ms Expto.2:100-300ms 500-700 ms	TR simple (tarea de detección)	Expto.1:Mayor en ensayos válidos Expto.2:Mayor en ensayos válidos SOA 500-700 ms; no efecto de validez con SOA 100-300	Expto.1:Menor en ensayos válidos con SOA 900-1100ms Expto.2:Menor en ensayos válidos con SOA 500-700 ms
Fu, Fan, Chen y Zhuo (2001)	Informativa (.75)	100-300 ms	TR elección	Menor en ensayos válidos	Mayor en ensayos válidos en regiones contralaterales

Tabla 1. *(Continuación)*.

AUTORES	CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL	SOA	RESPUESTA	RESULTADOS CONDUCTUALES (TR)	RESULTADOS AMPLITUD P1
Hopfinger y Mangun (2001)	No informativa (.50) (20% ensayos "trampa")	34-234 ms 566-766 ms	TR simple (tarea de detección)	Menor en ensayos válidos con SOA 34-234 ms Mayor en ensayos válidos con SOA 566-766ms	Mayor en ensayos válidos con SOA 34-234ms Igual en ensayos válidos e inválidos con SOA 566-766 ms
Wascher y Tipper (2004)	No informativa (20% ensayos "trampa") Expto.1: Condiciones de señal sostenida (SS: presente hasta el final del estímulo objetivo) y transitoria (ST: duración 50 ms) Expto.2: Estímulo presentado en la localización señalada, adyacente u opuesta	Expto.1: 50/100/350/900 ms Expto.2: 900/2000 ms	TR simple (tarea de detección)	Expto.1: Menor en ensayos válidos con SOA 100 ms para SS;para ST, menor en ensayos válidos con SOAs 50 y 100 pero mayor con SOAs 350 y 900 ms. Expto.2: Mayor en ensayos válidos en ambos SOAs (señalada>adyacente >opuesta)	Expto.1: Menor en ensayos válidos con SOAs 100 y 900 ms para SS y ST. Expto.2: Menor conforme la distancia entre localización señalada y localización del estímulo disminuye (señalada < adyacente< opuesta)
Fu, Caggiano, Greenwood y Parasuraman (2005)	No informativa Manipulación tamaño de la señal (precisión con la cual se señala el estímulo)	100-300 ms	TR simple (tarea de discriminación)	Menor en ensayos válidos (grandes<pequeñas)	Mayor en ensayos válidos en zonas contralaterales, pero mayor en inválidos en zonas ipsilaterales

Tabla 1. *(Continuación)*.

AUTORES	CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL	SOA	RESPUESTA	RESULTADOS CONDUCTUALES (TR)	RESULTADOS AMPLITUD P1
Fu, Greenwood y Parasuraman (2005)	No informativa (.50) (20% ensayos “trampa”)	150 ms	TR elección	Menor en ensayos válidos	Mayor en ensayos válidos en zonas contralaterales

Hillyard, Luck y Mangun (1994), en un estudio en el que compararon los efectos de las señales centrales y periféricas informativas sobre los PE, encontraron incrementos de la amplitud de los componentes N1 y N2 en ensayos válidos, comparados con ensayos inválidos, en ambas condiciones de señalización, mientras que las señales centrales válidas provocaron un incremento de la amplitud de P1 que no se apreció con señales periféricas.

Esta ausencia de modulaciones del componente P1 con la señalización periférica es sorprendente, teniendo en cuenta que, dados los parámetros empleados –señales informativas y un SOA entre señal y estímulo relativamente largo (600-800 ms)– se esperaba que generase un desplazamiento voluntario de la atención hacia la localización indicada similar a los procesos de orientación inducidos por señales simbólicas centrales (Mangun, 1995). Hillyard *et al.* (1994) concluyeron que estos dos tipos de señales podrían diferir en su capacidad para invocar la forma más temprana de selección atencional.

Eimer (1994a), en un estudio de señalización periférica con un SOA entre la señal y el estímulo de 900 ms (duración de la señal 200 ms; intervalo señal-estímulo objetivo 700 ms), tampoco encontró el incremento de la amplitud de P1 ante estímulos señalados de forma válida comparados con aquéllos señalados de forma inválida, usualmente observado en estudios de señalización central; por el contrario, informó de menores amplitudes de P1 en ensayos válidos. El autor postuló que esta reducción en la amplitud de P1 en ensayos válidos podría ser debida al estado refractario de las neuronas responsables del procesamiento del estímulo objetivo. En su estudio, los estímulos objetivo se presentaban en la misma localización que la señal periférica previa, 900 ms después de su inicio. De este modo, en ensayos válidos, la señal y el estímulo objetivo estarían activando las mismas o similares vías dentro del sistema visual, de tal forma que, con la llegada del estímulo objetivo, estas vías podrían estar todavía en un estado refractario debido al procesamiento previo de la señal. Este no es el caso para ensayos inválidos, en los cuales la señal y el estímulo objetivo ocurrían en hemicampos opuestos. No obstante, 900 ms suele considerarse un SOA

suficiente para una completa recuperación de las neuronas generadoras de P1.

Una interpretación similar, en términos de refractancia neural, es menos plausible para explicar la ausencia de un efecto de validez en P1 en la condición de señal periférica del estudio de Hillyard *et al.* (1994), dadas las características de la señalización periférica utilizada por estos autores. En su estudio, la señal periférica consistía en un breve desplazamiento de los puntos que marcaban una de las localizaciones objetivo. Los estímulos objetivo se presentaban, 600-800 ms después de la señal, en el interior del área delimitada por estos cuatro puntos, eliminándose así la superposición espacial entre señal y estímulo objetivo presente en el estudio de Eimer (1994a). Así, este tipo de señal periférica minimizaba los posibles efectos refractarios neurales sobre los PE ante el estímulo objetivo.

Partiendo de la evidencia proporcionada por estudios conductuales, que indica que la facilitación atencional producida por señales periféricas es máxima con SOAs cortos (100-175 ms) (Müller y Rabbitt, 1989), es posible que los resultados negativos hallados en los estudios de Hillyard *et al*. (1994) y Eimer (1994a) sean atribuibles a la utilización en estos experimentos de SOAs más largos. Es decir, cabe la posibilidad de que tanto la señalización periférica como la señalización central modulen el procesamiento estimular en el córtex visual, aunque con distinto curso temporal, del mismo modo que es diferente el patrón temporal sobre las respuestas conductuales.

No obstante, los estudios que han examinado los efectos de las señales periféricas informativas en los PE con SOAs cortos revelan algunos resultados inconsistentes. Anllo-Vento (1995) informó de un incremento de la amplitud P1N1 (amplitud media entre los componentes P1 y N1), en zonas posteriores, en ensayos válidos, cuando el SOA era de 600 ms. Sin embargo, este efecto estaba ausente cuando el SOA era corto (200 ms), sugiriendo que en las condiciones de SOA corto y largo estaban implicados diferentes mecanismos.

La autora planteó que la ausencia de un efecto de validez en P1 en la condición de SOA corto podría explicarse por un efecto refractario en los PE. En este estudio, el estímulo objetivo era precedido por una señal presentada con la misma excentricidad lateral, aunque 4.75º encima de él. Anllo-Vento informó que los efectos refractarios en los PE eran evidentes en ambas condiciones de SOA (los PE ante el estímulo objetivo eran de menor amplitud que los PE ante la señal), pero más pronunciados con el SOA de 200 ms, debido a la estrecha contigüidad espacial entre la señal y el estímulo objetivo. La autora postuló que el mayor efecto refractario en el SOA corto podría haber cancelado cualquier posible efecto de validez P1N1 en esa condición.

Además, es destacable que, a diferencia de Hillyard *et al.* (1994) y Eimer (1994a), Anllo-Vento (1995) encontró un efecto de validez en P1 cuando el SOA entre la señal y el estímulo objetivo era de 600 ms, una modulación de P1 similar, por tanto, a la observada en estudios de señalización central. No obstante, hay que tener en cuenta, a la hora de comparar estos estudios, que las demandas de la tarea en el experimento de Anllo-Vento eran diferentes a las de los dos estudios previos. Mientras que Hillyard y cols. y Eimer utilizaban tareas de TR de elección, en el estudio de Anllo-Vento la tarea de los sujetos consistía en soltar una tecla de respuesta tan pronto como el estímulo objetivo aparecía (TR simple). Se ha señalado que el curso temporal y la magnitud de los efectos de las señales simbólicas y periféricas obtenidos en tareas de detección difieren sustancialmente de los obtenidos en tareas de discriminación (Rafal y Henik, 1994). Además, Anllo-Vento mide P1N1, por lo que habría que verificar si la ganancia en la amplitud se produce en los dos picos o es sólo consecuencia del incremento de N1 (que sí encontraron Eimer, 1994a y Hillyard *et al.*, 1994).

Más recientemente, Fu, Fan, Chen y Zhuo (2001) han observado que las señales periféricas informativas válidas (*versus* inválidas) provocaban mayores amplitudes del componente P1 contralateral registrado ante estímulos objetivo con SOAs cortos (100-300 ms).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, parece necesario evaluar de modo sistemático la influencia del SOA en los efectos de validez, tanto de señales centrales como periféricas. La utilización de varios SOAs permitiría examinar en mayor profundidad el curso temporal de los efectos de la orientación generada por señales centrales y periféricas sobre el procesamiento visual. Esto es, la comparación de los efectos de la señalización central y periférica sobre el componente P1 de los PE en diferentes SOAs proporcionará evidencia adicional respecto a si la orientación voluntaria e involuntaria de la atención afectan al procesamiento estimular en el córtex visual (a nivel del córtex extraestriado) y el curso temporal de tales efectos.

No obstante, es necesario tener en cuenta, si se pretenden extraer conclusiones acerca del curso temporal de los efectos de la orientación involuntaria sobre el procesamiento visual, el carácter informativo o no informativo de las señales. Tal como se expuso anteriormente, la evidencia disponible a partir de estudios previos indica que el curso temporal de los efectos de las señales periféricas difiere cuando las señales se asocian con una elevada probabilidad de presentación del estímulo objetivo (señales periféricas informativas) y cuando las señales no proporcionan información sobre la localización de un estímulo objetivo posterior (señales periféricas no informativas). Con SOAs cortos, la señalización periférica produce una facilitación atencional inicial debida a la captura automática de la atención por parte de la señal. Pero cuando las señales proporcionan información sobre la localización del estímulo objetivo, la señalización periférica informativa puede estar reflejando la acción conjunta de la orientación exógena y endógena (esto es, orientación voluntaria temprana añadida a la orientación automática). A medida que el SOA se incrementa, este tipo de señal, dado su carácter predictivo, genera una orientación voluntaria de la atención hacia la localización señalada, similar al desplazamiento voluntario de la atención provocado por señales centrales. Por el contrario, cuando la señal no informa sobre la localización del estímulo objetivo, a medida que el SOA aumenta, la

facilitación inicial de la atención da lugar a una inhibición del procesamiento de estímulos que aparecen en la localización señalada (inhibición de retorno).

Hay un buen número de estudios que han investigado los efectos puramente automáticos de las señales periféricas no informativas sobre los PE (Fu, Caggiano, Greenwood y Parasuraman, 2005; Fu, Greenwood y Parasuraman, 2005; Hopfinger y Mangun, 1998, 2001; McDonald, Ward y Kiehl, 1999; Wascher y Tipper, 2004). Hopfinger y Mangun (1998) encontraron un incremento de la amplitud de P1 sobre zonas occipitales laterales ante estímulos objetivo presentados en la localización señalada comparados con los presentados en la localización no señalada, cuando el SOA era corto (34 a 234 ms). En este caso, el componente P1 mostraba el mismo patrón que la conducta manifiesta de los sujetos, esto es, facilitación en la localización señalada (TR más cortos). Los autores interpretaron este resultado como evidencia de que la orientación involuntaria de la atención afecta al procesamiento sensorial temprano en el córtex visual extraestriado (véase también Fu, Caggiano *et al.*, 2005 y Fu, Greenwood *et al.*, 2005 para evidencia reciente). Hopfinger y Mangun concluyeron así que la atención involuntaria produce modulaciones en el mismo estadio del procesamiento visual cortical que la atención voluntaria. Sin embargo, para SOAs más largos (566-766 ms), el efecto de las señales no informativas sobre el componente P1 se invertía: la amplitud de P1 era más pequeña ante estímulos objetivo en localizaciones señaladas. Aunque esta reducción en la amplitud de P1 podría estar relacionada con la inhibición de retorno, los resultados obtenidos en el TR no indicaban la presencia de tal efecto inhibitorio; no obstante, cabe señalar que tampoco indicaron la existencia de facilitación, dado que el TR fue igual para los estímulos válida e inválidamente señalados (véase también Eimer, 1994a). Este patrón de efectos hace menos plausible la hipótesis planteada en estudios previos (Eimer, 1994a) de que la reducción de P1 con SOAs largos, en ausencia de un efecto de IR conductual, podría estar reflejando un efecto refractario de las neuronas sensoriales responsables del procesamiento del estímulo objetivo, ya que en condiciones con un SOA

corto, cuando tal efecto sería mayor, el patrón es el opuesto al esperado por refractancia neural.

En un estudio posterior, Hopfinger y Mangun (2001) evaluaron si estos correlatos psicofisiológicos de los efectos de la atención refleja se encuentran influidos por demandas de la tarea. Los autores replicaron los efectos de la señalización periférica no informativa con SOAs cortos sobre la amplitud de P1 en una tarea de detección más simple, confirmando así que estos efectos facilitadores sobre el procesamiento visual temprano se deben a mecanismos atencionales automáticos. No obstante, cuando el intervalo entre la señal y el estímulo objetivo era más largo, observaron una modulación opuesta a la informada en su estudio previo (Hopfinger y Mangun, 1998): mientras que los datos de TR revelaban un efecto de IR conductual, no se observó un efecto inhibitorio sobre el componente P1. Así, el hallazgo de que la reducción de la amplitud de P1 y la IR no covariasen a lo largo de sus experimentos, llevó a los autores a concluir que aunque la atención refleja podría dar lugar a efectos del tipo IR en el procesamiento sensorial temprano, estas modulaciones no pueden explicar por completo la IR, la cual podría consistir de una combinación de factores sensoriales y motores.

Algunos estudios (McDonald *et al.*, 1999) han observado, sin embargo, un efecto de IR conductual asociado con modulaciones de amplitud del componente P1 en una tarea de detección. McDonald y colaboradores investigaron los cambios en los PE asociados al efecto de IR, mediante la utilización de señales periféricas no informativas con SOAs largos. En su Experimento 1, el SOA variaba aleatoriamente o bien entre 500-700 ms, o bien entre 900-1100 ms. En el Experimento 2, el procedimiento experimental era el mismo, con la excepción de algunos cambios metodológicos llevados a cabo para reducir las interacciones sensoriales entre la señal y el estímulo objetivo; en concreto, la señal y el estímulo objetivo (1) se presentaban siempre en diferentes localizaciones (el estímulo objetivo se presentaba a 4º sobre la señal en ensayos válidos), (2) tenían formas y colores distintos y (3) se presentaban monocularmente en ojos diferentes; así mismo, utilizaron SOAs de 500-700 ms y de 100-300 ms. Los resultados conductuales

obtenidos en el Experimento 1 mostraron que los sujetos respondían más lentamente en ensayos válidos que en ensayos inválidos en ambos SOAs. En el Experimento 2, el resultado fue similar para el SOA de 500-700 ms, pero no se encontraron efectos significativos de la señal en el SOA de 100-300 ms. En cuanto a los PE, el componente P1 presentó menores amplitudes en ensayos válidos que en ensayos inválidos en zonas occipitales ipsilaterales. Este efecto se observó con el SOA de 900-1100 ms en el Experimento 1, y con el SOA de 500-700 ms en el Experimento 2. Por el contrario, con los SOAs más cortos utilizados en cada uno de estos experimentos (500-700 ms en el Experimento 1 y 100-300 ms en el Experimento 2), la diferencia en amplitud promedio entre los picos P1 y N1 (amplitud P1N1) fue la misma en ensayos válidos que en inválidos. Indicaron, sin embargo, la presencia de un efecto sostenido de la validez de la señal en los componentes tempranos de los PE manifestado, en estos SOAs, por una Nd posterior: los PE eran más negativos en ensayos válidos que en ensayos inválidos en el rango de latencia de 120-200 ms.

A la luz de estos resultados, McDonald *et al*. (1999) concluyeron que los efectos observados en los PE eran cualitativamente diferentes para SOAs distintos (Experimento 1) y en el mismo SOA después de haber llevado a cabo algunos cambios metodológicos para reducir la interacción sensorial entre la señal y el estímulo objetivo (Experimento 2): la reducción de P1 se observaba cuando las interacciones sensoriales eran menores (SOAs más largos en ambos experimentos), mientras que la Nd posterior estaba presente cuando las interacciones sensoriales eran mayores (SOAs más cortos en ambos experimentos). Ante estos hallazgos, los autores plantearon que la reducción de P1 está relacionada con la IR, presente también en sus datos conductuales, mientras que la Nd posterior podría haber sido la consecuencia de refractancia sensorial causada por la respuesta a la señal.

Más recientemente, Wascher y Tipper (2004) en un estudio en el que examinaron los efectos sobre la IR de las relaciones temporales y espaciales de la señal y el estímulo objetivo (véase la Tabla 1), hallaron reducciones de

la amplitud de P1 independientemente de la presencia de una IR conductual, la cual asociaron con otro componente de los PE (específicamente, el componente Nd310 registrado en zonas parietales derechas). Los autores propusieron que, aunque la relación entre modulaciones de la amplitud de P1 e IR no es inequívoca, los datos obtenidos hasta el momento sugieren que las reducciones de la amplitud de este componente son un correlato de la supresión perceptiva en la localización en la que un estímulo es presentado.

1.3.2. Efectos de la señalización periférica sobre el componente N1

Otra cuestión que todavía no se ha caracterizado bien es la modulación de N1 por señalización periférica, lo que permitiría obtener un mayor conocimiento de los efectos de la asignación involuntaria de la atención sobre este componente. Como ya se ha indicado, en general los estudios de señalización central han encontrado incrementos de la amplitud del componente N1 ante estímulos señalados de forma válida comparados con estímulos señalados de forma inválida en regiones posteriores (Hillyard *et al.*, 1994; Mangun y Hillyard, 1991).

Los efectos atencionales de la señalización periférica sobre el componente N1 están menos claros. Los hallazgos que se han obtenido desde estudios de PE utilizando señales periféricas parecen variar cuando se emplean diferentes SOAs entre la señal y el estímulo objetivo. Aquellos estudios que han utilizado SOAs largos y señales informativas (Eimer, 1994a; Hillyard *et al.*, 1994) han informado de efectos de validez en N1 sobre áreas posteriores. Aquéllos que han empleado SOAs cortos con señales periféricas informativas han informado de resultados diversos. Fu *et al.* (2001), con un SOA de 100-300 ms, observaron que la N1 contralateral era más pequeña en ensayos válidos que en inválidos, pero la N1 ipsilateral era mayor en ensayos válidos que en inválidos en zonas occipito-temporales. Anllo-Vento (1995) no halló un efecto de validez significativo en P1/N1 con un SOA de 200 ms, pero sí cuando el SOA era de 600 ms, mientras que Eimer (2000) encontró una negatividad incrementada en ensayos válidos utilizando un intervalo señal-

estímulo objetivo de 200 ms. En cuanto a la señalización periférica no informativa, McDonald *et al*. (1999) hallaron que la validez de la señal no influía en el componente N1 cuando se utilizaba este tipo de señales con SOAs largos (véase tambien Wascher y Tipper, 2004, para un estudio reciente), lo que sugiere que el valor informativo de las señales periféricas podría influir sobre la onda N1 (aunque véase Eimer, 1994a para un efecto de validez sobre la amplitud de N1). No tenemos constancia de estudios previos que hayan valorado los efectos de las señales periféricas no informativas sobre el componente N1 con SOAs cortos. Sólo en investigaciones muy recientes, Fu y colaboradores (Fu, Caggiano *et al.*, 2005; Fu, Greenwood *et al.*, 2005) han informado de menores amplitudes de la N1 contralateral en ensayos válidos comparados con ensayos inválidos.

1.4. Resumen de los efectos de la orientación visoespacial voluntaria e involuntaria sobre el procesamiento visual temprano.

La evidencia derivada de estudios conductuales y de PE indica, en líneas generales, que la orientación voluntaria de la atención en respuesta a una señal simbólica central da lugar a una facilitación del procesamiento visual en la localización atendida, tal como reflejan los beneficios en la ejecución conductual y los incrementos de la amplitud de los componentes P1 y N1 ante estímulos presentados en localizaciones señaladas de forma válida, comparados con estímulos presentados en localizaciones señaladas de forma inválida (Mangun *et al.*,1987; Mangun y Hillyard, 1991).

Los efectos de la atención involuntaria sobre el procesamiento visual temprano están menos claros. Parece que el intervalo temporal con que las señales periféricas preceden al estímulo es un factor relevante a la hora de determinar su efecto facilitador e inhibidor sobre el procesamiento visual temprano. Existe todavía bastante confusión respecto de esa relación. Los estudios revisados sobre señalización periférica informativa con SOAs señal-estímulo objetivo largos han revelado un efecto de validez en la amplitud de N1 (Eimer, 1994a; Hillyard *et al.*, 1994) y en P1N1 (Anllo-Vento, 1995),

aunque la modulación de la amplitud de P1 por la validez de la señal o bien estuvo ausente (Hillyard *et al.*, 1994) o mostró el patrón opuesto (válidos<inválidos: Eimer, 1994a). Las investigaciones que han introducido SOAs cortos (<300 ms) con este tipo de señal han hallado un incremento de la amplitud de la P1 contralateral y de la N1 ipsilateral ante estímulos señalados de forma válida (*versus* inválida) (Fu *et al.*, 2001, aunque véase Anllo-Vento, 1995), pero menores amplitudes de N1 en zonas contralaterales en ensayos válidos (Fu *et al.*, 2001, aunque véase Eimer, 2000).

Aquellos experimentos que han utilizado señalización periférica no informativa con SOAs cortos informaron que los estímulos señalados de forma válida generan mayores amplitudes de P1 (Hopfinger y Mangun, 1998, 2001), pero menores amplitudes de N1 en zonas contralaterales (Fu, Caggiano *et al.*, 2005; Fu, Greenwood *et al.*, 2005). Con SOAs largos, se han hallado menores amplitudes de P1 en ensayos válidos (Eimer, 1994a; Hopfinger y Mangun, 1998; McDonald *et al.*, 1999; Wascher y Tipper, 2004), aunque hay autores que no han hallado modulaciones sobre este componente (Hopfinger y Mangun, 2001), al igual que no se han observado efectos sobre N1 en estas condiciones (McDonald *et al.*, 1999; Wascher y Tipper, 2004, aunque véase Eimer, 1994a).

2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas y las cuestiones pendientes de clarificar, el objetivo del presente experimento es examinar los efectos de la señalización central y periférica sobre la amplitud de los componentes P1 y N1 de los PE, teniendo en cuenta la influencia del intervalo entre la señal y el estímulo objetivo y el valor informativo de la señal. El estudio de las modulaciones de la amplitud de los componentes P1 y N1 ante estímulos objetivo precedidos por señales centrales y periféricas informativas en diferentes SOAs señal-estímulo objetivo, debe permitir clarificar los efectos de la orientación visoespacial voluntaria e involuntaria

sobre el procesamiento visual temprano y su curso temporal. La inclusión de una condición con señales periféricas no informativas (con una validez de la señal del 50%), variando de forma sistemática los SOAs utilizados, posibilita examinar en mayor profundidad los efectos de la orientación automática sobre el procesamiento visual y su curso temporal, que se supone caracterizado por una facilitación atencional inicial y una posterior inhibición del procesamiento de estímulos que aparecen en localizaciones señaladas (IR), a medida que el SOA se incrementa.

3. MÉTODO

3.1. Sujetos

Para llevar a cabo este estudio se seleccionó una muestra de 15 sujetos voluntarios (3 hombres, 12 mujeres) de edades comprendidas entre los 19 y 23 años (media = 20 años)[2]. Los sujetos eran estudiantes de Psicología de la Universidad de Santiago de Compostela, que recibieron una gratificación por su participación. Todos ellos presentaban visión normal o corregida, ausencia de enfermedad física y de historia de trastornos neurológicos, psicológicos o de consumo de sustancias psicoactivas.

3.2. Equipos y material

El registro de los potenciales evocados se llevó a cabo en el laboratorio de Psicofisiología, en una estancia aislada eléctricamente, con sistemas de control de temperatura y humedad y protegida de ruidos externos.

Para la captación de la señal electroencefalográfica se utilizó un gorro elástico con electrodos de estaño insertados ("Electrocap International, Inc.") dispuestos según el Sistema Internacional 10-20 ampliado y electrodos individuales de estaño tipo copa.

[2] En la condición de señal periférica no informativa, los datos de un sujeto tuvieron que ser excluidos de los análisis debido a la presencia de sistemáticos movimientos oculares horizontales hacia la localización señalada.

La adquisición, amplificación, filtrado y promediado de la actividad electroencefalográfica y del electrooculograma (EOG) se realizó con un sistema compuesto por los amplificadores "Synamps" conectados a un equipo "NeuroScan, Inc.".

Para la configuración, sincronización y emisión de estímulos se utilizó el programa informático Presentation® (Versión 0.40, www.neuro-bs.com). Los estímulos fueron diseñados mediante el programa "Paint" de Windows. Para la emisión de los estímulos visuales se empleó un monitor de 17'' con una resolución de pantalla de 1024 x 768 píxeles.

Como dispositivo de respuesta se utilizó un ratón estándar, conectado al ordenador encargado de gestionar el programa de presentación estimular.

3.3. Procedimiento y estímulos

Como ya se ha indicado, este trabajo se centra en la evaluación psicofisiológica de procesos de orientación de la atención visual durante tareas de señalización central, periférica informativa y periférica no informativa. A continuación se describen los estímulos específicos utilizados en cada una de estas tres pruebas y el procedimiento general común a las tres condiciones que forman parte de este experimento.

3.3.1. Condición de señal central informativa (SC)

Cada ensayo comenzaba con una flecha presentada en el punto de fijación central, con un tamaño en retina de 1.4º x 1.0º y una duración de 34 ms, que apuntaba al campo visual derecho o izquierdo con igual probabilidad (Figura 1). La señal indicaba el lado de presentación más probable (p = 0.75; ensayos válidos) del estímulo objetivo posterior. Los estímulos objetivo eran barras verticales cortas (1.7º x 0.7º) y largas (2.1º x 0.7º), con una probabilidad de aparición de 0.5 cada una, presentadas en el campo visual izquierdo o derecho (con su centro a una distancia lateral de 6.4º desde el punto de fijación) y con una duración de 75 ms. Los estímulos objetivo aparecían en el

mismo campo visual indicado por la flecha en el 75% de los ensayos (ensayos válidos); en el 25% de ensayos restantes, se presentaban en el campo opuesto (ensayos inválidos). Las localizaciones en las cuales se presentaba el estímulo objetivo estaban demarcadas por cuatro puntos, presentes continuamente, que formaban las esquinas de un rectángulo vertical (1.5º x 1.1º) centrado en la posición del estímulo objetivo. Los intervalos desde el comienzo de la señal al comienzo del estímulo objetivo (SOAs) fueron de 100, 300, 500 y 700 ms, según el bloque experimental. El intervalo entre ensayos (intervalo desde el final del estímulo objetivo hasta el comienzo de la siguiente señal) fue de 1800 ms.

Todos los estímulos eran de color blanco y se presentaban sobre un fondo negro en el monitor situado a 100 cm enfrente del sujeto.

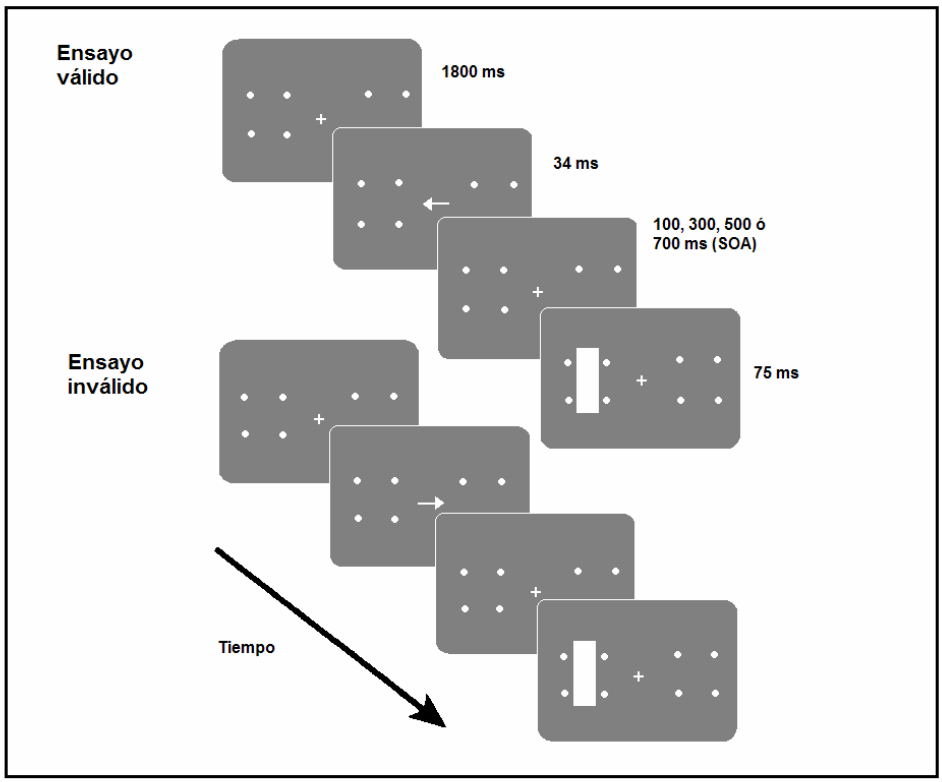

Figura 1. Representación esquemática de las series de estímulos utilizados en la condición de señal central informativa.

3.3.2. Condición de señal periférica informativa (SP)

Los estímulos y el procedimiento fueron los mismos a los descritos para la condición de SC, excepto en los siguientes aspectos: cada ensayo comenzaba con una señal periférica que consistía de un breve desplazamiento de los puntos que marcaban una de las localizaciones del estímulo objetivo. Los cuatro puntos se eliminaban y se sustituían durante 50 ms por otros cuatro puntos que formaban un nuevo rectángulo de 1.1º x 0.5º, siendo posteriormente restaurados los puntos originales; esta sucesión de imágenes es percibida como un movimiento de los puntos (Figura 2). Esta señal periférica ocurría en el mismo campo visual que el estímulo objetivo posterior en el 75% de los ensayos (ensayos válidos) y en el campo visual opuesto en el 25% (ensayos inválidos).

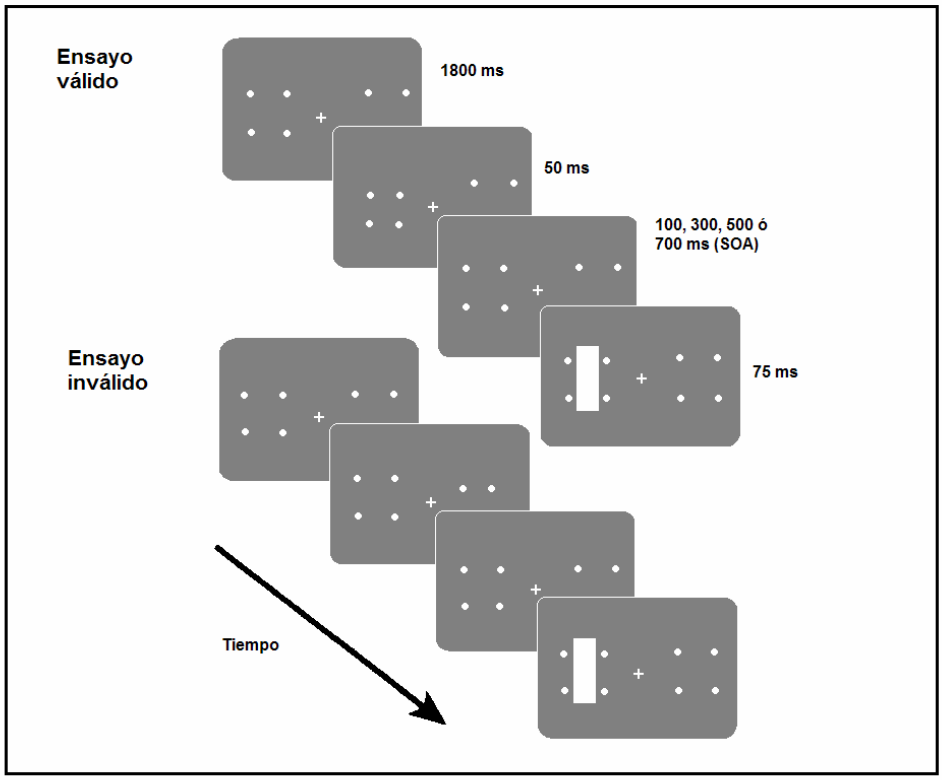

Figura 2. Representación esquemática de las series de estímulos utilizados en las condiciones de señal periférica informativa y no informativa.

3.3.3. Condición de señal periférica no informativa (SPN)

Los estímulos fueron los mismos a los descritos para la condición de SP (ver Figura 2). La diferencia entre estas dos condiciones radicaba en que en este caso la señal no proporcionaba información acerca de la localización del estímulo objetivo posterior, esto es, el estímulo objetivo aparecía con igual probabilidad en la localización indicada por la señal o en el campo visual opuesto (validez 50%).

3.3.4. Procedimiento general para todas las condiciones

La tarea de los sujetos, durante todas las condiciones, consistía en mantener la fijación ocular en la cruz central y discriminar el tamaño del estímulo objetivo (barra) en cada ensayo, pulsando un botón con una mano (mano derecha o izquierda contrabalanceada entre sujetos) ante las barras cortas y otro botón con la otra mano ante las barras largas (TR de elección), tan rápida y exactamente como fuese posible en cada ensayo. Se proporcionó información a los sujetos acerca de las probabilidades de los dos tipos de ensayos (válidos e inválidos), y se les pidió que utilizasen dicha información para maximizar su ejecución. Antes de empezar, se indicó a los sujetos la importancia de mantener la fijación ocular en la cruz central durante la realización de la tarea, sin mover los ojos y pestañeando lo menos posible.

Para familiarizar a los sujetos con estos requisitos de tarea, se llevaron a cabo varios ensayos de práctica al comienzo del experimento.

Cada una de las tres condiciones experimentales constó de 4 bloques (uno para cada tipo de SOA). Cada bloque estaba formado por 240 ensayos. En las condiciones de SC y SP, dentro de cada bloque de ensayos, 180 eran válidos (75%) y 60 inválidos (25%). En la condición de SPN, dentro de cada bloque de ensayos, 120 eran válidos (50%) y 120 inválidos.

La duración de cada una de las condiciones experimentales fue de 35 minutos. Se realizó un breve descanso entre bloques y condiciones, cuya duración fue decidida por los sujetos.

El orden de presentación de las condiciones experimentales se contrabalanceó entre los sujetos, al igual que el orden de presentación de los bloques de ensayos dentro de cada condición.

3.4. Registro electrofisiológico y análisis de datos

3.4.1. Registro electrofisiológico

El registro de los potenciales evocados se llevó a cabo en condiciones ambientales controladas y homogéneas para todos los sujetos (luz tenue, ausencia de ruido ambiental), en una única sesión para cada sujeto de aproximadamente tres horas de duración, entre 10:00 y 14:00 y entre 16:00 y 20:00h.

Previamente a la realización de las tareas, los sujetos respondían a una pequeña entrevista destinada a obtener información sobre sus datos personales y descartar historia de trastornos neurológicos y psiquiátricos, así como la presencia de déficits sensoriales o motores. Finalizada la entrevista, y antes de dar comienzo al registro, se procedía a explicarles la organización de la sesión y las características generales de las pruebas que iban a realizar, así como a familiarizarlos con la situación del laboratorio.

Las sesiones de registro comenzaban con la colocación de los electrodos, que fue la misma para todas las pruebas: 2 electrodos en los cantos externos de los ojos para el registro del EOG horizontal; 2 electrodos en localizaciones supraorbital e infraorbital al ojo izquierdo para el registro del EOG vertical; un electrodo en la punta de la nariz como referencia para el registro del electroencefalograma (EEG), un electrodo situado en la frente, ligeramente superior a nasión, como toma de tierra y los electrodos insertados en el gorro elástico en posiciones Fp1, Fp2, Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz, F3, F4, C3, C4, Cp3, Cp4, P3, P4, PO3, PO4, T5, T6, T3, T4, F7, F8, O1, O2, del Sistema Internacional 10-20, más dos pares de electrodos situados en localizaciones no estándar (PL, PR, OL, OR), como electrodos activos. Estas localizaciones, descritas por Mangun y Hillyard (1991), son las utilizadas en el

estudio de Hillyard *et al.* (1994) parcialmente replicado en este trabajo; se colocaron en zonas parietales izquierdas (PL) y derechas (PR), localizadas al 50% de la distancia desde Pz al canal auditivo y en zonas occipitales izquierdas (OL) y derechas (OR), localizadas al 50% de la distancia entre O1 y T5 y entre O2 y T6, respectivamente.

A continuación, se procedía a situar al sujeto en el sillón de registro, conectar los electrodos y comprobar que las impedancias de todos los canales se situasen por debajo de los 10 KΩ. Una vez verificado el correcto funcionamiento del sistema, se le daban al sujeto las instrucciones generales pertinentes, referidas a la necesidad de evitar los movimientos corporales y oculares durante la realización de cada una de las pruebas, mantenerse tranquilo y atento, y ejecutar las instrucciones específicas que se le irían dando para cada prueba.

El EEG se registró de modo continuo con una tasa de digitalización de 500 ptos/seg, una amplificación de 10 K, un filtro de paso de banda de 0.05-100 Hz y un filtro específico de 50 Hz.

Una vez finalizada la sesión, se procedía a retirar los electrodos al sujeto y a cubrir una hoja de incidencias manifestadas durante la sesión, dando por finalizada esta fase de exploración.

3.4.2. Procesamiento del EEG e identificación de los componentes de los PE

El procesamiento de la señal EEG para la obtención de los PE fue similar en todos los casos. El primer paso consistió en revisar el registro EEG continuo y el EOG, con el objetivo de eliminar aquellos ensayos que presentaban movimientos oculares horizontales o respuestas conductuales incorrectas. En segundo lugar, se procedió a la corrección de los artefactos por parpadeos mediante el algoritmo matemático de Semlitsch, Anderer, Schuster y Presslich (1986). A continuación se efectuó la segmentación del EEG en intervalos de 50 ms previos al estímulo objetivo hasta 400 ms después del mismo, se eliminaron las tendencias en la actividad electroencefalográfica y se ajustó la línea base previa al estímulo a 0 μV. Por último, se realizó el

promediado de la señal y se aplicó un filtro digital de 0.1-30 Hz. El número de ensayos en cada promedio fue similar para todas las condiciones, con un porcentaje medio de ensayos rechazados del 15%. Con el objetivo de evitar la superposición de los potenciales evocados ante la señal y el estímulo objetivo en las condiciones con SOAs cortos, se aplicó la siguiente corrección: se obtuvieron los PE ante las señales (el hemicampo izquierdo y derecho de forma separada) en la condición con un SOA de 700 ms (segmento de 0-700 ms), para los cuales se asume que no hay superposición con la respuesta posterior ante el estímulo objetivo. Estos PE ante la señal se relacionaron temporalmente y se sustrajeron de los PE ante estímulos objetivo en las condiciones SOAs de 100 y 300 ms[3], eliminándose de esta forma los efectos de la respuesta electrofisiológica a la señal sobre los PE provocados por los estímulos objetivo (véase el anexo II para una descripción adicional del procedimiento para corregir la posible superposición de los PE).

Se seleccionaron para su evaluación los electrodos PL, PR, T5, T6, OL y OR, en los que se midieron las ondas P1 y N1. Se utilizó un procedimiento de marcación combinado: se realizó una marcación automática del pico positivo máximo en el intervalo de 75-165 ms postestímulo para P1 y del pico negativo máximo en el rango de latencia de 130-225 ms para N1, que se verificaron para cada caso y se corrigieron manualmente cuando fue necesario. El criterio utilizado para verificar la corrección de la marcación realizada para el componente P1 fue la inversión de la polaridad del pico en electrodos frontales. Los valores de amplitud (desde la línea base) de los puntos marcados, se almacenaron de manera automática en ficheros en código ASCII, para su análisis posterior. Aquellos trazados en los que hubo dificultades para identificar algún componente, fueron revisados por un segundo miembro del equipo, con experiencia en la identificación de PE y ciego a la condición experimental.

[3] Este procedimiento sustractivo no se pudo aplicar en la condición con un SOA de 500 ms porque sería necesario un SOA más largo que el utilizado en el presente estudio (700 ms) con el fin de sustraer estos potenciales evocados por la señal de los potenciales evocados por los estímulos objetivo en el SOA de 500 ms. Esto es, la sustracción de los PE provocados por las señales en el SOA de 700 ms de los PE ante estímulos objetivo en el SOA de 500 ms, daría lugar a una corrección únicamente de la primera parte del segmento relevante para este experimento.

3.4.3. Análisis de datos

Los objetivos principales de la investigación determinaron la utilización de un diseño factorial intrasujetos que se analizó mediante un análisis de varianza de medidas repetidas, con cinco factores intrasujeto 6 x 3 x 2 x 2 x 4 (Electrodo x Señal x Validez x Lateralidad x SOA). El primer factor hace referencia a los electrodos evaluados, que fueron seis en todos los casos: PL, PR, T5, T6, OL y OR. El segundo factor considera los tres tipos de señales utilizadas, que fueron señales centrales, señales periféricas informativas y señales periféricas no informativas; el tercero tiene en cuenta la validez de la señal, con señales válidas e inválidas y el cuarto se refiere al campo visual de presentación del estímulo objetivo con respecto a la localización del electrodo (contralateral *vs*. ipsilateral). Por último, el quinto factor hace referencia a la duración del SOA utilizado (100, 300, 500 y 700 ms).

Las variables dependientes consideradas fueron las amplitudes de los componentes P1 y N1 de los PE medidos en los electrodos señalados.

Además, se analizó en cada tarea el TR. Los factores para el análisis de varianza de medidas repetidas del TR fueron Señal (central, periférica informativa y periférica no informativa), SOA (100, 300, 500 y 700), Validez (válidas e inválidas) y Campo visual (derecho e izquierdo).

Los grados de libertad se ajustaron mediante la corrección de Greenhouse-Geisser cuando los datos violaban el supuesto de esfericidad. Las comparaciones *post-hoc* se llevaron a cabo mediante el contraste de Bonferroni para comparaciones múltiples. El nivel de significación se estableció en $p \leq 0.05$.

A continuación se describen únicamente los efectos significativos del factor Validez y sus interacciones con las otras variables incluidas en el análisis, dado que son los efectos más relevantes para los objetivos del presente estudio.

4. RESULTADOS

4. 1. Resultados conductuales

Los valores medios de TR en función del SOA, campo visual y validez en cada una de las condiciones de señalización se recogen en la Tabla 2 (ver página siguiente).

El factor Validez presentó efectos significativos sobre el TR (F(1, 14) = 82.461, p = 0.0005): el TR fue significativamente más rápido ante estímulos objetivo señalados de forma válida que ante estímulos objetivo señalados de forma inválida. La magnitud de la diferencia entre ensayos válidos e inválidos sobre el TR varió de manera significativa entre condiciones de señalización, como indicó la interacción Señal x Validez (F(2, 28) = 7.405, p = 0.003). Los análisis por pares mostraron que el efecto de validez fue significativamente mayor para SC (563 ± 55 *vs*. 598 ± 58) que para SPN (569 ± 71 *vs*. 584 ± 69)(F(1, 14) = 15.347, p = 0.002) y para SP (558 ± 66 *vs*. 583 ± 62) que para SPN (F(1, 14) = 5.700, p = 0.032).

Hubo interacciones significativas SOA x Validez (F(3, 42) = 6.695, p = 0.001) y Señal x Validez x SOA (F(6, 84) = 4.845, p = 0.0005). Los análisis llevados a cabo para cada una de las condiciones de señalización por separado pusieron de manifiesto que la interacción SOA x Validez persistía para SP (F(3, 42) = 5.766, p = 0.002) y para SPN (F(3, 42) = 14.486, p = 0.0005). No obstante, el efecto de validez sobre el TR presentó algunas diferencias entre ambas condiciones. En la condición de SP, el efecto de validez alcanzó significación estadística en los SOAs de 100 ms (F(1, 14) = 43.537, p = 0.0005), 300 ms (F(1, 14) = 24.360, p = 0.0005) y 500 ms (F(1, 14) = 11.663, p = 0.004). En la condición de SPN, el efecto de validez se observó con un SOA de 100 ms (F(1, 14) = 100.084, p = 0.0005), mientras que no hubo efectos significativos en los SOAs de 300, 500 ó 700 ms.

En la condición de SC, no se observó una interacción significativa entre los factores SOA y Validez: las diferencias en el TR entre ensayos válidos e inválidos fueron similares para todos los SOAs.

Tabla 2. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de TR (ms) en función del SOA, campo visual y validez en cada una de las condiciones de señalización.

	SOA 100 ms				**SOA 300 ms**				**SOA 500 ms**				**SOA 700 ms**			
	CVI		CVD		CVI		CVD		CVI		CVD		CVI		CVD	
	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
SC	584 (74)	609 (64)	586 (70)	618 (61)	547 (64)	588 (71)	542 (54)	583 (81)	559 (63)	597 (60)	559 (59)	595 (69)	566 (69)	591 (65)	562 (72)	601 (75)
SP	541 (68)	584 (58)	533 (57)	571 (69)	552 (65)	574 (71)	554 (68)	594 (73)	569 (63)	584 (66)	564 (66)	586 (60)	574 (91)	589 (75)	574 (87)	584 (81)
SPN	540 (52)	585 (63)	533 (60)	574 (61)	568 (82)	582 (69)	575 (94)	583 (87)	578 (77)	594 (82)	596 (89)	587 (86)	580 (81)	585 (77)	586 (82)	585 (79)

CVI = campo visual izquierdo; CVD = campo visual derecho; V = ensayo válido; I = ensayo inválido

4. 2. Resultados de PE

4.2.1. Amplitud de P1

El efecto principal del factor Validez no alcanzó significación estadística, aunque hubo una interacción significativa Validez x SOA (F(3, 42) = 4.056, p = 0.032, ε = 0.613), e interacciones significativas de segundo orden entre Electrodo, Validez y SOA (F(15, 210) = 2.288, p = 0.049, ε = 0.364) y entre Electrodo, Señal y Validez (F(10, 140) = 4.491, p = 0.007, ε = 0.317). Con el objetivo de evaluar en mayor detalle el curso temporal de los efectos de validez sobre la amplitud de P1, se llevaron a cabo análisis separados para cada par de electrodos localizados en las regiones parietal (PL/PR), temporal (T5/T6) y occipital (OL/OR). Para la realización de estos ANOVAs se incluyó la variable Hemisferio de registro (izquierdo/derecho). Considerando de manera conjunta las tres condiciones de señalización, la interacción Validez x SOA alcanzó significación estadística en las regiones occipital (F(3, 42) = 4.997, p = 0.020, ε = 0.565) y parietal (F(3, 42) = 4.544, p = 0.020, ε = 0.664). De este modo, se ejecutaron ANOVAs adicionales en cada una de las condiciones de señalización sólo para estas regiones. Los principales resultados de estos análisis se muestran en la Tabla 3. De nuevo, la descripción de los efectos observados que se presenta a continuación se centrará en el factor Validez y sus interacciones con las otras variables incluidas en los análisis.

Tabla 3. Resumen del análisis estadístico (valores p) del efecto de validez sobre la amplitud de P1 en localizaciones occipitales y parietales en las condiciones de SC, SP y SPN.

Tipo de señal		Validez	Validez x SOA	Validez x Hemisferio
SP	OL/OR	n.s.	.009	n.s.
	PL/PR	n.s.	n.s.	n.s.
SPN	OL/OR	n.s.	.001	n.s.
	PL/PR	.020	.001	.046
SC	OL/OR	n.s.	n.s.	n.s.
	PL/PR	n.s.	n.s.	n.s.

n.s. = no significativo

▪ Condición de SC

No se observaron diferencias significativas entre ensayos válidos e inválidos, ni interacciones significativas del factor Validez con el resto de factores considerados en los análisis estadísticos.

▪ Condición de SP

Hubo una interacción significativa Validez x SOA en la **región occipital** (F(3, 42) = 4.408, p = 0.009), pero no en la región parietal (véase la Tabla 3). En electrodos occipitales, el análisis por separado del efecto de validez para cada uno de los SOAs (véase la Tabla 4), reveló que la amplitud de P1 fue mayor en ensayos válidos que en inválidos en el SOA de 100 ms (F(1, 14) = 6.253, p = 0.025) (véase la Figura 3), y menor en ensayos válidos que inválidos en el SOA de 500 ms (F(1, 14) = 5.868, p = 0.030)(véase la Figura 4).

Tabla 4. Resumen del análisis estadístico (valores p) del efecto de validez sobre la amplitud de P1 en localizaciones occipitales y parietales para cada SOA en las condiciones de SP y SPN.

		SP	**SPN**
SOA 100	OL/OR	.025 (V>I)	.020 (V>I)
	PL/PR	n.s.	n.s.
SOA 300	OL/OR	n.s.	n.s.
	PL/PR	n.s.	.003 (V<I)
SOA 500	OL/OR	.030 (V<I)	n.s.
	PL/PR	n.s.	.046 (V<I)
SOA 700	OL/OR	n.s.	.014 (V<I)
	PL/PR	n.s.	.014 (V<I)

V = válidos; I = inválidos; n.s. = no significativo

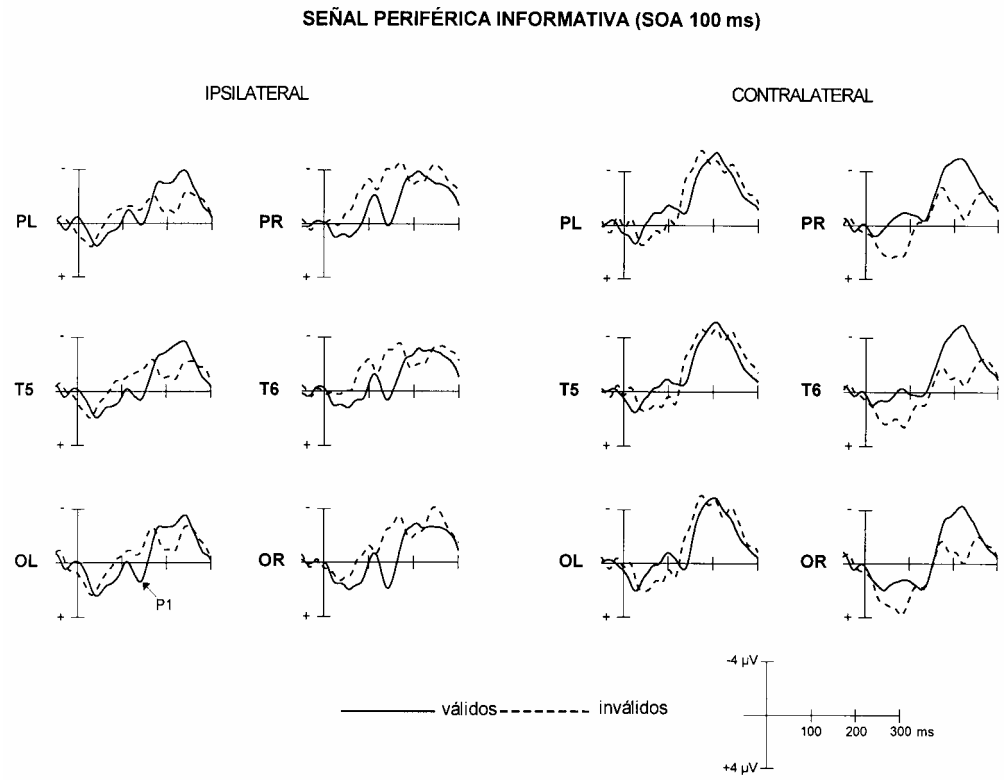

Figura 3. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SP en el SOA de 100 ms.

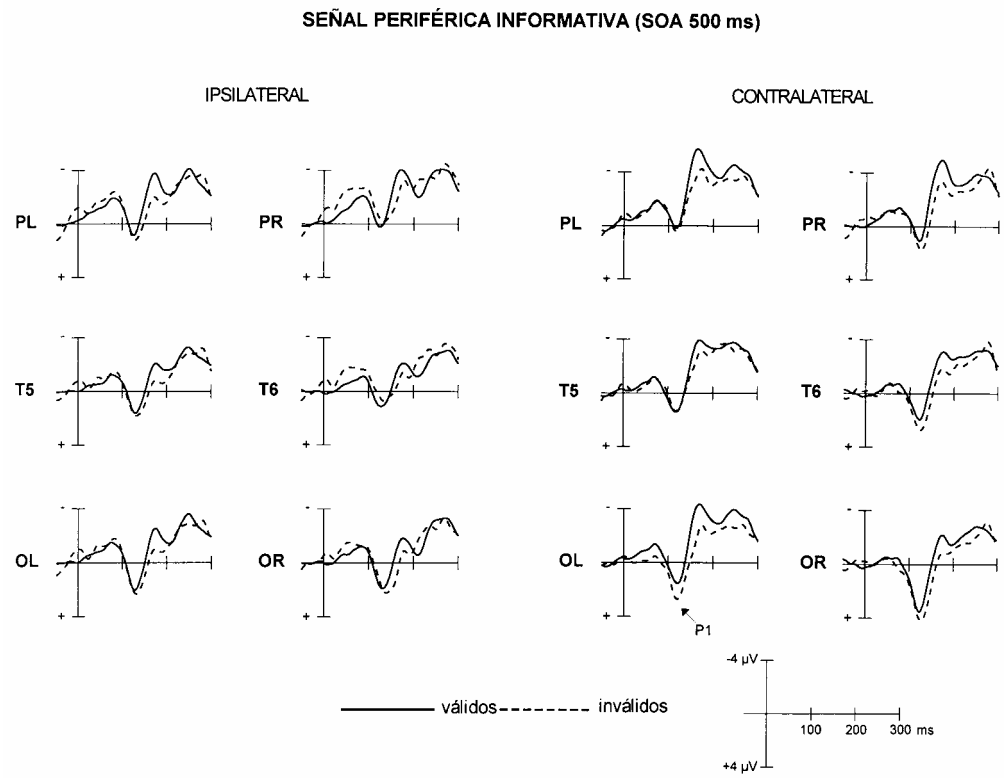

Figura 4. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SP en el SOA de 500 ms.

▪ Condición de SPN

El factor Validez fue significativo en zonas parietales (F(1, 14) = 6.841, p = 0.020), con mayores amplitudes de P1 en ensayos inválidos que en válidos (véase la Tabla 3). Este efecto fue más prominente en el hemisferio izquierdo, tal como indicó la interacción Hemisferio x Validez (F(1, 14) = 4.784, p = 0.046). Además, hubo una interacción significativa Validez x SOA en las localizaciones parietal (F(3, 42) = 6.536, p = 0.001) y occipital (F(3, 42) = 6.395, p = 0.001). Las Figuras 5, 6, 7 y 8 muestran los trazados de grandes medias ante estímulos señalados de forma válida e inválida en electrodos ipsilaterales y contralaterales a la localización del estímulo objetivo en esta condición de señalización para cada uno de los SOAs.

Los análisis separados para cada SOA revelaron que, en **zonas parietales**, la amplitud de P1 fue mayor en ensayos inválidos que en ensayos válidos en los SOAs de 300 ms (F(1, 14) = 13.021, p = 0.003), 500 ms (F(1, 14) = 4.793, p = 0.046) y 700 ms (F(1, 14) = 7.830, p = 0.014). El efecto sobre la amplitud de P1, durante la condición SOA de 300 ms, fue mayor en el hemisferio izquierdo, como indicó la interacción significativa Hemisferio x Validez (F(1, 14) = 5.147, p = 0.040). En **electrodos occipitales**, P1 mostró una mayor amplitud en ensayos válidos que en inválidos en el SOA de 100 ms (F(1, 14) = 6.884, p = 0.020); por el contrario, en el SOA de 700 ms, la amplitud de P1 fue menor en ensayos válidos que en inválidos (F(1, 14) = 7.936, p = 0.014)(véase Tabla 4).

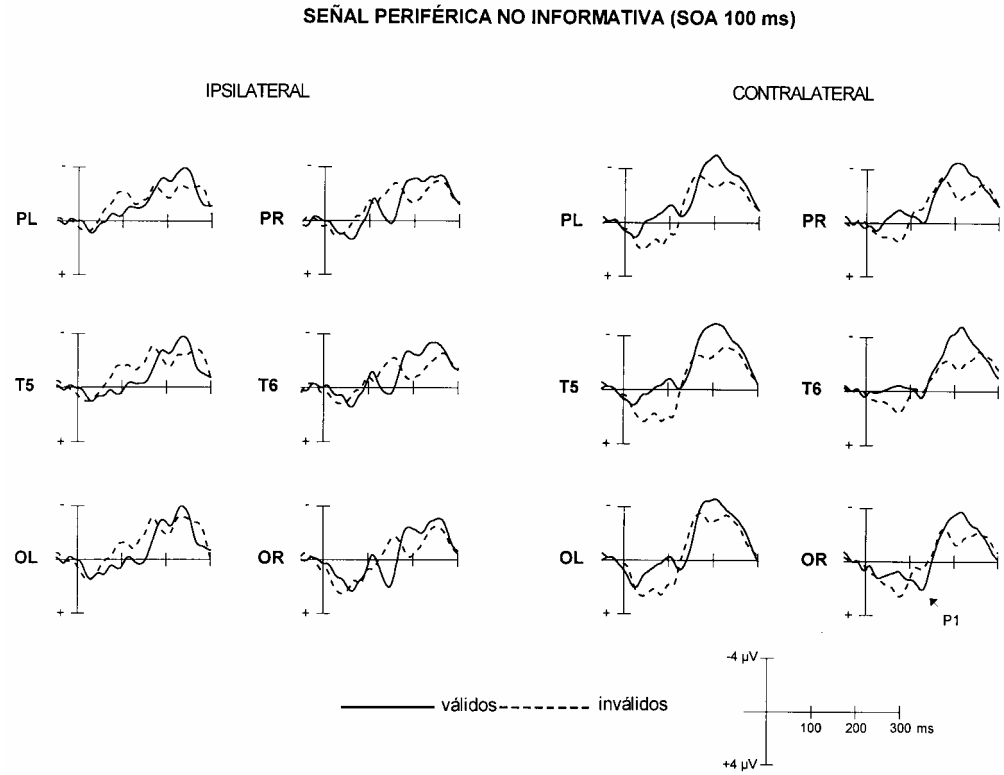

Figura 5. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 100 ms.

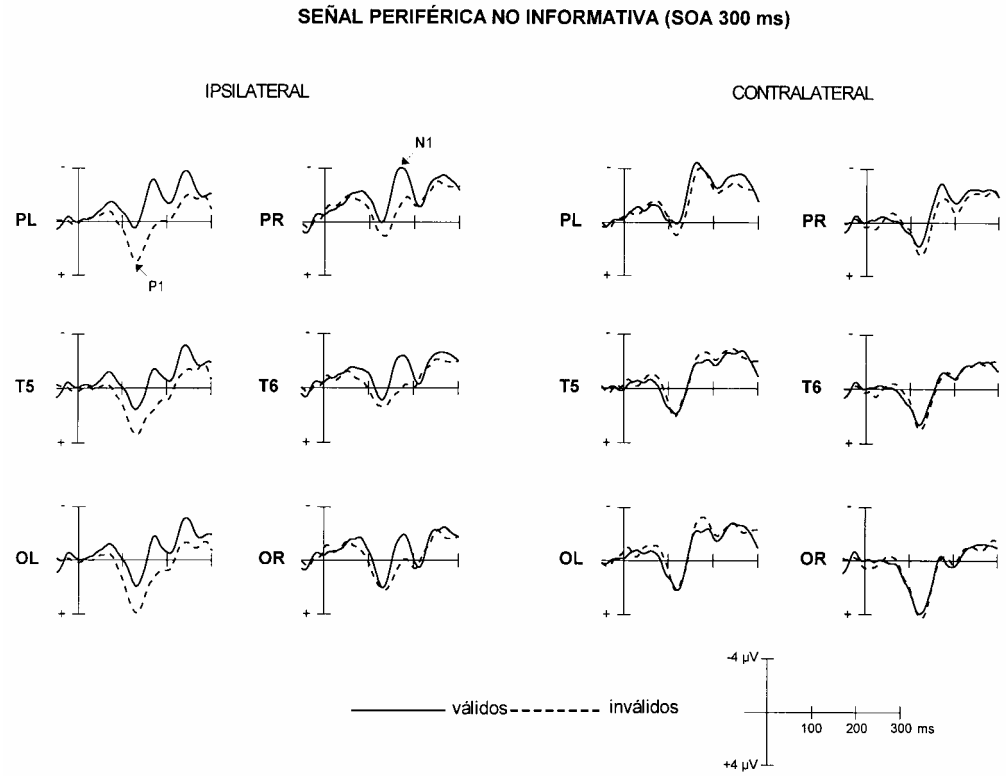

Figura 6. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 300 ms.

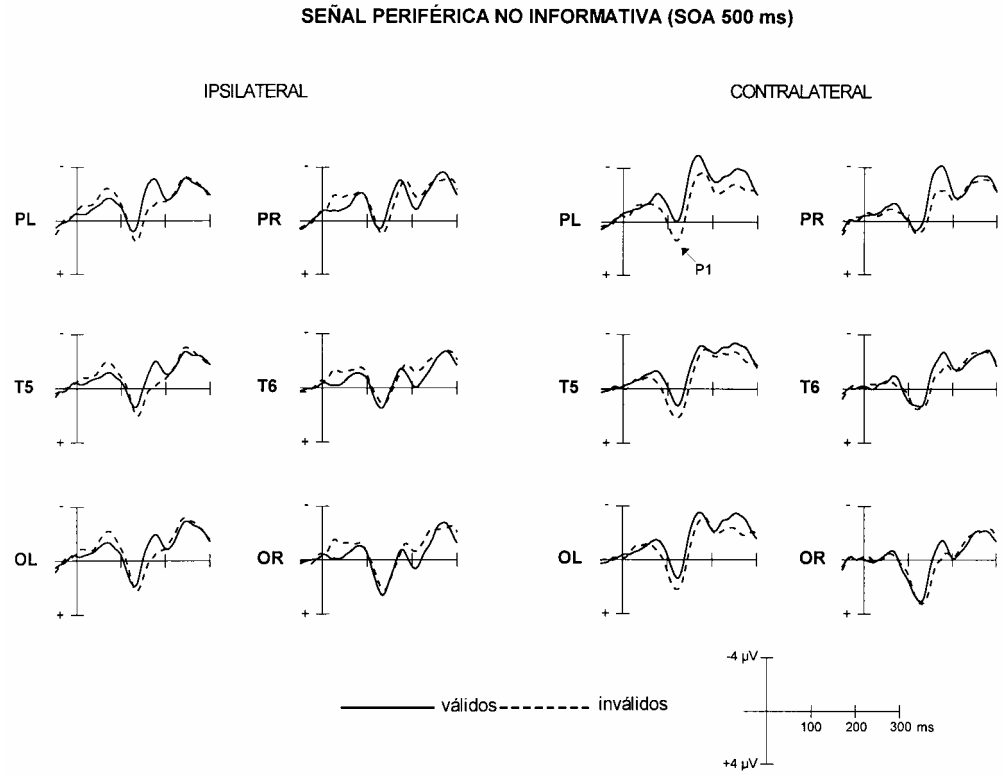

Figura 7. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 500 ms.

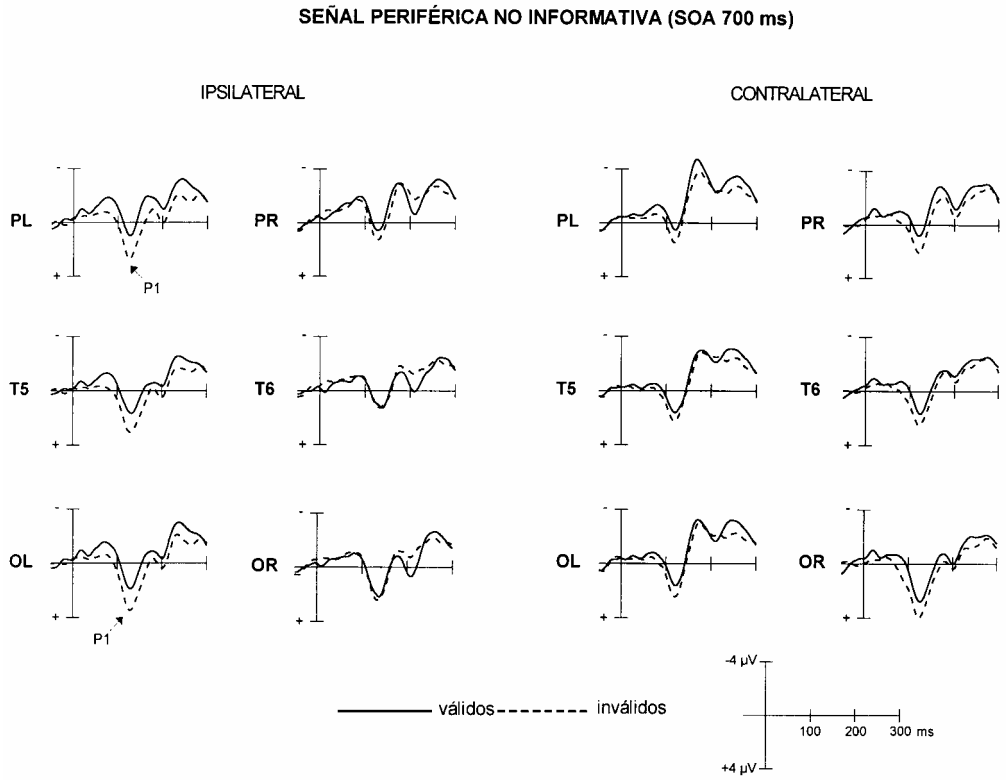

Figura 8. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SPN en el SOA de 700 ms.

4.2.2. Amplitud de N1

El análisis de la amplitud del componente N1 reveló interacciones significativas Validez x Electrodo x Lateralidad ($F(5, 70) = 5.644$, $p = 0.009$, $\varepsilon = 0.388$) y Validez x Electrodo x SOA ($F(15, 210) = 4.297$, $p = 0.001$, $\varepsilon = 0.352$). Con el objetivo de examinar los efectos de validez de las señales centrales y periféricas sobre la amplitud de N1, se llevaron a cabo análisis estadísticos separados para cada tipo de señal.

▪ Condición de SC

Los valores medios de la amplitud de N1 en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales al campo visual de presentación del estímulo objetivo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de la amplitud de N1 (en microvoltios) en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales al estímulo objetivo en la condición de SC.

		Contralateral		Ipsilateral	
SOA	**Electrodo**	**Válidos**	**Inválidos**	**Válidos**	**Inválidos**
100	PL	-2.39 (2.93)	-4.48 (3.24)	-1.96 (1.64)	-3.12 (3.27)
	PR	-2.18 (2.95)	-3.64 (3.66)	-2.42 (2.52)	-3.01 (2.52)
	T5	-1.46 (3.08)	-3.41 (2.45)	-1.25 (1.11)	-2.01 (2.67)
	T6	-0.81 (2.73)	-1.67 (2.75)	-1.55 (2.28)	-2.15 (2.39)
	OL	-1.29 (3.50)	-3.60 (3.47)	-0.87 (1.39)	-2.00 (3.26)
	OR	0.38 (3.24)	-0.85 (3.18)	-0.87 (2.57)	-1.29 (2.84)
300	PL	-3.28 (3.91)	-2.40 (3.51)	-1.81 (2.61)	-2.09 (2.58)
	PR	-3.16 (3.84)	-3.55 (5.49)	-3.16 (3.04)	0.15 (1.99)
	T5	-2.21 (3.38)	-1.48 (3.69)	-0.95 (2.60)	-1.38 (3.31)
	T6	-1.12 (3.73)	-2.11 (4.65)	-1.56 (3.00)	0.97 (1.93)
	OL	-2.59 (3.98)	-1.65 (3.69)	-0.64 (3.09)	-1.38 (3.13)
	OR	-0.81 (3.80)	-1.78 (5.21)	-1.34 (3.18)	1.32 (2.30)
500	PL	-7.09 (4.58)	-5.50 (3.85)	-4.69 (3.49)	-2.85 (2.83)
	PR	-7.30 (3.59)	-4.90 (3.69)	-5.35 (3.04)	-4.54 (3.56)
	T5	-6.08 (4.10)	-4.92 (3.52)	-3.80 (3.56)	-2.52 (2.62)
	T6	-5.62 (3.32)	-4.41 (3.66)	-4.25 (3.15)	-3.77 (3.32)
	OL	-6.66 (4.67)	-5.20 (3.69)	-4.14 (3.96)	-2.62 (2.63)
	OR	-5.23 (3.78)	-3.34 (4.31)	-4.38 (3.25)	-3.60 (3.25)
700	PL	-4.38 (3.46)	-3.64 (4.11)	-2.60 (2.66)	-0.72 (4.51)
	PR	-5.08 (3.47)	-3.61 (5.97)	-2.61 (2.32)	-1.68 (3.35)
	T5	-3.29 (3.37)	-3.07 (4.38)	-1.60 (2.83)	-0.09 (4.51)
	T6	-3.34 (3.74)	-2.73 (5.93)	-1.22 (2.29)	-0.88 (2.80)
	OL	-3.39 (3.99)	-3.07 (4.75)	-1.52 (3.07)	-0.21 (4.60)
	OR	-2.67 (3.64)	-1.94 (6.20)	-1.02 (2.76)	-0.34 (3.55)

El efecto principal del factor Validez no alcanzó significación estadística, aunque este factor mostró una interacción significativa con el factor SOA (F(3, 42) = 3.770, p = 0.017): la amplitud de N1 tendía a ser más pequeña en ensayos válidos que en inválidos en el SOA de 100 ms; en los SOAs de 300, 500 y 700 ms este efecto se invertía, con una tendencia a mayores amplitudes en ensayos válidos que en inválidos (véase la Figura 9).

Se detectaron, a su vez, interacciones significativas de segundo orden entre los factores Validez, Electrodo y SOA (F(15, 210) = 2.837, p = 0.028, ε = 0.292) y entre Validez, Lateralidad y SOA (F(3, 42) = 3.113, p = 0.036). Los ANOVAs separados ejecutados para cada SOA revelaron que la diferencia válidos-inválidos alcanzó significación estadística en los SOAs de 100 ms (F(1, 14) = 5.799, p = 0.030) y 500 ms (F(1, 14) = 6.826, p = 0.020).

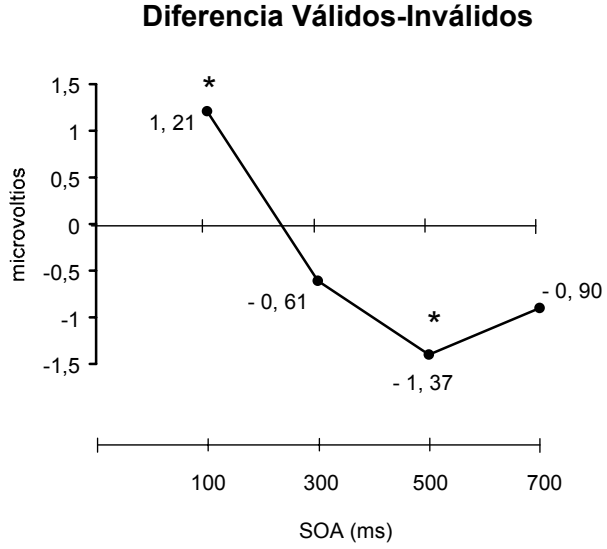

Figura 9. Curso temporal del efecto de validez en N1 en la condición de SC: diferencias entre ensayos válidos-inválidos en función del SOA. Con un asterisco se indican los SOAs en los que el factor Validez fue significativo.

En el **SOA de 100 ms**, los análisis estadísticos para cada uno de los electrodos indicaron que la amplitud de N1 fue significativamente más pequeña ante estímulos señalados de forma válida que inválida en las regiones parietal izquierda ($F(1, 14) = 8.474$, $p = 0.011$), occipital izquierda ($F(1, 14) = 7.691$, $p = 0.015$) y temporal izquierda ($F(1, 14) = 7.579$, $p = 0.016$) (véase la Figura 10).

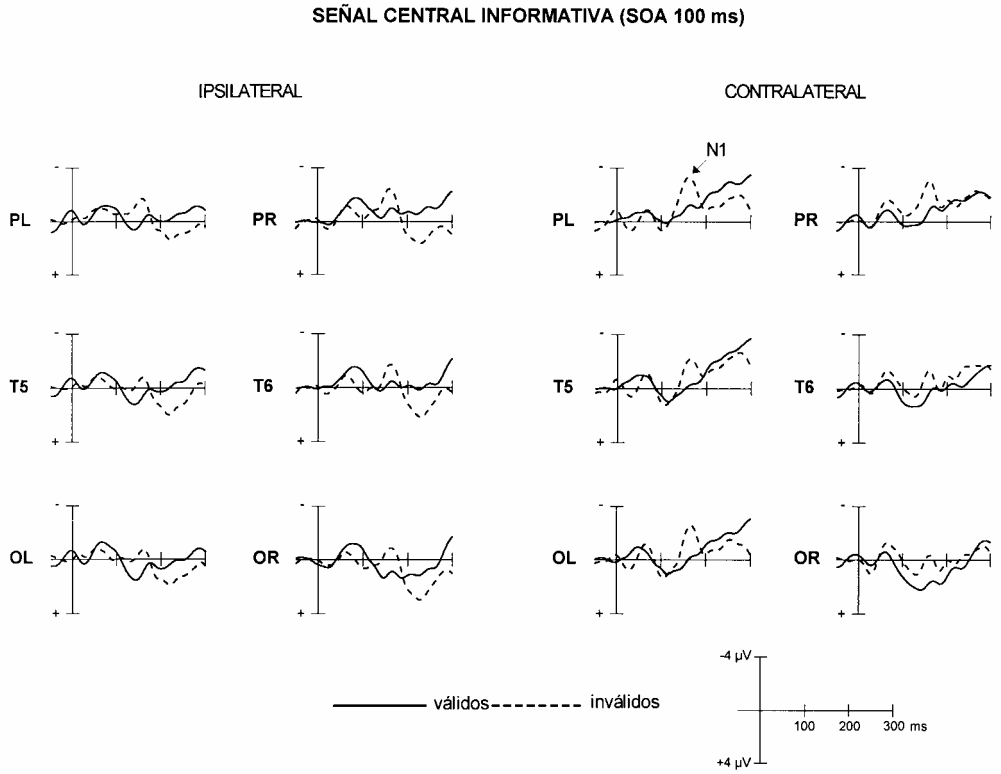

Figura 10. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SC en el SOA de 100 ms.

En el **SOA de 500 ms**, el componente N1 fue mayor en ensayos válidos que en inválidos en las regiones parietal (PL: $F(1, 14) = 9.385$, $p = 0.008$; PR: $F(1, 14) = 7.401$, $p = 0.017$), temporal izquierda ($F(1, 14) = 5.177$, $p = 0.039$) y occipital izquierda ($F(1, 14) = 6.252$, $p = 0.025$) (véase la Figura 11).

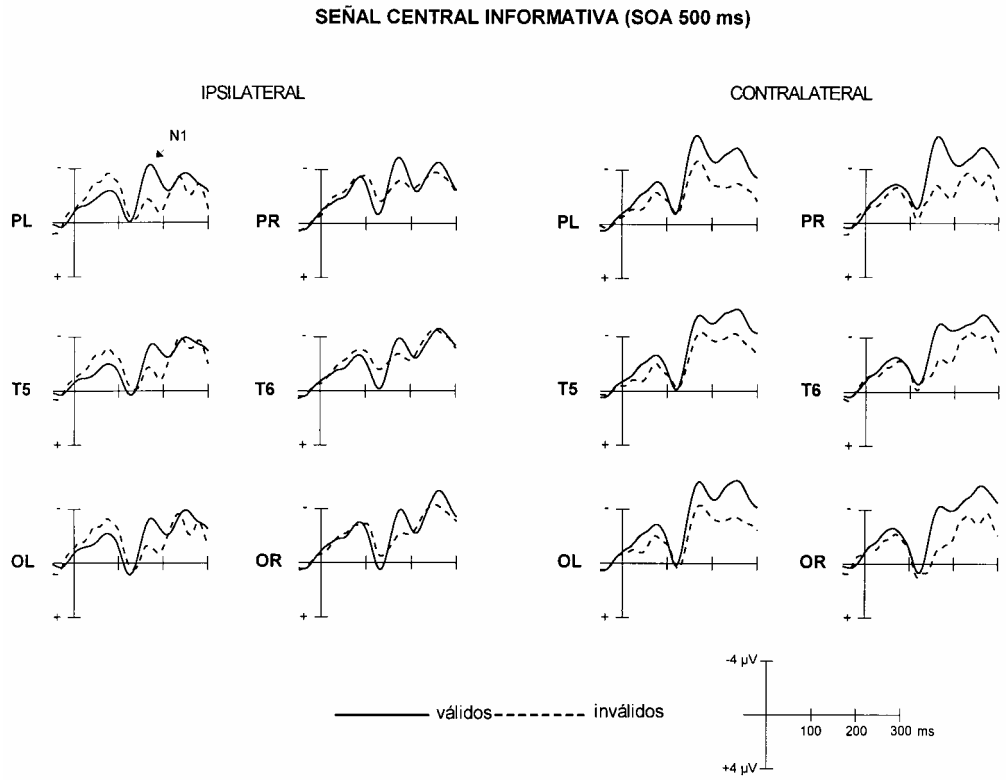

Figura 11. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SC en el SOA de 500 ms.

En el **SOA de 300 ms**, aunque el factor Validez no fue significativo, se apreciaron interacciones significativas Electrodo x Validez ($F(5, 70) = 5.237$, $p = 0.004$, $\varepsilon = 0.579$) y Electrodo x Validez x Lateralidad ($F(5, 70) = 6.315$, $p = 0.020$, $\varepsilon = 0.227$). Los análisis posteriores para cada electrodo revelaron que la amplitud de N1 fue significativamente mayor en ensayos válidos, comparados con inválidos, en el hemisferio derecho ante estímulos presentados en el campo visual ipsilateral. Este efecto se pudo apreciar en las interacciones significativas Validez x Lateralidad en las regiones parietal derecha (PR: $F(1, 14) = 9.531$, $p = 0.008$), occipital derecha (OR: $F(1, 14) = 11.189$, $p = 0.005$) y temporal derecha (T6: $F(1, 14) = 11.724$, $p = 0.004$), junto con efectos de validez significativos en regiones ipsilaterales (PR: $F(1, 14) = 12.566$, $p = 0.003$; OR: $F(1, 14) = 6.372$, $p = 0.024$; T6: $F(1, 14) = 6.944$, $p = 0.020$)(véase la Figura 12).

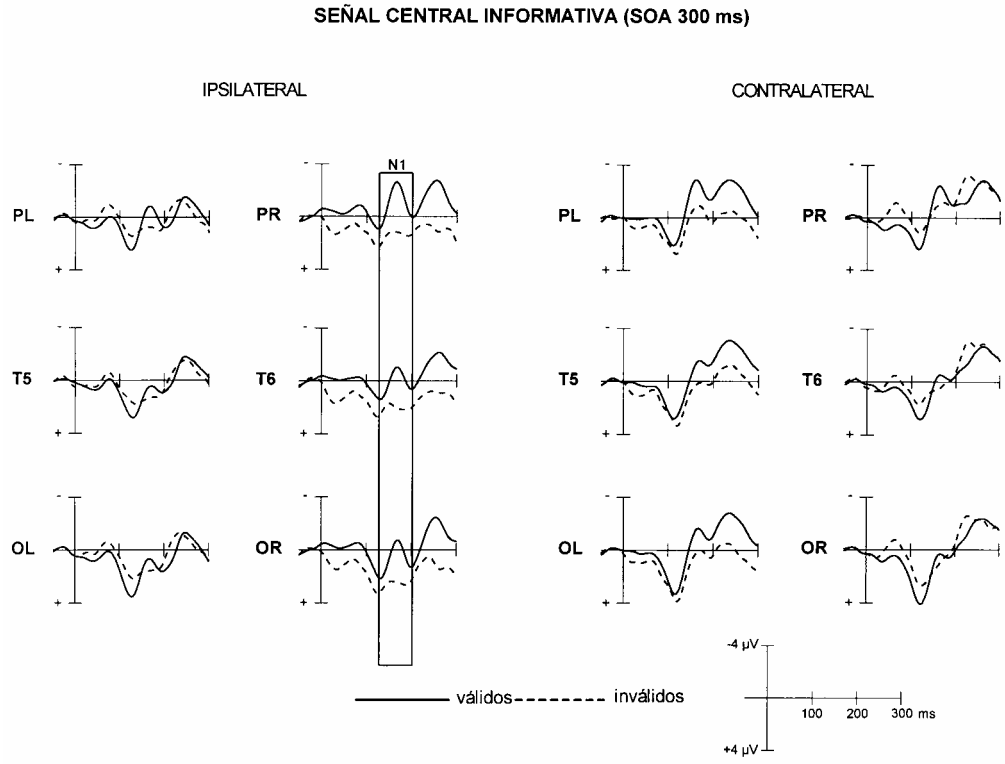

Figura 12. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en la condición de SC en el SOA de 300 ms. Se puede apreciar, en la zona demarcada por un rectángulo, el efecto de validez en N1 en las regiones parietal, temporal y occipital del hemisferio derecho cuando los objetivos se presentaban en el campo visual ipsilateral.

En el **SOA de 700 ms**, la diferencia entre ensayos válidos e inválidos no alcanzó significación estadística, y ninguna de las variables incluidas en los análisis mostró interacciones significativas con el factor Validez (véase la Figura 13).

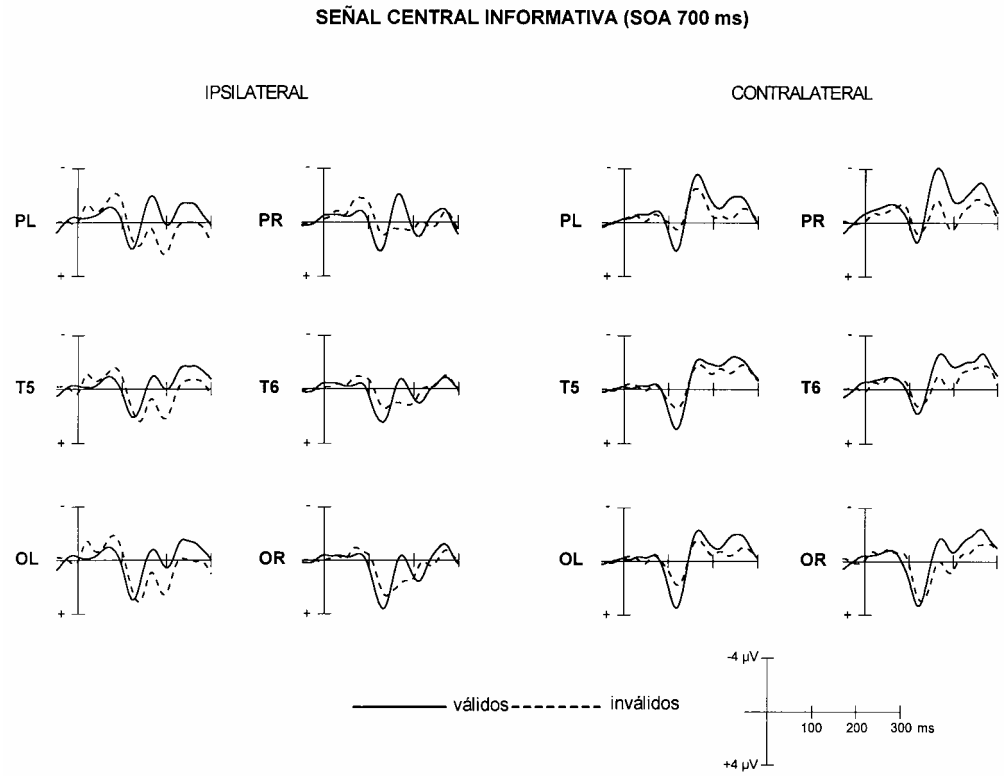

Figura 13. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital ipsilaterales y contralaterales al estímulo objetivo en la condición de SC en el SOA de 700 ms.

▪ Condición de SP

La Tabla 6 muestra los valores medios de la amplitud de N1 en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales al campo visual de aparición del estímulo objetivo.

Tabla 6. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de la amplitud de N1 (en microvoltios) en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales a la localización del estímulo objetivo en la condición de SP.

		Contralateral		Ipsilateral	
SOA	**Electrodo**	**Válidos**	**Inválidos**	**Válidos**	**Inválidos**
100	PL	-6.01 (4.93)	-6.95 (4.76)	-4.21 (4.19)	-3.78 (4.08)
	PR	-5.52 (4.98)	-4.20 (4.88)	-4.58 (3.74)	-5.67 (3.36)
	T5	-5.56 (5.09)	-6.02 (4.03)	-3.88 (3.85)	-4.17 (4.84)
	T6	-4.94 (4.75)	-3.11 (3.85)	-3.77 (3.35)	-4.41 (2.90)
	OL	-5.80 (5.81)	-6.54 (4.91)	-3.96 (4.95)	-4.25 (4.73)
	OR	-4.52 (4.72)	-3.20 (4.21)	-3.89 (4.11)	-4.51 (3.64)
300	PL	-4.74 (3.70)	-4.36 (4.30)	-4.48 (2.84)	-1.50 (3.54)
	PR	-4.30 (4.65)	-3.75 (4.37)	-4.35 (2.66)	-3.78 (2.97)
	T5	-2.78 (2.97)	-2.94 (4.08)	-2.61 (2.57)	-0.17 (3.07)
	T6	-2.29 (3.92)	-2.71 (3.13)	-2.48 (2.21)	-2.41 (2.28)
	OL	-3.58 (3.83)	-3.73 (4.60)	-3.21 (3.10)	-0.69 (3.71)
	OR	-1.67 (4.15)	-2.05 (4.15)	-2.48 (2.54)	-2.12 (2.33)
500	PL	-6.28 (4.27)	-5.76 (4.64)	-4.26 (3.29)	-3.09 (3.29)
	PR	-5.57 (3.87)	-4.62 (3.98)	-4.60 (3.10)	-4.64 (3.76)
	T5	-4.63 (3.49)	-4.84 (3.75)	-2.63 (2.89)	-1.82 (2.37)
	T6	-3.50 (3.31)	-3.09 (3.79)	-2.62 (2.57)	-2.97 (3.34)
	OL	-5.13 (4.56)	-4.33 (5.04)	-3.01 (3.46)	-2.02 (2.50)
	OR	-2.76 (3.65)	-2.21 (3.99)	-2.51 (3.14)	-2.54 (3.80)
700	PL	-5.21 (3.98)	-5.47 (4.10)	-3.32 (3.30)	-3.56 (3.17)
	PR	-5.11 (4.58)	-5.33 (3.81)	-3.48 (2.97)	-3.52 (2.54)
	T5	-4.16 (3.49)	-4.11 (3.69)	-1.97 (2.46)	-2.47 (2.38)
	T6	-3.42 (3.79)	-3.53 (3.63)	-2.15 (2.47)	-2.13 (2.06)
	OL	-4.56 (4.43)	-4.13 (4.76)	-2.55 (3.50)	-2.85 (3.02)
	OR	-2.67 (4.20)	-2.98 (3.69)	-1.67 (3.23)	-1.40 (2.80)

Aunque no hubo un efecto significativo del factor Validez sobre el componente N1, este factor mostró una interacción significativa con los factores Electrodo y SOA ($F(15, 210) = 5.050$, $p = 0.0005$, $\varepsilon = 0.367$).

Los ANOVAs posteriores en cada uno de los SOAs, revelaron un efecto de la validez significativo en el **SOA de 300 ms** ($F(1, 14) = 4.692$, $p = 0.048$) (véase la Figura 14). En esta condición de SOA, la amplitud de N1 fue significativamente mayor en ensayos válidos que en inválidos sobre electrodos ipsilaterales al campo visual de presentación del estímulo objetivo, como revelaron la interacción Validez x Lateralidad ($F(1, 14) = 6.581$, $p = 0.022$) y el efecto principal de la validez en regiones ipsilaterales ($F(1, 14) = 10.004$, $p = 0.007$). Más aún, el efecto de validez sobre N1 estaba lateralizado al hemisferio izquierdo, tal como indicaron la interacción significativa Validez x Electrodo ($F(5, 70) = 5.001$, $p = 0.018$, $\varepsilon = 0.353$) junto con efectos principales de la validez en electrodos izquierdos (PL: $F(1, 14) = 11.029$, $p = 0.005$; OL: $F(1, 14) = 6.497$, $p = 0.023$; T5: $F(1, 14) = 5.707$, $p = 0.032$). Este efecto de validez en zonas del hemisferio izquierdo fue también ipsilateral, como pusieron de manifiesto las interacciones Validez x Lateralidad en localizaciones izquierdas (PL: $F(1, 14) = 12.339$, $p = 0.003$; OL: $F(1, 14) = 10.075$, $p = 0.007$; T5: $F(1, 14) = 8.322$, $p = 0.012$), junto con la presencia del efecto de validez sobre estas regiones cuando los estímulos se presentaban ipsilateralmente (PL: $F(1, 14) = 19.927$, $p = 0.001$; OL: $F(1, 14) = 14.664$, $p = 0.002$; T5: $F(1, 14) = 16.836$, $p = 0.001$).

No se encontraron efectos significativos de la Validez, ni interacciones significativas de este factor con las otras variables, en los SOAs de 100, 500 y 700 ms. Los trazados de grandes medias obtenidos en ensayos válidos e inválidos en los SOAs de 100 y 500 ms ya se han presentado (Figuras 3 y 4, respectivamente). Los trazados correspondientes al SOA de 700 ms se ilustran en la Figura 15.

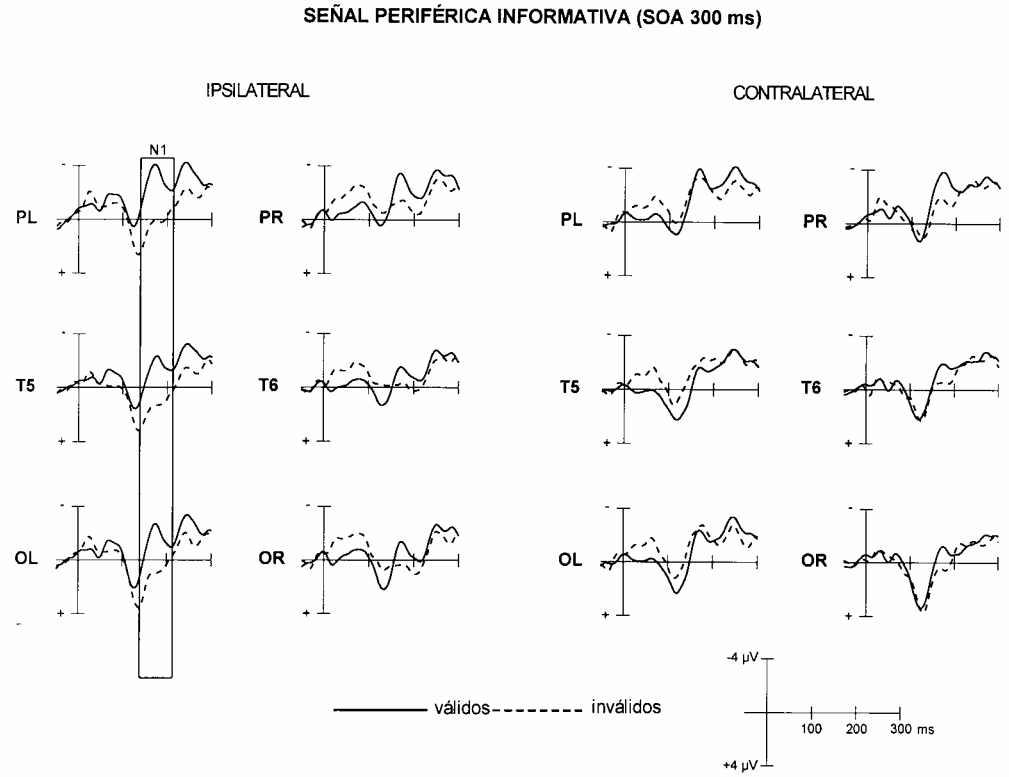

Figura 14. Trazados de grandes medias de los PE ante estímulos objetivo en ensayos válidos e inválidos en la condición de SP en el SOA de 300 ms. Se resalta, mediante un rectángulo, el mayor efecto de validez en N1 en las regiones parietal, temporal y occipital del hemisferio izquierdo, cuando los estímulos se presentaban ipsilateralmente.

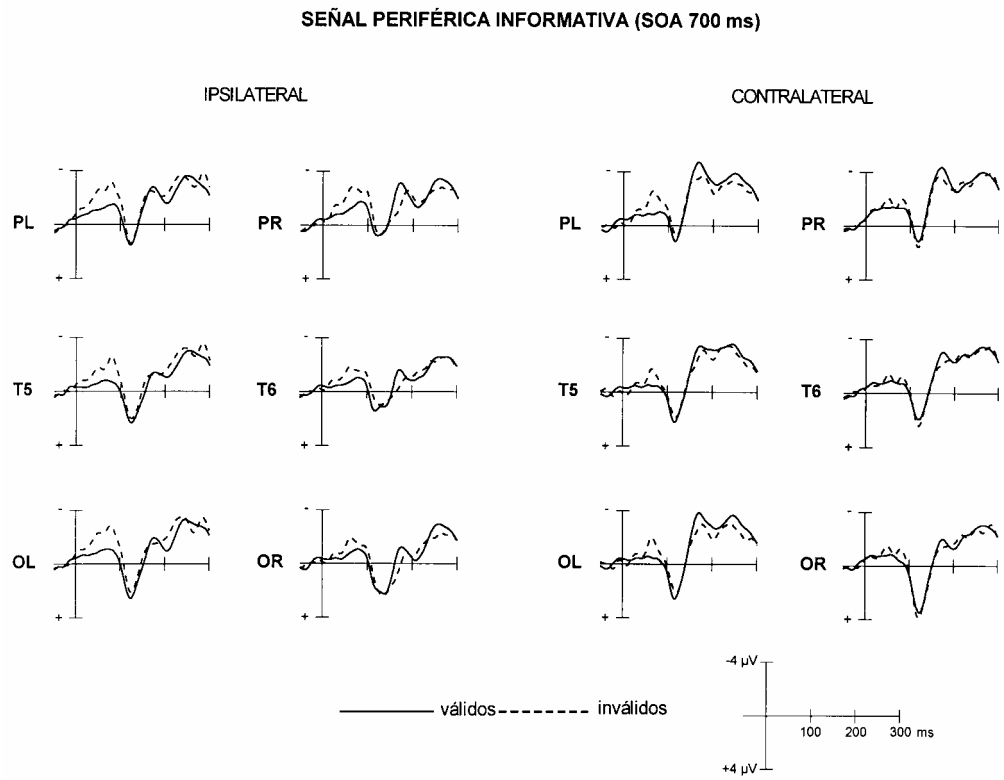

Figura 15. Trazados de los PE en ensayos válidos e inválidos para SP en el SOA de 700 ms.

▪ Condición de SPN

Los valores medios de la amplitud del componente N1 en ensayos válidos e inválidos en las localizaciones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales al campo visual de presentación del estímulo objetivo se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores medios y desviaciones estándar (entre paréntesis) de la amplitud de N1 (en microvoltios) en ensayos válidos e inválidos en las regiones parietal, temporal y occipital contralaterales e ipsilaterales a la localización del estímulo objetivo en la condición de SPN.

		Contralateral		Ipsilateral	
SOA	**Electrodo**	**Válidos**	**Inválidos**	**Válidos**	**Inválidos**
100	PL	-5.30 (4.65)	-5.42 (4.75)	-4.17 (4.20)	-3.57 (4.01)
	PR	-5.52 (4.20)	-4.29 (4.93)	-4.31 (4.11)	-4.42 (2.35)
	T5	-5.21 (4.55)	-4.30 (3.83)	-3.31 (4.58)	-4.03 (4.14)
	T6	-4.88 (4.30)	-2.84 (4.49)	-4.28 (3.98)	-3.11 (2.49)
	OL	-5.50 (5.55)	-5.44 (4.99)	-3.78 (5.25)	-4.21 (4.43)
	OR	-4.45 (4.65)	-3.12 (5.14)	-3.93 (4.64)	-3.44 (3.05)
300	PL	-5.17 (3.51)	-4.92 (3.83)	-3.97 (3.06)	-1.65 (3.74)
	PR	-3.84 (4.31)	-2.94 (3.92)	-4.32 (3.19)	-2.68 (2.59)
	T5	-3.16 (2.71)	-3.56 (3.87)	-2.02 (2.50)	-0.40 (3.50)
	T6	-2.00 (3.81)	-2.11 (3.45)	-2.85 (2.30)	-1.05 (2.43)
	OL	-3.56 (4.04)	-4.29 (3.83)	-2.57 (3.13)	-0.51 (3.92)
	OR	-1.35 (4.10)	-1.45 (4.10)	-2.42 (2.73)	-0.65 (2.85)
500	PL	-5.90 (4.32)	-4.88 (4.58)	-3.58 (3.62)	-2.84 (4.18)
	PR	-4.82 (4.50)	-4.26 (4.64)	-3.63 (2.79)	-3.96 (3.87)
	T5	-4.37 (3.84)	-4.00 (3.82)	-2.57 (3.28)	-1.49 (3.31)
	T6	-3.22 (3.80)	-3.27 (3.90)	-1.93 (2.52)	-2.55 (3.31)
	OL	-4.87 (4.84)	-4.58 (4.82)	-2.64 (3.87)	-2.11 (3.94)
	OR	-2.21 (4.29)	-2.25 (4.26)	-1.31 (2.78)	-2.31 (3.58)
700	PL	-5.51 (4.75)	-4.71 (4.89)	-2.99 (4.07)	-1.90 (4.06)
	PR	-4.07 (4.72)	-3.54 (4.70)	-3.77 (3.34)	-3.87 (3.51)
	T5	-3.83 (3.86)	-3.66 (4.23)	-1.37 (3.40)	-0.77 (3.28)
	T6	-2.75 (4.39)	-2.38 (4.25)	-2.29 (2.96)	-2.74 (3.13)
	OL	-4.40 (5.09)	-4.07 (5.19)	-1.55 (4.02)	-1.02 (3.65)
	OR	-2.07 (4.74)	-1.54 (4.64)	-1.76 (3.53)	-2.31 (3.42)

Aunque el factor Validez no fue significativo, hubo una interacción de segundo orden entre Validez, Electrodo y SOA ($F(15, 210) = 4.911$, $p = 0.002$, $\varepsilon = 0.261$). Análisis separados para cada SOA pusieron de manifiesto un efecto de validez significativo sobre la amplitud de N1 en el **SOA de 300 ms** ($F(1, 14) = 5.246$, $p = 0.038$). En la Figura 6, presentada previamente, se pueden observar los trazados de grandes medias en ensayos válidos e inválidos en regiones ipsilaterales y contralaterales a la localización del estímulo objetivo para esta condición de SOA. Como se puede apreciar en esta figura, el componente N1 presentó, con SOA de 300 ms, una mayor amplitud ante estímulos señalados de forma válida comparados con estímulos inválidos en electrodos ipsilaterales, tal como revelaron la interacción Validez x Lateralidad ($F(1, 14) = 8.544$, $p = 0.011$) y el efecto significativo de la validez en regiones ipsilaterales ($F(1, 14) = 12.479$, $p = 0.003$).

La diferencia entre ensayos válidos e inválidos no alcanzó significación estadística en los SOAs de 100, 500 ó 700 ms, aunque se apreciaron interacciones significativas Validez x Electrodo en los SOAs de 100 ms ($F(5, 70) = 5.690$, $p = 0.005$, $\varepsilon = 0.478$) y 500 ms ($F(5, 70) = 8.130$, $p = 0.001$, $\varepsilon = 0.469$). Los ANOVAs posteriores mostraron que no hubo efectos de validez significativos en ninguno de los electrodos analizados para el SOA de 500 ms, y que la diferencia entre estímulos señalados de forma válida e inválida sólo mostró significación estadística en el electrodo temporal derecho para el SOA de 100 ms ($F(1, 14) = 6.885$, $p = 0.020$).

4.2.3. Resumen de resultados significativos para cada tipo de señal y condición de SOA.

En cuanto a la amplitud del componente P1, no se observó un efecto de validez significativo para SC en ninguna condición de SOA. Las SP y SPN resultaron en un efecto de validez en P1 registrado en zonas occipitales con un SOA de 100 ms, pero menores amplitudes de este componente en ensayos válidos (*versus* inválidos) con SOAs de 500 ms (SP) y 700 ms

(SPN); para este último tipo de señal, este efecto se extendía a SOAs de 300 y 500 ms en electrodos parietales.

En cuanto a la amplitud del componente N1, en la condición de SC, los estímulos señalados de forma válida (*versus* inválida) provocaron mayores amplitudes de N1 con SOAs de 300 ms (en el hemisferio derecho para estímulos ipsilaterales) y 500 ms (en zonas parietales, temporal izquierda y occipital izquierda); en el SOA más corto (100 ms), este efecto se invertía (menores amplitudes de N1 en ensayos válidos en el hemisferio izquierdo). En las condiciones de SP y SPN, se observó un efecto de validez en N1 con un SOA de 300 ms, con mayores amplitudes de este componente en regiones ipsilaterales al estímulo objetivo, efecto lateralizado al hemisferio izquierdo para SP.

5. DISCUSIÓN

5.1. Efectos de la señalización central y periférica en la ejecución conductual.

Los resultados obtenidos en el presente experimento replican el efecto de validez en el TR encontrado en tareas de señalización espacial; los TR eran significativamente más rápidos ante estímulos en localizaciones señaladas de forma válida que ante aquéllos presentados en localizaciones señaladas de forma inválida.

Este resultado es consistente con la evidencia disponible que indica que la señalización previa de la localización de un estímulo objetivo resulta en respuestas más rápidas ante estímulos presentados en esa localización.

El efecto de validez en el TR difería entre las tres condiciones de señalización. Se observó un efecto de validez significativamente mayor ante señales informativas (centrales y periféricas) que ante señales periféricas no informativas. Estas diferencias indican que las señales espaciales eran más efectivas en orientar la atención hacia la localización señalada cuando

proporcionaban información sobre la localización probable del estímulo objetivo.

Estos efectos de validez difirieron en función del SOA en las dos condiciones de señalización periférica. Las señales periféricas dieron lugar a una facilitación en el TR con el SOA más corto (100 ms), que no estaba afectada por el valor informativo de la señal. Este tipo de facilitación en el TR ha sido atribuido a una atracción automática de la atención por la señal (Jonides, 1981). Con SOAs más largos que 100 ms, se hallaron diferentes patrones en función de la información proporcionada por la señal. Con señalización periférica informativa, se observó un efecto de validez para los SOAs de 300 y 500 ms, pero no para el SOA de 700 ms. Estos hallazgos son consistentes con los datos conductuales obtenidos en estudios previos de PE que han investigado los efectos de las señales periféricas en diferentes SOAs. Anllo-Vento (1995) informó de un efecto de validez sobre el TR más pronunciado cuando el SOA era corto (200 ms) que cuando era más largo (600 ms). De igual manera, Yamaguchi *et al.* (1994) hallaron que las respuestas eran más rápidas en ensayos válidos comparados con inválidos con un SOA de 200 ms; en SOAs de 500 y 800 ms, no observaron diferencias entre el TR a estímulos objetivo válidos e inválidos.

Estos resultados son consistentes también con estudios conductuales que han mostrado que cuando una señal periférica aporta información acerca de la localización de un estímulo objetivo posterior, el efecto de validez, observado con SOAs cortos, continúa estando presente para SOAs de 300 ms o mayores (Wright y Richard, 2000), aunque su magnitud disminuye a medida que el SOA incrementa (Müller y Rabbitt, 1989). Se ha propuesto que esto se debe a que, con SOAs largos, las señales periféricas que proporcionan información sobre la probable localización del estímulo provocan un proceso de orientación voluntaria.

Con señales periféricas no informativas, sin embargo, el efecto de validez estaba presente solamente en el SOA más corto, y desaparecía en los SOAs más largos. Los resultados obtenidos en esta condición de nuevo son consistentes con estudios previos (Hopfinger y Mangun, 1998) que

utilizaron este tipo de señalización con diferentes intervalos señal a estímulo objetivo. Hopfinger y Mangun (1998) informaron también de TR más rápidos ante estímulos en la localización señalada comparados con estímulos en la localización no señalada cuando el SOA era más corto (34-234 ms), y no observaron diferencias con SOAs más largos (566-766 ms). Eimer (1994a) tampoco detectó efectos de validez sobre el TR con señales periféricas no informativas con un SOA de 900 ms. Estos resultados sugieren que el efecto facilitador de las señales en el TR con un SOA de 300 ms en nuestro estudio se debe a procesos de orientación voluntaria, presente con señales informativas pero ausente con señales no informativas.

La ausencia de un efecto de validez en el TR con los SOAs más largos parece indicar que las señales periféricas no informativas no provocaron un efecto de IR. El efecto de IR consiste en TR más lentos ante estímulos presentados en localizaciones señaladas comparados con aquéllos presentados en localizaciones no señaladas (Posner y Cohen, 1984). Esta ausencia podría ser debida a la utilización de una tarea de discriminación. La investigación previa (Terry, Valdes y Neill, 1994) ha sugerido que este tipo de tareas reduce la probabilidad de obtener un efecto inhibitorio en el TR. Otros autores (*v.g.* Handy, Jha y Mangun, 1999; Lupiáñez, Milán, Tornay, Madrid y Tudela, 1997), consideran que la IR puede ocurrir en tareas de discriminación, pero han señalado que el tipo de tarea utilizada influye en su curso temporal (Lupiáñez *et al.*, 1997; Lupiáñez, Tipper y Tudela, 1998). En tareas de detección, es posible observar un efecto de IR 300 ms después de la presentación de la señal (Posner y Cohen, 1984); en tareas de discriminación, este efecto no está presente hasta después de 400 ms (Lupiáñez *et al.*, 1997). Es más, en ellas se observan diferencias en el curso temporal de la IR en función de la dificultad de la tarea; en tareas de discriminación fácil (como aquéllas en las que la discriminación se basa en un rasgo único) suele estar presente en SOAs de 700 ms, mientras que no se observa hasta aproximadamente 1000 ms después de la presentación de la señal cuando se incrementa la dificultad de la discriminación requerida (Lupiáñez *et al.*, 1998). Este podría ser el caso del presente estudio, en el que

la tarea de discriminación presenta una elevada dificultad y no se produce IR ni siquiera en el SOA más largo (700 ms).

Otra posible explicación es que la ausencia de un efecto de IR sea debido al hecho de que en el presente experimento se señalizó una única localización. En el paradigma típico diseñado para investigar los efectos de la IR (Posner y Cohen, 1984), la señal periférica es seguida por una segunda señal (central) presentada en la fijación, antes de que el estímulo objetivo se presente. Posner y Cohen (1984) informaron que las señales periféricas no parecen generar un efecto de IR si la atención no se dirige de nuevo desde la localización señalada hacia el punto de fijación central.

A diferencia de lo ocurrido con señalización periférica, el efecto de validez en el TR de las señales centrales no dependía del SOA; las respuestas eran más rápidas para señales válidas que inválidas en todos los SOAs, indicando que las señales centrales producen una facilitación de la ejecución más sostenida, un resultado que está de acuerdo con los estudios previos (Müller y Rabbitt, 1989; Yamaguchi *et al.*, 1994).

En resumen, pues, se puede concluir que la señalización central, que provoca una orientación voluntaria de la atención hacia la localización señalada, da lugar a un efecto de validez más robusto que la señalización periférica, dado que se mantiene en un rango amplio de tiempo entre la señal y el estímulo objetivo. En cuanto a la señalización periférica, su eficacia, en términos de mayores efectos de validez y su robustez, siendo en todo caso menores que para la señalización central, son mayores cuando tiene valor predictivo que cuando no lo tiene, probablemente porque en el primer caso consigue activar los mecanismos de atención voluntaria, que refuerzan el efecto inicial de la captura involuntaria de la atención.

5.2. Efectos de la señalización central y periférica sobre el procesamiento visual temprano: modulaciones del componente P1.

Uno de los principales objetivos de este estudio era investigar el curso temporal de los efectos de las señales periféricas sobre el procesamiento visual temprano. Los resultados obtenidos con señalización periférica en zonas occipitales revelaron que, con un SOA de 100 ms, la amplitud de P1 fue mayor cuando el estímulo objetivo se señalaba de forma válida que cuando se señalaba de forma inválida. Sin embargo, la amplitud de P1 fue mayor en ensayos inválidos que en ensayos válidos para SOAs de 500 ms (señales periféricas informativas) o 700 ms (señales periféricas no informativas); para este último tipo de señal, este efecto se extendía a SOAs de 300 y 500 ms en zonas parietales.

El incremento del componente P1 ante estímulos válidos con señalización periférica informativa después de un SOA corto (100 ms), es acorde con hallazgos previos (Fu *et al.*, 2001) y sugiere que la ausencia de un efecto de validez sobre el componente P1 en el estudio de Hillyard *et al.* (1994) podría deberse a la utilización de SOAs demasiado largos (600-800 ms). Por su parte, el efecto de validez de la señal encontrado en la condición de señal periférica no informativa, en el SOA de 100 ms, es consistente también con los resultados hallados por otros autores (Fu, Caggiano *et al.*, 2005; Fu, Greenwood *et al.*, 2005; Hopfinger y Mangun, 1998, 2001). Además, estos resultados de PE son consistentes con la facilitación del TR en ensayos válidos comparados con inválidos observada para este SOA.

El efecto de la validez de la señal en la amplitud de P1, que ha sido previamente observado en varios estudios de PE de señalización central (Mangun *et al.*, 1987; Mangun y Hillyard, 1991), se ha interpretado en términos de un mecanismo de control de ganancia sensorial en estructuras corticales extraestriadas, que resulta en un procesamiento perceptivo más eficiente de estímulos señalados de forma válida (Mangun y Hillyard, 1990). Dentro de este modelo, se podría sugerir que estos datos de PE ofrecen evidencia de que la señalización periférica da lugar a una facilitación del

procesamiento perceptivo de estímulos presentados en localizaciones señaladas cuando el SOA es suficientemente corto, que podría ser responsable de los beneficios en el TR. En nuestro caso, este efecto se ha obtenido con señales periféricas, lo que sugiere que la atracción automática de la atención por una señal presentada en la periferia del campo visual resulta en cambios en el procesamiento de estímulos presentados en esa localización durante un breve período tras la presentación de la señal. El hecho de que Liu, Pestilli y Carrasco (2005), en un estudio reciente de RMf, han obtenido evidencia de que la señalización periférica no informativa incrementa la respuesta neural al estímulo objetivo posterior en áreas corticales extraestriadas refuerza esta hipótesis.

Por el contrario, con los SOAs más largos, la amplitud de P1 fue mayor ante estímulos señalados de forma inválida que ante los señalados de forma válida; este efecto se observó con SOAs de 300, 500 y 700 ms para señalización periférica no informativa y con un SOA de 500 ms para señalización periférica informativa.

La reducción de la amplitud de P1 en ensayos válidos para SOAs largos con señales periféricas no informativas se ha informado en estudios previos (Eimer, 1994a; Hopfinger y Mangun, 1998; McDonald *et al.*, 1999; Wascher y Tipper, 2004). La variación sistemática de los SOAs llevada a cabo en el presente estudio permite confirmar que, tal y como se exponía en la introducción a este trabajo, parece poco plausible que este efecto se deba a un estado refractario de las neuronas sensoriales responsables del procesamiento del estímulo objetivo, debido a la interacción sensorial entre señales y estímulo objetivo en ensayos válidos, ya que con SOAs cortos, cuando tal efecto sería mayor, se observa un patrón opuesto al esperado por refractancia neural.

Una interpretación alternativa es que este efecto se encuentre relacionado con la IR (Posner y Cohen, 1984). Esta posibilidad parece improbable, sin embargo, debido a la ausencia de efectos de validez en el TR con SOAs largos. La reducción en la amplitud de P1 en ensayos válidos con señales periféricas y SOAs largos, en ausencia de un efecto conductual de

IR, se apreció también en experimentos previos: Eimer (1994a) informó de una reducción similar con un SOA de 900 ms, y Hopfinger y Mangun (1998) con SOAs de 566-766 ms. En el presente estudio, la variación sistemática del SOA, desde 100 a 700 ms en intervalos de 200 ms, permite observar que este efecto está ya presente con un SOA de 300 ms.

Más recientemente, Wascher y Tipper (2004) han informado de reducciones de la amplitud de P1 independientemente de la presencia de IR conductual. Los autores propusieron que la reducción de P1 refleja un efecto inhibitorio en el procesamiento perceptivo activado por una señal no predictiva y que la IR conductual estaba específicamente relacionada con otro componente de los PE (el componente Nd310 registrado en zonas parietales derechas).

Se ha defendido así que el TR es una medida inherentemente ambigua de inhibición (Klein, 2000; Wascher y Tipper, 2004), ya que ésta podría estar presente en los sistemas neurales pero no observarse en la conducta manifiesta. Wascher y Tipper han postulado que las señales exógenas podrían activar tanto un proceso excitatorio como uno inhibitorio, los cuales podrían coexistir y estar mediados por sistemas neurales diferentes. De este modo, la inhibición podría estar presente pero enmascarada por un mecanismo excitatorio y, por lo tanto, no ser medibles conductualmente.

Con señalización periférica informativa, P1 fue mayor en ensayos inválidos que en ensayos válidos sólo en el SOA de 500 ms. Sin embargo, los resultados conductuales mostraron una facilitación de la ejecución con SOAs de 300 y 500 ms. Hillyard *et al.* (1994) no observaron efectos significativos en P1 con SOAs largos, pero sí una facilitación en el TR. Mangun (1995) sugirió que este resultado electrofisiológico podría estar relacionado con el efecto de IR, incluso aunque este efecto no se observó a nivel conductual; propuso que la ausencia de un efecto de IR en el TR con señalización periférica informativa podría deberse a la presencia de dos influencias competidoras con efectos opuestos: una orientación voluntaria de la atención que da lugar a respuestas más rápidas ante estímulos señalados de forma válida, y un efecto de IR que enlentece las respuestas a estímulos señalados de forma

válida. Así, la ausencia del efecto de atención en P1 podría reflejar un efecto de IR, mientras que las respuestas más rápidas ante estímulos señalados de forma válida estarían asociadas a la orientación voluntaria que se reflejaría en componentes de los PE más tardíos (N1, N2 y P3).

Los resultados del presente estudio con señalización periférica informativa podrían interpretarse, de modo similar, como el resultado de la confluencia de estos dos efectos opuestos: un proceso de orientación voluntaria generado por el valor informativo de la señal, con un comienzo en torno a los 300 ms (como sugieren los resultados conductuales), y un efecto inhibitorio. El proceso de orientación voluntaria podría compensar los efectos inhibitorios de las señales periféricas en localizaciones señaladas con SOAs largos. Los resultados obtenidos en la condición de señalización periférica no informativa son consistentes con esta hipótesis: con este tipo de señal, la orientación voluntaria no ocurre, y el efecto inhibitorio en la localización señalada se mantendría en todos los SOAs más largos.

En cuanto al incremento significativo de la amplitud de P1 en ensayos inválidos encontrado con el SOA de 500 ms con señalización periférica informativa, podría reflejar el tiempo después de la presentación de la señal durante el cual el efecto inhibitorio es máximo, superando los efectos opuestos del proceso de orientación voluntaria. La facilitación de la ejecución conductual con este tipo de señales con los SOAs de 300 y 500 ms sugiere que esta facilitación se produce en un estadio de procesamiento posterior. Análisis de componentes de los PE más tardíos permitirán determinar cuál es este estadio.

En relación con la posible interacción entre procesos excitatorios e inhibitorios en los sistemas neurales que median los procesos atencionales, cuyos resultados pueden no ser observados a nivel conductual de forma inequívoca, consideramos interesante destacar un modelo desarrollado por Houghton y Tipper (1994). Estos autores propusieron que cuando ambos procesos se encuentran activos, no necesita observarse ningún efecto, y sólo cuando la excitación finaliza, es posible detectar un efecto inhibitorio.

No obstante, cabe reseñar que estos resultados difieren del incremento de P1/N1 en ensayos válidos informado por Anllo-Vento (1995) en un estudio en el cual se empleaban SOAs de 600 ms. Estas diferencias podrían ser debidas a los distintos requisitos de la tarea en los dos estudios; como ya se ha indicado, Anllo-Vento utilizó una tarea de TR simple, mientras que en el presente estudio se empleó una tarea de TR de elección. Tal y como se exponía en la introducción a este trabajo, algunos estudios (Rafal y Henik, 1994) han informado de diferencias entre el curso temporal y la magnitud de los efectos obtenidos en tareas de detección y discriminación. Aunque esta interpretación es plausible, la realización de estudios adicionales, en los cuales se comparen los efectos de la señalización periférica informativa en los PE en tareas de detección y discriminación, permitirán valorar esta hipótesis. También es posible, como ya se ha señalado en la introducción, que el efecto de validez en P1/N1 informado por Anllo-Vento esté determinado por N1, el cual parece encontrarse consistentemente afectado por las señales válidas en distintos experimentos (Eimer, 1994a; Hillyard *et al.*, 1994).

Otro objetivo del presente estudio era investigar los efectos en la amplitud de P1 de las señales centrales en distintos SOAs, con el fin de examinar las posibles diferencias en el curso temporal de los efectos facilitadores sobre el procesamiento visual provocado por señales centrales y periféricas. Los resultados obtenidos en la condición de señalización central no mostraron diferencias significativas en la amplitud de P1 en respuesta a estímulos señalados de forma válida e inválida, ni ninguna diferencia en el efecto de validez en P1 en función del SOA, aunque los resultados conductuales mostraron que las señales centrales dieron lugar a una facilitación de la ejecución.

No tenemos constancia de que, hasta la fecha, se hayan publicado estudios que analicen los PE registrados en respuesta a estímulos objetivo precedidos por señales centrales en los que se variase sistemáticamente, de manera similar al presente experimento, el intervalo entre la señal y el

estímulo objetivo. Este hecho dificulta, en gran medida, evaluar la consistencia de los presentes resultados. No obstante, la ausencia de un efecto de validez significativo en la amplitud de P1 para señales centrales con un SOA de 700 ms difiere de los hallazgos de Hillyard *et al.* (1994), quienes informaron de mayores amplitudes de este componente en ensayos válidos comparados con inválidos. Se trata de una discrepancia llamativa, dado que la condición de señalización central descrita en este trabajo es una adaptación del diseño experimental empleado por Hillyard y cols. Cabe la posibilidad de que la variación sistemática de los SOAs llevada a cabo en el presente estudio haya influido en los resultados observados.

Así mismo, es posible considerar otras explicaciones. Handy y Mangun (2000) propusieron que la selección espacial temprana puede estar mediada por varios factores que influyen en la asignación de recursos a una localización atendida, y que la carga perceptiva es uno de los factores que puede afectar a la selección espacial temprana en el córtex visual extraestriado (véase también Handy, Soltani y Mangun, 2001). En líneas generales, sus resultados mostraron que incrementar la carga perceptiva de estímulos objetivo en una tarea de señalización espacial central resultó en mayores efectos de validez en P1. En otras palabras, la carga perceptiva incrementaba la cantidad de atención que los sujetos asignaban a la localización señalada, tal como se reflejaba en las modulaciones de P1. Así, una posible causa de la ausencia de modulaciones sobre P1 en el presente estudio podría haber sido la cantidad de esfuerzo atencional que fue necesario para llevar a cabo la tarea (véase Fu, Caggiano *et al.*, 2005). Cabe la posibilidad que la tarea de discriminación utilizada no fuese lo suficientemente demandante como para producir un efecto de validez en el componente P1.

La ausencia de un efecto de validez sobre P1 indica que la orientación voluntaria de la atención en respuesta a una señal central no afectó al procesamiento visual en el nivel reflejado por P1 en las presentes condiciones experimentales. Son necesarios análisis de los componentes de los PE más tardíos para identificar los índices psicofisiológicos de la facilitación atencional

observada en los resultados conductuales, así como comparar los efectos de la atención voluntaria generada por señales centrales y periféricas informativas en estadios posteriores del procesamiento.

En resumen, los hallazgos obtenidos en este estudio sugieren que la señalización periférica facilita el procesamiento perceptivo de los estímulos presentados en localizaciones señaladas, incluso cuando las señales no predicen la localización del estímulo objetivo, cuando el SOA es suficientemente corto (100 ms). Estos resultados sugieren que la orientación automática de la atención provocada por una señal periférica resulta en un incremento del procesamiento sensorial en la localización señalada. Con los SOAs más largos, esta facilitación no persiste; por el contrario, la amplitud de P1 se vió reducida para estímulos señalados de forma válida, sugiriendo una inhibición del procesamiento sensorial en la localización señalada. El hecho de que las señales periféricas no informativas diesen lugar a amplitudes significativamente más pequeñas en ensayos válidos en todos los SOAs más largos, mientras que las señales periféricas informativas sólo mostrasen este efecto con un SOA de 500 ms, sugiere diferencias en la influencia de las señales periféricas sobre el procesamiento visual temprano en función de la información proporcionada por la señal. Esta diferencia podría deberse a los distintos procesos de orientación generados por las señales periféricas informativas y no informativas con los SOAs más largos, como indicaron los resultados conductuales. Específicamente, las señales periféricas informativas parecen provocar un proceso de orientación voluntaria, que comienza en torno a los 300 ms, el cual podría compensar los efectos inhibitorios de las señales periféricas en los SOAs más largos. Con señales periféricas no informativas, esta orientación voluntaria no estaría presente, resultando en un efecto inhibitorio más sostenido en la localización señalada en todos los SOAs más largos. La ausencia de efectos de validez en P1 con señales centrales sugiere que, en las presentes condiciones experimentales,

la orientación voluntaria en respuesta a una señal central no afectó al estadio de procesamiento visual reflejado por P1.

5.3. Efectos de la señalización central y periférica sobre el procesamiento visual temprano: modulaciones del componente N1.

Otro de los objetivos de este estudio era investigar los efectos de la señalización central y periférica sobre la amplitud de N1 y el curso temporal de estos efectos.

Los hallazgos obtenidos en la condición de señalización central mostraron efectos de validez en N1 con SOAs de 300 y 500 ms, con variaciones en la distribución topográfica de estos efectos en función del intervalo señal-estímulo objetivo. La amplitud de N1 fue mayor en ensayos válidos 300 ms después de la presentación de la señal central en las regiones parietal, temporal y occipital del hemisferio derecho cuando los estímulos objetivo se presentaban en el campo visual ipsilateral. Cuando el SOA se incrementó a 500 ms, se observó un efecto principal de validez sobre N1, con mayores amplitudes ante estímulos señalados de forma válida sobre las regiones parietal, temporal izquierda y occipital izquierda. Estos resultados electrofisiológicos son consistentes con la facilitación del TR en ensayos válidos comparados con inválidos en estos SOAs.

Como se puede observar en la Figura 9, el curso temporal de los efectos de la señalización central sobre la amplitud de N1, revelado por los presentes análisis, indica que el efecto facilitador se desarrolló a lo largo del tiempo, alcanzando un valor máximo 500 ms después de la presentación de la señal. El escaso número de estudios, de los que tengamos constancia, que han investigado los efectos de las señales centrales sobre la amplitud de N1 mediante una variación sistemática del SOA, dificulta, en gran medida, evaluar la consistencia de los presentes datos. Luck *et al*. (1994) informaron de mayores amplitudes de este componente en ensayos válidos (comparados con ensayos neutros) en condiciones de señalización central con SOAs que variaban de manera aleatoria entre 200 y 500 ms, lo que coincide con el

efecto de validez sobre N1 en SOAs intermedios observado en el presente experimento. No obstante, el estudio de Luck y cols. no permitió examinar el curso temporal de los efectos o el SOA óptimo. Eimer (2000), en un estudio diseñado para evaluar el curso temporal de los efectos de la orientación atencional generada por señales centrales sobre los PE, informó de mayores negatividades en ensayos válidos comparados con inválidos con un intervalo temporal entre la señal y el estímulo objetivo de 700 ms, pero no con un intervalo más corto (200 ms). En el experimento presentado en esta tesis, la variación sistemática del SOA señal a estímulo objetivo reveló que el efecto de la orientación atencional en respuesta a una señal central sobre N1 estaba presente 300 ms después de su presentación sobre regiones posteriores derechas cuando los estímulos objetivo aparecían en el campo visual ipsilateral, pero no se observaban con un SOA de 100 ms (en el cual este efecto se invertía). Estos resultados sugieren que los efectos de la orientación voluntaria de la atención sobre el nivel de procesamiento reflejado en el componente N1, podría requerir una cierta demora temporal entre la señal central y el estímulo objetivo (de al menos 300 ms en el presente experimento) para que puedan observarse. Son necesarios estudios adicionales, que varíen sistemáticamente el intervalo temporal entre la señal y el estímulo objetivo mediante períodos más próximos, para caracterizar en mayor detalle el curso temporal de estos efectos. Experimentos complementarios que incluyan, además de ensayos válidos e inválidos, condiciones de señalización neutra (o incluso sin señalización), arrojarán alguna luz sobre el efecto de inversión observado en el SOA de 100 ms.

Con respecto a los resultados obtenidos con el SOA de 700 ms, el efecto de validez en N1 no alcanzó significación estadística. Cabe señalar que, las conclusiones que se extraigan sobre los datos obtenidos en el SOA de 700 ms deben ser cautas, debido a que el incremento de la amplitud de N1 ante estímulos atendidos precedidos por señales centrales válidas han sido consistentemente encontradas en investigaciones previas (Hillyard *et al.*, 1994; Mangun y Hillyard, 1991). Es posible que la variabilidad de los datos observada en este SOA (véase la Tabla 5) pudo haber prevenido o reducido

la presencia de un efecto significativo en este experimento. No obstante, es necesario tener en cuenta también que los factores que pueden mediar los efectos de la atención sobre el procesamiento perceptivo temprano se encuentran todavía a debate. En este sentido, algunos autores han destacado la influencia de la relevancia para la respuesta de estímulos presentados en localizaciones no atendidas (Eimer, 1994b, 1996, 1998; véase también Nobre, Sebestyen y Miniussi, 2000). Eimer (1994b, 1996), utilizando una tarea de señalización espacial con un SOA de 900 ms, observó que el efecto de validez sobre N1 estaba claramente atenuado y restringido a electrodos posteriores ipsilaterales cuando se respondía ante ensayos válidos e inválidos, mientras que el efecto de validez sobre el componente P1 estaba presente sólo cuando los sujetos debían responder únicamente a estímulos presentados en localizaciones señaladas de forma válida (esto es, cuando la atención estaba completamente focalizada en la localización señalada). Eimer (1998) propuso que los efectos de la atención sobre el procesamiento perceptivo temprano, reflejados en los componentes P1 y N1, podrían ser opcionales más que obligatorios, y podrían depender de si los estímulos presentados en localizaciones no atendidas son relevantes para la respuesta.

Por otra parte, y tal como se ha señalado previamente, Handy y Mangun (2000) han señalado la carga perceptiva como otro de los factores que pueden afectar a la selección espacial temprana.

Los datos obtenidos en el presente experimento sugieren que el SOA señal a estímulo objetivo podría representar otro factor que influye en la magnitud de este efecto. Por otra parte, estos resultados son parcialmente consistentes con investigaciones previas que han informado de un efecto de validez N1 ipsilateral (Eimer, 1993, 1994b, 1996; Mangun y Hillyard, 1991), aunque este efecto sólo se observó con un SOA de 300 ms en el presente estudio.

Estos resultados indican, además, que la atención moduló diferencialmente a los componentes P1 y N1, teniendo en cuenta que, tal como se describió en el apartado anterior, el efecto de validez sobre la

amplitud de P1 no fue significativo. Las disociaciones entre los efectos de la atención sobre P1 y N1 han sido ya informados previamente en diferentes tareas de atención visoespacial (Heinze *et al.*, 1990; Heinze y Mangun, 1995; Luck *et al.*, 1990; Luck y Hillyard, 1995; Mangun y Hillyard, 1991). Estas disociaciones sugieren que estos dos componentes de los PE reflejan distintos procesos atencionales (para una revisión véase Luck, 1995). Luck *et al.* (1994), en un estudio de señalización espacial, encontraron amplitudes menores de P1 en ensayos inválidos comparados con ensayos neutros, pero amplitudes mayores de N1 en ensayos válidos que en neutros. Estos autores propusieron que el efecto de atención en P1 podría reflejar un mecanismo que suprime información presentada en localizaciones no atendidas, mientras que el efecto de atención en N1 podría ser índice de un mecanismo que provoca un incremento del procesamiento de estímulos en localizaciones atendidas. Otros estudios han informado que la modulación de N1 parece estar presente únicamente cuando los sujetos están realizando una tarea de discriminación en la localización atendida (Mangun y Hillyard, 1991). Sobre estas bases, Luck (1995) propuso que el efecto en N1 refleja la aplicación de un proceso de discriminación a estímulos atendidos. Los datos obtenidos en esta tesis están en línea con la evidencia previa que indica que la orientación voluntaria de la atención facilita el procesamiento discriminativo en la localización atendida.

En la condición de señalización periférica informativa, los estímulos señalados de forma válida, comparados con aquéllos señalados de forma inválida, provocaron mayores amplitudes de N1 con un SOA de 300 ms, pero este efecto de validez no se observó con los SOAs de 100, 500 y 700 ms. Este efecto fue ipsilateral y estaba lateralizado al hemisferio izquierdo. Las investigaciones previas que han utilizado SOAs en torno a los 300 ms han informado de resultados diversos: Fu *et al.* (2001) encontraron un efecto de validez sobre N1 en las regiones temporal y occipital ipsilaterales, pero una N1 contralateral más pequeña en ensayos válidos que en inválidos; Eimer

(2000) observó una mayor negatividad en ensayos válidos que comenzaba en torno a los 150 ms postestímulo sobre áreas occipitales y parietales con un intervalo señal-estímulo objetivo de 200 ms, mientras que Anllo-Vento (1995) no encontró diferencias significativas en P1/N1 entre ensayos válidos e inválidos con un SOA de 200 ms. Los resultados del presente estudio revelaron que no hubo diferencias significativas entre estímulos señalados de forma válida e inválida cuando se empleó un SOA de 100 ms, pero que el efecto de validez sobre N1 fue significativo cuando el SOA incrementó a 300 ms. Sin embargo, los datos obtenidos no indicaron un efecto de validez en N1 con SOAs más largos, un hallazgo que ha sido informado por otros autores (Eimer, 1994a; Hillyard *et al.*, 1994).

En la condición de señalización periférica no informativa, hubo un efecto principal de validez de la señal en N1 con un SOA de 300 ms, distribuido ipsilateralmente. Se observó también una diferencia significativa entre ensayos válidos e inválidos en el electrodo temporal derecho en el SOA de 100 ms, mientras que no se hallaron efectos significativos en los dos SOAs más largos. En una serie de investigaciones recientes, Fu y colaboradores han informado, utilizando SOAs de 100-300 ms (Fu, Caggiano *et al.*, 2005) y de 150 ms (Fu, Greenwood *et al.*, 2005), de amplitudes menores de la N1 contralateral en ensayos válidos comparados con ensayos inválidos. La investigación previa que ha utilizado SOAs largos encontraron efectos de validez en un caso (Eimer, 1994a, en zonas parietales con un SOA de 900 ms) y ningún efecto en otros experimentos (McDonald *et al.*, 1999, con SOAs de 500-700 ms y 900-1100 ms; Wascher y Tipper, 2004, con SOAs de 900-2000 ms).

Por lo tanto, los presentes datos revelaron que las señales periféricas afectaron de manera óptima al nivel de procesamiento reflejado en N1 300 ms después del comienzo de la señal, tanto para señales informativas como no informativas. Tal como se expuso anteriormente, los efectos de las

señales periféricas sobre el componente P1 fueron marcadamente diferentes. Los efectos facilitadores óptimos de las señales periféricas, informativas y no informativas, sobre P1, se apreciaron con un SOA de 100 ms; no obstante, hubo menores amplitudes de P1 ante estímulos señalados de forma válida con los SOAs de 300, 500 y 700 ms con señalización periférica no informativa, y con el SOA de 500 ms cuando esta señalización fue informativa. Estos hallazgos revelan una clara disociación de los efectos de las señales periféricas sobre los componentes P1 y N1. Tomados conjuntamente, los resultados indican que la orientación exógena de la atención provocada por una señal presentada en la periferia del campo visual moduló de manera óptima el procesamiento visual temprano en el nivel de procesamiento reflejado por P1 durante un breve período tras la presentación de la señal (100 ms), un efecto facilitador que también se observó en la ejecución conductual. El patrón de resultados está menos claro en los SOAs más largos, en los que la diferencia electrofisiológica entre ensayos válidos e inválidos con señales periféricas parecía estar disociado de la conducta manifiesta. Los efectos de validez con señales periféricas informativas, asociados con beneficios en el TR, se encontraron en el nivel de procesamiento indicado por N1 en el SOA de 300 ms. Antes de poder concluir que este efecto es el resultado de un mecanismo endógeno generado por el carácter informativo de la señal, es necesario tener en cuenta dos hechos. En primer lugar, si estas modulaciones sobre N1 reflejasen los efectos de un proceso de orientación voluntaria hacia la localización señalada, los efectos de validez en N1 habrían de esperarse también con los SOAs más largos. En segundo lugar, este efecto en N1 se apreció también en condiciones de señalización periférica no informativa. Eimer (1994a) informó de un patrón similar de resultados en un estudio con señales periféricas informativas y no informativas, en el que encontró un efecto de validez en N1 asociado con beneficios en el TR en ensayos válidos únicamente con señales informativas. Este autor propuso que el efecto de validez podría reflejar una ventaja para el procesamiento de estímulos señalados de forma válida, que podría estar presente incluso cuando la señal

no proporciona información sobre la localización del estímulo objetivo, y que estos efectos en los PE podrían ser disociados de la conducta manifiesta (véase Eimer, 1998, para una explicación adicional del efecto N1 parietal).

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que el efecto de validez en N1 en el SOA de 300 ms estaba lateralizado al hemisferio izquierdo con señales periféricas informativas, pero no cuando éstas no eran informativas, lo que podría estar indicando diferencias funcionales en los mecanismos atencionales subyacentes en función del carácter predictivo de la señal. Los datos presentados en este trabajo sugieren que la atención automática puede influir al nivel de procesamiento visual indicado en el componente N1. Si el efecto de validez en N1 refleja una facilitación del procesamiento discriminativo, es plausible proponer, a partir de los presentes resultados, que estos efectos pueden observarse también como resultado de la orientación atencional exógena, al menos bajo algunas circunstancias. Más aún, se ha propuesto que hay diferencias funcionales entre la señalización central y periférica (Eimer, 1994a). Este autor, en un experimento con señalización periférica, observó también un efecto de validez en N1 cuando la respuesta dependía de la localización del estímulo objetivo, en contraste con estudios previos de señalización central, que encontraron un efecto de validez sobre este componente sólo cuando los sujetos debían llevar a cabo una tarea de discriminación en la localización señalada (Mangun y Hillyard, 1991). Eimer (1994a) propuso que, con señales periféricas, “el proceso reflejado por el efecto de validez N1 podría activarse independientemente de demandas específicas de la tarea”.

Llegados a este punto, cabe mencionar los resultados obtenidos en un estudio de He, Fan, Zhou y Chen (2004) en el que investigaron la selección atencional basada en la localización espacial y basada en el objeto. En su estudio, utilizando una señal periférica no informativa (validez 58%) y un SOA de 300 ms, hallaron una mayor N1 en zonas occipito-temporales ante estímulos objetivo presentados en el objeto señalado. Los autores propusieron que la atención automática en respuesta a una señal periférica selecciona el objeto visual en un estadio de procesamiento sensorial

temprano; esto es, plantearon que esta modulación en N1 es un correlato de una selección atencional refleja basada en el objeto.

No es posible determinar completamente, desde los presentes resultados, la significación funcional de las modulaciones observadas en N1 por señalización periférica. Los datos expuestos simplemente proporcionan evidencia de características diferenciales en el curso temporal de los efectos de las señales centrales y periféricas sobre el componente N1 posterior. Las señales periféricas (informativas y no informativas) provocaron efectos óptimos de validez de la señal sobre N1 300 ms después del comienzo de la señal, mientras que las señales centrales válidas dieron lugar a un efecto en N1 más sostenido, con efectos máximos más tardíos, en el SOA de 500 ms. Estos resultados sugieren que la asignación endógena de la atención en respuesta a señales centrales generó un efecto de validez sobre N1 más sostenido, comparada con la activación más transitoria del proceso reflejado por el efecto de validez N1 en esta tarea de señalización periférica.

Por otra parte, para valorar de manera más completa los hallazgos presentados, es necesario tener en cuenta una serie de aspectos metodológicos. En primer lugar, los diferentes SOAs señal a estímulo objetivo se manipularon entre bloques experimentales, con el objeto de que la variación sistemática del SOA permitiese observar diferentes efectos de la atención debido al distinto curso temporal de los mecanismos de orientación endógena y exógena. Así, las diferencias entre SOAs se interpretaron como índices del curso temporal de los efectos de validez. Sin embargo, se podría plantear una explicación alternativa. Es posible que los diferentes SOAs provocasen diferentes estados de *arousal* o expectativa en lugar de un curso temporal distinto de los procesos implicados. Más aún, es posible que la variación aleatoria de los SOAs hubiese dado lugar a un procesamiento diferente. Por ejemplo, se ha proporcionado evidencia mediante PE (Li *et al.*, 2003) de un procesamiento visual más rápido y efectivo en condiciones de SOA constante comparadas con condiciones de SOA aleatorio. Sería de gran

interés comparar, en futuros experimentos, tareas de señalización central y periférica variando el SOA entre bloques experimentales y de forma aleatoria dentro de un mismo bloque, lo que posibilitaría evaluar los efectos de las condiciones constantes y aleatorias sobre el procesamiento visual temprano.

En segundo lugar, otro factor metodológico que es necesario mencionar es la distinta duración de las señales empleadas (centrales y periféricas), lo cual podría estar influyendo también en los efectos observados.

En conclusión, los resultados presentados en este estudio muestran que el patrón de los efectos modulatorios de las señales centrales y periféricas sobre el procesamiento que ocurre durante el rango temporal de P1 y N1 es complejo, y varía cuando se manipula el SOA entre la señal y el estímulo objetivo. De este modo, las líneas de interpretación presentadas aquí requieren nuevos estudios que manipulen esta variable en diseños intrasujetos con el fin de confirmar los resultados y caracterizar de manera más completa los procesos implicados.

III. EXPERIMENTO 2. CARACTERIZACIÓN PSICOFISIOLÓGICA DE LA CAPTURA AUTOMÁTICA DE LA ATENCIÓN VISUAL POR ESTÍMULOS EMOCIONALES: EFECTOS DE LA CARGA ATENCIONAL

1. INTRODUCCIÓN

En la investigación hasta aquí presentada se han considerado los efectos sobre el procesamiento visual de la orientación de la atención guiada por las expectativas de estímulos neutros, esto es, estímulos sin valor emocional. Sin embargo, un cuerpo creciente de investigación enfatiza, partiendo de un punto de vista evolutivo, que en ambientes naturales la atención se encuentra principalmente determinada por el significado motivacional de los estímulos (*atención selectiva natural o atención motivada*; Bradley *et al.*, 2003; Lang *et al.*, 1997). Se ha propuesto que existen dos sistemas motivacionales-emocionales básicos en el cerebro que facilitan la atención y la percepción: un sistema apetitivo y un sistema aversivo, los cuales pueden variar en términos de intensidad de activación (*arousal*). El contenido emocional de los estímulos se define por dos dimensiones, la valencia (cuyos extremos son positiva-negativa) y la activación o *arousal* (cuyos extremos son relajante-activante) (Bradley, 2000; Lang *et al.*, 1997). De acuerdo con esta perspectiva, los estímulos con valor emocional, biológicamente significativos, deberían ser señales particularmente efectivas para capturar la atención (Schupp, Junghöfer, Weike y Hamm, 2003a).

1.1. El contenido emocional de los estímulos dirige la atención y facilita el procesamiento visual.

Diferentes líneas de investigación han proporcionado evidencia de que la atención es asignada preferentemente hacia sucesos con valor emocional comparados con sucesos neutros. Los hallazgos derivados de estudios

conductuales indican que los estímulos emocionales pueden ser detectados rápida y automáticamente, en particular cuando están relacionados con amenaza o peligro (Mogg y Bradley, 1999; Öhman, Flykt y Esteves, 2001; para una revisión véase Öhman, Flykt y Lundqvist, 2002), y que el valor emocional de los estímulos influye en la asignación de la atención hacia su localización (Bradley, Mogg y Millar, 2000; Stormark, Nordby y Hughdal, 1995; véase también Armony y Dolan, 2002).

El procesamiento priorizado de estímulos emocionales ha sido sugerido también por estudios que emplean técnicas de neuroimagen, tales como RMf o tomografía por emisión de positrones (TEP), que han mostrado que los estímulos emocionales, comparados con estímulos neutros, provocan respuestas neurales incrementadas en áreas visuales extraestriadas (Kosslyn *et al.*, 1996; Lane *et al.*, 1997; Lang *et al.*, 1998; Mourão-Miranda *et al.*, 2003; Taylor, Liberzon y Koeppe, 2000). Se ha propuesto que la activación de áreas límbicas, tales como la amígdala, ejercería influencias moduladoras sobre el córtex para incrementar el procesamiento visual (Anderson y Phelps, 2001; Morris, Friston *et al.*, 1998; Pessoa, McKenna, Gutierrez y Ungerleider, 2002; Sabatinelli, Bradley, Fitzsimmons y Lang, 2005). La amígdala es una estructura, ubicada en el lóbulo temporal medial anterior, considerada clave en el procesamiento de la valencia emocional (*v.g.* Irwin *et al.*, 1996; para una revisión véase Davis y Whalen, 2001), particularmente en el procesamiento del miedo (LeDoux, 1999, 2000). Los estudios neurofisiológicos han revelado la existencia de extensas proyecciones desde la amígdala al córtex visual *(*Amaral, Behniea y Kelly, 2003; Amaral, Price, Pitkänen y Carmichael, 1992; Freese y Amaral, 2005), a través de las cuales podría facilitarse el procesamiento sensorial incrementado de los estímulos emocionales (Vuilleumier, Richardson, Armony, Driver y Dolan, 2004).

La investigación mediante PE ha permitido clarificar el curso temporal del procesamiento cerebral de sucesos con contenido emocional. Una serie de estudios que han evaluado la respuesta cerebral a imágenes afectivas, principalmente láminas del *International Affective Picture System* (IAPS)

(Lang, Bradley y Cuthbert, 1999), han mostrado que las imágenes emocionales activadoras (tanto positivas como negativas) provocan una onda lenta positiva tardía (LPP; *Late Positive Potential*), que se encuentra atenuada ante imágenes neutras menos activadoras (Cuthbert, Schupp, Bradley, Birbaumer y Lang, 2000; Schupp *et al.*, 2000). Esta positividad sostenida ha sido interpretada en términos de atención motivada (Lang *et al.*, 1997); esto es, se ha propuesto que refleja la mayor asignación de recursos atencionales hacia estímulos emocionalmente relevantes, como resultado de la activación de los circuitos motivacionales en el encéfalo.

En un estudio en el que se utilizó un montaje EEG de 129 electrodos y técnicas de estimación de fuentes de corriente, Keil *et al*. (2002) observaron mayores potenciales positivos en los intervalos temporales más tardíos (>300 ms) ante imágenes emocionales activadoras que ante láminas neutras, con una distribución topográfica que presentaba la mayor actividad en zonas posteriores, próximas al córtex occípito-temporal y al córtex parietal posterior. Estos autores resaltaron la similitud de este hallazgo con el obtenido en estudios de neuroimagen durante el procesamiento de láminas afectivas (Lang *et al.*, 1998). Estas positividades registradas en respuesta a láminas con contenido emocional, con inicio en torno a los 300 ms del comienzo del estímulo, se han interpretado, pues, como un índice de atención sostenida dirigida a estímulos motivacionalmente relevantes y emocionalmente salientes.

Estudios más recientes han informado que, además de estas modulaciones afectivas tardías, las imágenes emocionales afectan a los PE en estadios más tempranos del procesamiento visual. Schupp, Junghöfer, Weike y Hamm (2003b) hallaron mayores negatividades (EPN; *Early Posterior Negativity*) en zonas temporo-occipitales cuando los sujetos observaban láminas afectivas comparadas con neutras. Estas negatividades comenzaban en torno a los 150 ms postestímulo y alcanzaban las máximas amplitudes en torno a los 260-280 ms (véase también Junghöfer, Bradley, Elbert y Lang, 2001). Los autores propusieron que este efecto refleja la facilitación de la codificación sensorial en un nivel temprano del procesamiento visual, como

resultado de la atención automática hacia señales afectivas. Sus resultados son consistentes con los de un estudio previo de Pizzagalli, Regard y Lehmann (1999), quienes hallaron una modulación de los PE alrededor de los 100 ms durante la observación pasiva de imágenes faciales con valencia emocional.

Esta evidencia electrofisiológica sugiere que el valor emocional de un evento puede incrementar el procesamiento sensorial en estadios tempranos del procesamiento visual. Así, la atención motivada (Lang *et al.*, 1997) podría representar la asignación automática de recursos de procesamiento a estímulos emocionalmente significativos, de forma similar al mecanismo de ganancia sensorial propuesto desde el campo de la atención selectiva (Moratti, Keil y Stolarova, 2004; véase también Pourtois, Grandjean, Sander y Vuilleumier, 2004; Pourtois, Thut, Grave de Peralta, Michel y Vuilleumier, 2005).

1.2. Evidencia de un sesgo atencional hacia estímulos con valencia emocional negativa.

Un gran número de estudios ha puesto de manifiesto que las respuestas provocadas por estímulos con valor emocional (tanto a nivel fisiológico, como a nivel cognitivo y conductual) son más rápidas y más intensas cuando éstos poseen valor negativo que cuando son positivos o neutros, fenómeno al que se ha denominado "sesgo de negatividad" (*Negativity bias*; ver Cacioppo y Gardner, 1999). Se han aportado datos empíricos consistentes con la existencia de este sesgo desde investigaciones sobre actividad cerebral con PE (Ito, Larsen, Smith y Cacioppo, 1998) y desde otras que combinan RMf y magnetoencefalografía (MEG) (Northoff *et al.*, 2000).

Este sesgo de negatividad parece estar presente ya en el momento de la asignación de la atención; esto es, los sucesos con valor emocional negativo atraen la atención más que los estímulos positivos o neutros. Así, se ha propuesto que los estímulos con valor emocional negativo pueden capturar

la atención automática más fácilmente (Vuilleumier, Armony, Driver y Dolan, 2001), y producen una mayor interferencia sobre tareas en curso que los estímulos con valor emocional positivo o neutro (Pessoa, McKenna *et al.*, 2002; Pratto y John, 1991; Tipples y Sharma, 2000). Esta predisposición para dirigir los recursos atencionales hacia acontecimientos negativos tiene un importante valor adaptativo. Como es sabido, los sucesos que pueden afectar negativamente al individuo (estímulos aversivos) requieren respuestas más rápidas que aquéllos que implican consecuencias deseables (estímulos apetitivos). Como señalan Pratto y John (1991), la evitación de posibles daños al bienestar personal, a menudo implica una mayor urgencia temporal que actividades emocionalmente positivas, tales como la alimentación y el apareamiento, que, aunque presentan una importancia crucial a largo plazo, no requieren respuestas tan urgentes. Así, las especies y los individuos que pueden responder rápidamente a la presencia de posibles amenazas en su ambiente tienen una clara ventaja evolutiva.

Una serie de estudios recientes de PE aportan evidencia psicofisiológica que demuestra que los estímulos negativos movilizan los recursos atencionales en mayor medida y más rápidamente que los estímulos positivos (para una revisión véase Carretié*,* Mercado y Tapia, 2001). Carretié, Martín-Loeches, Hinojosa y Mercado (2001) observaron que la atención relacionada con el procesamiento visual de láminas afectivas previamente anunciadas se reflejaba en dos componentes, P200 y P340, originados en el córtex de asociación visual. El componente P200 refleja una respuesta atencional inicial, rápida y breve, máxima ante estimulación negativa, originada en la parte posterior del giro temporal medio, perteneciente al sistema visual dorsal, y que tendría como objetivo la facilitación de una reacción rápida a esos estímulos (véase también Carretié, Mercado, Tapia e Hinojosa, 2001). El componente P340 refleja una respuesta atencional más tardía y de mayor duración, máxima ante estimulación positiva, originada en el giro temporal inferior y/o en el giro fusiforme, pertenecientes a la vía ventral, dirigida a un procesamiento visual más detallado de estímulos apetitivos asociados con conductas de aproximación.

Más recientemente, Smith, Cacioppo, Larsen y Chartrand (2003) han informado de una mayor asignación de atención (indicada por la amplitud del componente P1) hacia láminas afectivas negativas que positivas, proporcionando así evidencia adicional de que los estímulos positivos y negativos son diferenciados de manera extremadamente rápida (<120 ms postestímulo) en áreas extraestriadas del córtex visual.

Carretié, Hinojosa y Mercado (2003) han presentado también resultados consistentes con el sesgo de negatividad, al examinar el patrón de habituación de la atención en respuesta a estímulos con distinta valencia emocional. En este estudio se empleó una tarea de señalización espacial en la que una flecha central indicaba a los sujetos la localización de fotografías en color con un contenido neutral o afectivo (positivo o negativo), las cuales tenían que clasificar (presionando diferentes teclas en función de la categoría estimular a la que perteneciese el estímulo presentado). Carretié y cols. informaron de una mayor resistencia a la habituación (reflejada por la amplitud del componente N1) ante estímulos negativos que ante estímulos positivos o neutros. Los autores concluyeron que este efecto refleja la mayor capacidad de los estímulos negativos para atraer y mantener la atención, incluso cuando la estimulación negativa es familiar.

1.3. La captura automática de la atención por estímulos emocionales presentados fuera del foco atencional: evidencia convergente y debates actuales.

Si bien hasta el momento se ha avanzado mucho en la caracterización del procesamiento controlado de estimulación emocional y su curso temporal, existe un número considerablemente inferior de estudios sobre los mecanismos cerebrales asociados con la atención automática hacia estímulos con valor emocional (Carretié, Hinojosa, Martín-Loeches, Mercado y Tapia, 2004). Una de las cuestiones que se encuentran actualmente en debate sobre la relación entre atención y emoción hace referencia al procesamiento

automático de estímulos emocionales presentados fuera del foco atencional. En relación con esto, una serie de estudios de neuroimagen han presentado resultados discrepantes sobre el grado de automaticidad de la respuesta de la amígdala a estímulos emocionales (Pessoa, McKenna *et al.*, 2002; Vuilleumier *et al.*, 2001).

Por una parte, algunos hallazgos, derivados de experimentos que han utilizado estímulos faciales, indican que la activación amigdalina podría ocurrir sin atención explícita a los estímulos con valor emocional (Morris, Öhman y Dolan, 1998; Whalen *et al.*, 1998; para una revisión véase Öhman, 2002). Whalen *et al.* (1998) estudiaron, mediante RMf, si la activación de la amígdala en respuesta a estímulos emocionales se produce cuando no hay un conocimiento explícito de que esos estímulos han sido presentados. En su estudio se mostraban fotografías de caras con expresión de temor o de felicidad, utilizando un procedimiento de enmascaramiento hacia atrás (*"backward masking"*). Este procedimiento consistía en la presentación de las expresiones faciales emocionales durante 33 ms, seguidas inmediatamente por expresiones faciales neutras (máscaras) durante 167 ms, con el objeto de interrumpir así el procesamiento de las expresiones emocionales. Whalen y cols. hallaron una activación de la amígdala significativamente mayor durante la observación de caras enmascaradas con expresión de temor que durante la observación de caras felices.

En otro estudio, Morris, Öhman *et al.* (1998) utilizaron TEP mientras los sujetos observaban expresiones faciales de temor, mediante un procedimiento combinado de enmascaramiento hacia atrás y condicionamiento clásico. Estos autores presentaban fotografías de dos caras con expresión de enfado, una de las cuales estaba asociada con un ruido aversivo mediante condicionamiento clásico, que se presentaban posteriormente, enmascaradas o no enmascaradas. La tarea de los sujetos consistía en detectar la ocurrencia de caras enfadadas, permitiendo así valorar directamente la percepción consciente (detección explícita) de las expresiones faciales enmascaradas. Los contrastes entre los estímulos no enmascarados condicionados y no condicionados revelaron una activación

específica de la amígdala izquierda, mientras que los contrastes entre los estímulos enmascarados condicionados y no condicionados mostraron una activación específica de la amígdala derecha. Así, estos resultados muestran respuestas de la amígdala ante caras enmascaradas condicionadas que no eran conscientemente percibidas, sugiriendo además una lateralización diferente de la respuesta amigdalina en función del nivel de consciencia del estímulo. Posteriormente, Morris, Öhman y Dolan (1999) hallaron que la activación de la amígdala derecha por estímulos no percibidos de modo consciente puede producirse independientemente de la corteza visual. Sus resultados indicaban que una vía subcortical a la amígdala derecha, a través del colículo superior y del núcleo pulvinar del tálamo, proporciona una ruta para el procesamiento automático de sucesos emocionalmente significativos. Además, sus resultados indicaban que la percepción consciente (detección explícita) de los mismos estímulos implicaba áreas corticales especializadas. Morris y colaboradores propusieron que el enmascaramiento interferiría con el circuito cortical (impidiendo así la identificación consciente del estímulo), pero no con el subcortical, preservando de este modo la activación de respuestas emocionales a través de la amígdala.

Estos resultados son consistentes con la existencia de dos vías visuales paralelas hacia la amígdala (LeDoux, 1999): una vía subcortical rápida, colículo-pulvinar-amígdala (véase también Morris, DeGelder, Weiskrantz y Dolan, 2001) y una vía cortical lenta, a través de la cual la información visual que alcanza el córtex visual primario (V1) es procesada de forma jerárquica desde V1 al córtex inferotemporal (TE), y desde ahí se proyecta a la amígdala (Amaral *et al.*, 1992). La vía subcortical rápida está implicada en el procesamiento automático de estímulos emocionalmente significativos, mientras que la vía cortical lenta es necesaria para procesos de nivel superior, incluyendo la identificación de objetos y la percepción consciente (Morris *et al.*, 1999). Se ha propuesto, así, que la amígdala está especializada en la detección rápida y automática de sucesos con significado emocional.

Esta hipótesis ha sido evaluada más recientemente mediante RMf por Vuilleumier *et al.* (2001), quienes examinaron si las respuestas cerebrales a

estímulos faciales emocionales (caras con expresión de temor) y neutros se encontraban moduladas por la atención espacial. En su estudio los sujetos debían atender selectivamente a un par de estímulos (caras, con expresiones faciales de temor o neutras, o casas) presentados en localizaciones relevantes (en el plano vertical u horizontal) con el fin de llevar a cabo un juicio de emparejamiento igual/diferente, mientras aparecían estímulos en localizaciones irrelevantes. Estos autores observaron que, mientras la respuesta de áreas extraestriadas del córtex visual, tales como el giro fusiforme, se encontraba fuertemente modulada por la atención (esto es, por la asignación o no de la atención espacial a su localización), la activación de la amígdala ante expresiones de temor no estaba afectada por la condición atencional. Vuilleumier *et al.* (2001) concluyeron así que la amígdala podría estar especializada en la detección rápida de estímulos impredecibles con saliencia emocional, incluso cuando ocurren fuera del foco de atención.

Hallazgos en esta misma línea han sido informados por Lane, Chua y Dolan (1999) en un paradigma de tarea dual. Los autores evaluaron las imágenes TEP obtenidas mientras los sujetos atendían a láminas IAPS positivas y negativas, con valores de *arousal* altos y bajos, y a láminas neutras, con el fin de llevar a cabo una tarea de reconocimiento posterior, al tiempo que se presentaba una tarea distractora auditiva. Esta tarea consistía en la identificación de tres tonos distintos (bajo, medio y alto) bajo condiciones de distracción baja (la presentación de los tonos seguía una secuencia fija: bajo-medio-alto-bajo-medio-alto, etc.) y de distracción alta (los tonos se presentaban siguiendo una secuencia aleatoria). Lane *et al.* (1999) observaron que la activación de la amígdala provocada por imágenes IAPS emocionales activantes no se encontraba modulada por la tarea secundaria.

Otro conjunto de investigaciones recientes mediante neuroimagen han examinado también el procesamiento emocional automático mediante la evaluación de la respuesta cerebral ante láminas afectivas irrelevantes a la tarea durante la realización de una tarea primaria (Fichtenholtz *et al.*, 2004; Yamasaki, LaBar y McCarthy, 2002). Sus resultados mostraron que regiones cerebrales ventrales fronto-límbicas y occipitales se activaban en respuesta al

contenido emocional negativo independientemente del foco atencional, definido en términos de relevancia para la tarea. Estos experimentos utilizaron un paradigma *oddball* visual, en el cual los sujetos detectaban estímulos relevantes infrecuentes (círculos) dentro de una serie secuencial de estímulos estándares frecuentes (cuadrados), mientras ignoraban láminas emocionales negativas y neutras irrelevantes a la tarea (distractores). Sus resultados mostraron que una red de regiones cerebrales ventrales (incluyendo la amígdala, giro fusiforme, giro frontal inferior, giro parahipocampal y cortezas de asociación visual) respondían al contenido emocional negativo de las fotografías tanto si eran atendidas como si no. Por otro lado, una serie de áreas dorsales (incluyendo el surco intraparietal, giro frontal medial, giro supramarginal y giro cingulado posterior) se activaban ante estímulos relevantes atendidos, independientemente de su contenido emocional. La única región implicada tanto en el procesamiento emocional como en el atencional fue el córtex cingulado anterior. Estos estudios sugieren que la atención y la emoción se encuentran segregadas en el córtex prefrontal en los sistemas de procesamiento dorsal y ventral y se integran en el córtex cingulado anterior (véase Bush, Luu y Posner, 2000, en relación con la existencia de subdivisiones funcionales afectiva y cognitiva dentro del córtex cingulado anterior). El papel relevante del cingulado anterior en las interacciones atención-emoción ha sido resaltado también en otros estudios (Carretié *et al.*, 2004; Lane *et al.*, 1998; Vuilleumier *et al.*, 2001).

Otra fuente de datos en apoyo de esta hipótesis proviene de estudios de pacientes con lesiones cerebrales que presentan déficits atencionales, tales como negligencia espacial, que han mostrado que el valor afectivo de estímulos visuales puede capturar la atención en pacientes con negligencia unilateral. La negligencia espacial se produce por daño en el córtex parietal derecho, y se caracteriza por un déficit de atención y pérdida de consciencia de estímulos presentados en el campo visual contralateral al lado de la lesión (izquierdo). Algunos estudios han informado que en pacientes con negligencia

la extinción se encuentra fuertemente modulada por la naturaleza del estímulo contralesional (Vuilleumier y Schwartz, 2001a, b). Así, estos pacientes detectan mucho más a menudo estímulos presentados en el lado contralesional cuando consisten en expresiones emocionales que cuando se trata de expresiones neutras (Vuilleumier y Schwartz, 2001b), y cuando son estímulos amenazantes (arañas) que cuando se presentan estímulos neutros (flores) (Vuilleumier y Schwartz, 2001a). Estos datos proporcionan una evidencia convergente que indica que la información emocionalmente relevante procedente del hemicampo contralesional puede ser procesada preatencionalmente y capturar la atención con más probabilidad que otros estímulos (Vuilleumier, 2002). Se ha propuesto que la preservación del procesamiento de estímulos emocionales contralesionales se encuentra mediada por vías visuales que incluyen amígdala, giro fusiforme, córtex orbitofrontal y córtex intraparietal no afectado por la lesión (Vuilleumier *et al.*, 2002; véase también Driver, Vuilleumier, Eimer y Rees, 2001), las cuales pueden ser activadas incluso sin consciencia.

El papel clave de la amígdala en la modulación ejercida por la valencia emocional sobre áreas de procesamiento visual ha sido verificado por diversos estudios (Anderson y Phelps, 2001; Morris *et al.*, 1999; Pessoa, McKenna *et al.*, 2002; véase Pessoa, Kastner y Ungerleider, 2002 y Pessoa y Ungerleider, 2005 para revisiones). Este efecto puede producirse vía proyecciones *feedback* directas (Amaral *et al.*, 1992) o de forma indirecta a través de sus proyecciones a áreas prefrontales implicadas en el control atencional, incluyendo el córtex prefrontal dorsolateral y ventromedial (Pessoa, Kastner *et al.*, 2002). La región dorsolateral parece estar implicada en el mantenimiento de las representaciones relevantes a la tarea en la memoria de trabajo (independientemente de su valor emocional), en tanto que la región ventromedial, incluyendo el córtex orbital y el cingulado anterior, mediante sus conexiones recíprocas con la amígdala, jugaría un papel más relevante en la determinación del significado emocional de los estímulos.

Gracias a esta red de conexiones el córtex prefrontal podría seleccionar o suprimir información emocionalmente relevante en función de las demandas de la tarea o las metas personales (para una revisión véase Compton, 2003).

Estudios recientes de PE, que han utilizado láminas afectivas, han identificado correlatos neurales de la atención automática hacia estímulos con valor emocional irrelevantes para la tarea. Carretié *et al.* (2004) emplearon un paradigma *oddball* pasivo, que consistía en la presentación en el centro de la pantalla de una lámina con valencia emocional neutra como estímulo estándar y láminas con valencia emocional negativa, positiva o neutra como estímulos desviantes. Las fotografías tenían un marco de color verde o rojo presentados en orden aleatorio. Los participantes tenían que llevar a cabo una tarea altamente demandante consistente en contar mentalmente el número de cambios de color en el marco desde la presentación previa a la actual. Sus resultados mostraron tres fases en la secuencia de actividad neural asociada con la atención automática, reflejadas en los componentes P1, P2 y N2. En una fase inicial, los estímulos negativos (pero no los positivos ni los neutros) capturaban la atención automáticamente (tal como indicaban las mayores amplitudes de P1: 105 ms postestímulo). Posteriormente, la captura automática de la atención seguía produciéndose ante los estímulos negativos, pero también ante los positivos (reflejado por P2: 180 ms). En una tercera fase (N2: 240 ms), la atención se dirigía de forma automática a los estímulos positivos y los neutros. Los análisis sobre el posible origen de estos componentes revelaban una implicación creciente del córtex cingulado anterior, desde áreas dorsales (P1 y P2) a ventrales (N2). En un estudio posterior, Carretié, Hinojosa, Mercado y Tapia (2005) informaron de respuestas diferenciales en los PE a estímulos negativos (específicamente señales de peligro) no percibidos conscientemente por los sujetos. Su procedimiento experimental consistió en la presentación de una serie de estímulos visuales irrelevantes, presentados fuera del foco atencional, consistentes en imágenes de arañas e imágenes sin arañas (mariposas y

copos de nieve), presentadas brevemente (50 ms) en localizaciones periféricas no atendidas (formando un marco alrededor de la pantalla) y parcialmente ocultas por un ruido negro uniforme. La tarea de los sujetos consistía en atender a un número presentado en el centro de la pantalla con el fin de decidir si era superior o inferior a 5. Los resultados mostraron que las imágenes de arañas percibidas inconscientemente producían una mayor activación (comparadas con estímulos inconscientes no negativos) en el córtex prefrontal ventromedial sobre los 150 ms postestímulo. Posteriormente (sobre los 500 ms postestímulo), esta activación diferencial se observó en varias regiones del córtex posterior (incluyendo el córtex cingulado posterior y el córtex de asociación visual). Esta evidencia experimental es consistente con otras investigaciones que indican que el córtex prefrontal ventromedial se encuentra implicado en la regulación *top-down* de la atención mediante la modulación de la actividad de áreas visuales posteriores, lo que resulta en la facilitación automática del procesamiento del peligro.

Otros autores también han proporcionado datos electrofisiológicos que muestran una mayor respuesta neural ante estímulos emocionales cuando la atención se dirige a una tarea primaria. Schupp *et al.* (2003a) presentaron una serie continua rápida de imágenes IAPS con valencia positiva, negativa y neutra (irrelevantes a la tarea) mientras los sujetos detectaban estímulos relevantes entremezclados en la secuencia de láminas. Estos autores observaron un procesamiento selectivo de las señales emocionales, reflejado en mayores amplitudes de EPN ante los estímulos emocionales, mientras la atención se dirigía hacia una tarea principal (tal como reflejaban las mayores amplitudes del componente P3 ante los estímulos objetivo). Así, estos datos apoyan la hipótesis de que el procesamiento de imágenes emocionales está facilitado incluso en situaciones en las que el control atencional *top-down* se dirige hacia otros estímulos (véase también Keil, Moratti, Sabatinelli, Bradley y Lang, 2005).

Contrariamente a este amplio grupo de estudios que, desde diferentes aproximaciones, coinciden en señalar la existencia de un procesamiento

automático, independiente de la atención, de los sucesos emocionales, algunos otros indican que si la atención está focalizada en una tarea, los estímulos irrelevantes emocionales no capturan la atención. En un estudio de PE, Holmes, Vuilleumier y Eimer (2003) estudiaron el procesamiento automático de estímulos emocionales utilizando un procedimiento experimental similar al utilizado previamente con RMf por Vuilleumier *et al.* (2001)(ver página 86). Sus resultados mostraron que cuando la atención se dirigía hacia las caras, había una mayor positividad frontal (sobre los 100-120 ms postestímulo) en respuesta a expresiones faciales de temor comparadas con las expresiones neutras. Sin embargo, este efecto de la expresión emocional desaparecía cuando las caras se presentaban fuera del foco de atención. Estos datos indican que la atención espacial afecta al procesamiento emocional incluso en latencias muy cortas después del comienzo estimular. Holmes *et al.* (2003) concluyeron que, aunque podría haber una detección inicial, rápida y automática, mediada por la amígdala, de los estímulos emocionales presentados fuera del foco de atención, los estadios de procesamiento emocional posteriores requieren la focalización espacial de la atención. En un estudio posterior, Eimer, Holmes y McGlone (2003) ampliaron estos hallazgos a las seis expresiones emocionales básicas (ira, asco, temor, alegría, tristeza y sorpresa). En su estudio presentaban bilateralmente pares de caras neutras o emocionales en el campo visual derecho e izquierdo, y se registraron los PE cuando eran atendidas (tarea de discriminación emocional) e inatendidas (tarea de discriminación –juicio igual/diferente– sobre la longitud de pares de líneas verticales presentadas bilateralmente en posiciones cercanas a la fijación). Eimer y cols. hallaron una mayor positividad a expresiones faciales emocionales *versus* neutras en zonas frontocentrales con un comienzo en torno a los 160 ms, seguida por una mayor positividad más ampliamente distribuida en rangos de latencia posteriores a 300 ms y por una mayor negatividad en zonas temporales y occipitales entre los 220 y 320 ms postestímulo. Los autores concluyeron que los correlatos en los PE del procesamiento de la expresión facial son

fuertemente dependientes de la atención espacial, ya que estos efectos desaparecían cuando la atención se dirigía a una tarea demandante.

Así pues, la mayoría de los hallazgos científicos han proporcionado evidencia sobre la respuesta cerebral ante estímulos irrelevantes con valor emocional mientras la atención se encuentra focalizada en una tarea relevante. No obstante, algunos autores han enfatizado el papel determinante de la carga atencional de la tarea en curso a la hora de observar respuestas cerebrales diferenciales en función del contenido afectivo de estímulos no atendidos en el entorno visual (Pessoa, McKenna *et al.*, 2002).

1.4. La carga atencional de la tarea relevante modula el procesamiento de los estímulos distractores: ¿Son los estímulos emocionales inmunes a este factor?.

La tesis de que la actividad neural ante estímulos irrelevantes se encuentra fuertemente influida por la carga de procesamiento de una tarea relevante (Lavie, 1995; Lavie y Tsal, 1994) ha sido defendida a partir de estudios que han variado la carga atencional entre condiciones, tanto utilizando técnicas de neuroimagen (Pinsk, Doniger y Kastner, 2004; Rees, Frith y Lavie, 1997; Rees, Russell, Frith y Driver, 1999; Schwartz *et al.*, 2005; Yi, Woodman, Widders, Marois y Chun, 2004) como PE (Handy *et al.*, 2001). Se trata de estudios que han evaluado la modulación del procesamiento de información irrelevante de carácter no emocional (neutra) (para una revisión véase Lavie, 2005).

En un estudio en el que utilizaron RMf, Rees *et al.* (1997) evaluaron el procesamiento de movimiento visual irrelevante en la periferia mientras los sujetos llevaban a cabo una tarea lingüística, que variaba en carga, en el punto de fijación visual. La tarea central consistía en detectar, o bien el formato (mayúscula *vs*. minúscula) de una palabra (carga baja), o bien el número de sílabas (carga alta). Encontraron que las respuestas neurales en

áreas corticales implicadas en la percepción del movimiento, tales como MT (V5), estaban significativamente reducidas cuando la carga de procesamiento de la tarea relevante era elevada. Rees *et al.* (1999) ampliaron estas conclusiones al procesamiento de palabras no atendidas. En su estudio, los participantes atendían o bien a una serie de letras presentadas en la fijación, que consistían en series de consonantes aleatorias o en palabras significativas, o bien a una serie de fotografías superpuestas espacialmente, con el fin de detectar repeticiones en la serie atendida. Sus resultados mostraron que la actividad cortical diferencial ante palabras significativas comparadas con series aleatorias de consonantes (actividad diferencial que se observó en córtex temporal basal, parietal y prefrontal), no estaba presente cuando la atención se dirigía encubiertamente a las fotografías.

En línea con estos resultados, Yi *et al.* (2004), utilizando RMf, encontraron que el procesamiento de escenas visuales de fondo se veía fuertemente influido por la carga perceptiva de una tarea relevante en la fijación. En este estudio, los sujetos llevaban a cabo una tarea sobre estímulos faciales presentados en secuencia rápida en la fijación, con una condición de carga perceptiva baja (detección de repeticiones consecutivas de caras idénticas) y otra de carga alta (la dificultad de la discriminación facial se incrementaba degradando los estímulos). Mientras, debían ignorar fotografías de lugares, presentadas en el fondo, que podían ser novedosas o repetidas. Los autores encontraron que, en la condición de carga baja, la actividad del área parahipocampal implicada en el análisis de escenas visuales, mostraba el efecto de reducción esperable ante escenas repetidas *versus* novedosas, lo que indicaba un cierto procesamiento de las escenas irrelevantes a la tarea. Sin embargo, en la condición de carga alta, la diferencia de actividad provocada por escenas repetidas y novedosas desaparecía, sugiriendo que el procesamiento de escenas visuales irrelevantes se encontraba fuertemente modulado por la demanda perceptiva de la tarea primaria.

También Pinsk *et al.* (2004) evaluaron el efecto de la carga atencional de una tarea relevante sobre el procesamiento neural de estímulos irrelevantes. En este caso, los autores emplearon RMf para disociar la actividad provocada por los estímulos atendidos presentados en la periferia del cuadrante superior derecho del campo visual y por estímulos no atendidos presentados simultáneamente en la localización correspondiente del hemicampo contralateral. Los sujetos debían dirigir la atención encubiertamente a una serie secuencial de fotografías en color, con el objetivo de ejecutar una tarea de búsqueda visual de carga atencional baja (contar la ocurrencia de un estímulo específico) o alta (contar las ocurrencias de estímulos que eran idénticos al estímulo presentado previamente). Sus resultados mostraron que la actividad relacionada con la tarea relevante en las áreas V4 y TEO aumentaba en función de la carga atencional, mientras que en las áreas V1 y V2 era independiente de este factor. La actividad asociada con los distractores decrecía con carga alta en áreas V4 y TEO, y no estaba afectada por la carga atencional en las áreas visuales tempranas. Pinsk y colaboradores propusieron que esta relación inversa entre la actividad en V4 y TEO asociada con los estímulos distractores y la asociada con los relevantes, determinada por la carga atencional, proporciona evidencia de un mecanismo de atención selectiva *"push-pull"* dependiente de la carga, que opera sobre grandes porciones del campo visual en estadios de procesamiento intermedios del córtex visual. Propusieron así mismo que este mecanismo parece estar controlado por una red de áreas cerebrales fronto-parietales que llevan a cabo procesos relacionados con la selección de estímulos relevantes y la supresión de estímulos distractores cuando la atención está dirigida espacialmente.

Más recientemente, Schwartz *et al.* (2005) han proporcionado nueva evidencia en favor de la hipótesis de que el procesamiento de estímulos visuales periféricos irrrelevantes se ve reducido cuando una tarea central requiere de una alta implicación atencional. Estos autores investigaron, mediante RMf, la actividad neural relacionada con el procesamiento de rejillas

periféricas irrelevantes a la tarea, presentadas unilateral o bilateralmente, mientras los sujetos llevaban a cabo una tarea de detección visual sobre una serie rápida de estímulos (Ts con diferentes orientaciones y colores) presentados sucesivamente en el punto de fijación visual, bajo condiciones de carga baja (detectar Ts de color rojo) o alta (detectar Ts con un color y orientación particular). Los resultados de este estudio mostraron que el incremento de la carga de procesamiento de estímulos relevantes en la fijación conllevaba una reducción de las respuestas del córtex visual a los estímulos irrelevantes periféricos. Este efecto de la carga se observaba ya en V1 y aumentaba progresivamente en áreas sucesivas hasta V4. La disminución de la activación durante la condición de carga central alta era mayor en presencia de rejillas en el hemicampo contralateral.

La evidencia derivada de estudios de PE también apunta a que la focalización de la atención en el procesamiento de información relevante durante condiciones de carga alta afecta significativamente al procesamiento de estímulos distractores. Handy *et al.* (2001) evaluaron los efectos de la carga de una tarea foveal relevante sobre los PE ante distractores parafoveales irrelevantes. En este estudio la carga se manipuló de dos maneras distintas: mediante un cambio cualitativo en las demandas de procesamiento (discriminar el color del estímulo objetivo *versus* discriminar tanto el color como la orientación) y mediante un cambio cuantitativo en las demandas de procesamiento de una tarea continua de discriminación de letras (mediante la variación de la razón señal-ruido del estímulo objetivo). Sus datos mostraron que, en ambos experimentos, la amplitud de P1 ante estímulos distractores parafoveales estaba reducida durante condiciones de carga alta comparadas con las condiciones de carga baja. Estos hallazgos indican que la selección mediada por la carga puede ocurrir ya en el córtex extraestriado, aproximadamente a los 90-100 ms después del comienzo estimular. Handy *et al.* (2001) propusieron que la carga perceptiva incrementa la cantidad de recursos atencionales asignados a la localización esperada del estímulo relevante (véase también Handy y Mangun, 2000), decreciendo así

la capacidad residual disponible para asignar a localizaciones parafoveales irrelevantes a la tarea.

En resumen, los resultados de diversos autores (Pinsk *et al.*, 2004; Rees *et al.*, 1997; Yi *et al.*, 2004) ponen de manifiesto que el incremento de la carga atencional de una tarea relevante reduce las respuestas a distractores periféricos en áreas corticales visuales superiores (V4, MT/V5, TEO). Existe menor claridad respecto de la presencia de este tipo de modulación en áreas visuales más tempranas (V1, V2) donde, mediante técnicas de neuroimagen, Pinsk *et al.* (2004) no la encuentran y Swchartz *et al.* (2005) sí. Otros estudios (O´Connor, Fukui, Pinsk y Kastner, 2002) han indicado que la modulación de la actividad RMf ante estímulos periféricos irrelevantes por la carga atencional en la fijación puede estar presente incluso a nivel de relevo talámico. Por su parte, algunos estudios que utilizan PE, han indicado una modulación por la demanda atencional de la tarea primaria a nivel del córtex visual extraestriado.

Una cuestión que se encuentra actualmente sometida a debate es si este efecto modulador de la demanda atencional de una tarea primaria sobre la captura de la atención por estímulos irrelevantes está también presente cuando éstos tienen valor emocional, o bien si, por el contrario, el procesamiento priorizado de los estímulos emocionales los hace inmunes a este factor. Pessoa y colaboradores (Pessoa, McKenna *et al.*, 2002; para revisiones véase Pessoa, Kastner *et al.*, 2002 y Pessoa y Ungerleider, 2005) han propuesto que el procesamiento neural de estímulos con valor emocional no es automático, y que la ausencia de una modulación atencional del procesamiento emocional postulada en estudios previos (Vuilleumier *et al.*, 2001) podría deberse al hecho de que la atención no estuviese completamente focalizada en una tarea competidora. Tal como se describió anteriormente, se ha propuesto que la habilidad para ignorar estímulos irrelevantes está directamente relacionada con la carga de procesamiento de una tarea relevante (Lavie, 1995; Lavie y Tsal, 1994). Según esta propuesta,

si la carga de procesamiento de la tarea principal demanda toda la capacidad de atención disponible (condiciones de carga alta), la información irrelevante será excluida del procesamiento. Sin embargo, cuando la tarea no demanda toda la capacidad disponible (condiciones de carga baja), se asignarán recursos atencionales al procesamiento de estímulos irrelevantes. Pessoa, McKenna *et al.* (2002) compararon, mediante RMf, las respuestas provocadas por fotografías con expresión de temor, felicidad y neutras presentadas en el centro del campo visual cuando la atención se encontraba focalizada en ellas para realizar una tarea de discriminación de género (condición atendida) y las respuestas provocadas cuando la atención se asignaba a estímulos (barras) periféricos con el fin de realizar una tarea de discriminación de su orientación con alta carga atencional (condición inatendida). Sus resultados mostraron activación diferencial ante los estímulos faciales en función de la valencia sólo en la condición atendida, esto es, cuando había suficientes recursos atencionales disponibles para su procesamiento. Este efecto de la valencia afectiva modulado por la atención se apreció en diversas áreas corticales y subcorticales: amígdala, córtex visual occipitotemporal (cisura calcarina, giros occipital medio y fusiforme, surco temporal superior), ínsula, núcleo accumbens, giro cingulado anterior, córtex prefrontal ventromedial y córtex orbitofrontal.

Pessoa, Kastner *et al.* (2002) propusieron que la mayor activación ante estímulos emocionales que ante neutros en el córtex occipitotemporal ventral refleja una *modulación emocional* de áreas de procesamiento visual (véase también Lane *et al.*, 1999; Lang *et al.*, 1998; Morris, Friston *et al.*, 1998). Estos hallazgos indican que la actividad del córtex visual se ve modulada no sólo por la atención espacial, tal como se concluía del primer experimento presentado en esta tesis, sino también por la valencia emocional (con mayor activación ante estímulos emocionales que ante neutros). En otras palabras, la valencia emocional puede facilitar el procesamiento de información visual al igual que la atención facilita el procesamiento de información presentada en localizaciones atendidas.

En relación a esto, Lane *et al.* (1999) mostraron la existencia de patrones de activación comunes asociados con valencia emocional, *arousal* y atención en el córtex visual extraestriado derecho y el córtex temporal anterior derecho, lo que indicaría una modulación común del procesamiento visual.

Hay que hacer notar, sin embargo, la carencia de estudios de PE que estudien el efecto de la carga de procesamiento en condiciones de atención controlada mientras se presentan estímulos irrelevantes con valor emocional fuera del foco de atención.

La finalidad del presente experimento es contribuir a la clarificación, mediante la técnica de los PE, de si los estímulos emocionales negativos tienen un estatus privilegiado para capturar los recursos atencionales, dada su significación biológica, y en qué medida la captura de la atención por estímulos con valencia emocional pero irrelevantes para la tarea se encuentra modulada por la carga de procesamiento exigida por una tarea relevante. Con el objetivo de evaluar directamente el sesgo atencional hacia las imágenes con valor emocional negativo, en este estudio se presentaron láminas afectivas negativas y neutras en la periferia del campo visual mientras se variaba la carga atencional exigida por una tarea relevante presentada en el punto de fijación ocular, y se comparó en qué medida cada tipo de estímulo provocaba el componente P200 (P2). Este componente es especialmente sensible a la estimulación visual con contenido emocional negativo. Se ha propuesto que se relaciona con el sesgo de negatividad (Carretié, Mercado, Tapia e Hinojosa, 2001) y refleja una respuesta atencional inicial, rápida y breve, máxima ante estimulación negativa (Carretié, Martín-Loeches *et al*., 2001). El componente P2 también se ha observado ante estímulos emocionales, negativos y positivos (no así ante estímulos neutros), irrelevantes mientras el foco atencional se dirigía hacia una tarea distractora, lo que indicaría la ocurrencia de un proceso de captura automática de la atención (Carretié *et al*., 2004).

El estudio de las modulaciones del componente P2 provocado por láminas afectivas irrelevantes para la tarea mediante la manipulación de la carga de procesamiento relevante (condiciones de carga baja y alta), permitirá evaluar en qué medida la orientación automática de la atención hacia estímulos emocionales se encuentra modulada por la disponibilidad de recursos atencionales. Así, si los estímulos emocionales poseen un acceso privilegiado a los recursos de atención, los estímulos irrelevantes con significado emocional negativo capturarán automáticamente la atención aunque se encuentre focalizada en una tarea relevante altamente demandante; este efecto se reflejaría en mayores amplitudes del componente P200 ante estímulos negativos comparados con estímulos neutros. Por el contrario, si la captura automática de la atención por estímulos emocionales depende de la carga de procesamiento de una tarea relevante, se observará una asignación involuntaria de los recursos de atención hacia estímulos irrelevantes negativos sólo cuando existan recursos de atención disponibles (condición de carga atencional baja). Estos efectos se reflejarán en las modulaciones descritas del componente P2 ante estímulos emocionales negativos.

Además, la asignación de recursos atencionales hacia distractores emocionales se evalúa también comparando los efectos de los estímulos periféricos irrelevantes, neutros y emocionales, sobre la respuesta electrofisiológica asociada al procesamiento sensorial de los estímulos relevantes centrales en ambas condiciones de carga atencional. Hay evidencia de que la carga atencional puede modular el procesamiento sensorial temprano en el córtex visual –reflejado en las modulaciones de P1 y N1– (Handy y Mangun, 2000); además, el aumento de la demanda de procesamiento requerida por estímulos relevantes para la tarea incrementa la asignación de recursos atencionales a su localización, en detrimento de la capacidad residual disponible para atender a localizaciones irrelevantes (Handy *et al.*, 2001). De este modo, si los estímulos negativos presentan una mayor capacidad que los neutros para atraer los recursos de atención, habrá

menor cantidad de recursos disponibles para asignar a estímulos relevantes posteriores, lo que resultará en una menor amplitud de los componentes P1 y N1 provocados por estímulos relevantes precedidos por estímulos negativos que por aquéllos precedidos por estímulos neutros o de ningún estímulo.

Siguiendo esta línea argumental se definen los siguientes objetivos.

2. OBJETIVOS

1) Determinar si los estímulos con valencia emocional negativa presentados fuera del foco de atención capturan automáticamente la atención visual, mediante la identificación de los parámetros de amplitud y distribución pericraneal de los PE en condiciones donde estímulos emocionales irrelevantes se presentan en el contexto de una tarea de atención controlada.

2) Examinar si estos procesos de captura atencional por estímulos emocionales irrelevantes están modulados por la carga de procesamiento exigida por la tarea relevante.

3. MÉTODO

3.1. Sujetos

La muestra seleccionada inicialmente estaba compuesta por 16 sujetos voluntarios sanos (13 mujeres y 3 hombres). Los datos de 6 sujetos fueron excluidos de los análisis debido a la presencia de excesivos movimientos oculares horizontales, resultando en una muestra final de 10 mujeres con edades comprendidas entre los 21 y los 30 años (media ± d.t.= 26.4 ± 2.5).

3.2. Procedimiento y estímulos

Los estímulos objetivo consistían en barras verticales cortas (tamaño en retina de 2.3º x 0.6º de ángulo visual) o largas (3.4º x 0.6º), con una probabilidad de aparición de 0.5 cada una, presentadas sobre el punto de fijación ocular con una duración de 50 ms. Las barras se presentaron sucesivamente, de acuerdo con un paradigma E1-E2. Durante el período de demora entre E1 y E2, se presentaron fotografías en color (con un tamaño en retina de 8º x 5.7º) (p = 0.3) con valencia afectiva negativa (p = 0.15) o neutra (p = 0.15), en el campo visual izquierdo o derecho (con una probabilidad de 0.5 cada uno), a una distancia horizontal de 5.7º desde una cruz situada en el punto de fijación y con una duración de 50 ms. Las fotografías utilizadas se seleccionaron del *International Affective Pictures System* (IAPS; Lang *et al.*, 1999): 40 con valencia afectiva neutra y 40 con valencia afectiva negativa. Las dos categorías diferían en su puntuación de valencia afectiva (5.2 y 2.1, respectivamente) y en su puntuación normativa de *arousal* (3.2 y 7.2, respectivamente) de acuerdo con los valores normativos del IAPS en población española[4] (Moltó *et al.*, 1999) (véase anexo III). Por brevedad, a lo largo del texto se hará referencia a estos estímulos como neutros y emocionales, respectivamente. Se informó a los participantes sobre la presentación de fotografías en la periferia del campo visual y se les indicó que ignorasen estos estímulos periféricos y que mantuviesen la fijación ocular en la cruz central. Con el objetivo de evaluar los posibles efectos de la carga atencional sobre el procesamiento de estimulación con contenido afectivo en la periferia se incrementó el nivel de dificultad de la tarea central en un bloque experimental diferente. La demanda atencional se manipuló reduciendo la diferencia de tamaño entre barras relevantes (barras cortas: 2.3º x 0.6º; barras largas: 2.5º x 0.6º), resultando así en una discriminación del tamaño más difícil. La tarea de los sujetos, durante las dos condiciones, consistió en

[4] El rango de puntuaciones en la dimensión de valencia afectiva va desde 1 (altamente desagradable) a 9 (altamente agradable), donde una puntuación de 5 representa una valencia afectiva neutra. En la dimensión de *arousal* el rango de puntuaciones va desde 1 (calmada) a 9 (altamente activadora), donde 5 representa una puntuación moderadamente activadora.

mantener la fijación ocular en la cruz central y discriminar si la segunda barra de cada par (E2) era de igual o diferente tamaño que la primera barra (E1), pulsando un botón con una mano (derecha o izquierda contrabalanceada) si las barras eran del mismo tamaño y otro botón con la otra mano si las barras eran de diferente tamaño (TR de elección), tan rápida y exactamente como fuese posible en cada ensayo.

El intervalo temporal desde el comienzo del primer estímulo del par (E1) al comienzo del estímulo periférico irrelevante (SOA) varió aleatoriamente desde 100 a 1100 ms. El SOA entre E1 y el segundo estímulo del par (E2) varió de manera aleatoria entre 1200 y 1500 ms. El intervalo entre ensayos varió aleatoriamente entre 2000 y 2300 ms.

Todos los estímulos se presentaron sobre un fondo negro en un monitor de 22'', con una resolución de pantalla de 1024 x 768 píxeles, situado a 100 cm enfrente del sujeto. Para la configuración, sincronización y emisión de estímulos se utilizó el programa informático Presentation® (Versión 0.53, www.neuro-bs.com).

Cada una de las condiciones experimentales consistió en ocho bloques de ensayos. El número máximo de ensayos dentro de cada bloque fue de 125 (70% sin estímulos irrelevantes entre E1 y E2 y 30% con estímulos irrelevantes, 15% neutros y 15% emocionales).

La duración de cada una de las dos condiciones experimentales fue de aproximadamente 60 minutos. Se realizó un descanso de 5 minutos en la mitad de cada condición y un descanso de aproximadamente 15 minutos entre condiciones. La condición de carga atencional baja se presentó siempre en primer lugar.

3.3. Registro electrofisiológico y análisis de datos

El registro de los potenciales evocados se llevó a cabo mediante la colocación de un gorro elástico con electrodos de estaño insertados ("Electrocap International, Inc."). Se utilizaron un total de 16 localizaciones dispuestas según el Sistema Internacional 10-20 ampliado: F3, F4, FC3, FC4, C3, C4,

T5, T6, CP3, CP4, P3, P4, PO3, PO4, O1 y O2, con referencia en un electrodo en la punta de la nariz. El EOG horizontal se registró bipolarmente mediante electrodos situados en los cantos externos de ambos ojos, y el EOG vertical mediante electrodos situados supra e infraorbitalmente al ojo izquierdo. Se colocó además un electrodo en el nasión como toma de tierra. El nivel de impedancia de todos los canales de registro se mantuvo por debajo de los 10 KΩ.

El electroencefalograma se adquirió de modo continuo con una tasa de digitalización de 500 ptos/segundo, una amplificación de 10 K, un filtro de paso de banda de 0.1-50 Hz y un filtro específico de 50 Hz.

Para el análisis de los datos electrofisiológicos se segmentó el EEG en segmentos desde 60 ms previos al estímulo (línea base) hasta 600 ms después del mismo. A continuación, se eliminaron las tendencias en la actividad electroencefalográfica. Los artefactos oculares verticales y los parpadeos fueron inspeccionados cuidadosamente y eliminados del EEG empleando el método de corrección incluido en el software del Neuroscan (Semlitsch *et al.*, 1986). Se excluyeron del promediado aquellos segmentos que contenían movimientos oculares horizontales. En los PE ante estímulos objetivo se eliminaron además aquellos ensayos con respuestas conductuales incorrectas. Los segmentos del EEG se promediaron separadamente para cada sujeto, condición y tipo de estímulo, tanto para los estímulos relevantes centrales como para los estímulos irrelevantes periféricos y se ajustó la línea base previa al estímulo a 0 μV. Tras este procedimiento se aplicó un filtro digital de 0.1-30 Hz.

A continuación se describen los análisis de PE llevados a cabo, por una parte, para los estímulos periféricos irrelevantes a la tarea (*estímulos distractores*) con valencia emocional negativa o neutra y, por otra, para los estímulos centrales relevantes a la tarea (*estímulos objetivo*).

3.3.1. Análisis de los PE ante estímulos distractores

La inspección visual de los trazados (que se presentarán en la sección de Resultados) permitió apreciar que, sobre los 170 ms después del comienzo del estímulo, aparece una onda positiva que corresponde al componente P200. También reveló que los potenciales evocados ante estímulos distractores se encontraban afectados por un desplazamiento negativo sostenido en buena parte del pericráneo, razón por la cual la amplitud del componente P2 se midió "pico a pico" relativa al pico negativo anterior (N1). El procedimiento de detección del pico y marcado de los componentes N1 y P2 se realizó en dos fases. En la primera se llevó a cabo un marcado automático del pico negativo máximo en el intervalo temporal de 110-215 ms postestímulo para el componente N1 y del pico positivo máximo en el rango de latencia de 160-250 ms postestímulo para el componente P2. A continuación se verificó este marcado para cada caso y se corrigió manualmente para ajustar al pico cuando fue necesario. Los valores de amplitud fueron automáticamente almacenados en ficheros en código ASCII para su análisis posterior. Estos datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas con 5 factores intrasujeto 8 x 2 x 2 x 2 x 2 (Región x Hemisferio x Dificultad x Valencia x Campo visual). El primer factor hace referencia a las localizaciones del pericráneo evaluadas: frontal (F3/F4), frontocentral (FC3/FC4), central (C3/C4), centroparietal (CP3/CP4), parietal (P3/P4), temporal (T5/T6), parietoccipital (PO3/PO4) y occipital (O1/O2). El segundo factor tiene en cuenta el hemisferio de registro (izquierdo y derecho) y el tercer factor el nivel de dificultad de la tarea relevante (fácil y difícil). El cuarto considera la valencia del estímulo distractor (emocional y neutra) y el quinto se refiere al campo visual de presentación de los estímulos distractores (derecho e izquierdo).

La variable dependiente considerada fue la amplitud de N1-P2 registrada en los electrodos señalados.

En todos los análisis estadísticos realizados en este estudio, los grados de libertad se ajustaron mediante la corrección de Greenhouse-Geisser

cuando los datos violaban el supuesto de esfericidad. Las pruebas *a posteriori* para determinar la significación de las comparaciones por pares se llevaron a cabo mediante el contraste de Bonferroni para comparaciones múltiples. Se aceptó un nivel crítico de $p \leq 0.05$ como estadísticamente significativo.

Por otra parte, el desplazamiento negativo sostenido anteriormente mencionado observado en los trazados de grandes medias asociados con los estímulos distractores, parecía presentar una mayor amplitud ante estímulos con valencia emocional comparados con estímulos con valencia neutra. Esta diferencia era principalmente evidente en los primeros 300 ms tras la presentación del estímulo en las zonas de registro más anteriores y en condiciones de carga atencional baja (condición fácil). Con el objetivo de evaluar si esta diferencia refleja una respuesta diferencial a la valencia estimular se analizaron los valores medios de voltaje en 15 ventanas temporales de 20 ms cada una desde los 60 a 300 ms. Las amplitudes se analizaron en cada ventana temporal con un ANOVA de medidas repetidas con los mismos factores y procedimientos señalados anteriormente.

Además, para evaluar las posibles características diferenciales de la respuesta cerebral al valor emocional de estímulos distractores en función de la carga de procesamiento, en las ventanas temporales en las cuales el factor Valencia fue significativo, los datos de amplitud se sometieron a ANOVA separados para cada condición experimental con Región, Hemisferio, Valencia y Campo visual como factores intrasujeto. Por último, se ejecutaron ANOVA para cada región por separado con el fin de evaluar con mayor detalle la distribución pericraneal de la modulación afectiva de los PE. Los factores incluidos en este caso fueron Hemisferio, Valencia y Campo visual.

3.3.2. Análisis de los PE ante estímulos objetivo

Con el fin de examinar si el procesamiento perceptivo de estímulos relevantes se encontraba modulado por la valencia emocional de estímulos distractores previos y la modulación de este efecto por la carga de procesamiento de la tarea en curso, se analizaron los componentes P1 y N1 asociados con los

estímulos objetivo (E2). En este caso, sólo se seleccionaron para el análisis estadístico los electrodos localizados en las regiones pericraneales más posteriores (T5, T6, P3, P4, PO3, PO4, O1 y O2), donde los componentes P1 y N1 pueden registrarse con amplitudes máximas. De nuevo se utilizó un procedimiento de marcado combinado: se realizó un marcado automático del pico positivo máximo en el intervalo desde los 75 hasta los 165 ms para el componente P1 y del pico negativo máximo en el intervalo desde los 130 hasta los 225 ms para el componente N1, que se verificó para cada caso y se corrigió manualmente cuando fue necesario.

Las amplitudes se analizaron mediante un ANOVA de medidas repetidas con 4 factores intrasujeto 4 x 2 x 2 x 5 (Región x Hemisferio x Dificultad x Distractor). El primer factor hace referencia a las zonas pericraneales analizadas: parietal (P3/P4), temporal (T5/T6), parietoccipital (PO3/PO4) y occipital (O1/O2); el segundo considera el hemisferio de registro (izquierdo y derecho); el tercero tiene en cuenta el nivel de dificultad de la tarea (fácil y difícil); el cuarto se refiere al tipo de estímulo distractor previo (emocional presentado en el campo visual derecho; emocional presentado en el campo visual izquierdo; neutro presentado en el campo visual derecho; neutro presentado en el campo visual izquierdo y sin distractor previo).

Además, en cada tarea se analizaron el tiempo de reacción (TR) y la tasa de aciertos (porcentaje de respuestas correctas) ante E2 mediante análisis de varianza de medidas repetidas con Dificultad (2 niveles) y Distractor (5 niveles) como factores intrasujeto.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados conductuales

Los valores medios de TR y tasa de aciertos ante los estímulos relevantes (E2) en función del tipo de distractor previo en las condiciones fácil y difícil se recogen en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores medios de TR (ms) y tasa de aciertos (% de respuestas correctas) con sus desviaciones típicas (entre paréntesis), en función del tipo de distractor previo en las condiciones fácil y difícil.

Tipo de distractor previo	TR		Tasa de aciertos	
	Fácil	Difícil	Fácil	Difícil
Sin distractor	660 (47)	700 (58)	92,3 (7,5)	64,4 (10,6)
Neutro-CVI	684 (62)	722 (54)	89,8 (11,7)	65,1 (10,5)
Neutro-CVD	673 (50)	727 (73)	93,6 (5,4)	63,0 (10,9)
Emocional-CVI	669 (45)	721 (62)	92,3 (9,1)	60,5 (14,3)
Emocional-CVD	678 (52)	719 (55)	91,5 (7,3)	66,2 (7,2)

CVI = Campo visual izquierdo; CVD = Campo visual derecho

Los ANOVAs de medidas repetidas llevados a cabo sobre los datos de TR pusieron de manifiesto que había una tendencia a TR más rápidos en la condición fácil que en la difícil (673 ± 49 *vs*. 718 ± 58), aunque esta diferencia no alcanzó significación estadística. Sí hubo un efecto significativo del factor Distractor ($F(4, 36) = 3.329$, $p = 0.020$): los sujetos tendían a responder con mayor rapidez a estímulos que no eran precedidos por ningún distractor que a estímulos precedidos por distractores neutros o emocionales. No obstante, estas diferencias no se vieron confirmadas en los contrastes *post-hoc* con el nivel crítico corregido mediante el procedimiento de Bonferroni. Los análisis de varianza llevados a cabo para cada una de las condiciones por separado, revelaron que el factor Distractor sólo fue significativo en la condición fácil ($F(4, 36) = 2.998$, $p = 0.031$).

En cuanto a la tasa de aciertos, los análisis estadísticos revelaron un efecto significativo del factor Dificultad ($F(1, 9) = 351.622$, $p = 0.0005$), con un mayor porcentaje de respuestas correctas en la condición fácil que en la difícil (91.9 ± 7.9 *vs*. 63.8 ± 9.8). Los ANOVAs realizados para cada una de las condiciones por separado no mostraron efectos significativos del factor Distractor en ninguna de ellas.

4.2. Resultados de PE

4.2.1. Resultados de PE ante estímulos distractores

Las Figuras 16, 17, 18 y 19 muestran los grandes promedios obtenidos en respuesta a los estímulos distractores presentados en el campo visual izquierdo y derecho en cada una de las condiciones experimentales.

▪ Análisis de la amplitud N1-P2

El factor Región presentó efectos significativos sobre la amplitud de N1-P2 ($F(7, 63) = 23.285$, $p = 0.0005$, $\varepsilon = 0.229$): las mayores amplitudes se observaron en electrodos parietoccipitales y occipitales (Tabla 9; Figura 20).

Tabla 9. Contrastes *post-hoc* del factor Región sobre la amplitud de N1-P2.

Regiones	**Contraste *post-hoc* (*p*)**
PO *vs*. F	.011
PO *vs*. FC	.018
PO *vs*. C	.027
PO *vs*. CP	.026
PO *vs*. P	.013
O *vs*. F	.004
O *vs*. FC	.007
O *vs*. C	.014
O *vs*. CP	.022

F = frontal; FC = frontocentral; C = central;
PO = parietoccipital ; P = parietal ; O = occipital

CONDICIÓN FÁCIL: Distractores en el campo visual izquierdo

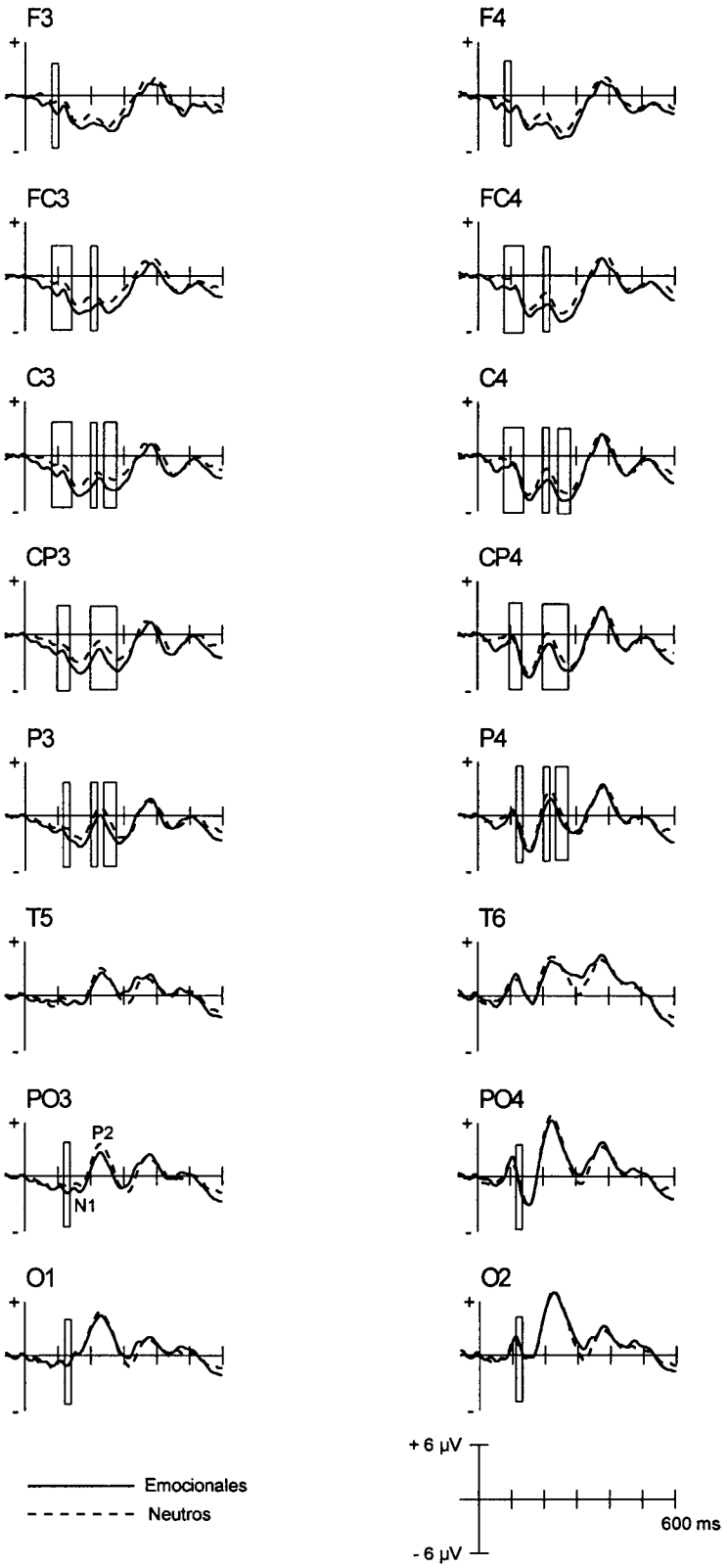

Figura 16. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual izquierdo en la condición fácil.

CONDICIÓN FÁCIL: Distractores en el campo visual derecho

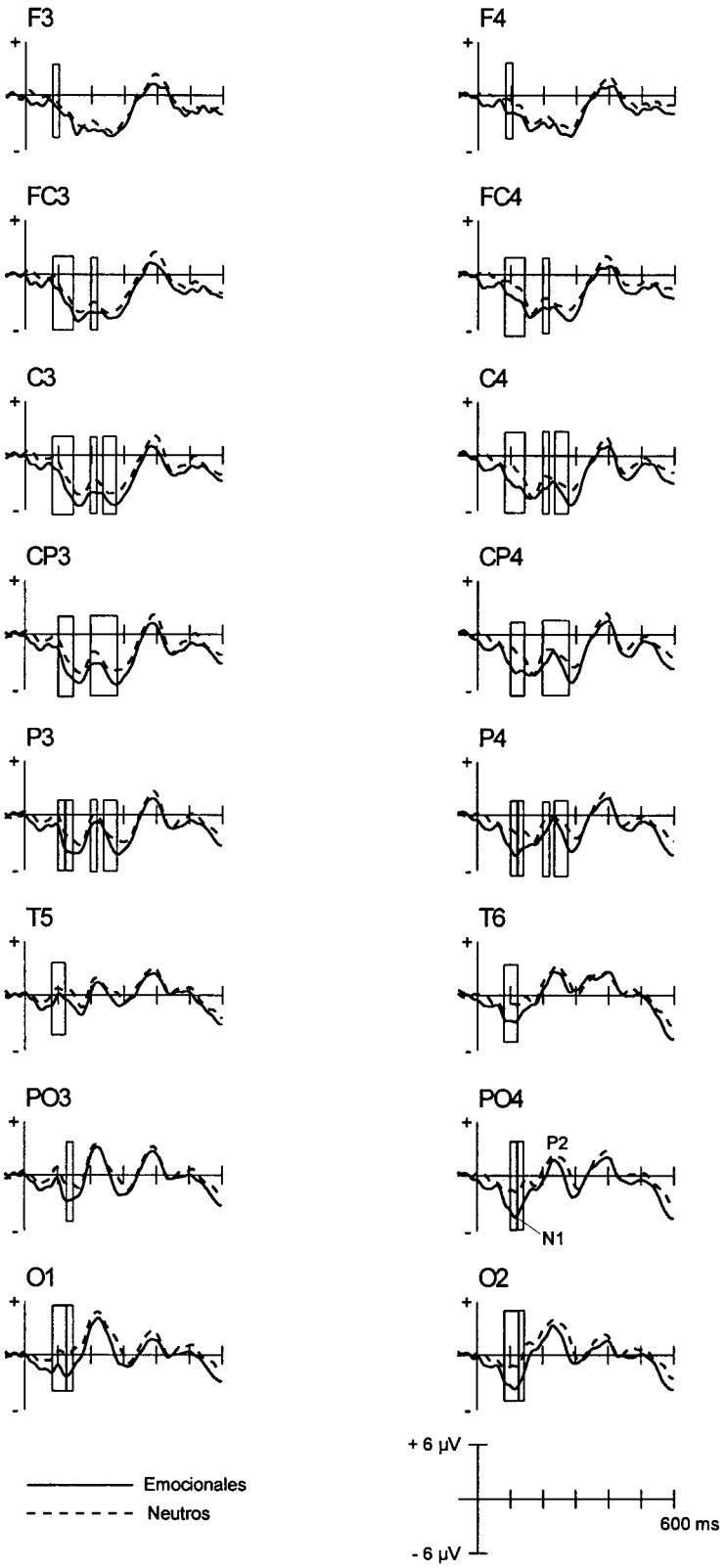

Figura 17. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual derecho en la condición fácil.

CONDICIÓN DIFÍCIL: Distractores en el campo visual izquierdo

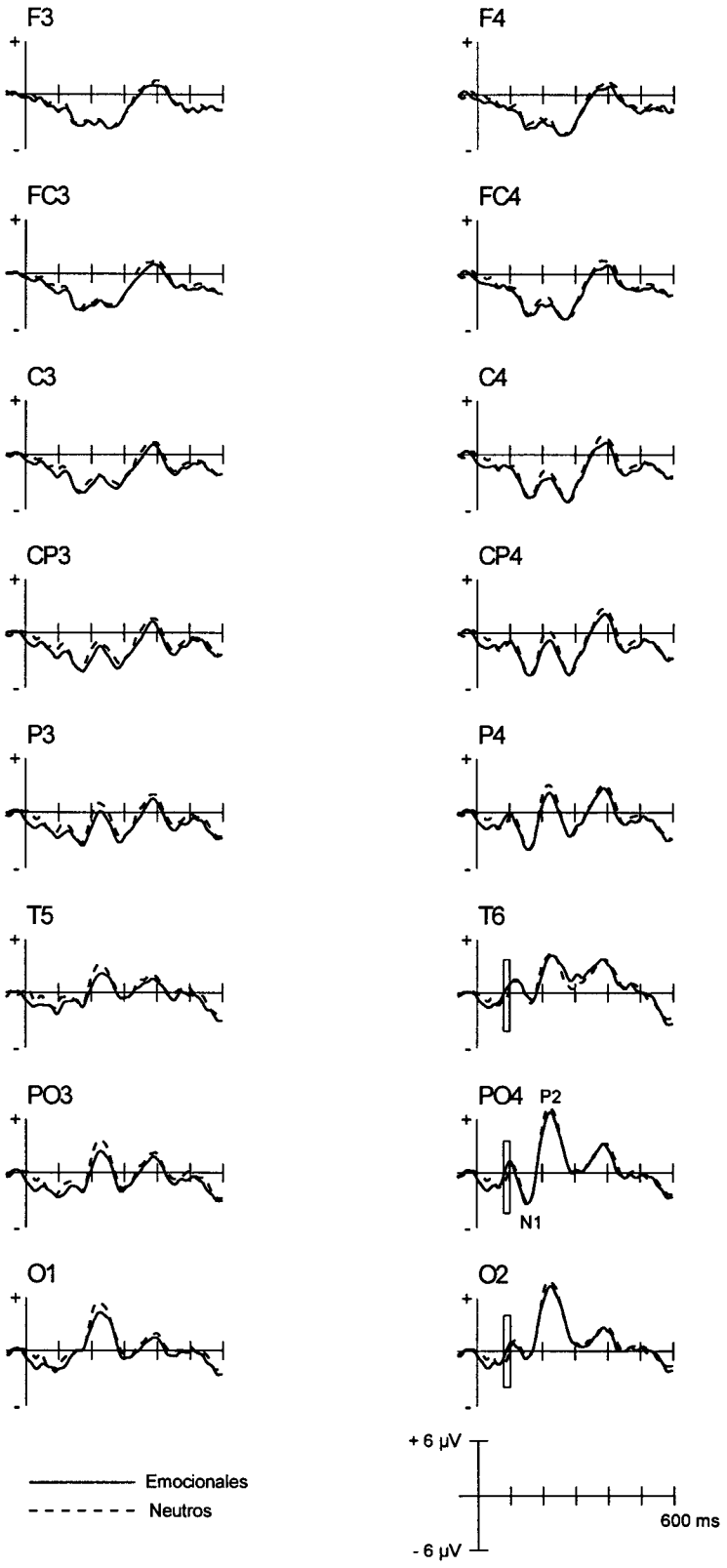

Figura 18. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual izquierdo en la condición difícil.

CONDICIÓN DIFÍCIL: Distractores en el campo visual derecho

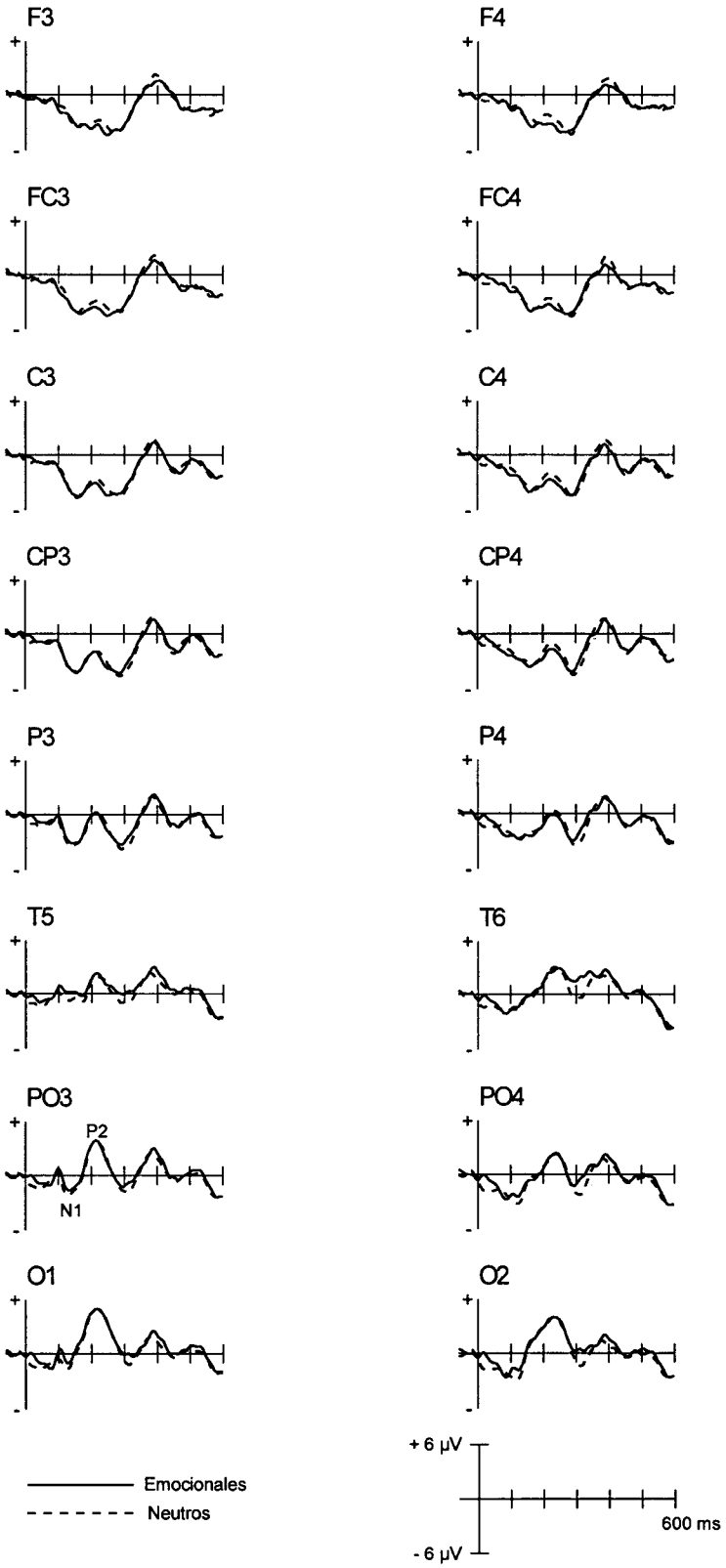

Figura 19. Trazados de grandes medias de los PE ante distractores presentados en el campo visual derecho en la condición difícil.

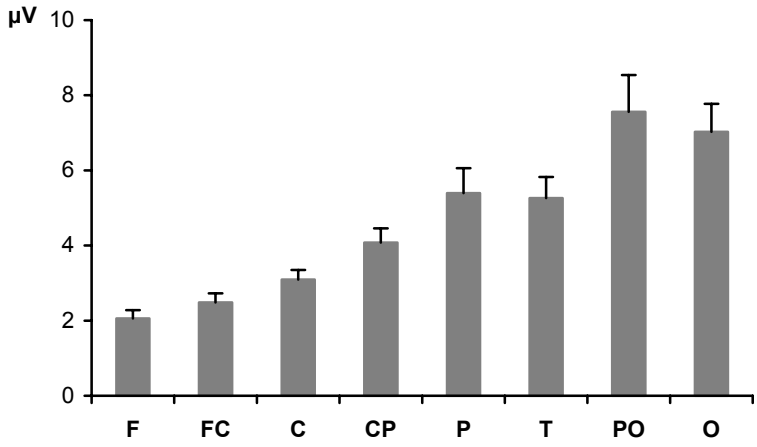

Figura 20. Medias estimadas de N1-P2 en localizaciones frontales (F), frontocentrales (FC), centrales (C), centroparietales (CP), parietales (P), temporales (T), parietoccipitales (PO) y occipitales (O). El valor de desviación indicado por las barras representa el error típico de la media. La amplitud de N1-P2 fue significativamente mayor en los electrodos parietoccipitales y occipitales que en los restantes.

Los análisis también revelaron interacciones significativas Región x Dificultad x Valencia ($F(7, 63) = 5.571$, $p = 0.015$, $\varepsilon = 0.272$) y Región x Hemisferio x Campo ($F(7, 63) = 8.540$, $p = 0.002$, $\varepsilon = 0.294$). Los ANOVAs llevados a cabo para cada región mostraron que la interacción Dificultad x Valencia fue significativa en electrodos parietoccipitales ($F(1, 9) = 8.559$, $p = 0.017$) y occipitales ($F(1, 9) = 9.764$, $p = 0.012$). Los análisis adicionales para cada condición confirmaron estas interacciones, mostrando un efecto principal de la valencia sólo en la condición fácil (parietoccipital: $F(1, 9) = 10.879$, $p = 0.009$; occipital: $F(1, 9) = 17.776$, $p = 0.002$). En la Figura 21 se muestran las amplitudes de N1-P2 asociadas con distractores neutros y emocionales en las regiones parietoccipital y occipital en la condición fácil.

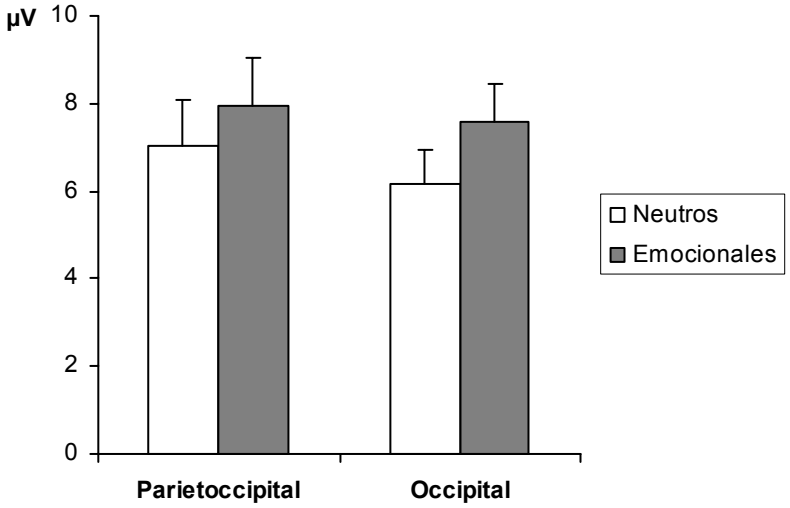

Figura 21. Efectos de la valencia afectiva de los estímulos distractores sobre la amplitud de N1-P2 en la condición fácil (parietoccipital: p = 0.009; occipital: p = 0.002). Las barras muestran las medias estimadas en electrodos parietoccipitales y occipitales. El valor de desviación indicado por las barras representa el error típico de la media.

Por otra parte, los análisis por regiones pusieron de manifiesto que la interacción Hemisferio x Campo persistía también en estas localizaciones posteriores (parietoccipital: $F(1, 9) = 9.184$, $p = 0.014$; occipital: $F(1, 9) = 5.825$, $p = 0.039$), indicando que en el hemisferio derecho provocan mayores amplitudes los estímulos presentados contralateralmente (parietoccipital: $F(1, 9) = 9.294$, $p = 0.014$; occipital: $F(1, 9) = 5.707$, $p = 0.041$), mientras que en el hemisferio izquierdo no se producen diferencias en función del campo visual (ver Figura 22). Este efecto se puede apreciar también en los mapas de voltaje correspondientes a la condición fácil y difícil (Figura 23).

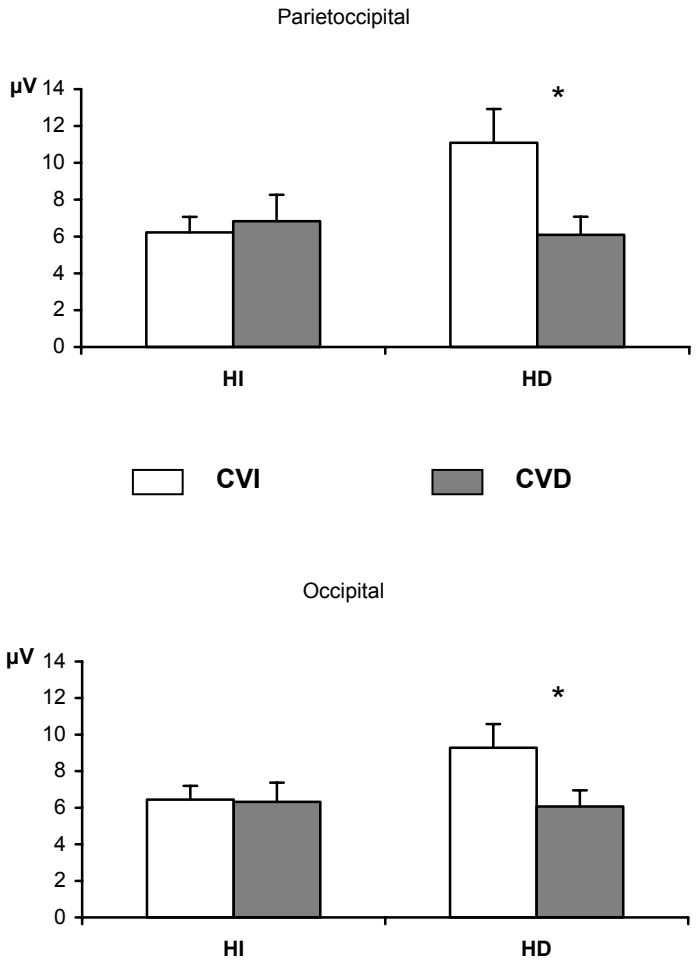

Figura 22. Medias estimadas de la amplitud de N1-P2 en las regiones parietoccipital y occipital del hemisferio izquierdo (HI) y derecho (HD) en función del campo visual de presentación de los estímulos distractores (CVI: campo visual izquierdo; CVD: campo visual derecho). El valor de desviación indicado por las barras representa el error típico de la media. Las interacciones significativas ($p<0.05$) se indican con un asterisco.

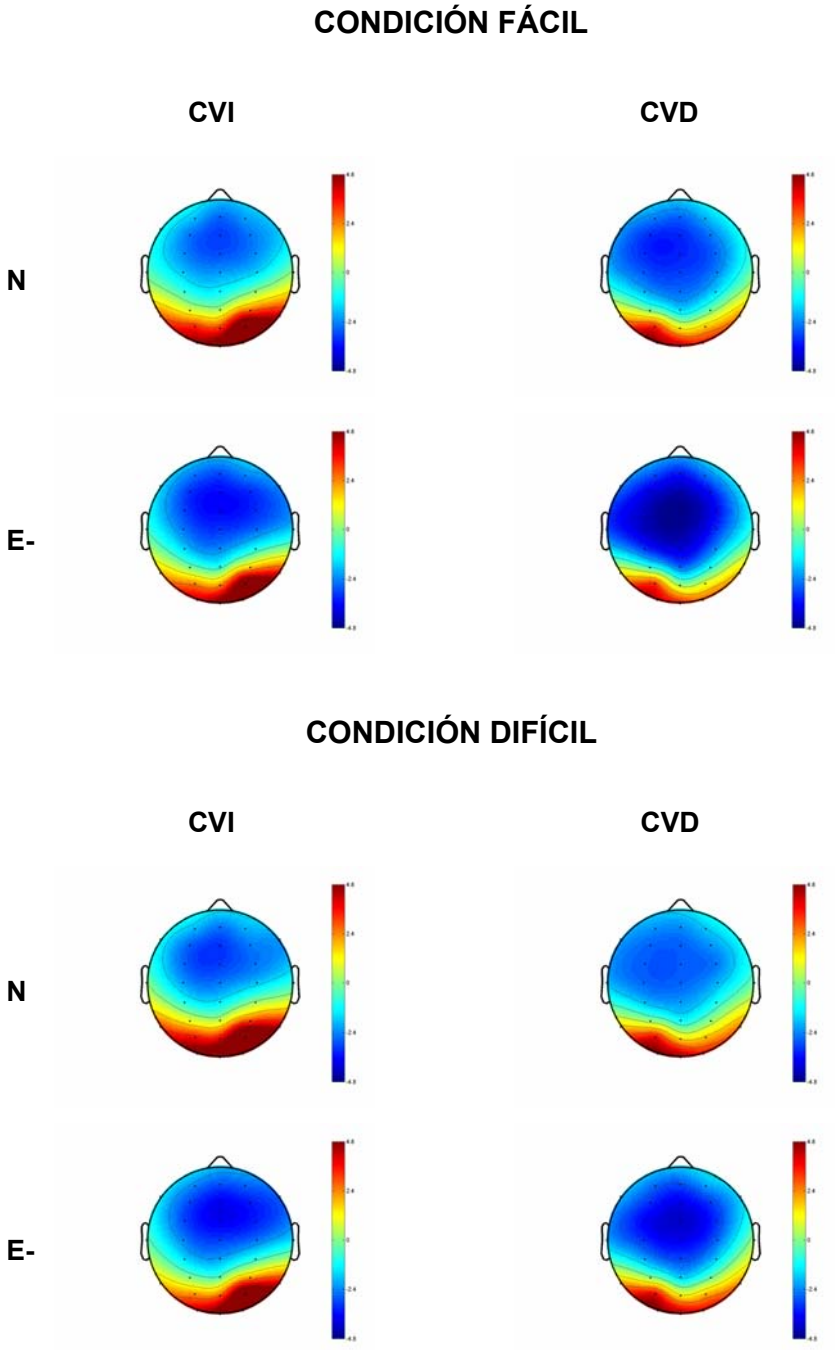

Figura 23. Mapas topográficos 2-D de la actividad eléctrica calculados a partir de las grandes medias en la latencia de máxima amplitud (220 ms) para distractores neutros (N) y emocionales (E-) en las dos condiciones experimentales. Los mapas se generaron mediante el software EEGLAB (Delorme y Makeig,2004).

En resumen, estos resultados muestran que el valor emocional de estímulos distractores presentados en la periferia del campo visual modula la amplitud del componente N1-P2 en localizaciones parietoccipitales y occipitales, con mayores amplitudes ante estímulos emocionales comparados con estímulos neutros. Esta modulación afectiva en regiones posteriores estaba presente sólo en condiciones en las que la carga del procesamiento relevante era baja.

▪ Análisis de las amplitudes medias en el intervalo temporal de 60 a 300 ms postestímulo

Los ANOVAs de medidas repetidas de las amplitudes medias de cada ventana temporal de 20 ms revelaron un efecto principal del factor Valencia entre los 80 y los 140 ms y entre los 200 y 280 ms (Tabla 10; se presentan en sombreado los efectos principales de valencia).

Tal como se describió en la sección de Método, se realizaron ANOVAs adicionales en estos intervalos temporales con los factores intrasujeto Región, Hemisferio, Valencia y Campo visual, con el objetivo de caracterizar los efectos de la valencia emocional sobre los PE provocados por los estímulos distractores en cada una de las condiciones experimentales (Tabla 11).

Como se puede ver en la tabla, el factor Valencia tuvo significación en diversos intervalos temporales en la condición de baja carga atencional (fácil), no así en la de alta carga (difícil), donde sólo fueron significativas una interacción de primer orden y dos interacciones de segundo orden que afectasen a este factor en tres intervalos temporales.

Por último, para examinar con mayor detalle la distribución topográfica de la modulación emocional de los PE en estos rangos de latencia, los datos de amplitud, en cada una de las dos condiciones de tarea principal, se sometieron a nuevos ANOVAs **para cada región** por separado, incluyendo Hemisferio, Valencia y Campo Visual como factores intrasujeto (véase la Tabla 12 para la condición fácil y la Tabla 13 para la condición difícil).

Tabla 10. Valores *F* y *p* de los efectos principales e interacciones significativas de primer orden en el análisis general de las amplitudes medias en cada uno de los intervalos temporales evaluados con los factores Valencia, Dificultad, Hemisferio, Región y Campo visual.

		Intervalo temporal (ms)											
	g.l.	**60-80**	**80-100**	**100-120**	**120-140**	**140-160**	**160-180**	**180-200**	**200-220**	**220-240**	**240-260**	**260-280**	**280-300**
V	1,9		*F*=5.338 *p*= .046	*F*=7.930 *p*= .020	*F*=6.287 *p*= .033				*F*=1.367 *p*= .008	*F*=6.457 *p*= .032	*F*=13.107 *p*= .006	*F*=6.258 *p*= .034	
D	1,9	*F*=5.877 *p*= .038											
H	1,9												
R	7,63			*ε* =.179 *F*=6.574 *p*= .021	*ε* =.205 *F*=6.714 *p*= .015	*ε* =.210 *F*=11.080 *p*= .003	*ε* =.205 *F*=11.141 *p*= .003	*ε* =.207 *F*=18.212 *p*= .0005	*ε* =.200 *F*=25.262 *p*= .0005	*ε* =.203 *F*=27.874 *p*= .0005	*ε* =.193 *F*=25.050 *p*= .0005	*ε* =.184 *F*=16.114 *p*= .001	*ε* =.178 *F*=7.443 *p*= .015
R x H	7,63											*ε* =.233 *F*=5.499 *p*= .021	*ε* =.236 *F*=6.601 *p*= .012
H x CV	1,9	*F*=17.983 *p*= .002	*F*=69.902 *p*= .0005	*F*=16.510 *p*= .003									

V = Valencia; D = Dificultad; H = Hemisferio; R = Región; CV = Campo visual; En sombreado se presentan los efectos e interacciones significativas del factor Valencia.

Tabla 11. Valores *F* y *p* de los efectos principales e interacciones significativas de primer y segundo orden obtenidos en el análisis de las amplitudes medias en los intervalos temporales con efectos significativos en el factor Valencia para cada una de las condiciones experimentales.

			Intervalo temporal (ms)						
Condición	**Factores e interacciones significativas**	**g.l.**	**80-100**	**100-120**	**120-140**	**200-220**	**220-240**	**240-260**	**260-280**
FÁCIL	R	7,63		ε=.188 *F*=4.912;*p*=.039	ε= .209 *F*=5.941;*p*=.021	ε=.197 *F*=20.599;*p*=.0005	ε=.201 *F*=25.422;*p*=.0005	ε=.197 *F*=22.979;*p*=.0005	ε=.187 *F*=15.561;*p*=.001
	V	1,9			*F*=6.644;*p*=.030	*F*=13.318;*p*=.005	*F*=6.597;*p*=.030	*F*=7.817;*p*=.021	*F*=7.843;*p*=.021
	R x H	7,63							ε=.216 *F*=4.446;*p*=.041
	H x CV	1,9	*F*=74.983;*p*=.0005	*F*=16.831;*p*=.003					
	R x H x CV	7,63	ε=.299 *F*=16.403;*p*=.0005	ε=.292 *F*=21.747;*p*=.0005	ε=.247 *F*=7.542;*p*=.007	ε=.269 *F*=11.524;*p*=.001	ε=.288 *F*=12.556;*p*=.0005	ε=.248 *F*=8.243;*p*=.005	ε=.253 *F*=6.324;*p*=.011
DIFÍCIL	R	7,63		ε=.192 *F*=7.540;*p*=.013	ε=.205 *F*=7.270;*p*=.012	ε=.205 *F*=29.818;*p*=.0005	ε=.205 *F*=29.735;*p*=.0005	ε=.190 *F*=26.827;*p*=.0005	ε=.181 *F*=16.481;*p*=.001
	R x V	7,63		ε=.210 *F*=5.210;*p*=.029					
	R x H	7,63						ε=.279 *F*=4.204;*p*=.033	ε=.271 *F*=6.633;*p*=.008
	R x CV	7,63					ε=.212 *F*=4.158;*p*=.049		
	H x CV	1,9	*F*=56.251;*p*=.0005	*F*=13.304;*p*=.005					
	R x H x V	7,63	*F*=2.709;*p*=.016						ε=.415 *F*=3.528;*p*=.030
	V x H x CV	1,9	*F*=7.370;*p*=.024						
	R x H x CV	7,63	ε=.259 *F*=22.678;*p*=.0005	ε=.260 *F*=18.538;*p*=.0005	ε=.233 *F*=6.635;*p*=.012	ε=.266 *F*=10.289;*p*=.001	ε=.240 *F*=10.220;*p*=.002	ε=.254 *F*=6.750;*p*=.009	ε=.251 *F*=5.487;*p*=.018

R = Región; V = Valencia; H = Hemisferio; CV = Campo visual; En sombreado se presentan los efectos e interacciones significativas del factor Valencia.

Tabla 12. Efectos e interacciones significativas de primer y segundo orden obtenidos en el análisis de las amplitudes medias en las distintas regiones evaluadas para la condición fácil.

Región	Intervalos temporales (ms) (g.l.: 1,9)						
	80-100	**100-120**	**120-140**	**200-220**	**220-240**	**240-260**	**260-280**
Frontal	V *F*=7.558; *p*= .023						
Frontocentral	V *F*=9.257; *p*= .014	V *F*=6.863; *p*= .028	V *F*=6.603; *p*= .030	V *F*=5.678; *p*= .041			V *F*=7.262; *p*= .025
Central	V *F*=5.814; *p*= .039	V *F*=6.777; *p*= .029	V *F*=7.745; *p*= .021	V *F*=17.866; *p*= .002		V *F*=9.393; *p*= .013	V *F*=10.015; *p*= .011
Centroparietal		V *F*=5.383; *p*= .045 V x H x CV *F*=5.559; *p*= .043	V *F*=8.095; *p*= .019	V *F*=17.256; *p*= .002	V *F*=8.522; *p*= .017	V *F*=11.046; *p*= .009	V *F*=10.086; *p*= .011
Parietal		V x H x CV *F*=5.883; *p*= .038	V *F*=7.046; *p*= .026	V *F*=5.947; *p*= .037		V *F*=5.873; *p*= .038	V *F*=5.819; *p*= .039
Parietoccipital		V x CV *F*=5.445; *p*= .045 V x H x CV *F*=6.960; *p*= .027	V *F*=6.191; *p*= .035				V x H x CV *F*=22.622; *p*= .001
Occipital	V x CV *F*=6.152; *p*= .035	V x CV *F*=7.446; *p*= .023	V *F*=5.213; *p*= .048				V x H x CV *F*=7.029; *p*= .026
Temporal	V x CV *F*=11.270; *p*= .008	V x CV *F*=6.807; *p*= .036					

H = Hemisferio; V = Valencia; CV = Campo visual; En sombreado se presentan los efectos significativos del factor Valencia.

Tabla 13. Efectos e interacciones significativas de primer y segundo orden obtenidos en el análisis de las amplitudes medias en las distintas regiones evaluadas para la condición difícil.

	Intervalos temporales (ms) (g.l.: 1,9)						
Región	**80-100**	**100-120**	**120-140**	**200-220**	**220-240**	**240-260**	**260-280**
Frontal							
Frontocentral							
Central							
Centroparietal	V x H x CV *F*=6.754; *p*= .029						
Parietal	V x H x CV *F*=9.753; *p*= .012	V x H x CV *F*=5.951; *p*= .037					V x H x CV *F*=6.203; *p*= .034
Parietoccipital	V x H x CV *F*=8.524; *p*= .017						
Occipital	V x H x CV *F*=5.610; *p*= .042	V x H x CV *F*=5.228; *p*= .048					
Temporal	H x V *F*=7.301; *p*= .024 V x H x CV *F*=11.296;*p*= .008	V x H x CV *F*=9.754; *p*= .012			V x H x CV *F*=24.069;*p*= .001		H x V *F*=6.291; *p*= .033

H = Hemisferio; V = Valencia; CV = Campo visual

Según se puede apreciar en la Tabla 12, en la **condición fácil,** y para el **segmento temporal más temprano** de los dos evaluados (80-140 ms), el factor Valencia ejerció efectos significativos, principales o por interacción, en todo el pericráneo, con mayores amplitudes negativas ante estímulos emocionales que ante neutros. En la región frontal este factor fue significativo en el primer intervalo (80-100 ms); en las regiones frontocentral y central lo fue en los tres (80-140 ms).

En las regiones más posteriores, los efectos de Valencia fueron significativos entre los 120 y los 140 ms (con la única excepción de la zona temporal), pero en los intervalos previos se vieron más restringidos. Como se puede observar en la Tabla 14, este factor no fue significativo, entre los 80 y los 100 ms en las regiones centroparietal, parietal y parietooccipital; su significación estuvo modulada por el campo visual de presentación del estímulo entre los 100 y los 120 ms: en los electrodos centroparietales fue significativa para todos los estímulos en el hemisferio izquierdo, pero sólo para los ipsilaterales en el hemisferio derecho; en la parietal lo fue para los estímulos presentados en el campo visual derecho, y en la parietooccipital para estos estímulos en el hemisferio ipsilateral.

Por último, en las regiones occipital y temporal la valencia tuvo efecto significativo para los estímulos presentados en el campo visual derecho entre los 80 y los 120 ms.

Tabla 14. Significación del factor Valencia en función del hemisferio o del campo visual en las regiones posteriores para los intervalos 80-100 y 100-120 ms, condición fácil.

Región	**Valencia** (g.l.: 1,9)	
	80-100 ms	**100-120 ms**
Centroparietal	--	HI: F = 6.107; p = .035 HD-CVD: F = 8.837; p = .016
Parietal	--	CVD: F = 8.294; p = .018
Parietooccipital	--	CVD: F = 8.816; p = .016 H x V: F = 12.103; p = .007 HD: F = 12.387; p = .007
Occipital	CVD: F = 6.851, p = .028	CVD: F = 13.601, p = .005
Temporal	CVD: F = 5.383; p = .045	CVD: F = 8.327; p = .018

CV = Campo visual (CVD = derecho; CVI = izquierdo); H = Hemisferio (HD = derecho; HI = izquierdo); V = Valencia

En la **condición difícil** (Tabla 13)**,** y en este mismo segmento temporal, los efectos del factor Valencia fueron sustancialmente menores. No tuvo ningún efecto en las regiones frontal, frontocentral y central a lo largo de todo el segmento, ni tampoco, para el último intervalo (120-140 ms), en las restantes zonas craneales. En los intervalos más tempranos se vio modulado por el hemisferio de registro y el campo visual de presentación de los estímulos entre los 80 y los 100 ms en todas las regiones posteriores (centroparietal, parietal, parietoccipital, occipital y temporal) y más restringidamente (regiones parietal, temporal y occipital) entre los 100 y los 120.

Los análisis adicionales realizados para determinar esta modulación indicaron, en primer lugar, un efecto de valencia, en el hemisferio derecho para los estímulos presentados en el campo visual izquierdo, en las regiones temporal, parietoccipital y occipital en el intervalo inicial (80-100 ms); sin embargo, es de destacar que este efecto de valencia fue opuesto al descrito en la condición fácil: los estímulos neutros provocaron amplitudes más negativas que los emocionales (Tabla 15).

Tabla 15. Significación del factor Valencia en el hemisferio derecho ante estímulos presentados en el campo visual izquierdo en el intervalo 80-100 ms, condición difícil.

Hemisferio derecho- **Estímulos contralaterales** **Región**	**Valencia** (g.l.: 1,9)
Temporal	F = 5.802; p = .039 (neutro < emocional)
Parietoccipital	F = 7.779; p = .021 (neutro < emocional)
Occipital	F = 7.400; p = .024 (neutro < emocional)

Además, estos análisis indicaron que los efectos de lateralidad determinados por las interacciones Hemisferio x Campo Visual fueron más marcados ante los estímulos emocionales que ante los neutros. Ante los primeros, en el intervalo 80-100 ms, se observó mayor negatividad del trazado de PE para los estímulos presentados en el campo visual ipsilateral al

hemisferio de registro que para los del campo contralateral en las regiones parietal, parietoccipital y temporal en ambos hemisferios, en la región centroparietal en el hemisferio izquierdo y en la occipital en el derecho. Sin embargo, ante los estímulos neutros esta lateralización quedó restringida a las regiones parietoccipitales y temporales izquierdas (Tabla 16).

Tabla 16. Efectos de lateralidad (H x CV) en función de la valencia del estímulo en las regiones con interacciones V x H x CV significativas en el intervalo 80-100 ms, condición difícil.

Región	**Valencia**	**H x CV** (g.l.: 1,9)	**Hemisferio**	**Campo Visual** (g.l.: 1,9)
Centroparietal	Emocional	*F*=32.655; *p*= .0005	Derecho	n.s.
			Izquierdo	*F*=6.357; *p*= .033 (ipsi < contra)
	Neutra	*F*=13.085; *p*= .006	Derecho	n.s
			Izquierdo	n.s.
Parietal	Emocional	*F*=46.339; *p*= .0005	Derecho	*F*=7.311; *p*= .024 (ipsi < contra)
			Izquierdo	*F*=7.092; *p*= .026 (ipsi < contra)
	Neutra	*F*=30.448; *p*= .0005	Derecho	n.s.
			Izquierdo	n.s.
Parietoccipital	Emocional	*F*=42.321; *p*= .0005	Derecho	*F*=9.233; *p*= .014 (ipsi < contra)
			Izquierdo	*F*=8.920; *p*= .015 (ipsi < contra)
	Neutra	*F*=33.399; *p*= .0005	Derecho	n.s.
			Izquierdo	*F*=6.485; *p*= .031 (ipsi < contra)
Occipital	Emocional	*F*=20.699; *p*= .001	Derecho	*F*=8.279; *p*= .018 (ipsi < contra)
			Izquierdo	n.s.
	Neutra	*F*=22.992; *p*= .001	Derecho	n.s.
			Izquierdo	n.s.
Temporal	Emocional	*F*=99.509; *p*= .0005	Derecho	*F*=21.651; *p*= .001 (ipsi < contra)
			Izquierdo	*F*=17.626; *p*= .002 (ipsi < contra)
	Neutra	*F*=38.040; *p*= .0005	Derecho	n.s.
			Izquierdo	*F*=6.518; *p*= .031 (ipsi < contra)

H = Hemisferio; V = Valencia; CV = Campo visual; ipsi = ipsilateral; contra = contralateral; n. s. = no significativo

En el intervalo 100-120 ms los estímulos emocionales dieron lugar a un trazado más negativo en el hemisferio ipsilateral al campo visual de presentación, en los dos hemisferios para la región temporal y en el derecho para la parietal y la occipital; los estímulos neutros sólo dieron lugar a esta lateralización en la región temporal derecha (Tabla 17).

Tabla 17. Efectos de lateralidad (H x CV) en función de la valencia del estímulo en las regiones con interacciones V x H x CV significativas en el intervalo 100-120 ms, condición difícil.

Región	**Valencia**	**H x CV** (g.l.: 1,9)	**Hemisferio**	**Campo visual** (g.l.: 1,9)
Parietal	Emocional	*F*=14.656; *p*= .004	Derecho	*F*=5.567; *p*= .043 (ipsi < contra)
			Izquierdo	n.s.
	Neutra	*F*=6.519; *p*= .031	Derecho	n.s.
			Izquierdo	n.s.
Occipital	Emocional	*F*=24.282; *p*= .001	Derecho	*F*=5.442; *p*= .045 (ipsi < contra)
			Izquierdo	n.s.
	Neutra	*F*=17.206; *p*= .002	Derecho	n.s.
			Izquierdo	n.s.
Temporal	Emocional	*F*=20.748; *p*= .001	Derecho	*F*=12.502; *p*= .006 (ipsi < contra)
			Izquierdo	*F*=10.274; *p*= .011 (ipsi < contra)
	Neutra	*F*=8.854; *p*= .016	Derecho	*F*=6.859; *p*= .028 (ipsi < contra)
			Izquierdo	n.s.

H = Hemisferio; V = Valencia; CV = Campo visual; ipsi = ipsilateral; contra = contralateral; n. s. = no significativo

En el **segundo segmento temporal** objeto de estudio (200-280 ms), de nuevo en la **condición fácil** se manifestaron los efectos más marcados del factor Valencia. En el análisis conjunto de todos los electrodos, los estímulos emocionales dieron lugar a un trazado más negativo que los neutros en todo el segmento temporal (ver Tabla 11). En el análisis por regiones, que se puede ver en la Tabla 12, se observó que este efecto de valencia fue significativo en todo el segmento analizado en la región centroparietal; estuvo presente en todos los intervalos excepto entre los 220 y 240 ms en las regiones central y parietal, y sólo al principio (200-220 ms) y al final (260-280 ms) del segmento

en la región frontocentral. En las regiones frontal y temporal la valencia no tuvo efectos significativos, y en las regiones parietoccipital y occipital tuvo un cierto efecto, modulado por el hemisferio de registro y el campo visual de presentación del estímulo, en el último intervalo (260-280 ms).

En estas dos regiones, al analizar por separado los valores de amplitud para cada tipo de estímulo, se puso de manifiesto que ante los estímulos emocionales hubo un efecto del campo visual (trazado más negativo ante estímulos presentados en el campo visual derecho que en el izquierdo) en ambas regiones, y un efecto del hemisferio (trazados más negativos en el hemisferio izquierdo que en el derecho) en la región occipital, mientras que ante los estímulos neutros sólo se apreció un efecto del hemisferio en la región occipital (Tabla 18).

Tabla 18. Efectos del campo visual de presentación del estímulo y del hemisferio de registro en función de la valencia del estímulo en las regiones con interacciones V x H x CV significativas en el intervalo 260-280 ms, condición fácil.

Región	Valencia	Campo visual	Hemisferio	H x CV
Parietoccipital	Emocional	*F*=5.683, *p*= .041 (derecho < izquierdo)	n.s.	n.s.
	Neutra	n.s.	n.s.	n.s.
Occipital	Emocional	*F*=7.989; *p*= .020 (derecho < izquierdo)	*F*=5.200; *p*= .049 (izquierdo < derecho)	n.s.
	Neutra	n.s.	*F*=8.259; *p*= .018 (izquierdo < derecho)	n.s.

H = Hemisferio; CV = Campo Visual; n. s. = no significativo

En la **condición difícil,** la valencia del estímulo distractor apenas determinó diferencias en su procesamiento. Tan sólo se observaron algunos efectos de este factor, en interacción con los factores Hemisferio y Campo Visual, en la región temporal en los intervalos 220-240 ms y 260-280 ms, y en la región parietal en el último intervalo analizado (260-280 ms) (ver Tabla 13).

Los análisis adicionales para estas interacciones no revelaron ningún efecto significativo de valencia o lateralidad entre los 220 y los 240 ms en la región temporal. En el intervalo 260-280 ms, en la región temporal se observó una amplitud significativamente más negativa en el hemisferio izquierdo que

en el derecho ($F(1, 9) = 5.351$, $p = 0.046$) ante los estímulos emocionales mientras que ante los estímulos neutros no hubo diferencias interhemisféricas. En la región parietal tan sólo se apreció una interacción significativa Hemisferio x Valencia en el campo visual izquierdo ($F(1, 9) = 5.655$, $p = 0.041$), aunque nuevos análisis no revelaron diferencias interhemisféricas significativas en función de la valencia.

En resumen, la inspección visual de los grandes promedios reveló la presencia de un desplazamiento negativo sostenido, principalmente evidente en los primeros 300 ms tras la presentación del estímulo, que parecía presentar una mayor amplitud ante estímulos emocionales. Los análisis estadísticos mostraron que las amplitudes medias de los PE ante estímulos neutros y emocionales fueron significativamente diferentes durante los intervalos de 80 a 140 ms y de 200 y 280 ms.

En el intervalo de 80-140 ms, se observó un efecto significativo de la valencia en zonas frontocentrales y centrales, que se apreció también en zonas más posteriores a los 120-140 ms. Desde los 80 a los 120 ms, en zonas posteriores este efecto no fue tan marcado, aunque sí se apreciaron interacciones con los factores Campo y Hemisferio, revelando que, en líneas generales, los efectos diferenciales de la valencia en los PE estuvieron presentes cuando los estímulos se presentaban en el campo visual derecho, efecto lateralizado al hemisferio ipsilateral en zonas parietoccipitales.

En el intervalo más tardío (200-280 ms), la respuesta diferencial a la valencia estimular presentó una distribución más central.

Un resultado destacado de estos análisis es que los efectos de la valencia anteriormente descritos sólo se observaban en la condición fácil, revelando así efectos diferenciales del valor emocional de estímulos distractores sobre los PE en función de la carga atencional de la tarea principal.

En la condición difícil no se observaron diferencias significativas entre las respuestas electrofisiológicas a estímulos emocionales y neutros en los

intervalos evaluados, con la excepción de efectos de la valencia lateralizados al hemisferio derecho en regiones temporales, parietoccipitales y occipitales cuando los estímulos se presentaban en el campo visual contralateral en la ventana temporal de 80 a 100 ms, si bien en una dirección opuesta a la observada en la condición fácil. La diferencia más relevante, en esta condición, entre el procesamiento de estímulos distractores emocionales y neutros fue la presencia de un trazado más negativo ante estímulos emocionales ipsilaterales que contralaterales al hemisferio de registro, en las regiones craneales más posteriores, principalmente evidente en el rango de latencia más temprano (80-120 ms), que no se produjo ante los estímulos neutros.

4.2.2. Resultados de PE ante estímulos objetivo

Se realizaron en primer lugar análisis globales, para las variables estudiadas, de la amplitud de P1 y N1 en las regiones craneales posteriores. En los casos en que éstos evidenciaron interacciones significativas, se procedió a realizar análisis independientes de cada uno de los factores. Además, se analizaron cada una de las condiciones de Dificultad por separado. En las tablas siguientes se presenta la información de los factores e interacciones significativas; en el texto se comentan los resultados que tuvieron confirmación en los contrastes *post-hoc* con nivel crítico corregido mediante el procedimiento de Bonferroni. En las Figuras 24 y 25 se presentan los trazados de grandes medias obtenidos en respuesta a estímulos relevantes en función del tipo de distractor previo en las condiciones fácil y difícil.

▪ Amplitud de P1

Los **análisis globales** pusieron de manifiesto que la amplitud del componente P1 fue mayor en la región occipital que en las restantes (Figura 26). Además, se observaron interacciones significativas del factor Distractor con los factores Región y Hemisferio (véase la Tabla 19).

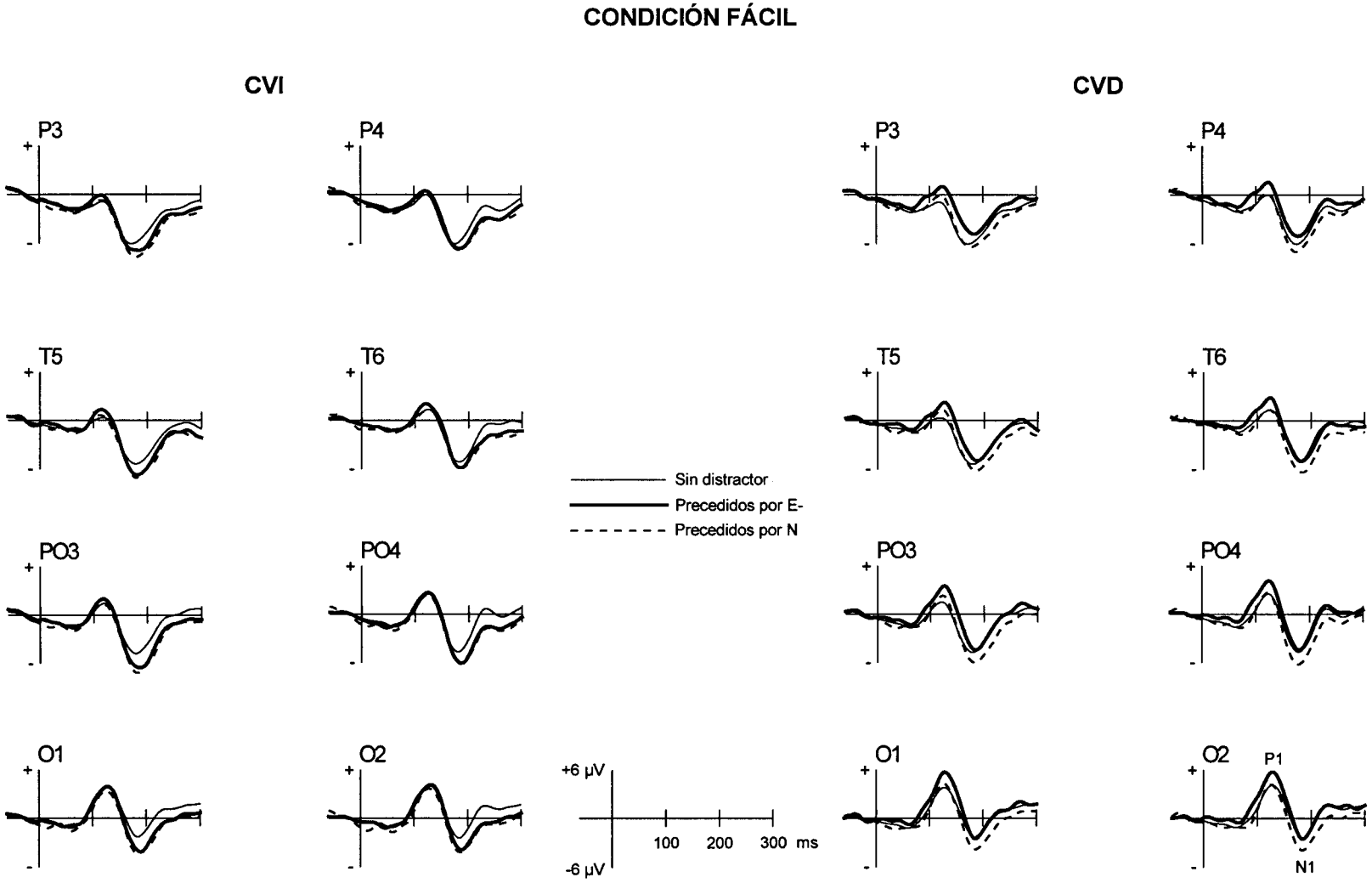

Figura 24. Condición fácil: Grandes promedios obtenidos en respuesta a los estímulos objetivo centrales no precedidos por estímulos distractores y precedidos por estímulos distractores emocionales negativos (E-) o neutros (N) presentados en el campo visual izquierdo (CVI) y el campo visual derecho (CVD).

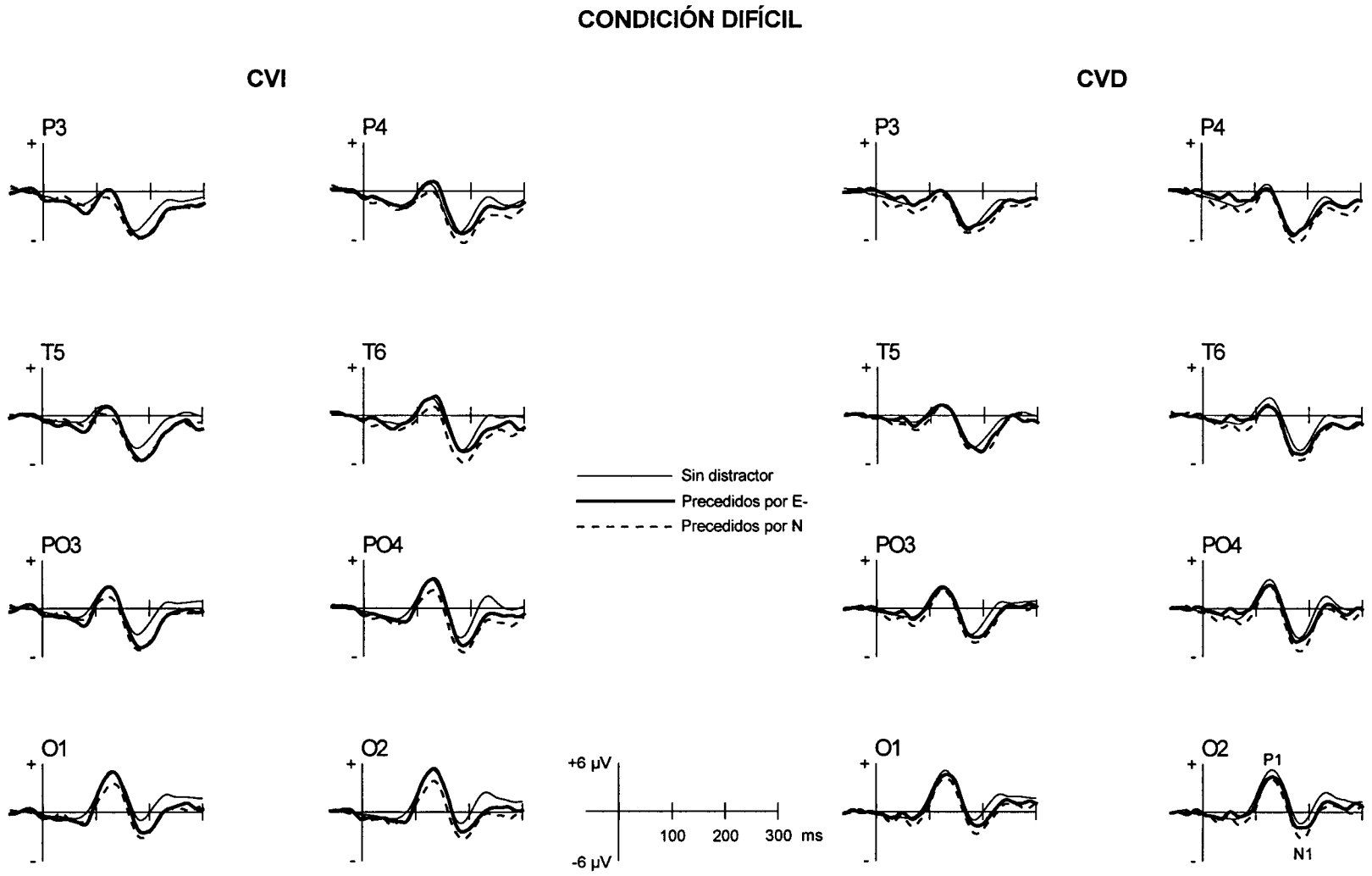

Figura 25. Condición difícil: Grandes promedios obtenidos en respuesta a los estímulos objetivo centrales no precedidos por estímulos distractores y precedidos por estímulos distractores emocionales negativos (E-) o neutros (N) presentados en el campo visual izquierdo (CVI) y el campo visual derecho (CVD).

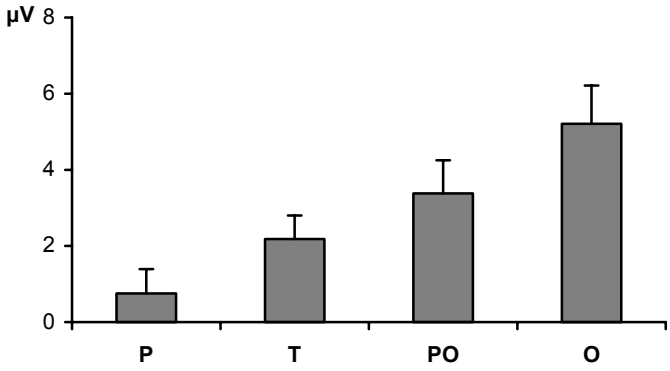

Figura 26. Medias estimadas de P1 en localizaciones parietales (P), temporales (T), parietoccipitales (PO) y occipitales (O). El valor de desviación indicado por las barras representa el error típico de la media. La amplitud de P1 fue significativamente mayor en la región occipital que en las restantes.

Tabla 19. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de P1.

Factor	**g.l.**	***F***	***p, ε***	**Contrastes *post-hoc***
Región	3, 27	50.619	.0005, .587	O>PO *p*= .002; O>P *p*= .0005; O>T *p*= .0005
Región x Distractor	12, 108	3.299	.028, .289	
Región x Hemisferio x Distractor	12, 108	2.563	.048, .371	

O = Occipital; PO = Parietoccipital; P = Parietal; T = Temporal

Los análisis **para cada región** mostraron que el efecto principal del factor Distractor sólo alcanzó significación estadística en la zona occipital, y fue significativa la interacción del factor Distractor con el factor Hemisferio en la región temporal. Los análisis de cada hemisferio revelaron un efecto principal del Distractor en el hemisferio izquierdo de la zona temporal. Estos efectos significativos del Distractor en regiones occipitales y en temporales izquierdas mostraron una tendencia a mayores amplitudes de P1 ante estímulos relevantes precedidos por estímulos distractores emocionales que ante aquéllos precedidos por distractores neutros o sin distractores previos, aunque las comparaciones posteriores con ajuste del nivel crítico no revelaron diferencias significativas (véase Tabla 20).

Tabla 20. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de P1 en cada una de las regiones craneales.

Región	Factor	*F* (4, 36)	*p*	Contrastes *post-hoc*
Occipital	Distractor	3.593	.015	n.s.
Temporal	Hemisferio x Distractor	4.510	.005	n.s.
Hemisferio derecho	--	--	--	--
Hemisferio izquierdo	Distractor	3.009	.031	n.s.

n. s. = no significativo

Dado que el análisis global no parecía revelar diferencias significativas claras entre los distintos tipos de distractores en la amplitud del componente P1 ante estímulos relevantes, se llevaron a cabo análisis adicionales para cada condición (fácil/difícil), con el objetivo de elucidar posibles efectos del factor Distractor en cada una de las condiciones.

En la **condición fácil**, se observó una interacción significativa Región x Distractor. Al estudiar independientemente el componente P1 **en cada región**, se puso de manifiesto que el factor Distractor fue significativo en zonas occipitales. Los análisis *post-hoc* indicaron que la amplitud de P1 fue mayor ante estímulos relevantes precedidos por distractores emocionales cuando éstos se presentaron en el campo visual derecho comparado con el izquierdo (Tabla 21).

Tabla 21. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de P1 en la condición fácil.

Factor	g.l.	*F*	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Región	3, 27	45.568	.0005, .562	O>PO *p*= .002; O>P *p*= .0005; O>T *p*= .0005
Región x Distractor	12, 108	3.460	.027, .267	
• Occipital	4, 36	5.429	.017, .460	E- CVD > E- CVI *p*= .019

O = Occipital; PO = Parietoccipital; P = Parietal; T = Temporal; E- = distractor emocional negativo; CVD = campo visual derecho; CVI = campo visual izquierdo

En la **condición difícil**, no se observaron efectos significativos que se viesen confirmados en las comparaciones por pares, con la excepción de las diferencias en la amplitud de P1 entre los electrodos occipitales y las restantes localizaciones analizadas (Tabla 22).

Tabla 22. Factores e interacciones significativas en la amplitud de P1 en la condición difícil.

Factor	g.l.	*F*	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Región	3, 27	50.356	.0005, .604	O>PO *p*= .002; O>P *p*= .0005; O>T *p*= .0005

O = Occipital; PO = Parietoccipital; P = Parietal; T = Temporal; n.s. = no significativo

▪ Amplitud de N1

En los **análisis globales**, destacó el hecho de que la amplitud del componente N1 resultó ser mayor en la condición de discriminación fácil que en la difícil. Además, este componente fue menor en la región occipital que en las restantes (Figura 27), y fueron significativas las interacciones del factor Distractor con los factores Región y Hemisferio (Tabla 23).

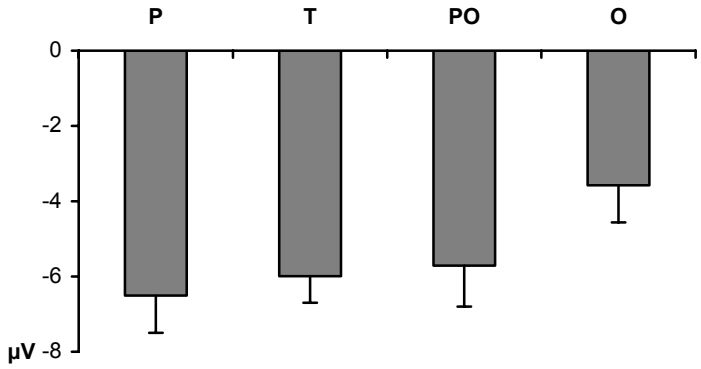

Figura 27. Medias estimadas de N1 en localizaciones parietales (P), temporales (T), parietoccipitales (PO) y occipitales (O). El valor de desviación indicado por las barras representa el error típico de la media. La amplitud de N1 fue significativamente menor en la región occipital que en las restantes.

Tabla 23. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1.

Factor	g.l.	*F*	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Dificultad	1, 9	8.082	.019	
Región	3, 27	15.529	.0005	O<PO *p*= .001; O<P *p*= .001; O<T *p*= .006
Distractor	4, 36	3.818	.011	n.s.
Región x Distractor	12, 108	3.173	.031, .295	
Hemisferio x Distractor	4, 36	4.261	.006	

O = Occipital; PO = Parietoccipital; P = Parietal; T = Temporal; n.s. = no significativo

Los análisis **para cada región** pusieron de manifiesto que, si bien la significación del factor Distractor estuvo presente en todas ellas, las comparaciones *post-hoc* no fueron significativas (Tabla 24).

Tabla 24. Significación del factor Distractor sobre la amplitud de N1 en cada una de las regiones craneales.

Región	*F*(4, 36)	*p*	Contrastes *post-hoc*
Occipital	4.549	.004	n.s.
Parietooccipital	4.250	.006	n.s.
Temporal	2.760	.042	n.s.
Parietal	3.303	.021	n.s.

n.s. = no significativo

En cuanto a los análisis de cada hemisferio, se puso en evidencia que el efecto principal del Distractor sólo estaba presente en el **hemisferio izquierdo**. La amplitud de N1 fue mayor ante estímulos precedidos por distractores emocionales ipsilaterales que ante estímulos no precedidos por distractores, efecto éste que estuvo presente en todas las regiones topográficas. Además, y sólo en la región parietoccipital, se observó mayor amplitud de N1 ante estímulos precedidos por distractores neutros ipsilaterales que ante estímulos no precedidos por distractores (Tabla 25).

Al estudiar independientemente el componente N1 en cada una de las condiciones de dificultad, los análisis de la **condición fácil** pusieron de manifiesto diferencias en la amplitud de N1 en función del tipo de distractor que precedía al estímulo relevante, que los análisis *post-hoc* confirmaron para las regiones **temporal y parietal izquierdas**. En la primera, la amplitud de N1 difirió, en aquellos casos en que el estímulo relevante iba precedido por distractores emocionales, en función de la localización ipsilateral o contralateral de éstos (mayor en presentación ipsilateral). En la región parietal izquierda se apreciaron diferencias entre estímulos precedidos por distractores emocionales contralaterales y distractores neutros ipsilaterales (mayor tras distractores neutros ipsilaterales)(Tablas 26, 27 y 28).

Tabla 25. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1 de los factores analizados en cada hemisferio.

Hemisferio	Factor	Región	g.l.	*F*	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Izquierdo	Distractor	Global	4, 36	6.044	.001	E- ipsi > No distract *p*= .003
	Región x Distractor	Global	12, 108	2.880	.040, .313	
	Distractor	Occipital	4, 36	6.152	.001	E- ipsi > No distract *p*= .007
	Distractor	Parietooccipital	4, 36	6.178	.001	E- ipsi > No distract *p*= .002 N ipsi > No distract *p*= .050
	Distractor	Temporal	4, 36	5.432	.002	E- ipsi > No distract *p*= .002
	Distractor	Parietal	4, 36	5.044	.002	E- ipsi > No distract *p*= .047
Derecho	Región x Distractor	Global	12, 108	2.928	.035, .329	
	Distractor	Occipital	4, 36	3.047	.029	n.s.
	Distractor	Parietooccipital	4, 36	2.642	.049	n.s.

E- = distractor emocional negativo; N = distractor neutro; ipsi = ipsilateral; n. s. = no significativo

Tabla 26. Factores e interacciones significativas en la amplitud de N1 en la condición fácil.

Factor	g.l.	*F*	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Región	3, 27	14.480	.0005	O<PO *p*= .001; O<P *p*= .002; O<T *p*= .011
Distractor	4, 36	3.946	.009	n.s.
Región x Distractor	12, 108	2.612	.045, .366	
Hemisferio x Distractor	4, 36	4.210	.007	

O = Occipital; PO = Parietoccipital; P = Parietal; T = Temporal; n. s. = no significativo

Tabla 27. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1 en cada una de las regiones craneales en la condición fácil.

Región	Factor	F(4, 36)	*p*	Contrastes *post-hoc*
Occipital	Distractor	3.932	.010	n.s.
Parietooccipital	Distractor	4.322	.006	n.s.
Temporal	Hemisferio x Distractor	5.125	.002	
Parietal	Distractor	4.351	.006	n.s.
	Hemisferio x Distractor	4.082	.008	

n. s. = no significativo

Tabla 28. Factores e interacciones significativas sobre la amplitud de N1 en cada hemisferio en la condición fácil.

Hemisferio	Región	Factor	g.l.	F	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Izquierdo	Global	Distractor	4, 36	5.889	.001	n.s.
	Temporal	Distractor	4, 36	5.513	.001	E- ipsi> E- contra
	Parietal	Distractor	4, 36	6.191	.001	N ipsi > E- contra
Derecho	Global	Región x Distractor	12, 108	3.185	.016, .412	
	Occipital	Distractor	4, 36	3.118	.027	n.s.
	Parietooccipital	Distractor	4, 36	2.970	.032	n.s.
	Parietal	Distractor	4, 36	2.898	.035	n.s.

E- = distractor emocional negativo; N = distractor neutro; ipsi = ipsilateral; contra = contralateral; n.s. = no significativo

En la **condición difícil** no hubo efectos significativos que se viesen confirmados en los contrastes *post-hoc*, con la excepción de las diferencias en amplitud de N1 entre la región occipital y las restantes regiones analizadas (Tabla 29).

Tabla 29. Factores e interacciones significativas en la amplitud de N1 en la condición difícil.

Factor	g.l.	F	*p, ε*	Contrastes *post-hoc*
Región	3, 27	15.876	.0005	O<PO *p*= .001; O<P *p*= .001; O<T *p*= .004

O = Occipital; PO = Parietoccipital; P = Parietal; T = Temporal

En resumen, estos resultados indican que los estímulos distractores presentados en la periferia del campo visual afectan al procesamiento sensorial de estímulos relevantes centrales. La amplitud del componente P1 en la región occipital se encuentra afectada por la presentación previa de estímulos con valor emocional negativo en el campo visual derecho. La amplitud del componente N1 en las regiones temporal y parietal del hemisferio izquierdo resulta modulada por la presencia previa de estímulos distractores (neutros y emocionales) en el campo visual ipsilateral. Estos efectos moduladores sólo se observaron bajo condiciones de carga atencional baja.

5. DISCUSIÓN

El principal objetivo del presente estudio era determinar si los estímulos emocionales negativos, presentados en localizaciones periféricas irrelevantes a la tarea, son más efectivos que los neutros en la captura de la atención mientras ésta se encuentra focalizada en una tarea relevante en la fijación. Se trataba también de evaluar la influencia sobre esta captura de la carga de procesamiento de la tarea principal. La atención automática a estímulos emocionales en función de la carga se evaluó mediante dos estrategias: (1) registrando la amplitud de N1-P2 ante estímulos distractores con valencia emocional negativa y neutra en condiciones de carga atencional alta y baja y (2) analizando el efecto de los distractores irrelevantes con distinta valencia sobre el procesamiento sensorial de los estímulos relevantes a la tarea (reflejado en los componentes P1 y N1).

A continuación se discutirán los principales resultados obtenidos en nuestra investigación.

5.1. Los estímulos distractores con valencia emocional negativa capturan la atención de forma automática sólo en condiciones de baja carga atencional: evidencia desde las modulaciones de amplitud de N1-P2.

Uno de los resultados más relevantes de este experimento fue la mayor amplitud de N1-P2, en zonas parietoccipitales y occipitales, ante estímulos emocionales negativos que ante estímulos neutros, sólo en condiciones de carga atencional baja en la tarea principal. Se ha propuesto que el componente P200 refleja un proceso de atención temprana que facilita la detección y reacción rápida ante estímulos biológicamente significativos, tales como sucesos con connotaciones negativas (Carretié, Martín-Loeches *et al.*, 2001). Este componente ha sido relacionado con el sesgo de negatividad (Carretié, Mercado, Tapia e Hinojosa, 2001). Se ha ofrecido evidencia, a su vez, de que el componente P2 está asociado con un proceso de captura automática de la atención hacia estímulos emocionales (negativos y positivos) irrelevantes, mientras la atención está focalizada en una tarea (Carretié *et al*., 2004). Los resultados descritos en este experimento están en línea, a su vez, con las modulaciones en los PE descritas por Delplanque, Lavoie, Hot, Silvert y Sequeira (2004) durante el procesamiento de láminas IAPS que no requerían una categorización explícita de la valencia. Los autores informaron de componentes P1 (150-165 ms) y P2 (180-213 ms) mayores ante estímulos negativos que ante estímulos positivos en regiones parietoccipitales. Nuestros resultados están en línea con los estudios de PE previos; soportan, así, la hipótesis de que la atención se dirige de un modo preferente hacia estímulos con valencia emocional negativa, resultando en la captura automática de la atención en condiciones en las que el control *top-down* se encuentra focalizado en una tarea relevante. Las modulaciones observadas en N1-P2 amplían estos hallazgos, al revelar que estos efectos están influidos por la carga atencional de la tarea relevante; esto es, la asignación involuntaria de la atención hacia distractores emocionales sólo se apreció en condiciones en las que había suficientes recursos de atención disponibles para asignar a localizaciones irrelevantes a la tarea (carga atencional baja), pero no en

condiciones de carga de procesamiento alta, donde la atención se encontraba focalizada en una tarea altamente demandante.

Se han propuesto dos focos de generación neural del componente P2, uno anterior (córtex cingulado anterior) más implicado durante condiciones de atención automática (Carretié *et al.*, 2004), y otro más posterior (córtex de asociación visual). La modulación del procesamiento en el córtex visual en función del significado emocional de los estímulos es un resultado consistentemente informado en estudios previos (Kosslyn *et al.*, 1996; Lane *et al.*, 1997; Lang *et al.*, 1998; Mourão-Miranda *et al.*, 2003; Taylor *et al.*, 2000), los cuales han mostrado que los estímulos emocionales provocan una mayor activación en áreas visuales corticales que los estímulos neutros. En esta fase de nuestra investigación, no se han utilizado técnicas para la localización de fuentes neurales de actividad, por lo que no se presentan estimaciones de las fuentes generadoras del componente P2. No obstante, la amplitud máxima observada en zonas parietooccipitales y occipitales sugiere una localización en áreas dorsales del córtex visual, consistente con la significación funcional propuesta para este componente como un índice de una respuesta atencional inicial que tendría como objetivo la facilitación de una reacción rápida a estímulos con valor emocional negativo. Serán necesarios análisis posteriores para poder estimar las regiones cerebrales asociadas con esta respuesta, mediante el uso de las técnicas de tratamiento de datos adecuadas.

En relación con esto, nuestros resultados también indicaron que la amplitud de N1-P2 fue mayor en el hemisferio derecho cuando los estímulos distractores se presentaban contralateralmente. Este efecto también fue encontrado en estudios de neuroimagen (Lang *et al.*, 1998).

En segundo lugar, el presente estudio indica que la captura de la atención por estímulos emocionales depende de la disponibilidad de recursos atencionales. Los resultados conductuales permitieron confirmar que las distintas condiciones experimentales implicaron cambios significativos en la demanda atencional: los TR indicaron que los distractores presentados en la periferia del campo visual, independientemente de su valencia afectiva, capturaron la atención en la condición de tarea de carga baja, una

interferencia que no se produjo cuando se incrementaron las demandas atencionales de la tarea relevante. Estos datos, junto con el elevado porcentaje de errores en la condición difícil (comparada con la fácil) indican que la manipulación del foco atencional fue correcta. El hecho de que en la condición de carga central alta el efecto de interferencia de los estímulos distractores fuese menor, es consistente con estudios conductuales previos (Lavie, 1995). Los datos conductuales no fueron, sin embargo, sensibles al valor emocional de los estímulos, un efecto que sí se apreció en los PE. Como se ha indicado, la amplitud de N1-P2 fue mayor ante estímulos emocionales que neutros sólo en la condición de baja carga atencional de la tarea primaria. Este resultado es consistente con los de estudios de neuroimagen, que han mostrado una reducción de las respuestas del córtex visual a estimulación irrelevante presentada en la periferia del campo visual cuando se incrementa la carga de procesamiento de una tarea relevante presentada en la fijación (Rees *et al.*, 1997; Schwartz *et al.*, 2005).

La modulación de la actividad cerebral provocada por estímulos con contenido emocional negativo también se observó a los 80-140 ms y 200-280 ms postestímulo, en la condición de baja carga atencional: las láminas afectivas negativas provocaron mayores negatividades que las neutras con una distribución predominantemente frontocentral desde los 80 a 140 ms postestímulo, y más centroparietal desde los 200 a 280 ms.

Se ha observado una diferenciación temprana en los PE entre estímulos (expresiones faciales) evaluados como agradables o desagradables por los sujetos en estudios previos durante condiciones de observación pasiva (Pizzagalli *et al.*, 1999). No obstante, en otros estudios en los que las expresiones faciales emocionales se presentaban en localizaciones no atendidas no se han observado efectos de la valencia emocional (Eimer *et al.*, 2003; Holmes *et al.*, 2003). Holmes *et al.* (2003) hallaron una mayor positividad frontal en el rango de latencia de 100 a 120 ms postestímulo en respuesta a expresiones faciales de temor comparadas con expresiones

neutras cuando eran atendidas, pero no cuando se presentaron en localizaciones irrelevantes a la tarea. Como ya se ha indicado, estos autores concluyeron que, aunque la amígdala podría mediar la detección inicial, rápida y automática de estímulos emocionales presentados fuera del foco de atención, los estadios posteriores de procesamiento emocional requieren la focalización atencional. En un estudio posterior, Eimer *et al.* (2003) extendieron estos hallazgos a las seis expresiones emocionales básicas: los PE generados por las expresiones emocionales se diferenciaron de los generados por las neutras (fueron más positivos a partir de 160 ms en zonas frontales y más negativos entre los 220 y 320 ms en zonas temporoparietales) sólo cuando su valor emocional era explícitamente atendido.

No obstante, en nuestro estudio, se observó un efecto frontocentral temprano (80-140 ms) de la valencia emocional de estímulos presentados fuera del foco de atención, en condiciones de baja carga atencional. Las diferencias existentes en el diseño experimental entre este estudio y los de Holmes y cols. y Eimer y cols. dificultan la comparación directa de los resultados. En este sentido, cabe destacar que en sus estudios los estímulos distractores eran caras que se presentaban de forma simultánea con los estímulos relevantes, mientras que en nuestro experimento las láminas IAPS distractoras aparecían durante el intervalo entre E1 y E2 de una tarea de emparejamiento. Aunque este tipo de tareas garantiza la continua monitorización de la localización relevante (la fijación central), la presentación simultánea de estímulos empleada por Holmes *et al.* y Eimer *et al.* implica una mayor competición para los recursos neurales. Cabe la posibilidad así, que su tarea implicase mayores demandas de procesamiento que la utilizada en nuestro estudio en la condición de baja carga atencional.

Aunque ya se ha dicho que la metodología de análisis empleada en esta fase de la investigación no posibilita la estimación de generadores neurales, otros estudios han indicado la implicación del córtex prefrontal en el procesamiento emocional (Bar, 2003; Esslen, Pascual-Marqui, Hell, Kochi y Lehmann, 2004; Phan, Wager, Taylor y Liberzon, 2002), y la presencia de una respuesta electrofisiológica frontal a estímulos con valor negativo en latencias

cortas ha sido informada también en investigaciones previas (Carretié *et al.*, 2004; Carretié *et al.*, 2005; Holmes *et al.*, 2003; Kawasaki *et al.*, 2001). Kawasaki *et al.* (2001) registraron respuestas neuronales diferenciales a estímulos visuales negativos (tanto láminas IAPS como estímulos faciales) en un rango de latencia desde los 120 a 170 ms en zonas prefrontales ventromediales. Estos autores sugieren que los circuitos prefrontales pueden proporcionar una categorización rápida de la emoción, y que esta respuesta prefrontal podría modular el procesamiento de información visual en otras regiones cerebrales.

En este mismo sentido, Carretié *et al.* (2005) informaron de una mayor activación en el córtex prefrontal ventromedial, sobre los 150 ms, ante señales de peligro que ante imágenes no negativas, no percibidas de un modo consciente. Hallaron, además, una activación diferencial más tardía (en torno a los 500 ms postestímulo) en varias regiones corticales posteriores (incluyendo el córtex cingulado posterior y el córtex de asociación visual). Esta evidencia experimental es consistente con la perspectiva de que el córtex prefrontal ventromedial se encuentra implicado en la regulación *top-down* de la atención mediante la modulación de la actividad de áreas visuales posteriores, facilitando de forma automática el procesamiento del peligro.

En línea con estas propuestas, es plausible postular que la respuesta diferencial en la región anterior observada ante estímulos con valencia emocional en el presente trabajo, sea un correlato de la implicación del córtex prefrontal en un mecanismo de facilitación *top-down* del sistema de procesamiento visual. La respuesta atencional temprana (reflejada en el componente N1-P2) en la región pericraneal posterior ante estímulos negativos podría ser el resultado de estos efectos moduladores del córtex prefrontal sobre el córtex visual.

Sin embargo, la variación de la carga de procesamiento relevante entre distintas condiciones experimentales nos permitió apreciar que, aunque estos efectos pueden estar presentes bajo algunas condiciones, parecen estar fuertemente influidos por la disponibilidad de recursos atencionales, puesto que no se observaron cuando la atención estaba focalizada en una tarea

altamente demandante (condición difícil). En esta primera ventana temporal (80-140 ms) se encontraron algunas diferencias estadísticamente significativas entre los distractores emocionales y neutros pero (1) restringidas a áreas posteriores y a una breve ventana temporal –80 a 100 ms– y (2) con un sentido –mayor negatividad ante los estímulos neutros o los emocionales– variable en función del hemisferio de registro y de la localización –ipsilateral o contralateral– del estímulo. Así, nuestros resultados parecen ir más en la línea de la hipótesis propuesta por Pessoa, Kastner *et al.* (2002), de que el procesamiento de estímulos emocionales, al igual que el de otras categorías estimulares, requieren la disponibilidad de recursos de atención.

Estos resultados parecen constituir un ejemplo más de la combinación de influencias *bottom-up* y *top-down* sobre la regulación de la conducta. Tal como se señalaba en la introducción (Vuilleumier *et al.*, 2004), la facilitación del procesamiento sensorial de los estímulos emocionales puede producirse vía proyecciones directas (influencias *bottom-up*) al córtex visual (Amaral *et al.*, 1992), y vía indirecta, a través de proyecciones a áreas prefrontales implicadas en el control atencional *top-down* (Pessoa, Kastner *et al.*, 2002). Las conexiones recíprocas del córtex prefrontal ventromedial con la amígdala parecen posibilitar tanto la determinación del valor afectivo de los estímulos como la modulación *top-down* del procesamiento amigdalino. La red de conexiones dentro del córtex prefrontal entre las regiones ventromediales y las dorsolaterales, implicadas en el mantenimiento en la memoria de trabajo de las representaciones relevantes a la tarea, posibilitaría al córtex prefrontal seleccionar o suprimir información emocionalmente relevante en función de las demandas de la tarea (Compton, 2003). Simpson *et al.* (2000) han propuesto, en este mismo sentido, que algunas tareas cognitivas que implican una demanda atencional alta podrían atenuar la monitorización del ambiente llevada a cabo, en función del estado motivacional del individuo, por áreas del córtex prefrontal ventromedial. Nuestros resultados son consistentes con ésto, ya que parecen indicar que la información de estímulos irrelevantes con valor emocional puede ser completamente suprimida si la atención está muy

focalizada (al menos en situaciones de laboratorio en las que las potenciales consecuencias de esos estímulos son nulas).

En cuanto al segundo intervalo temporal analizado (200-280 ms), la respuesta diferencial a la valencia presentó una distribución más centroparietal, y fue significativa de nuevo sólo cuando la carga atencional de la tarea principal era menor.

Las modulaciones de la amplitud de los PE en este rango de latencia, con mayores negatividades ante estímulos con valor emocional negativo, han sido informadas en varios estudios recientes. Liddell, Williams, Rathjen, Shevrin y Gordon (2004) hallaron mayores amplitudes del componente N2 (en el rango de latencia de 200 a 300 ms), con una distribución central, ante la presentación subliminal de expresiones faciales de temor comparadas con neutras. Esta modulación fue interpretada como un correlato del procesamiento automático de la expresión facial emocional. Este tipo de efectos también se han apreciado ante imágenes del IAPS. Junghöfer *et al.* (2001) observaron una discriminación afectiva en el sistema visual durante la presentación serial rápida de estímulos visuales complejos (láminas IAPS), en condiciones sin una instrucción de tarea explícita. Los estímulos emocionales con *arousal* alto provocaban PE más negativos desde los 150 ms del comienzo del estímulo, con una diferencia máxima aproximadamente a los 260 ms, sobre áreas de procesamiento visual (córtex occipital bilateral y córtex parietal derecho). Schupp *et al.* (2003a) registraron PE hacia láminas IAPS positivas, neutras y negativas irrelevantes a la tarea mientras los sujetos tenían que detectar estímulos relevantes (dameros) entremezclados en la secuencia de láminas; sus resultados mostraron una discriminación afectiva (reflejada en mayores amplitudes de la negatividad temporo-occipital EPN ante láminas afectivas) en condiciones en las que el control atencional *top-down* se dirigía a una tarea primaria.

Los distintos procedimientos experimentales empleados en estos estudios y en el trabajo que aquí se presenta, no permiten una comparación

de detalle entre los resultados o una explicación de las diferencias observadas en la distribución topográfica de los efectos. A pesar de ello, sí es plausible proponer que los resultados del experimento descrito en este trabajo están en línea con los estudios que indican que se produce una respuesta automática a estímulos emocionales, bien sean caras (Liddell *et al.*, 2004) o láminas IAPS (Junghöfer *et al.*, 2001; Schupp *et al.*, 2003a) que no depende de su categorización explícita y que puede estar presente cuando la atención está focalizada en una tarea principal (Schupp *et al.*, 2003a). Nuestros datos amplían estos hallazgos al mostrar que la respuesta electrofisiológica temprana al contenido afectivo de láminas IAPS podría depender de los recursos de procesamiento disponibles, dado que los efectos de la valencia en los PE no estaban presentes en la condición de carga atencional alta. Los amplían también al observarlos ante láminas IAPS presentadas durante un tiempo muy breve (50 ms, frente a los 120 ms utilizados por Schupp, Junghöfer, Weike y Hamm, 2004).

En resumen, los resultados de nuestra investigación son consistentes con estudios de PE que muestran que el procesamiento de imágenes con contenido emocional se encuentra facilitado, en relación al de imágenes afectivamente neutras, en condiciones en las que el control atencional *top-down* se dirige hacia otros estímulos (Carretié *et al.*, 2004, Carretié *et al.*, 2005; Schupp *et al.*, 2003a), con estudios de neuroimagen que encuentran un procesamiento automático de estímulos emocionales (Vuilleumier *et al.*, 2001) y con el modelo de la atención motivada propuesta por Lang *et al.* (1997).

No obstante, la manipulación de la demanda atencional de la tarea primaria llevada a cabo en el presente estudio, ha permitido apreciar que este proceso automático se encuentra influido por este factor, tal como se deriva de la práctica desaparición de los efectos de la valencia en la condición de carga de procesamiento alta, en línea con la tesis defendida por Pessoa, McKenna *et al.* (2002). Hasta donde nosotros sabemos, los resultados presentados en esta tesis constituyen la primera evidencia electrofisiológica

de que la carga atencional del procesamiento relevante en la fijación central influye en la medida en que se procesan los distractores emocionales presentados en la periferia del campo visual.

No obstante, a la hora de evaluar estos hallazgos y compararlos con los obtenidos en otros estudios, es necesario tener en cuenta las posibles diferencias metodológicas entre ellos, tales como la utilización de estímulos faciales *versus* láminas IAPS, dada la evidencia que muestra características diferenciales en los patrones de actividad cerebral asociados con el procesamiento emocional en función del tipo de estimulación empleada (*v.g.* Hariri, Tessitore, Mattay, Fera y Weinberger, 2002 para diferencias entre imágenes faciales e imágenes del IAPS en datos de RMf; Keightley *et al.*, 2003).

El análisis de las amplitudes medias en distintos intervalos temporales también reveló algunos efectos, si bien poco consistentes, de lateralización de la actividad cortical relacionada con el valor afectivo de los estímulos. No obstante, tomados en conjunto, los datos obtenidos no parecen revelar un patrón estable de asimetrías hemisféricas, sino más bien una alta variabilidad entre los rangos de latencia y zonas de registro. El análisis detallado de los efectos de lateralidad va más allá de los objetivos del presente estudio, y se requerirán experimentos posteriores que incluyan láminas afectivas con valencia positiva que posibiliten un estudio más detallado de la implicación diferencial de los hemisferios cerebrales en función del contenido emocional. En este sentido, se han propuesto varias hipótesis sobre la representación cerebral de las emociones positivas y negativas (ver Davidson, 2003 y Van Strien y Luipen, 1999 para revisiones sobre esta cuestión).

5.2. Los estímulos distractores con valencia emocional negativa capturan la atención de forma automática sólo en condiciones de baja carga atencional: evidencia a partir de sus efectos sobre el procesamiento sensorial de los estímulos relevantes.

En este experimento también se valoró la asignación automática de la atención a distractores emocionales comparando el efecto de los estímulos con valor emocional en localizaciones no atendidas sobre el procesamiento sensorial de los estímulos relevantes a la tarea. Basándonos en los trabajos de Handy *et al*. (2001) se planteó como hipótesis de partida que el incremento en las demandas de la tarea daría lugar a una mayor asignación de recursos de atención a su localización, restando la capacidad de atención disponible para asignar a localizaciones irrelevantes. Los PE registrados ante estímulos atendidos mostraron: (1) mayores amplitudes del componente P1 en regiones occipitales cuando las fotografías negativas aparecían previamente en el campo visual derecho y (2) mayores amplitudes de N1 en zonas parietales y temporales izquierdas después de la presentación ipsilateral de estímulos negativos y neutros (*versus* estímulos negativos contralaterales). Estos hallazgos sugieren que el contenido afectivo de los estímulos irrelevantes presentados en la periferia del campo visual moduló el procesamiento sensorial de los estímulos atendidos. Una vez más, estos efectos se observaron sólo cuando la carga de procesamiento de la tarea era baja, y son consistentes con la hipótesis de partida en el sentido de que los estímulos distractores afectaban al procesamiento de información relevante cuando había capacidad atencional disponible para asignar a su localización (condición fácil). No obstante, cuando la atención estaba focalizada en la localización relevante en tareas altamente demandantes (condición difícil), no se observaron modulaciones significativas de los distractores sobre el procesamiento temprano de la información presentada dentro del foco de atención.

Aunque estos datos confirman la hipótesis de una influencia de los distractores sobre la tarea principal modulada por su valor emocional y por la

demanda atencional, hay que señalar que la modulación observada del procesamiento sensorial en la condición fácil no fue en la dirección predicha por las hipótesis planteadas. Se había postulado que si los distractores negativos presentan una mayor capacidad para atraer los recursos atencionales a su localización que los neutros, restarían la asignación de ese tipo de recursos a la localización relevante, resultando en un efecto de interferencia sobre el procesamiento sensorial de información atendida. Esta interferencia debería reflejarse en un decremento de amplitud de los componentes P1 y N1. Sin embargo, los datos obtenidos revelaron un efecto de facilitación sobre el procesamiento perceptivo de estímulos presentados en localizaciones atendidas.

Es sabido que la focalización de la atención en una región específica del campo visual facilita el procesamiento de estímulos en esa localización. En este sentido, numerosos estudios de PE han indicado que la amplitud de los componentes P1 y N1 es mayor ante estímulos presentados en localizaciones atendidas que en localizaciones no atendidas (para una revisión véase Mangun, 1995). Se ha proporcionado, además, evidencia de que la modulación del procesamiento visual en áreas corticales extraestriadas se encuentra mediada por una red de control atencional *top-down*, que incluye el córtex prefrontal y el parietal.

En este experimento, los sujetos debían responder a un estímulo (E2) en función de otro estímulo previo (E1), lo que garantizaba la monitorización de los estímulos presentados en la fijación central en ambas condiciones experimentales, es decir, el mantenimiento del control atencional *top-down* en esta localización relevante. Miniussi, Rao y Nobre (2002) han demostrado que, además de la ventaja inherente del procesamiento de estímulos presentados en el espacio foveal, la focalización de la atención espacial en esta localización modula el procesamiento visual temprano de los estímulos en el córtex visual extraestriado, comenzando en el nivel reflejado por el componente P1. Siguiendo esta línea argumental, una posible interpretación de los efectos en P1 y N1 es que reflejen una reasignación de la atención

hacia E2, que sigue a la orientación automática hacia sucesos con contenido negativo presentados en localizaciones irrelevantes. El hecho de que estos efectos no fuesen significativos cuando la tarea relevante consumía toda la capacidad de procesamiento disponible (condición difícil) es consistente con esta hipótesis. En línea con esta propuesta, esta modulación podría reflejar un incremento de la activación de la red fronto-parietal de control atencional, que resultaría en una facilitación del procesamiento discriminatorio de estímulos presentados en la posición relevante, los cuales ya se encuentran inherentemente optimizados por su posición en localizaciones foveales (Miniussi *et al.*, 2002).

Los resultados de este experimento indican, por lo tanto, que el procesamiento visual de estímulos atendidos, reflejado en los componentes P1 y N1, se puede ver facilitado por la presentación previa de estímulos emocionales. La facilitación del procesamiento sensorial de estímulos relevantes en el córtex visual extraestriado en función del valor emocional de un estímulo previo, ha sido informado en estudios de PE en los que el distractor y el estímulo objetivo se presentaban en la misma localización espacial (Pourtois *et al.*, 2004; Pourtois *et al.*, 2005). En el experimento de Pourtois *et al.* (2004) se presentaron brevemente (durante 100 ms) dos estímulos faciales (uno en cada hemicampo), uno con una expresión neutra y el otro con una expresión emocional (feliz o de temor). Tras un intervalo de 100-300 ms, se presentaba una barra vertical u horizontal o bien en el mismo lado que la expresión facial emocional (ensayos válidos) o en el lado de la expresión neutra (ensayos inválidos), ante la cual se requería una discriminación de la orientación. Estos autores informaron de mayores amplitudes del componente P1 occipital ante barras precedidas por expresiones de temor en la misma localización (ensayos válidos), comparadas con expresiones neutras (ensayos inválidos), lo que reflejaría una orientación exógena de la atención espacial hacia estímulos con valor emocional negativo.

Estos estudios muestran que la orientación automática de la atención espacial hacia estímulos emocionales negativos resulta en una facilitación del procesamiento visual en el córtex extraestriado de estímulos presentados en la misma localización espacial. Los datos descritos en esta tesis no parecen indicar una facilitación espacial, sino que sugieren un efecto más general sobre el procesamiento visual relevante como resultado del procesamiento automático previo de imágenes negativas presentadas incluso en localizaciones irrelevantes. Estos resultados están en línea con evidencia conductual reciente proporcionada por Calvo y Castillo (2005), quienes examinaron los efectos de palabras con contenido emocional positivo, negativo o neutro, irrelevantes a la tarea, presentadas durante 150 ms en localizaciones parafoveales, sobre una tarea de decisión léxica llevada a cabo posteriormente en la fijación. Los autores hallaron que las palabras con contenido emocional negativo, presentadas en el campo visual derecho, facilitaban el procesamiento posterior de estímulos relevantes. Esta facilitación del procesamiento posterior por estímulos con contenido emocional negativo, restringida al campo visual derecho, se observó también en el presente estudio en el nivel de procesamiento reflejado por P1.

La lateralización de los efectos observados sobre el procesamiento de estímulos foveales ha sido un resultado destacable de este experimento. Algunos estudios han proporcionado evidencia conductual de que la emoción negativa afecta de forma diferencial a los procesos cognitivos en los dos hemisferios cerebrales (Hartikainen, Ogawa y Knight, 2000; Van Strien y Luipen, 1999). Van Strien y Luipen informaron que la presentación de una palabra con valencia emocional negativa en la fijación resultaba en una facilitación de la ejecución posterior en el campo visual derecho. La presentación de palabras relativas al peligro mejoraba la ejecución posterior en el campo visual derecho, mientras que se observó una ventaja del campo visual izquierdo tras la presentación de palabras no relativas al peligro. Hartikainen *et al.*, por su parte, examinaron los efectos de láminas IAPS positivas, negativas y neutras, irrelevantes a la tarea, presentadas brevemente (150 ms) en el campo visual derecho o izquierdo, sobre la

discriminación posterior de un estímulo relevante presentado en la misma o distinta localización. Sus resultados mostraron un efecto de interferencia de los estímulos emocionales sobre la discriminación visual en el hemisferio derecho: las láminas positivas y negativas incrementaban los TR a estímulos relevantes presentados en el campo visual izquierdo, con un mayor efecto de las láminas negativas. Estos autores propusieron que el procesamiento automático de estímulos emocionales captura los recursos de procesamiento del hemisferio derecho e interfiere con otros procesos llevados a cabo por este hemisferio.

No obstante, en un estudio reciente, Simon-Thomas, Role y Knight (2005) hallaron que imágenes negativas del IAPS tenían un efecto facilitador sobre el procesamiento en el hemisferio derecho. Estos autores presentaban estímulos numéricos, en el campo visual izquierdo o derecho, en un paradigma tipo Stroop (interferencia entre el valor del dígito presentado y el número de elementos de la serie). Entre los estímulos Stroop, se presentaban láminas IAPS negativas y neutras en el centro de la pantalla durante 950 ms. Sus resultados pusieron de manifiesto una facilitación del procesamiento sensorial temprano de los estímulos Stroop en el hemisferio derecho.

Se ha planteado que la presencia de un efecto de facilitación o interferencia podría depender de características específicas de la tarea, tales como la disponibilidad de recursos o el intervalo temporal entre los estímulos emocionales y perceptivos (Hartikainen *et al.*, 2000; Simon-Thomas *et al.*, 2005). Los efectos de lateralidad observados en el presente estudio, parecen indicar una mayor implicación del hemisferio izquierdo, que se reflejaría en la mayor respuesta de este hemisferio ante la tarea de discriminación relevante. Hariri *et al.* han propuesto que las respuestas a láminas IAPS, que representan pistolas apuntando, explosiones o accidentes aéreos, cuyo valor afectivo es adquirido (y no innato), podrían depender de regiones cerebrales del hemisferio izquierdo implicadas en procesos cognitivos tales como el lenguaje.

En resumen, el presente estudio revela la influencia de estímulos distractores periféricos sobre la realización de una tarea que implicaba una monitorización continua de la fijación con el objetivo de llevar a cabo una tarea primaria, pero sólo cuando los estímulos irrelevantes presentaban un contenido emocional negativo. Esto es, las connotaciones emocionales negativas de la información presentada fuera del foco de atención influyeron en el procesamiento de la estimulación presentada en localizaciones atendidas. La presencia de estos efectos sólo en la condición fácil confirma que el procesamiento emocional automático se encuentra fuertemente influido por la disponibilidad de recursos de atención.

5.3. Cuestiones metodológicas

A la hora de valorar los resultados obtenidos en este experimento, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones de orden metodológico:

1) Sólo se emplearon estímulos emocionales de valencia negativa, lo que impide diferenciar las contribuciones de la valencia y de la activación a los efectos observados. Por ejemplo, Bradley *et al.* (2003) hallaron que la actividad en áreas visuales estaba asociada con las categorizaciones subjetivas de *arousal*. Mourão-Miranda *et al.* (2003), al comparar condiciones de láminas IAPS positivas, negativas y neutras con una nueva categoría de fotografías “interesantes” (con valencia neutra pero *arousal* alto), obtuvieron evidencia de que tanto la valencia como el *arousal* contribuyen a una activación cortical visual más fuerte. Por otra parte, Delplanque *et al.* (2004) informaron que, en condiciones de categorización afectiva implícita, el componente P2 puede ser modulado por la valencia negativa de láminas IAPS que presentan niveles de activación reducidos. No obstante, también es cierto que el *arousal* es una parte integral de la emoción; así, por ejemplo, las láminas IAPS con mayores puntuaciones en valencia negativa también son clasificadas con *arousal* alto. Esto hace realmente difícil disociar los efectos del *arousal* -intrínseco a la emoción negativa- del efecto de la valencia

(Hartikainen *et al.*, 2000; Simon-Thomas *et al.*, 2005). En este sentido, Carretié, Martín-Loeches *et al.* (2001) informaron que la respuesta atencional temprana hacia estímulos emocionales negativos, reflejada en el componente P200, depende de la combinación de los contenidos de valencia y *arousal* de la estimulación.

Se ha propuesto (Bradley, 2000) que las investigaciones sobre emoción deberían incluir, como mínimo, estímulos positivos (con *arousal* alto), neutros (*arousal* bajo) y negativos (*arousal* alto). Son necesarias futuras investigaciones en las cuales se incluyan también láminas con valencia positiva altamente activantes, que permitirán analizar en más detalle la atención automática hacia estímulos emocionales en función de las dos dimensiones básicas que los definen.

2) Con la metodología empleada tampoco es posible descartar posibles contribuciones de otras características estimulares de las láminas afectivas. Las láminas no eran físicamente homogéneas y presentaban diferencias en aspectos como la complejidad visual y la variedad de colores, por lo que es posible que las láminas IAPS negativas y neutras presentasen diferencias también en algún otro aspecto además de en las dimensiones de valencia y *arousal*. No obstante, se ha señalado que las dimensiones en las que difieren las láminas emocionales y las neutras podrían contribuir a los patrones de activación observados ante ambos tipos de láminas, más que constituir variables extrañas a sus propiedades emocionales (Kosslyn *et al.*, 1996). Los patrones de activación observados en el córtex visual ante láminas negativas han sido observados en estudios de neuroimagen que han controlado específicamente los efectos de la complejidad estimular y las características físicas de imágenes del IAPS (Taylor *et al.*, 2000). Es más, se ha informado que las diferencias en actividad cortical entre la observación de láminas afectivas activantes y láminas neutras es independiente de características estimulares tales como el color, brillo, frecuencia espacial y complejidad (Junghöfer *et al.*, 2001; véase también Bradley *et al.*, 2003).

3) La muestra final de participantes del presente estudio incluía sólo mujeres, por lo que es necesario considerar la posible influencia de las diferencias sexuales en el procesamiento emocional. Algunos estudios de neuroimagen indican que existen algunas diferencias sexuales en el procesamiento de láminas afectivas (Lang *et al.*, 1998), entre las que destaca, por la relevancia para esta tesis, la mayor activación en el córtex visual extraestriado en mujeres cuando observaban láminas negativas comparadas con positivas. No obstante, en un estudio reciente de RMf, en el que se evaluó específicamente esta cuestión, Sabatinelli, Flaisch, Bradley, Fitzsimmons y Lang (2004) informaron que los patrones de activación en el córtex visual durante la observación de láminas positivas y negativas, comparadas con neutras, eran altamente similares entre hombres y mujeres; estos autores no observaron diferencias estadísticamente significativas en función del sexo en la respuesta cortical ante láminas negativas. Se necesitan nuevos estudios en los que se utilicen muestras igualadas en número de hombres y mujeres para poder evaluar los efectos de esta variable sobre los procesos de atención automática hacia estímulos emocionales negativos.

5.4. Conclusiones

Los resultados de este experimento proporcionan evidencia sobre la diferenciación electrofisiológica entre láminas afectivas negativas y neutras presentadas en localizaciones periféricas no atendidas mientras los sujetos llevaban a cabo una tarea simultánea en la fijación central. La interferencia de los estímulos distractores se minimizó mediante dos estrategias: (a) presentándolos brevemente (50 ms) en la periferia del campo visual y (b) variando la carga de procesamiento de la tarea principal. Los principales resultados pusieron de manifiesto que los estímulos emocionales negativos, comparados con estímulos neutros, provocaron (1) mayores negatividades, con una distribución predominantemente frontocentral desde los 80 a 140 ms postestímulo y más centroparietal desde los 200 a 280 ms y (2) mayores amplitudes de N1-P2 en zonas parietoccipitales y occipitales. Además, el

procesamiento sensorial de los estímulos relevantes a la tarea (atendidos) resultó modulado por la presentación previa de estímulos emocionales, tal como reflejaron (3) mayores amplitudes del componente P1 sobre zonas occipitales cuando las láminas afectivas aparecían previamente en el campo visual derecho y (4) mayores amplitudes de N1 en zonas temporales y parietales izquierdas después de la aparición de láminas negativas y neutras ipsilaterales (*versus* estímulos negativos contralaterales); los efectos observados dependían de las demandas atencionales de la tarea en curso, ya que fueron significativos en la condición de carga atencional baja, pero no en la tarea más demandante.

Estos resultados sugieren que los estímulos con valor emocional negativo no parecen tener un procesamiento priorizado en condiciones de carga alta, en las que la atención está muy focalizada en una tarea relevante que requiere al máximo los recursos de procesamiento disponibles. No obstante, en condiciones de carga de procesamiento baja, los estímulos negativos parecen tener un procesamiento priorizado comparado con estímulos neutros, incluso cuando se presentan fuera del foco de atención y su presencia afecta al procesamiento de la información voluntariamente atendida. Estos procesos se manifiestan en modulaciones de las respuestas electrofisiológicas a los estímulos (distractores emocionales y relevantes neutros) en zonas frontales y parietoccipitales. Estos resultados son consistentes con la evidencia acumulada en favor de una mayor efectividad de los estímulos emocionales para atraer la atención. En otras palabras, los estímulos emocionales negativos pueden capturar la atención de forma automática incluso cuando se presentan en localizaciones irrelevantes a la tarea en curso; no obstante, la focalización de la atención en una tarea en la fijación puede modular estas respuestas cerebrales a distractores periféricos con contenido emocional.

Estos hallazgos parecen indicar la importancia de la combinación de mecanismos *bottom-up* y *top-down* en la conducta adaptativa; como indican autores como Vuilleumier *et al.* (2001) y Holmes *et al.* (2003), la conducta adaptativa requiere que el cerebro cuente con mecanismos de control

atencional, mediante los cuales es posible la selección de los estímulos relevantes, y también con mecanismos que permiten la detección de estímulos potencialmente significativos que podrían ocurrir, de forma impredecible, fuera del foco de atención, permitiendo la orientación y reacción rápida ante ellos.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

1. La orientación visoespacial encubierta afecta al procesamiento sensorial en el córtex visual reflejado en los componentes P1 y N1 de los PE. Se constata una disociación de la modulación atencional de estos componentes en tareas de orientación endógena y exógena. El patrón de los efectos de las señales centrales y periféricas sobre el procesamiento que ocurre durante el rango temporal de P1 y N1 varía en función de la manipulación de determinados parámetros estimulares (intervalo entre el comienzo de la señal y el comienzo del estímulo objetivo –SOA– y valor informativo de la señalización). Nuestros datos revelan los siguientes efectos facilitadores e inhibidores sobre el procesamiento visual temprano y su curso temporal:

a) La captura automática de la atención por una señal presentada en la periferia del campo visual modula de manera óptima el procesamiento posterior de estímulos presentados en esa localización en el nivel de procesamiento reflejado por P1 durante un breve período tras la presentación de la señal (100 ms). Este efecto se refleja en la mayor amplitud del componente P1 ante estímulos señalados de forma válida que ante aquéllos señalados de forma inválida, presente incluso cuando las señales no predicen la localización del estímulo objetivo. El efecto atencional en P1 representa un mecanismo de ganancia sensorial en estructuras corticales extraestriadas, que actúa para incrementar o disminuir la magnitud de la actividad neural provocada por el estímulo, de acuerdo con la cantidad de atención asignada a ese canal. Los resultados obtenidos en nuestra investigación indican, de este modo, que la atención automática facilita el procesamiento perceptivo de estímulos presentados en una localización donde la atención ha sido capturada por una señal periférica cuando el SOA entre ellos es suficientemente corto.

b) Una vez capturada la atención, a medida que el SOA se incrementa, esta facilitación no persiste; por el contrario, la amplitud de P1 es menor ante estímulos señalados de forma válida, lo que sugiere una inhibición del procesamiento sensorial en la localización señalada. El curso temporal de este efecto difiere en función de la expectativa de presentación del estímulo objetivo asociada con la señal: está presente en todos los SOAs más largos (300, 500 y 700 ms) con señalización periférica no informativa, y en el SOA de 500 ms cuando esta señalización es informativa. Esta diferencia puede reflejar la activación de los mecanismos de atención voluntaria cuando las señales predicen con una alta probabilidad la localización del objetivo, que contrarresta el efecto inhibitorio sostenido en la localización señalada.

c) Los efectos de la orientación voluntaria de la atención en respuesta a señales centrales simbólicas están presentes en el nivel de procesamiento visual reflejado por el componente N1, pero no en el estadio indicado por P1, en las presentes condiciones experimentales. El efecto de validez en N1, que representa la facilitación del procesamiento discriminativo en la localización atendida, parece requerir una cierta demora temporal entre la señal central y el estímulo objetivo (de al menos 300 ms en nuestro experimento) para que pueda observarse, con efectos óptimos 500 ms después de la presentación de la señal.

En el rango de latencia de este componente, las señales periféricas (informativas y no informativas) provocaron una modulación más transitoria de la amplitud de N1, con efectos óptimos de validez 300 ms después de su comienzo.

2. La captura automática de la atención visual se produce también ante estímulos presentados en localizaciones periféricas no atendidas, cuando éstos poseen un valor emocional negativo. Los estímulos emocionales negativos parecen tener un procesamiento priorizado comparado con estímulos neutros, incluso en condiciones en las que el control *top-down* se

encuentra focalizado en una tarea relevante. Estos procesos se manifiestan en modulaciones de las respuestas electrofisiológicas a los distractores emocionales en zonas frontocentrales (80-140 ms), parietoccipitales (150-250 ms) y centroparietales (200-280 ms) y en sus efectos sobre el procesamiento sensorial de la información voluntariamente atendida (reflejado en los componentes P1 y N1).

3. La asignación preferente de la atención hacia estímulos con valencia emocional negativa no es completamente automática, sino que está influida por las demandas atencionales de la tarea en curso, como indica el hecho de que las respuestas psicofisiológicas diferenciales en función de la valencia sólo están presentes cuando la carga atencional de la tarea principal es baja, pero no en condiciones en las que se incrementan las demandas de procesamiento dentro del foco de atención.

4. Concluimos así, en suma, que la atención automática permite la orientación y detección rápida de estímulos potencialmente significativos en nuestro entorno visual, tales como la percepción del desplazamiento rápido de una serie de puntos en la periferia del campo visual o la valencia emocional negativa, incluso cuando éstos se presentan fuera del foco de atención. Estos mecanismos automáticos provocados por sucesos significativos interactúan con mecanismos voluntarios de control atencional de acuerdo con su relevancia (valor informativo) o las demandas de procesamiento de la tarea en curso, los cuales permiten la selección de información relevante (o la supresión de información irrelevante) crucial para una conducta eficiente y adaptada al medio.

V. CONSIDERACIONES FINALES Y PROPUESTAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Las conclusiones derivadas de los experimentos descritos en esta tesis pretenden dar respuesta a las cuestiones y objetivos planteados en la investigación actual, al mismo tiempo que suscitan nuevos interrogantes y abren nuevas líneas de trabajo sobre las cuales se necesita seguir avanzando.

Como uno de los principales objetivos para las futuras investigaciones se plantea continuar con la especificación de los índices psicofisiológicos de los procesos de orientación visoespacial mediante la variación de los parámetros estimulares de la tarea de señalización empleada en la actual investigación. Es de gran relevancia, en este sentido, la manipulación de la variable SOA, dada su demostrada influencia en los efectos moduladores de las señales centrales y periféricas sobre el procesamiento visual. Así, por ejemplo, la variación sistemática del SOA en intervalos más próximos o el contraste entre la manipulación del SOA entre bloques experimentales y la manipulación aleatoria dentro de un mismo bloque, permitirán confirmar los resultados obtenidos y ahondar en los procesos implicados. Es de especial interés, a su vez, la introducción de ensayos control (con señalización neutra, sin señalización o ensayos "trampa"), además de los ensayos válidos e inválidos, que permitan controlar que los efectos psicofisiológicos observados son debidos a diferencias entre los distintos tipos de orientación (endógena y exógena) más que a posibles diferencias entre las tareas empleadas (como la alerta, la estimulación, las demandas de la tarea, etc). La introducción de una señal neutra, la cual sirve como un aviso de que se va a presentar un estímulo objetivo, aunque sin proporcionar información espacial acerca de su localización, constituye una condición de línea base que hace posible distinguir entre los mecanismos atencionales de facilitación de la información en localizaciones atendidas (comparación de ensayos válidos *versus* neutros)

y de supresión de la información en localizaciones no atendidas (inválidos *versus* neutros) (Hillyard *et al.*, 1999). Por su parte, la utilización de ensayos sin señales posibilitaría aislar los efectos de alerta (ensayos neutros *versus* sin señal) (Thiel, Zilles y Fink, 2004), y los ensayos "trampa" (ensayos en los que se presenta una señal espacial pero no un estímulo objetivo), prevendrían la formación de expectativas temporales y las respuestas anticipatorias (Hopfinger y Mangun, 1998). Estas distintas propuestas permitirán superar algunas de las limitaciones metodológicas señaladas a lo largo de esta tesis y asociar, de forma más directa, sin variables contaminadoras, los distintos procesos atencionales con su correlato psicofisiológico.

Otra línea de investigación debe dirigirse a esclarecer de forma más detallada la atención automática a distractores en función de su significado emocional mediante la inclusión de imágenes del IAPS con valencia emocional positiva (y *arousal* alto). También es prioritario indagar una cuestión que se plantea a partir de los presentes resultados: en qué medida los resultados del segundo experimento de esta tesis indican la selección de información relevante a la tarea a expensas de estímulos irrelevantes emocionalmente salientes en situaciones de carga alta o, simplemente, la selección de información en la fijación a expensas de información parafoveal en estas condiciones (Handy, 2000). Se debe considerar la realización de nuevos estudios en los cuales se comparen los efectos de estímulos distractores emocionales, en el contexto de una tarea primaria con distintos niveles de carga atencional, en función de su localización (foveal *versus* parafoveal). A modo de hipótesis, si el procesamiento de los estímulos emocionales también decrece con la carga cuando se presentan en la fijación, sugeriría selección de infomación relevante sobre información irrelevante independientemente de su saliencia emocional o su localización, pero si incrementa o permanece constante con la carga bajo la condición foveal, sugeriría selección de la información en la fijación.

Por último, es de gran relevancia la utilización de técnicas que posibiliten profundizar en el análisis de los generadores neurales de los PE registrados en las presentes condiciones experimentales. Se prevé iniciar una primera fase de análisis mediante el uso de técnicas como la tomografía electromagnética de baja resolución (LORETA) (Pascual-Marqui, 1999; Pascual-Marqui, Michel y Lehmann, 1994) que sería conveniente complementar, en investigaciones futuras, con técnicas de mayor resolución espacial, como MEG o RMf, con el fin de determinar las áreas cerebrales implicadas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, D.G., Behniea, H. y Kelly, J.L. (2003). Topographic organization of projections from the amygdala to the visual cortex in the macaque monkey. *Neuroscience, 118*, 1099-1120.

Amaral, D.G., Price, J.L., Pitkänen, A. y Carmichael, S.T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. En J.P. Anggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory and mental dysfunction* (pp. 1-66). New York: Wiley-Liss.

Anderson, A.K. y Phelps, E.A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature, 411*, 305-309.

Anllo-Vento, L. (1995). Shifting attention in visual space: The effects of peripheral cueing on brain cortical potentials. *International Journal of Neuroscience, 80*, 353-370.

Armony, J.L. y Dolan, R.J. (2002). Modulation of spatial attention by fear-conditioned stimuli: An event-related fMRI study. *Neuropsychologia, 40*, 817-826.

Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*, 600-609.

Bradley, M.M. (2000). Emotion and motivation. En J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary y G.G. Bernston (Eds.), *Handbook of Psychophysiology*, 2ª ed. (pp. 602-642). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Bradley, M.M., Mogg, K. y Millar, N.H. (2000). Covert and overt orienting of attention to emotional faces in anxiety. *Cognition and emotion, 14*, 789-808.

Bradley, M.M., Sabatinelli, D., Lang, P.J., Fitzsimmons, J.R., King, W. y Desai, P. (2003). Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behavioral Neuroscience, 117*, 369-380.

Briand, K.A. y Klein, R.M. (1987). Is Posner's "beam" the same as Treisman's "glue"?: On the relation between visual orienting and feature integration theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 13*, 228-241.

Bush, G., Luu, P. y Posner, M.I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 215-222.

Cacioppo, J.T. y Gardner, W.L. (1999). Emotion. *Annual Review of Psychology, 50*, 191-214.

Calvo, M.G. y Castillo, M.D. (2005). Processing of threat-related information outside the focus of visual attention. *The Spanish Journal of Psychology, 8*, 3-11.

Carretié, L., Hinojosa, J.A., Martín-Loeches, M., Mercado, F. y Tapia, M. (2004). Automatic attention to emotional stimuli: Neural correlates. *Human Brain Mapping, 22*, 290-299.

Carretié, L., Hinojosa, J.A. y Mercado, F. (2003). Cerebral patterns of attentional habituation to emotional visual stimuli. *Psychophysiology, 40*, 381-388.

Carretié, L., Hinojosa, J.A., Mercado, F. y Tapia, M. (2005). Cortical response to subjectively unconscious danger. *Neuroimage, 24*, 615-623.

Carretié, L., Martín-Loeches, M., Hinojosa, J.A. y Mercado, F. (2001). Emotion and attention interaction studied through event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience, 13*, 1109-1128.

Carretié, L., Mercado, F. y Tapia, M. (2001). Actividad cerebral humana en respuesta a estímulos visuales emocionales: debates abiertos y datos recientes. *Revista de Neurología, 33*, 973-979.

Carretié, L., Mercado, F., Tapia, M. e Hinojosa, J. A. (2001). Emotion, attention, and the 'negativity bias', studied through event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology, 41*, 75-85.

Compton, R.J. (2003). The interface between emotion and attention: A review of evidence from psychology and neuroscience. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews, 2*, 115-129.

Corbetta, M. y Shulman, G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 3*, 201-215.

Cuthbert, B.N., Schupp, H.T., Bradley, M.M., Birbaumer, N. y Lang, P.J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: Covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological Psychology, 52*, 95-111.

Davidson, R.J. (2003). Affective neuroscience and psychophysiology: Toward a synthesis. *Psychophysiology, 40*, 655-665.

Davis, M. y Whalen, P.J. (2001). The amygdala: Vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry, 6*, 13-34.

Delorme, A. y Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods, 134*, 9-21.

Delplanque, S., Lavoie, M.E., Hot, P., Silvert, L. y Sequeira, H. (2004). Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans. *Neuroscience Letters, 356*, 1-4.

Driver, J., Vuilleumier, P., Eimer, M. y Rees, G. (2001). Functional magnetic resonance imaging and evoked potential correlates of conscious and unconscious vision in parietal extinction patients. *Neuroimage, 14*, S68-75.

Eimer, M. (1993). Spatial cuing, sensory gating and selective response preparation: An ERP study on visuo-spatial orienting. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 88*, 408-420.

Eimer, M. (1994a). An ERP study on visual spatial priming with peripheral onsets. *Psychophysiology, 31*, 154-163.

Eimer, M. (1994b). "Sensory gating" as a mechanism for visuospatial orienting: Electrophysiological evidence from trial-by-trial cuing experiments. *Perception & Psychophysics, 55*, 667-675.

Eimer, M. (1996). ERP modulations indicate the selective processing of visual stimuli as a result of transient and sustained spatial attention. *Psychophysiology, 33*, 13-21.

Eimer, M. (1998). Mechanisms of visuospatial attention: Evidence from event-related brain potentials. *Visual Cognition, 5*, 257-286.

Eimer, M. (2000). The time course of spatial orienting elicited by central and peripheral cues: Evidence from event-related brain potentials. *Biological Psychology, 53*, 253-258.

Eimer, M., Holmes, A. y McGlone, F.P. (2003). The role of spatial attention in the processing of facial expression: An ERP study of rapid brain responses to six basic emotions. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience, 3*, 97-110.

Esslen, M., Pascual-Marqui, R.D., Hell, D., Kochi, K. y Lehmann, D. (2004). Brain areas and time course of emotional processing. *Neuroimage, 21*, 1189-1203.

Fichtenholtz, H.M., Dean, H.L., Dillon, D.G., Yamasaki, H., McCarthy, G. y LaBar, K. S. (2004). Emotion-attention network interactions during a visual oddball task. *Cognitive Brain Research, 20*, 67-80.

Freese, J.L. y Amaral, D.G. (2005). The organization of projections from the amygdala to visual cortical areas TE and V1 in the macaque monkey. *The Journal of Comparative Neurology, 486*, 295-317.

Fu, S., Caggiano, D.M., Greenwood, P.M. y Parasuraman, R. (2005). Event-related potentials reveal dissociable mechanisms for orienting and focusing visuospatial attention. *Cognitive Brain Research, 23*, 341-353.

Fu, S., Fan, S., Chen, L. y Zhuo, Y. (2001). The attentional effects of peripheral cueing as revealed by two event-related potential studies. *Clinical Neurophysiology, 112*, 172-185.

Fu, S., Greenwood, P.M. y Parasuraman, R. (2005). Brain mechanisms of involuntary visuospatial attention: An event-related potential study. *Human Brain Mapping, 25*, 378-390.

Gómez, C.M., Clark, V.P., Fan, S., Luck, S.J. y Hillyard, S.A. (1994). Sources of attention-sensitive visual event-related potentials. *Brain Topography, 7*, 41-51.

Handy, T.C. (2000). Capacity theory as a model of cortical behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 1066-1069.

Handy, T.C., Jha, A.P. y Mangun, G.R. (1999). Promoting novelty in vision: Inhibition of return modulates perceptual-level processing. *Psychological Science, 10*, 157-161.

Handy, T.C. y Mangun, G.R. (2000). Attention and spatial selection: Electrophysiological evidence for modulation by perceptual load. *Perception & Psychophysics, 62*, 175-186.

Handy, T.C., Soltani, M. y Mangun, G.R. (2001). Perceptual load and visuocortical processing: Event-related potentials reveal sensory-level selection. *Psychological Science, 12*, 213-218.

Hariri, A.R., Tessitore, A., Mattay, V.S., Fera, F. y Weinberger, D.R. (2002). The amygdala response to emotional stimuli: A comparison of faces and scenes. *Neuroimage, 17*, 317-323.

Hartikainen, K.M., Ogawa, K.H. y Knight, R.T. (2000). Transient interference of right hemispheric function due to automatic emotional processing. *Neuropsychologia, 38*, 1576-1580.

He, X., Fan, S., Zhou, K. y Chen, L. (2004). Cue validity and object-based attention. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*, 1085-1097.

Heinze, H.J., Luck, S.J., Mangun, G.R. y Hillyard, S.A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. I. Evidence for early selection. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 75*, 511-527.

Heinze, H.J. y Mangun, G.R. (1995). Electrophysiological signs of sustained and transient attention to spatial locations. *Neuropsychologia, 33*, 889-908.

Heinze, H.J., Mangun, G.R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Münte, T.F., Gös, A., Scherg, M., Johannes, S., Hundeshagen, H., Gazzaniga, M.S. y Hillyard, S.A. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature, 372*, 543-546.

Hillyard, S.A., Luck, S.J. y Mangun, G.R. (1994). The cuing of attention to visual field locations: Analysis with ERP recordings. En H.J. Heinze, T.F. Münte y G.R. Mangun (Eds.), *Cognitive electrophysiology* (pp. 1-25). Boston: Birkhäuser.

Hillyard, S.A., Vogel, E.K. y Luck, S.J. (1999). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. En G.W. Humphreys, J. Duncan y A. Treisman (Eds.), *Attention, space and action. Studies in Cognitive Neuroscience* (pp. 31-53). New York: Oxford University Press.

Holmes, A., Vuilleumier, P. y Eimer, M. (2003). The processing of emotional facial expression is gated by spatial attention: Evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research, 16*, 174-184.

Hopf, J-M., Vogel, E., Woodman, G., Heinze, H-J. y Luck, S.J. (2002). Localizing visual discrimination processes in time and space. *Journal of Neurophysiology, 88*, 2088-2095.

Hopfinger, J.B., Buonocore, M.H. y Mangun, G.R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience, 3*, 284-291.

Hopfinger, J.B. y Mangun, G.R. (1998). Reflexive attention modulates processing of visual stimuli in human extrastriate cortex. *Psychological Science, 9*, 441-447.

Hopfinger, J.B. y Mangun, G.R. (2001). Tracking the influence of reflexive attention on sensory and cognitive processing. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 1*, 56-65.

Houghton, G. y Tipper, S.P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. En D. Dagenbach y T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory and language* (pp. 53-112). San Diego: Academic Press.

Irwin, W., Davidson, R.J., Lowe, M.J., Mock, B.J., Sorenson, J.A. y Turski, P.A. (1996). Human amygdala activation detected with echo-planar functional magnetic resonance imaging. *Neuroreport, 7*, 1765-1769.

Ito, T.A., Larsen, J.T., Smith, N.K. y Cacioppo, J.T. (1998). Negative information weighs more heavily on the brain: The negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology, 75*, 887-900.

Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. En J.B. Long y A.D. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Junghöfer, M., Bradley, M.M., Elbert, T.R. y Lang, P.J. (2001). Fleeting images: A new look at early emotion discrimination. *Psychophysiology, 38*, 175-178.

Kastner, S., Pinsk, M.A., De Weerd, P., Desimone, R. y Ungerleider, L.G. (1999). Increased activity in human visual cortex during directed attention in the absence of visual stimulation. *Neuron, 22*, 751-761.

Kawasaki, H., Adolphs, R., Kaufman, O., Damasio, H., Damasio, A.R., Granner, M., Bakken, H., Hori, T. y Howard, M.A.III. (2001). Single-neuron responses to emotional visual stimuli recorded in human ventral prefrontal cortex. *Nature Neuroscience, 4*, 15-16.

Keightley, M.L., Winocur, G., Graham, S.J., Mayberg, H.S., Hevenor, S.J. y Grady, C.L. (2003). An fMRI study investigating cognitive modulation of brain regions associated with emotional processing of visual stimuli. *Neuropsychologia, 41*, 585-596.

Keil, A., Bradley, M.M., Hauk, O., Rockstroh, B., Elbert, T. y Lang, P.J. (2002). Large-scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology, 39*, 641-649.

Keil, A., Moratti, S., Sabatinelli, D., Bradley, M.M. y Lang, P.J. (2005). Additive effects of emotional content and spatial selective attention on electrocortical facilitation. *Cerebral Cortex, 15*, 1187-1197.

Kim, Y-H., Gitelman, D.R., Nobre, A.C., Parrish, T.B., LaBar, K.S. y Mesulam, M-M. (1999). The large-scale neural network for spatial attention displays multifunctional overlap but differential asymmetry. *Neuroimage, 9*, 269-277.

Klein, R.M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 138-147.

Kosslyn, S.M., Shin, L.M., Thompson, W.L., McNally, R.J., Rauch, S.L., Pitman, R.K. y Alpert, N.M. (1996). Neural effects of visualizing and perceiving aversive stimuli: A PET investigation. *Neuroreport, 7*, 1569-1576.

Lane, R.D., Chua, P.M. y Dolan, R.J. (1999). Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia, 37*, 989-997.

Lane, R.D., Reiman, E.M., Axelrod, B., Yun, L-S., Holmes, A. y Schwartz, G.E. (1998). Neural correlates of levels of emotional awareness: Evidence of an interaction between emotion and attention in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 10*, 525-535.

Lane, R.D., Reiman, E.M., Bradley, M.M., Lang, P.J., Ahern, G.L., Davidson, R.J. y Schwartz, G.E. (1997). Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia, 35*, 1437-1444.

Lang, P.J., Bradley, M.M. y Cuthbert, B.N. (1997). Motivated attention: Affect, activation, and action. En P. J. Lang, R. F. Simons y M. Balaban (Eds.), *Attention and orienting. Sensory and motivational processes* (pp. 97-135). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Lang, P.J., Bradley, M.M. y Cuthbert, B.N. (1999). *International affective picture system (IAPS): Instruction manual and affective ratings*. Technical Report A-4, The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.

Lang, P.J., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R., Cuthbert, B.N., Scott, J.D., Moulder, B. y Nangia, V. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology, 35*, 199-210.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 451-468.

Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 75-82.

Lavie, N. y Tsal, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception & Psychophysics, 56*, 183-197.

LeDoux, J.E. (1999). *El cerebro emocional*. Barcelona: Ariel [Original en inglés: *The emotional brain*, 1996, Nueva York: Simon & Schuster].

LeDoux, J.E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience, 23*, 155-184.

Li, M., Kuroiwa, Y., Omoto, S., Hotta, S., Suzuki, Y., Kamitani, T., Koyano, S. y Segawa, H. (2003). The effect of stimulus-onset asynchrony on human visual event-related potentials during simple and choice reaction paradigms under constant or random conditions. *Neuroscience Letters, 345*, 109-112.

Liddell, B.J., Williams, L.M., Rathjen, J., Shevrin, H. y Gordon, E. (2004). A temporal dissociation of subliminal versus supraliminal fear perception: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*, 479-486.

Liu, T., Pestilli, F. y Carrasco, M. (2005). Transient attention enhances perceptual performance and fMRI response in human visual cortex. *Neuron, 45*, 469-477.

Luck, S.J. (1995). Multiple mechanisms of visual-spatial attention: Recent evidence from human electrophysiology. *Behavioral Brain Research, 71*, 113-123.

Luck, S.J., Heinze, H.J., Mangun, G.R. y Hillyard, S.A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 75*, 528-542.

Luck, S.J. y Hillyard, S.A. (1995). The role of attention in feature detection and conjunction discrimination: An electrophysiological analysis. *International Journal of Neuroscience, 80*, 281-297.

Luck, S.J., Hillyard, S.A., Mouloua, M., Woldorff, M.G., Clark, V.P. y Hawkins, H.L. (1994). Effects of spatial cuing on luminance detectability: Psychophysical and electrophysiological evidence for early selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20*, 887-904.

Lupiáñez, J., Milán, E.G., Tornay, F., Madrid, E. y Tudela, P. (1997). Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later. *Perception and Psychophysics, 59*, 1241-1254.

Lupiáñez, J., Tipper, S.P. y Tudela, P. (1998). Orientación de la atención espacial: captura de la atención, inercia atencional, interrupción e inhibición de retorno. En J. Botella y V. Ponsoda (Eds.), *La atención: un enfoque pluridisciplinar: su estudio desde la investigación básica a su aplicación clínica* (pp. 185-200). Valencia: Promolibro.

Mangun, G.R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology, 32*, 4-18.

Mangun, G.R., Hansen, J.C. y Hillyard, S.A. (1987). The spatial orienting of attention: Sensory facilitation or response bias?. En R. Johnson, J.W. Rohrbaugh y R. Parasuraman (Eds.), *Current trends in event-related potential research* (pp. 118-124). Amsterdam: Elsevier.

Mangun, G.R. y Hillyard, S.A. (1990). Electrophysiological studies of visual selective attention in humans. En A.B. Scheibel y A. Wechsler (Eds.), *The neurobiological foundations of higher cognitive function* (pp. 271-295). New York: Guilford Press.

Mangun, G.R. y Hillyard, S.A. (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17*, 1057-1074.

Mangun, G.R., Hillyard, S.A. y Luck, S.J. (1993). Electrocortical substrates of visual selective attention. En D. Meyer y S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV* (pp. 219-243). Cambridge, MA: The MIT Press.

Mangun, G.R., Hopfinger, J.B., Kussmaul, C.L., Fletcher, E.M. y Heinze, H.J. (1997). Covariations in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex. *Human Brain Mapping, 5*, 273-279.

Mangun, G.R., Jha, A.P., Hopfinger, J.B. y Handy, T.C. (2000). The temporal dynamics and functional architecture of attentional processes in human extrastriate cortex. En M.S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (pp. 701-710). Cambridge, MA: The MIT Press.

Martínez, A., Anllo-Vento, L., Sereno, M.I., Frank, L.R., Buxton, R.B., Dubowitz, D.J., Wong, E.C., Hinrichs, H., Heinze, H.J. y Hillyard, S.A.

(1999). Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nature Neuroscience, 2*, 364-369.

Mayer, A.R., Dorflinger, J.M., Rao, S.M. y Seidenberg, M. (2004). Neural networks underlying endogenous and exogenous visual-spatial orienting. *Neuroimage, 23*, 534-541.

McDonald, J.J., Ward, L.M. y Kiehl, K.A. (1999). An event-related brain potential study of inhibition of return. *Perception and Psychophysics, 61*, 1411-1423.

Miniussi, C., Rao, A. y Nobre, A. C. (2002). Watching where you look: Modulation of visual processing of foveal stimuli by spatial attention. *Neuropsychologia, 40*, 2448-2460.

Mogg, K. y Bradley, B.P. (1999). Orienting of attention to threatening facial expressions presented under conditions of restricted awareness. *Cognition and emotion, 13*, 713-740.

Moltó, J., Montañés, S., Poy, R., Segarra, P., Pastor, M.C., Tormo, M.P., Ramírez, I., Hernández, M.A., Sánchez, M., Fernández, M.C. y Vila, J. (1999). Un nuevo método para el estudio experimental de las emociones: el International Affective Picture System (IAPS). Adaptación española. *Revista de Psicología General y Aplicada, 52*, 55-87.

Moratti, S., Keil, A. y Stolarova, M. (2004). Motivated attention in emotional picture processing is reflected by activity modulation in cortical attention networks. *Neuroimage, 21*, 954-964.

Morris, J.S., DeGelder, B., Weiskrantz, L. y Dolan, R.J. (2001). Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain, 124*, 1241-1252.

Morris, J.S., Friston, K.J., Büchel, C., Frith, C.D., Young, A.W., Calder, A.J. y Dolan, R.J. (1998). A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain*, *121*, 47-57.

Morris, J.S., Öhman, A. y Dolan, R.J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature, 393*, 467-470.

Morris, J.S., Öhman, A. y Dolan, R.J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating "unseen" fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96*, 1680-1685.

Mourão-Miranda, J., Volchan, E., Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Oliveira, L., Bramati, I., Gattass, R. y Pessoa, L. (2003). Contributions of stimulus valence and arousal to visual activation during emotional perception. *Neuroimage, 20*, 1955-1963.

Müller, H.J. y Rabbitt, P.M.A. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: Time course of activation and resistance to

interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 15*, 315-330.

Nobre, A.C., Sebestyen, G.N. y Miniussi, C. (2000). The dynamics of shifting visuospatial attention revealed by event-related potentials. *Neuropsychologia, 38*, 964-974.

Northoff, G., Richter, A., Gessner, M., Schlagenhauf, F., Fell, J., Baumgart, F., Kaulisch, T., Kötter, R., Stephan, K.E., Leschinger, A., Hagner, T., Bargel, B., Witzel, T., Hinrichs, H., Bogerts, B., Scheich, H. y Heinze, H-J. (2000). Functional dissociation between medial and lateral prefrontal cortical spatiotemporal activation in negative and positive emotions: A combined fMRI/MEG study. *Cerebral Cortex, 10*, 93-107.

O'Connor, D.H., Fukui, M.M., Pinsk, M.A. y Kastner, S. (2002). Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nature Neuroscience, 5*, 1203-1209.

Öhman, A. (2002). Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces. *Current Directions in Psychological Science, 11*, 62-66.

Öhman, A., Flykt, A. y Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 466-478.

Öhman, A., Flykt, A. y Lundqvist, D. (2002). Unconscious emotion: Evolutionary perspectives, psychophysiological data, and neuropsychological mechanisms. En R.D. Lane y L. Nadel (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 296-327). New York: Oxford University Press.

Pascual-Marqui, R.D. (1999). Review of methods for solving the EEG inverse problem. *International Journal of Bioelectromagnetism, 1*, 75-86.

Pascual-Marqui, R.D., Michel, C.M. y Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: A new method for localizing electrical activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology, 18*, 49-65.

Peelen, M.V., Heslenfeld, D.J. y Theeuwes, J. (2004). Endogenous and exogenous attention shifts are mediated by the same large-scale neural network. *Neuroimage, 22*, 822-830.

Pessoa, L., Kastner, S. y Ungerleider, L.G. (2002). Attentional control of the processing of neural and emotional stimuli. *Cognitive Brain Research, 15*, 31-45.

Pessoa, L., McKenna, M., Gutierrez, E. y Ungerleider, L.G. (2002). Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99*, 11458-11463.

Pessoa, L. y Ungerleider, L.G. (2005). Visual attention and emotional perception. En L. Itti, G. Rees y J.K. Tsotsos (Eds.), *Neurobiology of attention* (pp.160-166). San Diego, CA: Elsevier.

Phan, K.L., Wager, T., Taylor, S.F. y Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage, 16*, 331-348.

Pinsk, M.A., Doniger, G.M. y Kastner, S. (2004). Push-pull mechanism of selective attention in human extrastriate cortex. *Journal of Neurophysiology, 92*, 622-629.

Pizzagalli, D., Regard, M. y Lehmann, D. (1999). Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: An ERP study. *Neuroreport, 10*, 2691-2698.

Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*, 3-25.

Posner, M.I. y Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. En H. Bouma y D.G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X: Control of language processes* (pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Posner, M.I., Nissen, M.K. y Ogden, W.C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. En H.L. Pick y E. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 137-157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Pourtois, G., Grandjean, D., Sander, D. y Vuilleumier, P. (2004). Electrophysiological correlates of rapid spatial orienting towards fearful faces. *Cerebral Cortex, 14*, 619-633.

Pourtois, G., Thut, G., Grave de Peralta, R., Michel, C. y Vuilleumier, P. (2005). Two electrophysiological stages of spatial orienting towards fearful faces: Early temporo-parietal activation preceding gain control in extrastriate visual cortex. *Neuroimage, 26*, 149-163.

Pratto, F. y John, O.P. (1991). Automatic vigilance: The attention-grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology, 61*, 380-391.

Rafal, R. y Henik, A. (1994). The neurology of inhibition. Integrating controlled and automatic processes. En D. Dagenbach y T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory and language* (pp. 1-51). San Diego: Academic Press.

Rees, G., Frith, C.D. y Lavie, N. (1997). Modulating irrelevant motion perception by varying attentional load in an unrelated task. *Science, 278*, 1616-1619.

Rees, G., Russell, C., Frith, C.D. y Driver, J. (1999). Inattentional blindness versus inattentional amnesia for fixated but ignored words. *Science, 286*, 2504-2507.

Rosen, A.C., Rao, S.M., Caffarra, P., Scaglioni, A., Bobholz, J.A., Woodley, S.J., Hammeke, T.A., Cunningham, J.M., Prieto, T.E. y Binder, J.R. (1999). Neural basis of endogenous and exogenous spatial orienting: A functional MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 11*, 135-152.

Sabatinelli, D., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R. y Lang, P.J. (2005). Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance. *Neuroimage, 24*, 1265-1270.

Sabatinelli, D., Flaisch, T., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R. y Lang, P.J. (2004). Affective picture perception: Gender differences in visual cortex? *Neuroreport, 15*, 1109-1112.

Schupp, H.T., Cuthbert, B.N., Bradley, M.M., Cacioppo, J.T., Ito, T. y Lang, P.J. (2000). Affective picture processing: The late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology, 37*, 257-261.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I. y Hamm, A.O. (2003a). Attention and emotion: An ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *Neuroreport, 14*, 1107-1110.

Schupp, H. T., Junghöfer, M., Weike, A. I. y Hamm, A. O. (2003b). Emotional facilitation of sensory processing in the visual cortex. *Psychological Science, 14*, 7-13.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I. y Hamm, A.O. (2004). The selective processing of briefly presented affective pictures: An ERP analysis. *Psychophysiology, 41*, 441-449.

Schwartz, S., Vuilleumier, P., Hutton, C., Maravita, A., Dolan, R.J. y Driver, J. (2005). 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.

Semlitsch, H.V., Anderer, P., Schuster, P. y Presslich, O. (1986). A solution for reliable and valid reduction of ocular artifacts, applied to the P300 ERP. *Psychophysiology, 23*, 695-703.

Simon-Thomas, E.R., Role, K.O. y Knight, R.T. (2005). Behavioral and electrophysiological evidence of a right hemisphere bias for the influence of negative emotion on higher cognition. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*, 518-529.

Simpson, J.R., Öngur, D., Akbudak, E., Conturo, T.E., Ollinger, J.M., Snyder, A.Z., Gusnard, D.A. y Raichle, M.E. (2000). The emotional modulation of cognitive processing: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 157-170.

Smith, N.K., Cacioppo, J.T., Larsen, J.T. y Chartrand, T.L. (2003). May I have your attention, please: Electrocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia, 41*, 171-183.

Stormark, K.M., Nordby, H. y Hugdahl, K. (1995). Attentional shifts to emotionally charged cues: Behavioural and ERP data. *Cognition and Emotion, 9*, 507-523.

Taylor, S.F., Liberzon, I. y Koeppe, R.A. (2000). The effect of graded aversive stimuli on limbic and visual activation. *Neuropsychologia, 38*, 1415-1425.

Terry, K.M., Valdes, L.A. y Neill, W.T. (1994). Does "inhibition of return" occur in discrimination tasks?. *Perception & Psychophysics, 55*, 279-286.

Thiel, C.M., Zilles, K. y Fink, G.R. (2004). Cerebral correlates of alerting, orienting and reorienting of visuospatial attention: An event-related fMRI study. *Neuroimage, 21*, 318-328.

Tipples, J. y Sharma, D. (2000). Orienting to exogenous cues and attentional bias to affective pictures reflect separate processes. *British Journal of Psychology, 91*, 87-97.

Van Strien, J.W. y Luipen, M.W. (1999). Hemispheric facilitation as a result of threatening and nonthreatening words: Blocked vs mixed presentation effects and order effects. *Neuropsychologia, 37*, 617-621.

Vogel, E.K. y Luck, S.J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology, 37*, 190-203.

Vuilleumier, P. (2002). Facial expression and selective attention. *Current Opinion in Psychiatry, 15*, 291-300.

Vuilleumier, P., Armony, J.L., Clarke, K., Husain, M., Driver, J. y Dolan, R.J. (2002). Neural response to emotional faces with and without awareness: Event-related fMRI in a parietal patient with visual extinction and spatial neglect. *Neuropsychologia, 40*, 2156-2166.

Vuilleumier, P., Armony, J.L., Driver, J. y Dolan, R.J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: An event-related fMRI study. *Neuron, 30*, 829-841.

Vuilleumier, P., Richardson, M.P., Armony, J.L., Driver, J. y Dolan, R.J. (2004). Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing. *Nature Neuroscience, 7*, 1271-1278.

Vuilleumier, P. y Schwartz, S. (2001a). Beware and be aware: Capture of spatial attention by fear-related stimuli in neglect. *Neuroreport, 12*, 1119-1122.

Vuilleumier, P. y Schwartz, S. (2001b). Emotional facial expressions capture attention. *Neurology, 56*, 153-158.

Wascher, E. y Tipper, S.P. (2004). Revealing effects of noninformative spatial cues: An EEG study of inhibition of return. *Psychophysiology, 41*, 716-728.

Whalen, P.J., Rauch, S.L., Etcoff, N.L., McInerney, S.C., Lee, M.B. y Jenike, M.A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *The Journal of Neuroscience, 18*, 411-418.

Woldorff, M.G. (1993). Distorsion of ERP averages due to overlap from temporally adjacent ERPs: Analysis and correction. *Psychophysiology, 30*, 98-119.

Woldorff, M.G., Hazlett, C.J., Fichtenholtz, H.M., Weissman, D.H., Dale, A.M. y Song, A.W. (2004). Functional parcellation of attentional control regions of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*, 149-165.

Wright, R.D. y Richard, C.M. (2000). Location cue validity affects inhibition of return of visual processing. *Vision Research, 40*, 2351-2358.

Yamaguchi, S., Tsuchiya, H. y Kobayashi, S. (1994). Electroencephalographic activity associated with shifts of visuospatial attention. *Brain, 117*, 553-562.

Yamasaki, H., LaBar, K.S. y McCarthy, G. (2002). Dissociable prefrontal brain systems for attention and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99*, 11447-11451.

Yi, D.J., Woodman, G.F., Widders, D., Marois, R. y Chun, M.M. (2004). Neural fate of ignored stimuli: Dissociable effects of perceptual and working memory load. *Nature Neuroscience, 7*, 992-996.

ANEXOS

ANEXO I

ARTÍCULOS PUBLICADOS RELATIVOS AL EXPERIMENTO 1

Doallo, S., Lorenzo-López, L., Vizoso, C., Rodríguez Holguín, S., Amenedo, E., Bará, S. y Cadaveira, F. (2004). The time course of the effects of central and peripheral cues on visual processing: An event-related potentials study. *Clinical Neurophysiology, 115*, 199-210.

Doallo, S., Lorenzo-López, L., Vizoso, C., Rodríguez Holguín, S., Amenedo, E., Bará, S. y Cadaveira, F. (2005). Modulations of the visual N1 component of event-related potentials by central and peripheral cueing. *Clinical Neurophysiology, 116*, 807-820.

Clinical Neurophysiology 115 (2004) 199–210

www.elsevier.com/locate/clinph

The time course of the effects of central and peripheral cues on visual processing: an event-related potentials study

S. Doallo[a,*], L. Lorenzo-López[a], C. Vizoso[a], S. Rodríguez Holguín[a], E. Amenedo[a], S. Bará[b], F. Cadaveira[a]

[a]*Departamento de Psicoloxía Clínica e Psicobioloxía, Facultade de Psicoloxía, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Universitario Sur, E-15782, Santiago de Compostela, Galicia, Spain*

[b]*Departamento de Física Aplicada, Facultade de Física, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Universitario Sur, E-15782, Santiago de Compostela, Galicia, Spain*

Accepted 5 September 2003

Abstract

Objective: The varying results of visual event-related potential (ERP) studies of central and peripheral cueing suggest that these types of cue may modulate stimuli processing with different time courses. The aim of this study was to investigate differences in the time course of facilitatory effects on the visual processing induced by peripheral and central cues.

Methods: ERPs were recorded for visual target stimuli that were preceded by informative-central, informative-peripheral or uninformative-peripheral cues with stimulus onset asynchronies (SOAs) of 100, 300, 500 or 700 ms.

Results: Validly cued stimuli elicited an enhanced P1 component with peripheral cueing at 100 ms SOA. P1 amplitude in valid trials was reduced at 300, 500 and 700 ms SOAs with uninformative-peripheral cueing, but only at 500 ms SOA with informative-peripheral cueing. With informative-central cueing, there was no validity effect on P1.

Conclusions: These results suggest that the automatic attraction of attention by a peripheral cue results in improved sensory processing at the cued location. This facilitation is replaced by an inhibitory effect when SOA increases, although cue informativeness may modulate this effect. Central cueing does not affect sensory processing at the P1 level.

© 2004 International Federation of Clinical Neurophysiology. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Keywords: Visuospatial attention; Central cues; Peripheral cues; P1; Event-related potentials

1. Introduction

It has been well established that when attention is directed toward locations within the visual field, stimuli presented to that location are detected and discriminated with greater speed and accuracy than stimuli presented to unattended locations. Such attentional orienting processes may occur covertly (i.e. independently of overt behavior such as eye movements), as has been demonstrated in visuospatial attention studies using both central and peripheral cueing (Posner et al., 1978; Posner, 1980; Jonides, 1981; Müller and Rabbitt, 1989), and have been interpreted as a consequence of enhanced sensory processing of stimuli at attended locations (Posner, 1980).

However, behavioral studies suggest that there are differences between the effects of central and peripheral cueing of locations. Specifically, such studies suggest that two different attentional mechanisms underlie attention shifts: one voluntary (or endogenous), associated with central cueing, and one involuntary (or exogenous), triggered by peripheral cues (Jonides, 1981; Briand and Klein, 1987; Müller and Rabbitt, 1989).

The time course of cueing effects also appears to differ between central and peripheral cues. Peripheral cues trigger a fast automatic shift of attention: the reaction time (RT) facilitation by validly cued targets occurs with stimulus onset asynchronies (SOAs) as short as 50–100 ms (Posner and Cohen, 1984). When a peripheral cue is not informative of the target position, with longer SOAs (300 ms or more), RTs to validly cued targets are slower than RTs to invalidly cued targets (Posner and Cohen, 1984). This effect is known

* Corresponding author. Tel.: +34-981-563-100 ext. 13916; fax: +34-981-521-581.

E-mail address: sdoallo@usc.es (S. Doallo).

1388-2457/$30.00 © 2004 International Federation of Clinical Neurophysiology. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/S1388-2457(03)00317-1

as 'inhibition of return' (IOR). However, when the peripheral cue is informative of the target position, the cue validity effect continues at SOAs of 300 ms or more (Wright and Richard, 2000). Findings of this type have been interpreted as the result of a voluntary orienting process induced by informative-peripheral cueing with long SOAs, overcoming the IOR effect. Symbolic central cues appear to induce an endogenous, voluntary shift of attention with a relatively slow onset time (at least 200 ms) (Müller and Rabbitt, 1989), and which is persistent, less dependent on cue-to-target SOA (Yamaguchi et al., 1994), and not prone to IOR effects (Posner and Cohen, 1984).

Covert visuospatial orienting in response to central and peripheral cues has been also investigated in event-related potential (ERP) studies. These studies have revealed that facilitation of RT by central cues is accompanied by enhancements of the P1 and N1 components for stimuli at validly cued locations as compared to stimuli at invalidly cued locations (Mangun et al., 1987; Mangun and Hillyard, 1991). The modulation of the amplitude of the P1 component, starting about 80 ms post-stimulus, would represent the earliest effect of spatial attention on visual processing (Hillyard et al., 1999). It has been suggested that this modulation reflects a sensory gain mechanism that results in enhanced perceptual processing of attended stimuli (Mangun and Hillyard, 1990; Mangun et al., 1993). Recent experiments using ERP source localization techniques (Mangun et al., 1993; Gómez et al., 1994; Johannes et al., 1995), as well as experiments combining ERP recordings with functional imaging (positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging) (Heinze et al., 1994; Mangun et al., 1997; Martínez et al., 1999), have offered evidence that this gating process is accomplished within extrastriate cortical structures (the fusiform gyrus and surrounding areas).

The involuntary attention effects of peripheral cueing on early visual processing are less clear, with different authors having reported different effects on P1. Hillyard et al. (1994) compared the effects of central and peripheral cues on ERPs. In both cases, valid cues elicited an enhancement of the N1 and N2 components, while valid central cues, but not valid peripheral cues, increased P1.

This failure to detect any effect of peripheral cueing on P1 was surprising, as the predictive value of the cues and the long SOAs used (600–800 ms) would be expected to elicit voluntary attentional shifts similar to the orienting processes induced by symbolic central cues (Mangun, 1995). Hillyard et al. (1994) concluded that these two types of cue differ in their ability to invoke the earliest type of attentional selection. Eimer (1994) also studied the effects of peripheral cues on ERP using a cue-to-target SOA of 700 ms, and found no P1 enhancement for validly cued stimuli; on the contrary, P1 was larger in invalid than in valid trials. Hopfinger and Mangun (1998) reported similar results using uninformative-peripheral cues with long SOAs. Only Anllo-Vento (1995) has reported validity effects on P1/N1 amplitude with long SOAs.

Since behavioral studies have shown that the optimal effect of peripheral cues is observed with SOAs of about 100–175 ms (Müller and Rabbitt, 1989), the negative results obtained by Hillyard et al. (1994) and Eimer (1994) might be attributable to the longer SOAs used in these studies. It is possible that central and peripheral cueing modulate stimulus processing in the visual cortex with different time courses, as is the case with behavioral responses. Nevertheless, results have also been inconsistent in experiments using short SOAs: Lubbe and Woestenburg (1997) detected a contralateral enhancement of the posterior P150 component using peripheral cueing 100–300 ms prior to the target, and Hopfinger and Mangun (1998) found similar validity effects on P1 using uninformative-peripheral cues with short SOAs. Similar results were also reported recently by Fu et al. (2001) using informative-peripheral cues. However, Anllo-Vento (1995) did not detect any validity effect on P1/N1 using cues with an SOA of 200 ms.

As explained above, the informative value of peripheral cues is another factor influencing their facilitatory effects and modulating the time course of these effects. To date, only a few studies have investigated the purely automatic effects of uninformative cueing on ERPs. As noted above, Hopfinger and Mangun (1998) observed P1 modulations by uninformative cues that were consistent with a facilitatory effect changing to an inhibitory effect when SOA increases; Eimer (1994) and McDonald et al. (1999) also reported smaller P1 to validly cued targets with long SOAs.

The present study was designed to help clarify the effects of peripheral cueing on early visual processing, taking into account these considerations about the influence of cue-to-target interval and the informative value of the cue. To this end, we repeated Hillyard et al. (1994) study, but systematically varied cue-to-target SOA from 100 to 700 ms, with the aim of assessing in detail the time course of the attentional orienting effects of central and peripheral cues on P1 amplitude. Furthermore, we included an additional experimental condition with uninformative-peripheral cueing (i.e. cue validity 50%), with the aim of obtaining additional evidence about the effects of the automatic orienting elicited by this type of cue.

2. Methods

2.1. Subjects

Fifteen paid volunteers (12 female, 3 male), aged between 19 and 23 years (M = 20 years), took part in the experiment[1]. Informed consent was obtained from each participant. All the subjects were right-handed, had normal

[1] In the uninformative-peripheral cue condition, the data from one subject was discarded because evaluations of her horizontal EOG revealed systematic eye movements to the cued location.

or corrected-to-normal vision, and had no history of psychiatric or neurological disorders.

2.2. Stimuli and apparatus

The subjects were seated in a comfortable armchair in an electrically isolated, sound- and light-attenuated room, with response buttons under their left and right hands. A computer screen was placed 100 cm in front of the subject's eyes and carefully positioned so that the stimuli (white-on-black) were presented directly horizontal to the subject's line of vision. A fixed cross was presented continuously at the center of the screen. In the Informative-Central Cue condition, each trial began with an arrow flashed at the fixation point for 34 ms that pointed either to the left or right visual field on a random basis (each with a probability of 0.50). The cue correctly indicated target location in 75% of trials (i.e. cue validity 75%; valid trials). The target stimuli were either short ($1.7° \times 0.7°$) or long ($2.1° \times 0.7°$) vertical bars flashed for 75 ms in the left or right visual field at a horizontal distance of 6.4° from the central cross. The target locations were each defined by four continuously present dots that formed the corners of a vertical rectangle ($1.5° \times 1.1°$) centered on the target's position. The interval from cue onset to target onset (SOA) had four values of 100, 300, 500 and 700 ms, which varied between blocks. The intertrial intervals were 1800 ms. In the Informative-Peripheral Cue condition, stimuli and procedures were identical to those previously described for the Informative-Central Cue condition, except for the character of the cue: the trials began with a peripheral cue that consisted of a brief displacement of the dots that marked one of the target locations. The four dots were extinguished and replaced for 50 ms by another four dots that formed a new outline rectangle of $1.1° \times 0.5°$. The original dots were then restored, giving the appearance that the continuously present marker dots had jumped toward and then away from each other. The cue correctly indicated target location in 75% of trials (i.e. cue validity 75%; valid trials). The cue-target SOAs were identical to those in the Informative-Central Cue condition. In the Uninformative-Peripheral Cue condition, the stimuli and procedures were identical to those in Informative-Peripheral Cue condition, except that the cue correctly indicated target location in only 50% of trials (i.e. cue validity 50%; valid trials).

2.3. Procedure

For all conditions, subjects maintained eye fixation on the central cross, and were required to discriminate the height of the target bar for each trial, pressing one button with one hand for short bars and another button with the other hand for long bars, as quickly and accurately as possible in each trial. The assignment of the response hand was counterbalanced across subjects. The subjects were informed of the probabilities of the valid and invalid trial types and were told to make use of this information to maximize their performance. In order to familiarize the subjects with these specific task requirements, several training trials were run at the beginning of the experiment. Each experimental condition consisted of 4 trial blocks, according to the SOA variable, resulting in a total of 12 experimental blocks. Each block consisted of 240 trials. The order of the blocks within each experimental condition was counterbalanced for order effects within and across subjects. In the Informative-Central Cue and Informative-Peripheral Cue conditions, 180 (75%) of the 240 trials per block were valid. In the Uninformative-Peripheral Cue condition, 120 (50%) of the 240 trials were valid. Each condition lasted approximately 35 min. Short breaks were allowed between conditions, with length of the break controlled by the subjects. The order of the conditions was counterbalanced across subjects.

2.4. Recording

The electroencephalogram (EEG) was recorded with tin electrodes from T5 and T6 (according to the 10–20 system), from PL and PR (located halfway between Pz and the ear canal), and from OL and OR (located halfway between O1 and T5, and O2 and T6, respectively). All electrodes were referred to an electrode placed over the nose. The horizontal electrooculogram (EOG) was recorded bipolarly from electrodes at the outer canthi of both eyes, and the vertical EOG was recorded from electrodes placed supraorbitally and infraorbitally to the left eye. EEG was amplified 10K and filtered using a bandpass filter of 0.05–100 Hz. EEG and EOG were sampled with a digitization rate of 500 Hz. Impedances were kept at 10 KΩ or less. Reaction times were recorded for each trial.

2.5. Data analysis

The EEG and EOG were digitally filtered off-line with a 0.1–30 Hz bandpass filter, and were epoched into periods of 1000 ms, from 100 ms prior to the onset of the target to 900 ms post-target. Trials with eyeblinks, horizontal eye movements, or response errors were excluded from analysis. The EEG was averaged separately for all combinations of task conditions (visual field: right/left; trial validity: valid/invalid; type of cue: informative-central/informative-peripheral/uninformative-peripheral; cue-to-target SOAs: 100/300/500/700 ms), resulting in 48 average waveforms for each subject and electrode site. All measurements were taken relative to the mean voltage of the pre-target interval. To avoid overlapping of ERPs elicited by cues and targets in the conditions with short SOAs, a correction was applied as follows: The ERPs elicited by cues (left and right hemifield separately) were obtained in the SOA-700 condition (epoch 0–700 ms), which can reasonably be assumed not to overlap with the subsequent target response. These cue ERPs were then time-locked and subtracted from the ERPs elicited by

Table 1
Mean RT (ms) as a function of SOA, visual field and cue validity for informative-central, informative-peripheral and uninformative-peripheral cueing conditions[a]

	SOA 100 ms				SOA 300 ms				SOA 500 ms				SOA 700 ms			
	Visual field				Visual field				Visual field				Visual field			
	Left		Right		Left		Right		Left		Right		Left		Right	
	Valid	Invalid	Valid	Invalid	Valid	Invalid	Valid	Invalid	Valid	Invalid	Valid	Invalid	Valid	Invalid	Valid	Invalid
Informative central	584 (74)	609 (64)	586 (70)	618 (61)	547 (64)	588 (71)	542 (54)	583 (81)	559 (63)	597 (60)	559 (59)	595 (69)	566 (69)	591 (65)	562 (72)	601 (75)
Informative peripheral	541 (68)	584 (58)	533 (57)	571 (69)	552 (65)	574 (71)	554 (68)	594 (73)	569 (63)	584 (66)	564 (66)	586 (60)	574 (91)	589 (75)	574 (87)	584 (81)
Uninformative peripheral	540 (52)	585 (63)	533 (60)	574 (61)	568 (82)	582 (69)	575 (94)	583 (87)	578 (77)	594 (82)	596 (89)	587 (86)	580 (81)	585 (77)	586 (82)	585 (79)

[a]Standard deviations are in parentheses.

the targets in the SOA-100 and SOA-300 conditions, so eliminating the putative effects of the electrophysiological response to the cue on the ERPs elicited by the targets. (See the appendix for a further description of the procedure to correct for possible ERP overlapping).

The averaged ERPs were analyzed with a semi-automatic peak detection program, which examined a latency window of 75–165 ms for peak P1. Peaks were then verified and adjusted by visual inspection. Amplitude values were automatically exported to an ASCII file for subsequent analysis.

Repeated-measures analyses of variance (ANOVA) were performed on amplitude values with the within-subject factors electrode (6 levels), type of cue (3 levels), validity (2 levels), laterality (target stimuli in the contralateral vs. ipsilateral visual field relative to the electrode location, 2 levels), and cue-to-target SOA (4 levels). Significance levels were determined using degrees of freedom after applying the Greenhouse-Geisser correction when the data violated the assumption of sphericity. Post-hoc comparisons were performed using the Bonferroni adjustment for multiple comparisons. For the reaction time data, repeated-measure ANOVAs were carried out for the factors type of cue, cue-to-target SOA, validity, and visual field of stimulus.

3. Results

3.1. Behavioral performance

Mean RT as a function of SOA, visual field and validity for informative-central, informative-peripheral and uninformative-peripheral cueing conditions are presented in Table 1. There was only a significant main effect of validity ($F(1,14) = 82.461$, $P = 0.0005$), showing that reaction times were significantly faster for validly cued targets than for invalidly cued targets. The magnitude of the valid-invalid difference in RT varied significantly among cueing conditions, as indicated by the significant type of cue × validity interaction ($F(2,28) = 7.405$, $P = 0.003$). Pairwise analyses showed that the validity effect was significantly larger for informative-central cues (563 ± 55 vs. 598 ± 58) than for uninformative-peripheral cues (569 ± 71 vs. 584 ± 69) ($F(1,14) = 15.347$, $P = 0.002$) and for informative-peripheral cues (558 ± 66 vs. 583 ± 62) than for uninformative-peripheral cues ($F(1,14) = 5.700$, $P = 0.032$).

Significant validity × SOA ($F(3,42) = 6.695$, $P = 0.001$) and type of cue × SOA × validity ($F(6,84) = 4.845$, $P = 0.0005$) interactions were also detected. Separate analyses for each cueing condition revealed that the validity × SOA interaction persisted for informative-peripheral cues ($F(3,42) = 5.766$, $P = 0.002$) and for uninformative-peripheral cues ($F(3,42) = 14.486$, $P = 0.0005$). For informative-peripheral cues, the validity effect

was significant at SOAs of 100 ms ($F(1,14) = 43.537$, $P = 0.0005$), 300 ms ($F(1,14) = 24.360$, $P = 0.0005$) and 500 ms ($F(1,14) = 11.663$, $P = 0.004$). For uninformative-peripheral cues, the largest validity effect was found at 100 ms SOA ($F(1,14) = 100.084$, $P = 0.0005$), while there was no significant effect at 300, 500 or 700 ms SOAs.

There was no significant validity × SOA interaction for informative-central cues: validity effects on RT were significant at all SOAs.

Although no statistically significant main effects were found for the factors SOA and type of cue, there was a significant interaction between them ($F(6,84) = 2.976$, $P = 0.011$), as a result of significantly slower RTs after informative-central cues than after informative-peripheral cues ($F(1,14) = 6.077$, $P = 0.027$) or uninformative-peripheral cues ($F(1,14) = 5.408$, $P = 0.036$) at 100 ms SOA.

The factor visual field had no significant effects, nor did it show significant interactions with other variables.

3.2. Event-related potentials

Grand-averaged ERPs (15 subjects; valid and invalid targets; occipital, parietal, and temporal electrodes; ipsilateral and contralateral to the target location) are shown in Figs. 1–3 for informative-peripheral, uninformative-peripheral and informative-central cueing, respectively. The P1 component was largest at occipital locations (OL and OR) in all conditions, as indicated by a significant effect of electrode ($F(5,70) = 15.730$, $P = 0.0005$, $\epsilon = 0.612$). The SOA main effect was significant ($F(3,42) = 9.642$, $P = 0.0005$): specifically, the largest P1 amplitudes were found at 300 and 700 ms

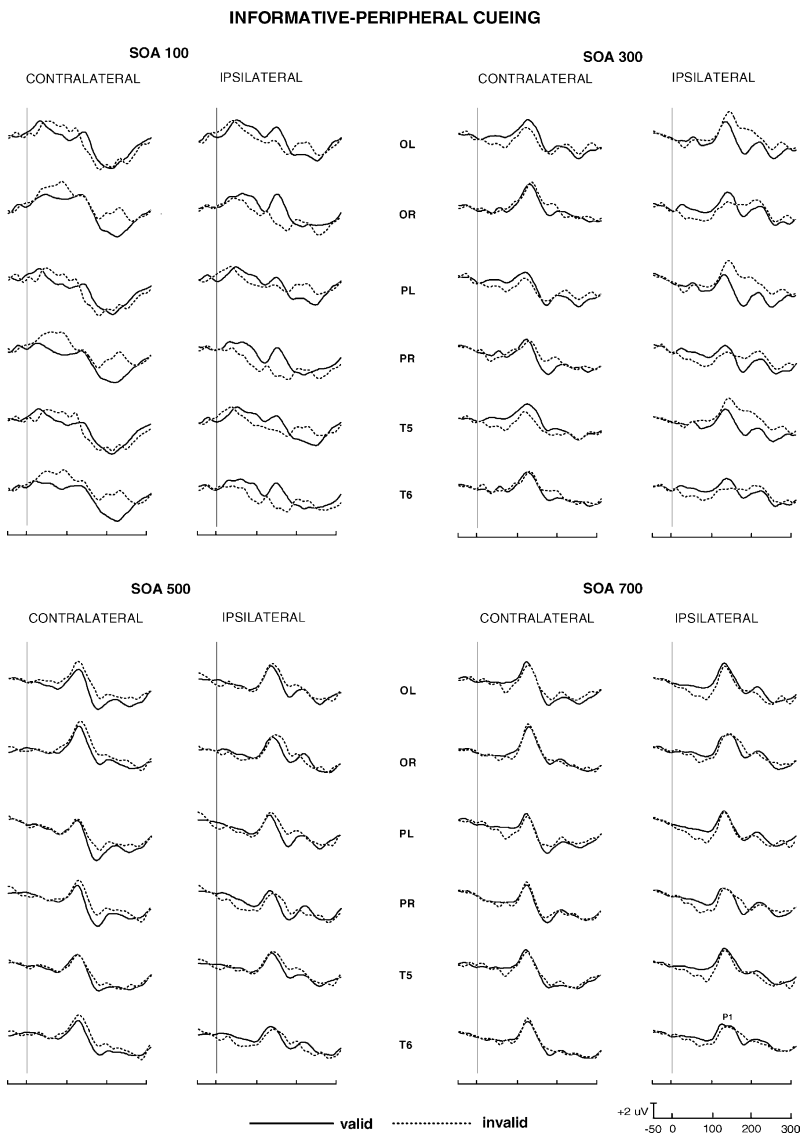

Fig. 1. Grand-averaged ERPs for validly and invalidly targets at occipital, parietal and temporal electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-peripheral cue condition.

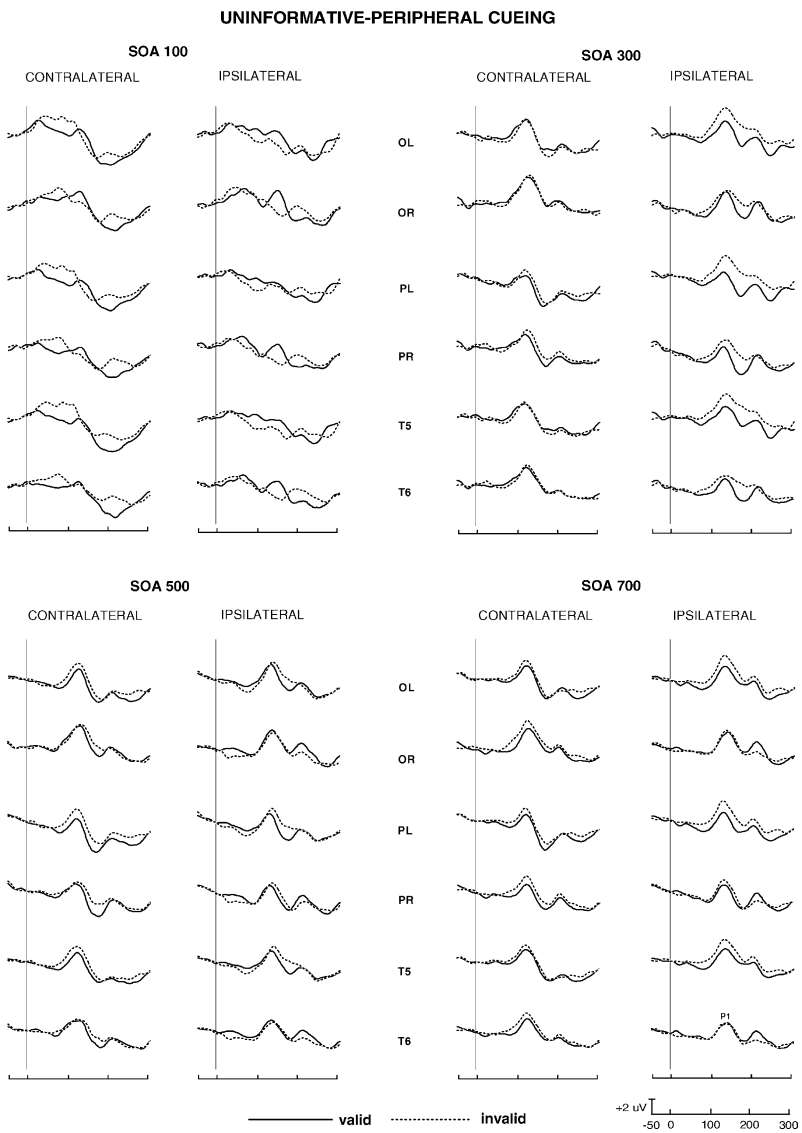

Fig. 2. Grand-averaged ERPs for validly and invalidly targets at occipital, parietal and temporal electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the uninformative-peripheral cue condition.

SOA, differing significantly from those at 500 and 100 ms SOA (300 vs. 100: $P = 0.022$; 300 vs. 500: $P = 0.037$; 700 vs. 100: $P = 0.013$; 700 vs. 500: $P = 0.009$).

There was not a significant main effect of type of cue, but this factor significantly interacted with SOA ($F(6, 84) = 4.338$, $P = 0.008$, $\epsilon = 0.539$), due to P1 amplitude being significantly smaller for informative-central cues than for informative- ($P = 0.004$) and uninformative- ($P = 0.002$) peripheral cues at 500 ms SOA. There were no significant effects of laterality, and no significant interactions between this factor and other factors.

Although no main effect of Validity was detected, there was a significant validity × SOA interaction ($F(3, 42) = 4.056$, $P = 0.032$, $\epsilon = 0.613$). There were also significant 3-way interactions between electrode, validity and SOA ($F(15, 210) = 2.288$, $P = 0.049$, $\epsilon = 0.364$) and electrode, type of cue and validity ($F(10, 140) = 4.491$, $P = 0.007$, $\epsilon = 0.317$). Therefore, to evaluate in detail the time course of the validity effect on P1 amplitude, separate analyses were carried out for each electrode pair in the parietal (PL/PR), temporal (T5/T6) and occipital (OL/OR) scalp locations. These ANOVAs included an additional variable, namely hemisphere of recording (left/right). Considering the three task conditions together, the validity × SOA interaction was significant for the occipital ($F(3, 42) = 4.997$, $P = 0.020$, $\epsilon = 0.565$) and parietal ($F(3, 42) = 4.544$, $P = 0.020$, $\epsilon = 0.664$) locations. Thus, additional ANOVAs were carried out for each cueing condition only at these locations. The main results of these analyses are synthesized in Table 2. Only the effects of validity and its interactions with the other variables included in the analysis are reported, since these are the most relevant to the goals of this study.

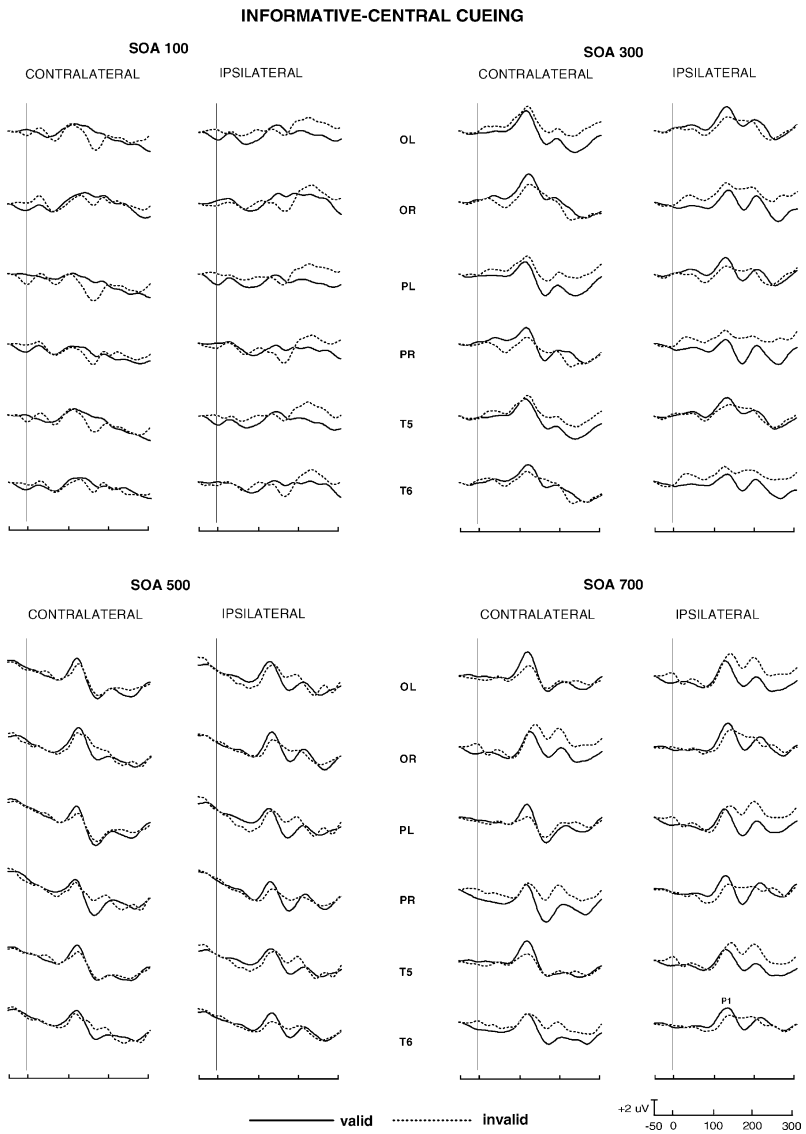

Fig. 3. Grand-averaged ERPs for validly and invalidly targets at occipital, parietal and temporal electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-central cue condition.

3.2.1. Informative-peripheral cueing

There was a significant validity × SOA interaction for occipital scalp locations ($F(3,42) = 4.408$, $P = 0.009$), but not for parietal locations (see Table 2). Separate analyses of the validity effect for each SOA at occipital locations (see Table 3), revealed that the P1 amplitude was larger for valid than for invalid trials at 100 ms SOA ($F(1,14) = 6.253$, $P = 0.025$), but smaller for valid than for invalid trials at 500 ms SOA ($F(1,14) = 5.868$, $P = 0.030$).

3.2.2. Uninformative-peripheral cueing

As shown in the Table 2, there was a significant effect of validity ($F(1,14) = 6.841$, $P = 0.020$) at parietal sites, indicating that P1 amplitude was larger for invalid than for valid trials. The effect was more prominent in the left

Table 2
Summary of statistical analyses (P values) of the effect of validity on P1 amplitude at occipital and parietal locations in the informative-central, informative-peripheral and uninformative-peripheral cueing conditions

Type of cue		Validity	Validity × SOA	Validity × hemisphere
Informative	OL/OR	*ns*	0.009	*ns*
Peripheral	PL/PR	*ns*	*ns*	*ns*
Uninformative	OL/OR	*ns*	0.001	*ns*
Peripheral	PL/PR	0.020	0.001	0.046
Informative	OL/OR	*ns*	*ns*	*ns*
Central	PL/PR	*ns*	*ns*	*ns*

ns = not significant.

Table 3
Summary of statistical analyses (P values) of the effect of validity on P1 amplitude at occipital and parietal locations for each SOA in the informative-peripheral and uninformative-peripheral cueing conditions

		Informative peripheral	Uninformative peripheral
SOA 100	OL/OR	0.025	0.020
	PL/PR	*ns*	*ns*
SOA 300	OL/OR	*ns*	*ns*
	PL/PR	*ns*	0.003
SOA 500	OL/OR	0.030	*ns*
	PL/PR	*ns*	0.046
SOA 700	OL/OR	*ns*	0.014
	PL/PR	*ns*	0.014

ns = not significant.

hemisphere, as revealed by the significant hemisphere of recording × validity interaction ($F(1,14) = 4.784$, $P = 0.046$). In addition, there was a significant validity × SOA interaction at parietal ($F(3,42) = 6.536$, $P = 0.001$) and occipital ($F(3,42) = 6.395$, $P = 0.001$) locations. Additional ANOVAs for each SOA showed that at parietal sites (see Table 3), P1 was larger for invalid than for valid trials at 300 ms SOA ($F(1,14) = 13.021$, $P = 0.003$), 500 ms SOA ($F(1,14) = 4.793$, $P = 0.046$) and 700 ms SOA ($F(1,14) = 7.830$, $P = 0.014$). The effect on P1 amplitude with 300 ms SOA was greater at the left electrode, as revealed by the significant hemisphere of recording × validity interaction ($F(1,14) = 5.147$, $P = 0.040$). At occipital locations, the P1 amplitude was larger for valid than for invalid trials at 100 ms SOA ($F(1,14) = 6.884$, $P = 0.020$); by contrast, at 700 ms SOA, P1 amplitude was smaller for valid than for invalid trials ($F(1,14) = 7.936$, $P = 0.014$) (see Table 3).

3.2.3. Informative-central cueing

There were no significant differences between valid and invalid trials, and none of the variables considered showed significant interactions with validity.

4. Discussion

4.1. Behavioral performance

As in previous RT studies, the subjects in the present experiment were significantly faster at responding to targets in validly cued locations than in invalidly cued locations. These validity effects on RT differed among cueing conditions. A significantly larger validity effect was observed for informative-central and informative-peripheral cues than for uninformative-peripheral cues. These differences indicate that spatial cues were more effective in orienting attention to the cued location when they provided information about the probable location of the target.

These validity effects revealed differences as a function of SOA in both peripheral cueing conditions. Peripheral cues led to RT facilitation with the shortest SOA (100 ms), and this facilitation was not affected by cue informativeness (i.e. probability of valid cue 75 or 50%). RT facilitation of this type has been attributed to automatic attraction of attention by the cue (Jonides, 1981). With SOAs longer than 100 ms, different patterns were observed, depending on cue informativeness. With informative-peripheral cueing, a validity effect was observed at 300 and 500 ms SOA, but not at 700 ms SOA. These findings are consistent with the behavioral results obtained in previous ERP studies, that have investigated peripheral cueing effects with several SOAs. Anllo-Vento (1995) reported faster RTs for validly than invalidly cued targets when the SOA was short (200 ms) than when it was longer (600 ms). Yamaguchi et al. (1994) similarly found that responses were faster for validly than for invalidly cued targets at an SOA of 200 ms, but not with longer SOAs (500 and 800 ms). These results also agree with behavioral studies showing that when a peripheral cue provides information about the probable target location, the validity effect observed with short SOAs continues to be present with SOAs of 300 ms or more (Wright and Richard, 2000), although it declines in magnitude as SOA increases (Müller and Rabbitt, 1989). These effects have been interpreted as the result of a voluntary orienting process elicited by highly predictive peripheral cueing at long SOAs.

With uninformative-peripheral cues, by contrast, the validity effect was only present at the shortest SOA, and disappeared at the longer SOAs. The results obtained in this condition are consistent with the findings of Hopfinger and Mangun (1998), who reported faster RTs to targets at the cued location than to targets at the non-cued location with short SOAs (34–234 ms) but not with long SOAs (566–766 ms). Eimer (1994) also detected no validity effects on RT with uninformative-peripheral cues at an SOA of 700 ms. These results suggest that the RT facilitation effect of cues with SOA of 300 ms is due to voluntary orienting processes, present with informative cues but absent with uninformative cues.

The absence of any validity effect on RTs at long SOAs would suggest that inhibition of return was not elicited by the uninformative-peripheral cues. The IOR effect consists of slower RTs to cued locations as compared with uncued locations (Posner and Cohen, 1984). This absence may be attributable to the use of a discrimination task. Previous research (Terry et al., 1994) has suggested that such tasks reduce the probability of obtaining RT inhibition. However, other authors have reported evidence against this hypothesis (e.g. Lupiáñez et al., 1997; Handy et al., 1999), suggesting that IOR may occur in discrimination tasks. Another possible explanation is that the absence of an IOR effect is due to the fact that only a single location was cued in the present experiment. In the typical paradigm designed to investigate the effects of IOR (Posner and Cohen, 1984),

the peripheral cue is followed by a second (central) cue presented at fixation, before the target is presented. Posner and Cohen (1984) reported that IOR does not appear to be elicited by peripheral cueing if attention is not drawn away from the cued location back to the neutral fixation point.

In contrast to the effects of peripheral cueing, the RT validity effect of central cues did not depend on SOA; responses were faster for valid than for invalid cues at all SOAs, indicating that central cues produce a more sustained facilitation of performance, a result that is in agreement with previous studies (Müller and Rabbitt, 1989; Yamaguchi et al., 1994).

4.2. Event-related potentials

One of the main objectives of this study was to investigate the time course of peripheral cueing effects on early visual processing. The results obtained with peripheral cueing at occipital sites revealed that, with a SOA of 100 ms, the amplitude of P1 was larger when the target was validly cued than when it was invalidly cued. However, P1 amplitude was larger for invalid than for valid trials with SOA 500 ms (informative-peripheral cues) or 700 ms (uninformative-peripheral cues); for the latter type of cue, this effect extended to SOAs of 300 and 500 ms at parietal sites.

The enhancement of the P1 component to valid targets with informative-peripheral cueing after a short SOA (100 ms) supports the hypothesis that the absence of a validity effect in Hillyard et al. (1994) study could be due to the use of overly long SOAs (600–800 ms). This result agrees with previous findings (Lubbe and Woestenburg, 1997; Fu et al., 2001). On the other hand, the P1 validity effect observed with uninformative-peripheral cueing with SOA of 100 ms is consistent with the findings of Hopfinger and Mangun (1998). Furthermore, these ERP results are consistent with the facilitation of RT in valid as opposed to invalid trials with an SOA of 100 ms.

The effect of cue validity on P1 amplitude, which has been previously observed in several central cueing ERP studies (Mangun et al., 1987; Mangun and Hillyard, 1991), has been interpreted in terms of a sensory gain control mechanism in extrastriate cortical structures, resulting in enhanced perceptual processing of validly cued stimuli (Mangun and Hillyard, 1990). Within this model, it might be suggested that these ERP data provide evidence that peripheral cueing leads to facilitation of the perceptual processing of stimuli presented in cued locations when the SOA is short enough. This sensory gain may be responsible for the RT benefits in behavioral execution. These findings suggest that automatic attraction of attention by a peripheral cue results in improved sensory processing at the cued location for a short period after presentation of the cue.

In contrast, at the longest SOAs, P1 amplitude was larger for invalidly cued targets than for validly cued targets with SOAs of 300, 500 and 700 ms for uninformative-peripheral cueing and with SOA of 500 ms for informative-peripheral cueing.

The reduction of P1 amplitude for valid trials with long SOA with uninformative-peripheral cueing is consistent with previous findings (Eimer, 1994; Hopfinger and Mangun, 1998; McDonald et al., 1999). This may reflect an IOR effect (Posner and Cohen, 1984). However, this possibility seems unlikely because of the absence of any validity effects on RT at long SOAs. Reduced P1 to valid trials with peripheral cues and long SOAs in the absence of any behavioral IOR has also been found in previous studies: Eimer (1994) reported a similar reduction with SOA of 700 ms, and Hopfinger and Mangun (1998) with SOAs of 566–766 ms. In the present study, the systematic variation of SOA, from 100 to 700 ms in steps of 200 ms, allowed us to observe that this effect is already present with an SOA of 300 ms.

With informative-peripheral cueing, P1 was larger for invalid trials than for valid trials only with an SOA of 500 ms. However, the behavioral results showed a facilitation of performance with SOAs of 300 and 500 ms. Hillyard et al. (1994) found no significant effect on P1 at long SOAs, accompanied by facilitation of RT. Mangun (1995) suggested that this ERP result might be related to the IOR effect, even though a behavioral IOR effect was not observed. This author proposed that the absence of an IOR effect on RT with informative-peripheral cueing may be due to two competing influences with opposing effects: a voluntary orienting of attention that leads to faster responses to validly cued targets, and an IOR effect that slows responses to validly cued targets. Thus, the absence of the P1 attention effect may reflect an IOR effect, whereas the voluntary orienting might be associated with amplitude enhancements in later ERP components (N1, N2 and P3), as well as faster responses to validly cued targets.

The findings of the present study with informative-peripheral cueing might similarly be interpreted as the result of the confluence of two opposing effects: a voluntary orienting process elicited by the informative value of the cue, starting at SOA 300 ms as suggested by the behavioral results, and an inhibitory effect. The voluntary orienting process might compensate the inhibitory effects of peripheral cues at cued locations with long SOAs. The uninformative-peripheral cue results are consistent with this hypothesis: with this type of cue, voluntary orienting does not occur, and the inhibitory effect at the cued location would be maintained at all longest SOAs. The significant enhancement of P1 amplitude for invalid trials at 500 ms SOA with informative-peripheral cueing might reflect the time after cue presentation during which the inhibitory effect is highest, overcoming the opposing effect of the voluntary orienting process. The facilitation of behavioral performance with informative-peripheral cueing with 300 and 500 ms SOAs suggests that this facilitation is produced at a later processing stage. What this stage is must be determined by analysis of the later ERP components.

However, these results disagree with the P1/N1 enhancement for valid trials reported by Anllo-Vento (1995) in a study in which SOAs of 600 ms were used. These differences may be attributable to differences in task demands between the two studies. Anllo-Vento used a simple RT task, whereas in the present study a choice RT task was used. Some authors (Rafal and Henik, 1994) have provided evidence of differences between detection and discrimination tasks with regard to the time course and the magnitude of the central and peripheral cue effects. Although this interpretation is plausible, further experiments comparing peripheral cueing effects on ERPs in detection and discrimination tasks are needed to assess this hypothesis. It should also be noted that Anllo-Vento measured P1/N1 amplitude; it is likely that their amplitude enhancement was due to N1, which appears as consistently affected by valid cues in several studies (Eimer, 1994; Hillyard et al., 1994).

Another aim of the present study was to investigate P1 amplitude effects of central cueing at several SOAs, in order to examine differences in the time course of facilitatory effects on the visual processing induced by central and peripheral cues. The results obtained in the informative-central cue condition did not show significant differences in P1 amplitude in response to validly and invalidly cued targets, nor any difference in the P1 validity effect depending on SOA, although the behavioral results showed that central cues lead to facilitation of performance.

To date, no studies have been published which compare ERPs recorded in response to target stimuli following central cues at different SOAs, which makes it difficult to evaluate the consistency of the findings obtained in the present experiment. Nevertheless, the absence of significant validity effects on P1 amplitude for central cues with a SOA of 700 ms differs from the findings of Hillyard et al. (1994), who detected larger P1 amplitudes to valid rather than invalid trials. This discrepancy is surprising, since the central cue condition used in this study is a replication of the experiment of Hillyard et al., except that several additional cue-target SOAs were added. The absence of a validity effect on P1 suggests that voluntary orienting of attention in response to a central cue did not affect visual processing at the P1 level in the present study. Analyses of the later ERP components are necessary to identify psychophysiological indices of the attentional facilitation observed in the behavioral results. Furthermore, such analyses will allow comparison of the effects of the voluntary attention elicited by central and informative-peripheral cueing at later stages of processing.

In summary, the findings obtained in the present study suggest that peripheral cueing facilitates the perceptual processing of stimuli presented at cued locations, even when cues were not predictive of the location of the target, when the SOA was sufficiently short (100 ms). These results suggest that the automatic attraction of attention by a peripheral cue results in enhanced sensory processing at the cued location. At the longest SOAs, this facilitation did not persist; on the contrary, P1 amplitude was reduced for validly cued targets, suggesting an inhibition of sensory processing at the cued location. The finding that uninformative-peripheral cues led to significantly smaller amplitudes in valid trials at all the longest SOAs, whereas informative-peripheral cues only showed this effect with an SOA of 500 ms, suggests differences in the influence of peripheral cues on early visual processing as a function of cue informativeness. This difference might be due to different orienting processes elicited by informative- and uninformative-peripheral cues at long SOAs, as suggested by the behavioral results. Specifically, informative-peripheral cues might elicit a voluntary orienting process, starting at SOA 300 ms, which might compensate the inhibitory effects of peripheral cues at long SOAs. With uninformative-peripheral cues this voluntary orienting would not be present, resulting in a more sustained inhibitory effect at cued locations at all the longest SOAs. The absence of validity effects on P1 for central cues means that it is not possible to confirm that voluntary orienting in response to a central cue affects the stage of visual processing reflected by P1.

Acknowledgements

This study was supported by Spain's *Ministerio de Ciencia y Tecnología* (grant BSO2000-0041) and by the Galician Secretaría Xeral de I + D (PGIDT00PSI211102PR, PGIDT01PXI21101PN). The first author holds a postgraduate scholarship from the Spanish *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte* (grant AP99). We thank to Neurobehavioral Systems, Inc. for the free software Presentation, used to design and administer the stimulation paradigm.

Appendix A

Procedure to correct for possible ERP overlapping

To avoid overlapping of the ERPs elicited by cues and targets in the shortest SOA conditions, a correction was applied as follows.

Let VR(cue,tar,soa,loc;t) be the averaged ERP recorded at electrode location loc for each cue, target and SOA combination (six values for cue: central right-left, peripheral informative right-left, peripheral non-informative right-left; 4 for target: valid right-left, invalid right-left; four for SOA: 100, 300, 500, 700 ms); the variable 't' denotes the time (these functions are assumed throughout this paper to be discrete functions of time). Let us also write VC(cue, loc; t) for the averaged ERP triggered by a given cue at the electrode location loc, and VT(cue, tar, soa, loc; t) for

the averaged ERP elicited by a given target after the corresponding cue. Assuming, as in the Adjar technique (Woldorff, 1993), that both VC and VT are time-invariant and that the electric fields of overlapping ERPs add linearly, the averaged recorded ERP (time-locked to the target), VR, is given by

$$\mathrm{VR}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) = \mathrm{VT}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) + \mathrm{VC}(\mathrm{cue}, \mathrm{loc}; t + \mathrm{soa}) \quad (1)$$

Writing Eq. (1) we implicitly assume, apart from system linearity and time-invariance, that:

- only first-order overlapping effects from the immediately previous cue are taken into account (i.e. no overlapping effects from more remote previous nor immediate subsequent cues and targets are of interest, which is a reasonable assumption since the intertrial intervals were as long as 1800 ms); and
- the shape of the cue ERP (VC) is independent of the SOA (an assumption supported by the fact that the recorded cue response is noticeably equal for all SOAs during the time slot of the corresponding SOA).

Filtering the VR waveform to obtain the desired VT requires having a good estimate of the overlapping response VC. In ERP experiments with only short SOAs and short intertrial intervals, interstimulus jittering is essential in order to enable the application of procedures for estimating VC like those used in the Adjar level 1 technique. Indeed, the combination of jittering and grand-averaging is what allows us to obtain in these cases a reasonable estimate of the overlapping previous responses and carry out the overlap removal once the previous event distributions are known. However, in our experiment we have recorded VC waveforms for each cue condition (including the cue hemifield) with a long SOA (700 ms) which can reasonably be assumed not to overlap with the subsequent target response. According to (b), these averaged waveforms [denoted henceforth by $\mathrm{VC}_{700}(\mathrm{cue}, \mathrm{loc}; t)$] give us a reasonably good estimate of the VC ERPs for the 700 ms following the corresponding cue, whatever the SOA may be. We have separately computed the VC_{700} for each cue condition at each relevant electrode location. Then, for each (cue, tar, soa, loc) condition, filtering can be done by subtracting

$$\mathrm{VT}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) = \mathrm{VR}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) - \mathrm{VC}_{700}(\mathrm{cue}, \mathrm{loc}; t + \mathrm{soa}) \quad (2)$$

The range of validity of Eq. (2) extends to an elapsed time of [700 ms – SOA] since the stimulus onset. Eq. (2) is a particular case of overlap removal when the previous-event normalized distribution approaches a Kronecker-delta in the discrete time domain and the VC waveforms are known.

In our case the absence of jitter for each nominal SOA does not allow the low-pass filtering of the VC contribution to the recorded ERP, so there is no gain in implementing recursive procedures such as Adjar level-2. Furthermore, using such a recursive procedure to estimate the VC contribution does not seem necessary, since the required data can be obtained directly from the VC_{700} records.

References

Anllo-Vento L. Shifting attention in visual space: the effects of peripheral cueing on brain cortical potentials. Int J Neurosci 1995;80:353–70.

Briand KA, Klein RM. Is Posner's 'beam' the same as Treisman's 'glue'? On the relation between visual orienting and feature integration theory. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1987;13:228–41.

Eimer M. An ERP study on visual spatial priming with peripheral onsets. Psychophysiology 1994;31:154–63.

Fu S, Fan S, Chen L, Zhuo Y. The attentional effects of peripheral cueing as revealed by two event-related potential studies. Clin Neurophysiol 2001;112:172–85.

Gómez CM, Clark VP, Fan S, Luck SJ, Hillyard SA. Sources of attention-sensitive visual event-related potentials. Brain Topogr 1994;7:41–51.

Handy TC, Jha AP, Mangun GR. Promoting novelty in vision: inhibition of return modulates perceptual-level processing. Psychol Sci 1999;10: 157–61.

Heinze HJ, Mangun GR, Burchert W, Hinrichs H, Scholz M, Münte TF, Gös A, Scherg M, Johannes S, Hundeshagen H, Gazzaniga MS, Hillyard SA. Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. Nature 1994;372:543–6.

Hillyard SA, Luck SJ, Mangun GR. The cuing of attention to visual field locations: analysis with ERP recordings. In: Heinze HJ, Münte TF, Mangun GR, editors. Cognitive electrophysiology. Boston: Birkhäuser; 1994. p. 1–25.

Hillyard SA, Vogel EK, Luck SJ. Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. In: Humphreys GW, Duncan J, Treisman A, editors. Attention, space and action. Studies in Cognitive Neuroscience. New York: Oxford University Press; 1999. p. 31–53.

Hopfinger JB, Mangun GR. Reflexive attention modulates processing of visual stimuli in human extrastriate cortex. Psychol Sci 1998;9:441–7.

Johannes S, Münte TF, Heinze HJ, Mangun GR. Luminance and spatial attention effects on early visual processing. Cogn Brain Res 1995;2: 189–205.

Jonides J. Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In: Long JB, Baddeley AD, editors. Attention and performance IX. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1981. p. 187–203.

Lubbe RHJ, Woestenburg JC. Modulation of early ERP components with peripheral precues: a trend analysis. Biol Psychol 1997;45:143–58.

Lupiáñez J, Milán EG, Tornay F, Madrid E, Tudela P. Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later. Percept Psychophys 1997; 59:1241–54.

Mangun GR. Neural mechanisms of visual selective attention. Psychophysiology 1995;32:4–18.

Mangun GR, Hillyard SA. Electrophysiological studies of visual selective attention in humans. In: Scheibel AB, Wechsler A, editors. The neurobiological foundations of higher cognitive function. New York: Guilford Press; 1990. p. 271–95.

Mangun GR, Hillyard SA. Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1991;17:1057–74.

Mangun GR, Hansen JC, Hillyard SA. The spatial orienting of attention: sensory facilitation or response bias? In: Johnson R, Rohrbaugh JW,

Parasuraman R, editors. Current trends in event-related potential research. Amsterdam: Elsevier; 1987. p. 118–24.

Mangun GR, Hillyard SA, Luck SJ. Electrocortical substrates of visual selective attention. In: Meyer D, Kornblum S, editors. Attention and performance XIV. Cambridge, MA: The MIT Press; 1993. p. 219–43.

Mangun GR, Hopfinger JB, Kussmaul CL, Fletcher EM, Heinze HJ. Covariations in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex. Hum Brain Mapp 1997;5:273–9.

Martínez A, Anllo-Vento L, Sereno MI, Frank LR, Buxton RB, Dubowitz DJ, Wong EC, Hinrichs H, Heinze HJ, Hillyard SA. Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. Nat Neurosci 1999;2:364–9.

McDonald JJ, Ward LM, Kiehl KA. An event-related brain potential study of inhibition of return. Percept Psychophys 1999;61:1411–23.

Müller HJ, Rabbitt PMA. Reflexive and voluntary orienting of visual attention: time course of activation and resistance to interruption. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1989;15:315–30.

Posner MI. Orienting of attention. Q J Exp Psychol 1980;32:3–25.

Posner MI, Cohen Y. Components of visual orienting. In: Bouma H, Bouwhuis DG, editors. Attention and performance X: control of language processes. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1984. p. 531–56.

Posner MI, Nissen MK, Ogden WC. Attended and unattended processing modes: the role of set for spatial location. In: Pick HL, Saltzman E, editors. Modes of perceiving and processing information. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1978. p. 137–57.

Rafal R, Henik A. The neurology of inhibition. Integrating controlled and automatic processes. In: Dagenbach D, Carr TH, editors. Inhibitory processes in attention, memory and language. San Diego, CA: Academic Press; 1994. p. 1–51.

Terry KM, Valdes LA, Neill WT. Does 'inhibition of return' occur in discrimination tasks? Percept Psychophys 1994;55:279–86.

Woldorff MG. Distortion of ERP averages due to overlap from temporally adjacent ERPs: analysis and correction. Psychophysiology 1993;30: 98–119.

Wright RD, Richard CM. Location cue validity affects inhibition of return of visual processing. Vision Res 2000;40:2351–8.

Yamaguchi S, Tsuchiya H, Kobayashi S. Electroencephalographic activity associated with shifts of visuospatial attention. Brain 1994;117: 553–62.

ELSEVIER

Clinical Neurophysiology 116 (2005) 807–820

www.elsevier.com/locate/clinph

Modulations of the visual N1 component of event-related potentials by central and peripheral cueing

S. Doallo[a,*], L. Lorenzo-López[a], C. Vizoso[a], S. Rodríguez Holguín[a], E. Amenedo[a], S. Bará[b], F. Cadaveira[a]

[a]*Departamento de Psicoloxía Clínica e Psicobioloxía, Facultade de Psicoloxía, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Universitario Sur, E-15782, Santiago de Compostela, Galicia, Spain*

[b]*Departamento de Física Aplicada, Facultade de Física, Universidade de Santiago de Compostela, Galicia, Spain*

Accepted 9 November 2004

Available online 29 December 2004

Abstract

Objective: The aim of this study is to investigate the effects of the central and peripheral cueing on N1 component of the event-related potentials (ERPs) and the time course of these effects.

Methods: ERPs were recorded while participants performed a discrimination task on the height of target bars, which were presented after informative-central, informative-peripheral or uninformative-peripheral cues with stimulus onset asynchronies (SOAs) of 100, 300, 500 or 700 ms.

Results: Peripheral cues (informative and uninformative) elicited stronger effects of cue validity on N1 300 ms after cue onset, whereas central cues led to a more sustained validity effect on N1, with later stronger effects, at 500 ms SOA.

Conclusions: The present data showed that central and peripheral cues affected to the level of processing reflected by the N1 component, but there were differences in the time course of these effects. Attentional orienting in response to central cueing resulted in a sustained validity effect on N1, relative to the more transitory activation of the process reflected by the N1 validity effect in this peripheral cueing task.

Significance: This study provides a detailed within-subject analysis of the time course of the effects of central and peripheral cueing on N1.
© 2004 International Federation of Clinical Neurophysiology. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Keywords: Visuospatial attention; Central cues; Peripheral cues; N1; Event-related potentials

1. Introduction

Orienting of visuospatial attention has been extensively studied by spatial cueing paradigms, in which a cue informs subjects about the probable location of a forthcoming target stimulus. Stimuli presented at the cued location (valid trials) are detected and discriminated faster and more accurate than are stimuli appearing at uncued locations (invalid trials). These attentional effects occur in absence of eye movements (covert orienting of attention), as has been demonstrated by studies using both central and peripheral cueing (Jonides, 1981; Müller and Rabbitt, 1989; Posner, 1980; Posner et al., 1978), and have been interpreted as a consequence of enhanced sensory processing of stimuli at attended locations (Posner, 1980). Behavioral studies suggest that two different attentional mechanisms underlie attention shifts by these two types of cue: one voluntary (or endogenous) associated with central cueing and one involuntary (or exogenous) triggered by peripheral cues (Briand and Klein, 1987; Jonides, 1981; Müller and Rabbitt, 1989). When a peripheral cue is informative of the target position it triggers both exogenous and endogenous mechanisms of attention.

Several event-related potentials (ERP) studies have shown that this improved performance by valid cueing is accompanied by amplitude enhancements of P1 or N1 components or both (Anllo-Vento, 1995; Eimer, 1994a; Fu et al., 2001; Hillyard et al., 1994; Hopfinger and Mangun, 1998; Mangun and Hillyard, 1991; Mangun et al., 1987).

* Corresponding author. Tel.: +34 981 563 100 ext. 13916; fax: +34 981 528 071.

E-mail address: sdoallo@usc.es (S. Doallo).

1388-2457/$30.00 © 2004 International Federation of Clinical Neurophysiology. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.clinph.2004.11.013

The amplitude modulations of the P1 and N1 components by visuospatial attention have been interpreted as a sensory gain control mechanism that results in enhanced perceptual processing of stimuli presented at attended locations (Mangun and Hillyard, 1990; Mangun et al., 1987). However, several studies have reported dissociations between the P1 and N1 attention effects in different visuospatial attention tasks (Heinze and Mangun, 1995; Heinze et al., 1990; Luck and Hillyard, 1995; Luck et al., 1990; Mangun and Hillyard, 1991). These dissociations suggest that these two ERPs components reflect different attentional processes (for review, see Luck, 1995). There is evidence showing that the P1 amplitude modulations reflect an attentional gain control within extrastriate visual cortex (Gómez et al., 1994; Heinze et al., 1994; Mangun et al., 1993, 1997; Martínez et al., 1999). Luck et al. (1994), in a spatial cueing study including neutral trials—which allow to distinguish between attentional benefits and costs—found reduced P1 amplitudes to invalid trials compared to neutral trials, suggesting that P1 attention effect may reflect a mechanism that suppresses information from unattended locations.

The functional significance of the N1 attention effect has been not well established yet. Luck (1995), on the basis of several lines of evidence, proposed that 'it reflects a limited-capacity discriminative process that is applied to attended stimuli'.[1] First, the N1 attention effect reflects an enhanced processing of stimuli at the attended location (Luck and Hillyard, 1995; Luck et al., 1994). Second, it is present only when subjects perform a discrimination task at the attended location (Mangun and Hillyard, 1991). Third, the N1 attention effect appears to be reduced or suppressed when the time between successive stimuli at the attended location is short (Heinze et al., 1990; Luck et al., 1990), which may indicate that it reflects a limited-capacity process. Additional evidence for the hypothesis that the N1 component reflects a visual discriminative process at attended locations was provided by Vogel and Luck (2000). Similarly, in a recent study combining ERP and magnetoencephalographic (MEG) recordings, Hopf et al. (2002) found a larger negativity in the N1 latency window when subjects performed a discriminative response as compared with a simple response over regions of inferior occipital or occipito-temporal cortex. These authors suggested that this N1 discrimination effect reflects a top-down modulation of discriminative processing in areas of the ventral visual stream.

It has not been either well characterized what are the N1 modulations by central and peripheral cueing, which would allow to obtain a clear picture about the effects of voluntary and involuntary allocation of attention on this component. Several studies of central cueing have found amplitude enhancements of the N1 component for validly cued stimuli relative to invalidly cued stimuli (validity effect) at posterior sites (Hillyard et al., 1994; Mangun and Hillyard, 1991). The attentional effects of peripheral cueing on N1 component are less clear. The findings reported from ERP studies using peripheral cues seem to change when different stimulus onset asynchronies (SOAs) are employed. Those studies that have used long SOAs (Eimer, 1994a; Hillyard et al., 1994) have reported validity effects on N1 at posterior sites, consistently with central cueing studies. Nevertheless, more recently Pesce and Bösel (2001) reported about an enhanced positivity in the early Nd time interval (130–180 ms) to unilateral peripheral cueing (vs. bilateral peripheral cueing) using both long and short SOAs (500 and 100 ms, respectively). On the other hand, McDonald et al. (1999) found that cue validity did not influence the N1 component using uninformative-peripheral cues with long SOAs, which suggest that the informative value of the peripheral cues may be another factor influencing on the N1 wave. To our knowledge, there are no studies that had addressed the effects of uninformative-peripheral cues on N1 component with short SOAs. Those studies that have used short SOAs with informative-peripheral cues have reported diverse results. With an SOA of 100–300 ms, Fu et al. (2001) observed that contralateral N1 was smaller in valid than in invalid trials, but the ipsilateral N1 was larger for valid than for invalid trials at occipital–temporal sites. Anllo-Vento (1995) did not find a significant validity effect on P1/N1 with an SOA of 200 ms, which was present when the SOA was 600 ms, whereas Eimer (2000) found an enhanced negativity for valid trials using a cue–target interval of 200 ms (but see Pesce and Bösel, 2001).

The objectives of the present study were to examine the effects of the central and peripheral cueing on N1 component and to assess in detail the time course of these effects. To accomplish this, we used a paradigm adapted from Hillyard et al. (1994). In a previous paper (Doallo et al., 2004), we analyzed the effects of the spatial cueing on P1 component. The present study reports about the results involving the N1 component, which will allow to compare additionally the time course of the modulatory effects of central and peripheral cues on these two components.

2. Materials and methods

2.1. Subjects

Fifteen paid volunteers (12 female, 3 male), aged between 19 and 23 years ($M=20$ years), took part in the experiment.[2] Informed consent was obtained from each

[1] The visual N1 component can be divided into anterior and posterior subcomponents, with different latencies. The attention effects on the anterior and posterior N1 waves can be dissociated under some experimental conditions (Heinze et al., 1990). It is the posterior N1 effect that has been proposed to reflect the application of a discrimination mechanism to stimuli at the attended location (Hillyard et al., 1999).

[2] In the uninformative–peripheral cue condition, the data from one subject were discarded because of excessive horizontal eye movements to the cued location.

participant. All the subjects were right-handed, had normal or corrected-to-normal vision, and had no history of psychiatric or neurological disorders.

2.2. Stimuli and apparatus

The subjects were seated in a comfortable armchair in an electrically isolated, sound- and light-attenuated room, with response buttons under their left and right hands. A computer screen was placed 100 cm in front of the subject's eyes and positioned so that the stimuli (white-on-black) were presented directly horizontal to the subject's line of vision. A fixation cross was presented continuously at the center of the screen. In the Informative-Central Cue condition, each trial began with an arrow flashed at the fixation point for 34 ms that pointed either to the left or right visual field on a random basis (each with a probability of 0.50). The cue correctly indicated target location in 75% of trials (i.e. cue validity 75%; valid trials). The target stimuli were either short ($1.7°\times0.7°$) or long ($2.1°\times0.7°$) vertical bars flashed for 75 ms in the left or right visual field at a horizontal distance of 6.4° from the central cross. The target locations were each defined by four continuously present dots that formed the corners of a vertical rectangle ($1.5°\times1.1°$) centered on the target's position. The interval from cue onset to target onset (SOA) had four values of 100, 300, 500 and 700 ms, which varied between blocks. The intertrial intervals were 1800 ms. In the Informative-Peripheral Cue condition, stimuli and procedures were identical to those described for the Informative-Central Cue condition, except for the character of the cue: the trials began with a peripheral cue that consisted of a brief displacement of the dots that marked one of the target locations. The four dots were removed and replaced for 50 ms by another four dots that formed a new outline rectangle of $1.1°\times0.5°$. The original dots were then restored, giving the appearance that the continuously present marker dots had jumped toward and then away from each other. The cue correctly indicated target location in 75% of trials (i.e. cue validity 75%; valid trials). The cue–target SOAs were identical to those in the Informative-Central Cue condition. In the Uninformative-Peripheral Cue condition, the stimuli and procedures were identical to those in Informative-Peripheral Cue condition, except that the cue correctly indicated target location in only 50% of trials (i.e. cue validity 50%; valid trials).

2.3. Procedure

For all conditions, subjects maintained eye fixation on the central cross, and were required to discriminate the height of the target bar for each trial, pressing one button with one hand for short bars and another button with the other hand for long bars, as quickly and accurately as possible in each trial. The assignment of the response hand was counterbalanced across subjects. The subjects were informed of the probabilities of the valid and invalid trial types and were told to make use of this information to maximize their performance. In order to familiarize the subjects with these specific task requirements, several training trials were run at the beginning of the experiment. Each experimental condition consisted of 4 trial blocks, according to the SOA variable, resulting in a total of 12 experimental blocks. Each block consisted of 240 trials. The order of the blocks within each experimental condition was counterbalanced for order effects within and across subjects. In the Informative-Central Cue and Informative-Peripheral Cue conditions, 180 (75%) of the 240 trials per block were valid. In the Uninformative-Peripheral Cue condition, 120 (50%) of the 240 trials were valid. Each condition lasted approximately 35 min. Short breaks were allowed between conditions, with length of the break controlled by the subjects. The order of the conditions was counterbalanced across subjects.

2.4. Recording

The electroencephalogram (EEG) was recorded with tin electrodes from T5 and T6 (according to the 10–20 system), from PL and PR (located halfway between Pz and the ear canal), and from OL and OR (located halfway between O1 and T5, and O2 and T6, respectively). All electrodes were referred to an electrode placed over the nose. The horizontal electrooculogram (EOG) was recorded bipolarly from electrodes at the outer canthi of both eyes, and the vertical EOG was recorded from electrodes placed supraorbitally and infraorbitally to the left eye. EEG was amplified 10 K and filtered using a bandpass filter of 0.05–100 Hz. EEG and EOG were sampled with a digitization rate of 500 Hz. Impedances were kept at 10 KΩ or less. Reaction times were recorded for each trial.

2.5. Data analysis

The EEG and EOG were digitally filtered off-line with a 0.1–30 Hz bandpass filter, and were epoched into periods of 450 ms, from 50 ms prior to the onset of the target to 400 ms post-target. Trials with eyeblinks, horizontal eye movements, or response errors were excluded from analysis. The EEG was averaged separately for all combinations of task conditions (visual field: right/left; trial validity: valid/invalid; type of cue: informative-central/informative-peripheral/uninformative-peripheral; cue-to-target SOAs: 100/300/500/700 ms), resulting in 48 average waveforms for each subject and electrode site. The number of trials per average ERP was similar for all conditions, with an average of 15% of rejected trials. All measurements were taken relative to the mean voltage of the pre-target interval. To avoid overlapping of ERPs elicited by cues and targets in the conditions with short SOAs, a correction was applied as follows: The ERPs elicited by cues (left and right hemifield separately) were obtained in

the SOA-700 condition (epoch 0–700 ms),[3] which can reasonably be assumed not to overlap with the subsequent target response. These cue ERPs were then time-locked and subtracted from the ERPs elicited by the targets in the SOA-100 and SOA-300 conditions,[4] so eliminating the putative effects of the electrophysiological response to the cue on the ERPs elicited by the targets. (See the appendix for a further description of the procedure to correct for possible ERP overlapping).

The averaged ERPs were analyzed with a semi-automatic peak detection program, which examined a latency window of 130–225 ms for N1 peak. Peaks were then verified and adjusted by visual inspection. Amplitude values were automatically exported to an ASCII file for subsequent analysis.

To examine the N1 modulations by central and peripheral cueing, separate analyses were made for each type of cue. Repeated-measures analyses of variance (ANOVA) were performed on amplitude values with the within-subject factors electrode (6 levels), validity (2 levels), laterality (target stimuli in the contralateral vs. ipsilateral visual field relative to the electrode location: 2 levels) and cue-to-target SOA (4 levels). Significance levels were determined using degrees of freedom after applying the Greenhouse-Geisser correction when the data violated the assumption of sphericity. Post-hoc comparisons were performed using the Bonferroni adjustment for multiple comparisons. For the reaction time data, repeated-measure ANOVAs were carried out for the factors cue-to-target SOA, validity and visual field of stimulus. The reported data include only the effects of validity and its interactions with the other variables included in the analysis, since these are the most relevant to the goals of this study.

3. Results

3.1. Behavioral performance[5]

Reaction times were significantly faster for validly cued targets than for invalidly cued targets for informative-central cues (563 ± 55 vs. 598 ± 58: $F(1, 14) = 81.188$, $P = 0.0005$), informative-peripheral cues (558 ± 66 vs. 583 ± 62: $F(1, 14) = 45.364$, $P = 0.0005$) and uninformative-peripheral cues (569 ± 71 vs. 584 ± 69: $F(1, 14) = 11.725$, $P = 0.004$). The factor validity significantly interacted with SOA for informative-peripheral cues ($F(3, 42) = 5.766$, $P = 0.002$) and uninformative-peripheral cues ($F(3, 42) = 14.486$, $P = 0.0005$), revealing that the valid–invalid difference in RT varied significantly among SOAs for both conditions. For informative-peripheral cues, there was a significant validity effect at 100 ms SOA ($F(1, 14) = 43.537$, $P = 0.0005$), 300 ms SOA ($F(1, 14) = 24.360$, $P = 0.0005$) and 500 ms SOA ($F(1, 14) = 11.663$, $P = 0.004$). For uninformative-peripheral cues, the largest validity effect was observed at 100 ms SOA ($F(1, 14) = 100.084$, $P = 0.0005$), while there was no significant effect at 300, 500 or 700 ms SOAs. There was no significant validity × SOA interaction for informative-central cues: significant validity effects on RT were observed at all SOAs.

3.2. Event-related potentials

3.2.1. Informative-central cueing

The mean values of N1 amplitude to valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital sites contralateral and ipsilateral to the target location are shown in Table 1.

The validity main effect was not significant, but this factor significantly interacted with SOA ($F(3, 42) = 3.770$, $P = 0.017$), revealing that the N1 amplitude tended to be smaller for valid than for invalid trials at 100 ms SOA, but larger for valid than for invalid trials at 300, 500 and 700 ms SOAs (see Fig. 1).

Significant 3-way interactions between electrode, validity and SOA ($F(15, 210) = 2.837$, $P = 0.028$, $\varepsilon = 0.292$) and validity, laterality and SOA ($F(3, 42) = 3.113$, $P = 0.036$) were also detected. Separate analysis for each SOA showed that the valid–invalid difference reached statistical significance at 100 ms ($F(1, 14) = 5.799$, $P = 0.030$) and 500 ms ($F(1, 14) = 6.826$, $P = 0.020$) SOAs. Additional analysis for each electrode at 100 ms SOA showed that the N1 amplitude was significantly smaller for valid than for invalid trials at left parietal ($F(1, 14) = 8.474$, $P = 0.011$), left occipital ($F(1, 14) = 7.691$, $P = 0.015$) and left temporal ($F(1, 14) = 7.579$, $P = 0.016$) sites (see Fig. 2).

For the 500 ms SOA, N1 was larger for valid than for invalid trials over parietal (PL: $F(1, 14) = 9.385$, $P = 0.008$; PR: $F(1, 14) = 7.401$, $P = 0.017$), left temporal ($F(1, 14) = 5.177$, $P = 0.039$) and left occipital ($F(1, 14) = 6.252$, $P = 0.025$) scalp locations (see Fig. 3). For the 300 ms SOA, although there was no a main effect of validity, it was found significant electrode × validity ($F(5, 70) = 5.237$, $P = 0.004$, $\varepsilon = 0.579$) and electrode × validity × laterality ($F(5, 70) = 6.315$, $P = 0.020$, $\varepsilon = 0.227$) interactions. Separate analysis for each electrode revealed that N1 amplitude was significantly larger for validly cued targets than for invalidly cued targets over right posterior sites to ipsilaterally presented stimuli. This was shown by significant validity × laterality interactions at right parietal (PR: $F(1, 14) = 9.531$, $P = 0.008$), right occipital (OR: $F(1, 14) = 11.189$, $P = 0.005$) and right temporal (T6: $F(1, 14) = 11.724$, $P = 0.004$) scalp locations, along with significant

[3] To obtain these ERP averages, artifact rejection was performed with the same criteria employed for the averages object of this study.

[4] This subtractive procedure could not be applied in the SOA-500 condition because it would be necessary a longer SOA condition than one used in this study (700 ms) in order to subtract this cue ERP from the ERPs elicited by the targets at 500 ms SOA. That is, the subtraction of the ERPs elicited by cues in the SOA-700 condition from the ERPs elicited by targets in the SOA-500 condition, would lead to a correction only in the first part of the epoch that was relevant for this experiment.

[5] Tables reporting mean RT as a function of SOA, visual field and validity for each cueing condition can be consulted in Doallo et al. (2004).

Table 1
Mean values of N1 amplitude (in μV) to valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital scalp locations contralateral and ipsilateral to the target location in the informative-central cueing condition

SOA	Electrode	Contralateral		Ipsilateral	
		Valid	Invalid	Valid	Invalid
100	PL	−2.39 (2.93)	−4.48 (3.24)	−1.96 (1.64)	−3.12 (3.27)
	PR	−2.18 (2.95)	−3.64 (3.66)	−2.42 (2.52)	−3.01 (2.52)
	T5	−1.46 (3.08)	−3.41 (2.45)	−1.25 (1.11)	−2.01 (2.67)
	T6	−0.81 (2.73)	−1.67 (2.75)	−1.55 (2.28)	−2.15 (2.39)
	OL	−1.29 (3.50)	−3.60 (3.47)	−0.87 (1.39)	−2.00 (3.26)
	OR	0.38 (3.24)	−0.85 (3.18)	−0.87 (2.57)	−1.29 (2.84)
300	PL	−3.28 (3.91)	−2.40 (3.51)	−1.81 (2.61)	−2.09 (2.58)
	PR	−3.16 (3.84)	−3.55 (5.49)	−3.16 (3.04)	0.15 (1.99)
	T5	−2.21 (3.38)	−1.48 (3.69)	−0.95 (2.60)	−1.38 (3.31)
	T6	−1.12 (3.73)	−2.11 (4.65)	−1.56 (3.00)	0.97 (1.93)
	OL	−2.59 (3.98)	−1.65 (3.69)	−0.64 (3.09)	−1.38 (3.13)
	OR	−0.81 (3.80)	−1.78 (5.21)	−1.34 (3.18)	1.32 (2.30)
500	PL	−7.09 (4.58)	−5.50 (3.85)	−4.69 (3.49)	−2.85 (2.83)
	PR	−7.30 (3.59)	−4.90 (3.69)	−5.35 (3.04)	−4.54 (3.56)
	T5	−6.08 (4.10)	−4.92 (3.52)	−3.80 (3.56)	−2.52 (2.62)
	T6	−5.62 (3.32)	−4.41 (3.66)	−4.25 (3.15)	−3.77 (3.32)
	OL	−6.66 (4.67)	−5.20 (3.69)	−4.14 (3.96)	−2.62 (2.63)
	OR	−5.23 (3.78)	−3.34 (4.31)	−4.38 (3.25)	−3.60 (3.25)
700	PL	−4.38 (3.46)	−3.64 (4.11)	−2.60 (2.66)	−0.72 (4.51)
	PR	−5.08 (3.47)	−3.61 (5.97)	−2.61 (2.32)	−1.68 (3.35)
	T5	−3.29 (3.37)	−3.07 (4.38)	−1.60 (2.83)	−0.09 (4.51)
	T6	−3.34 (3.74)	−2.73 (5.93)	−1.22 (2.29)	−0.88 (2.80)
	OL	−3.39 (3.99)	−3.07 (4.75)	−1.52 (3.07)	−0.21 (4.60)
	OR	−2.67 (3.64)	−1.94 (6.20)	−1.02 (2.76)	−0.34 (3.55)

Standard deviations are in parentheses.

effects of validity at ipsilateral sites (PR: $F(1, 14)=12.566$, $P=0.003$; OR: $F(1, 14)=6.372$, $P=0.024$; T6: $F(1, 14)=6.944$, $P=0.020$) (see Fig. 4).

For the 700 ms SOA, the difference between valid and invalid trials did not reach statistical significance, and none of the variables included in the analysis showed significant interaction with validity. Fig. 5 displays the grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location at 700 ms SOA.

3.2.2. Informative-peripheral cueing

Table 2 shows the mean values of N1 amplitude to valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital sites contralateral and ipsilateral to the target location.

There was no a significant main effect of validity on N1 component, but this factor significantly interacted with electrode and SOA ($F(15, 210)=5.050$, $P=0.0005$, $\varepsilon=0.367$). Separate analysis for each SOA showed that a significant main effect of validity was found at 300 ms SOA ($F(1, 14)=4.692$, $P=0.048$). Fig. 6 shows the grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location for the 300 ms SOA. The N1 amplitude was significantly larger for valid than for invalid trials at ipsilateral electrodes to the target location, as suggested by the validity × laterality interaction ($F(1, 14)=6.581$, $P=0.022$) and the main effect of validity at ipsilateral scalp locations ($F(1, 14)=10.004$, $P=0.007$). Moreover, the N1 validity effect was lateralized to the left hemisphere, as indicated by the significant electrode × validity interaction ($F(5, 70)=5.001$, $P=0.018$, $\varepsilon=0.353$) along with significant main effects of validity at left electrodes (PL: $F(1, 14)=11.029$, $P=0.005$; OL: $F(1, 14)=6.497$, $P=0.023$; T5: $F(1, 14)=5.707$, $P=0.032$). This validity effect at left electrodes was also ipsilateral, as indicated by the validity × laterality interactions at left scalp locations (PL: $F(1, 14)=12.339$, $P=0.003$; OL: $F(1, 14)=10.075$, $P=0.007$; T5:

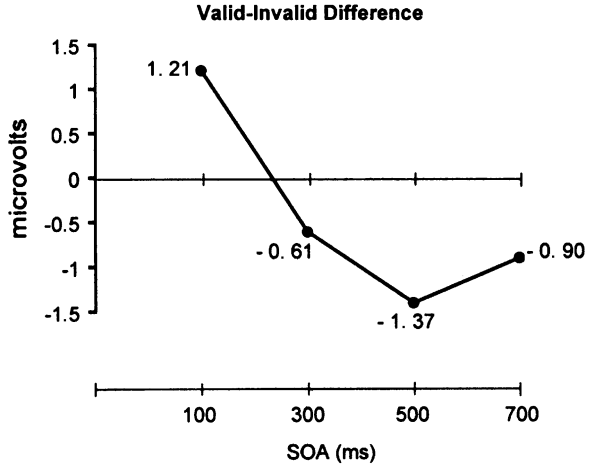

Fig. 1. The time course of the N1 validity effect in the informative-central cueing condition: valid–invalid differences across SOAs.

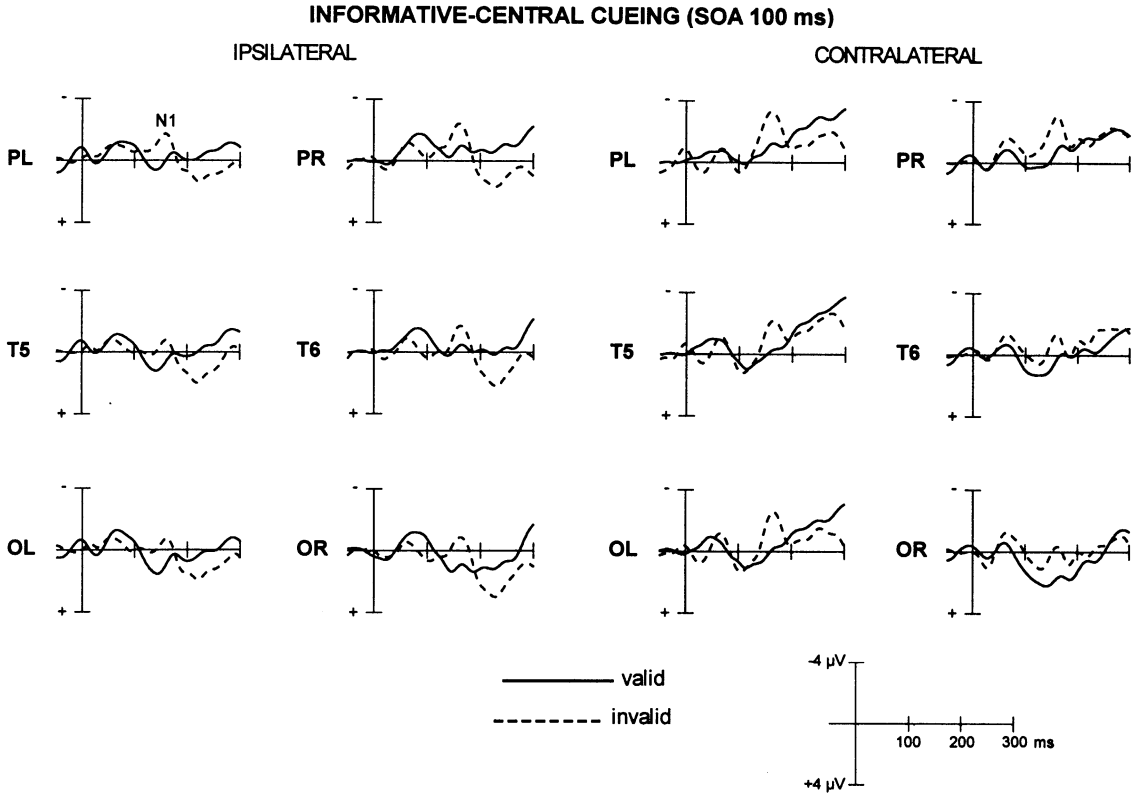

Fig. 2. Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-central cue condition for the 100 ms SOA.

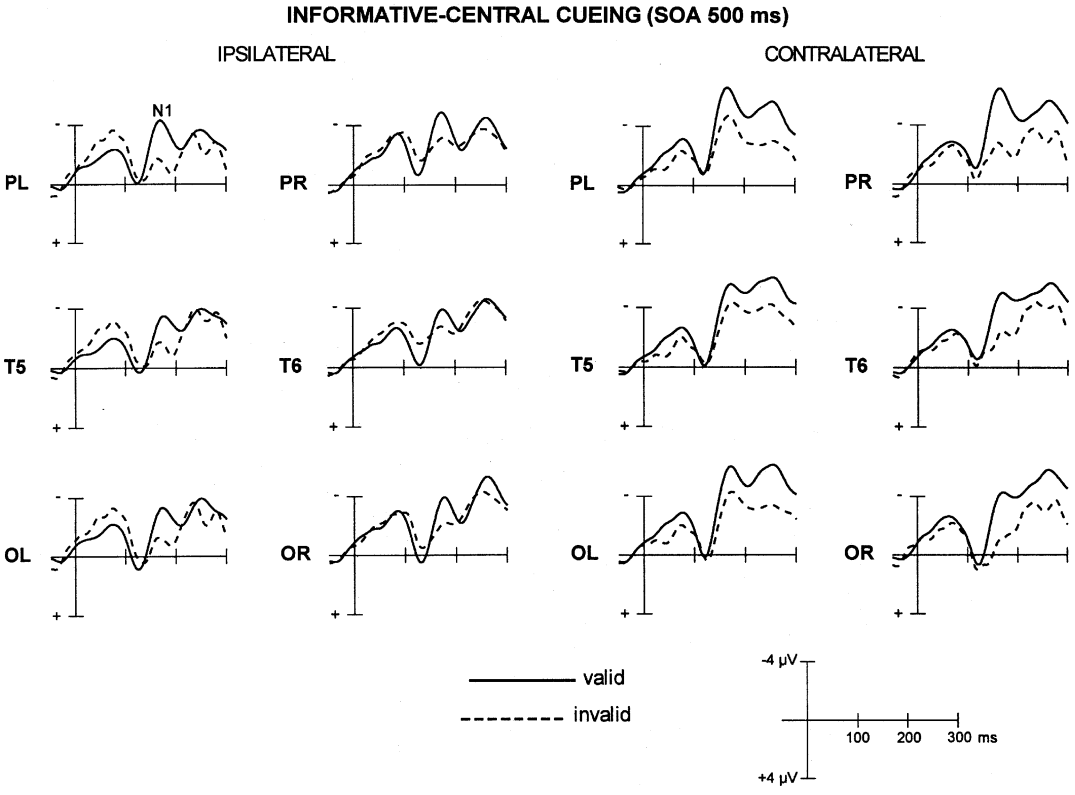

Fig. 3. Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-central cue condition for the 500 ms SOA.

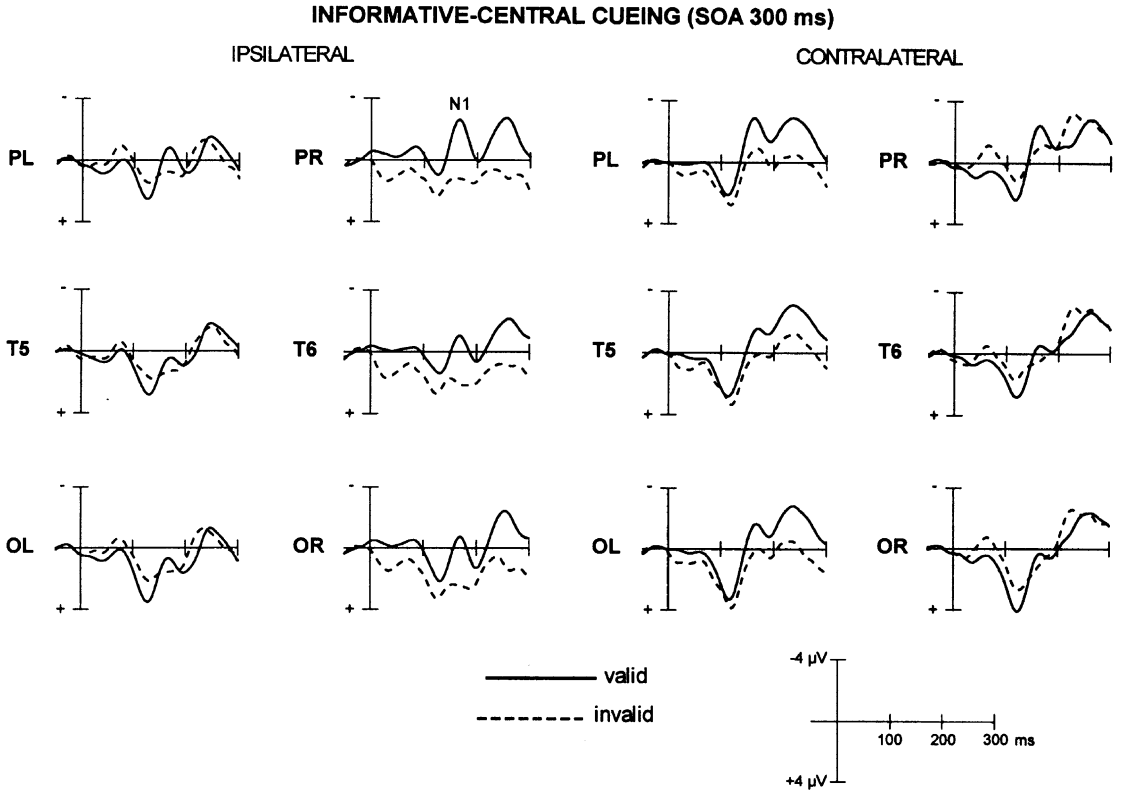

Fig. 4. Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-central cue condition for the 300 ms SOA.

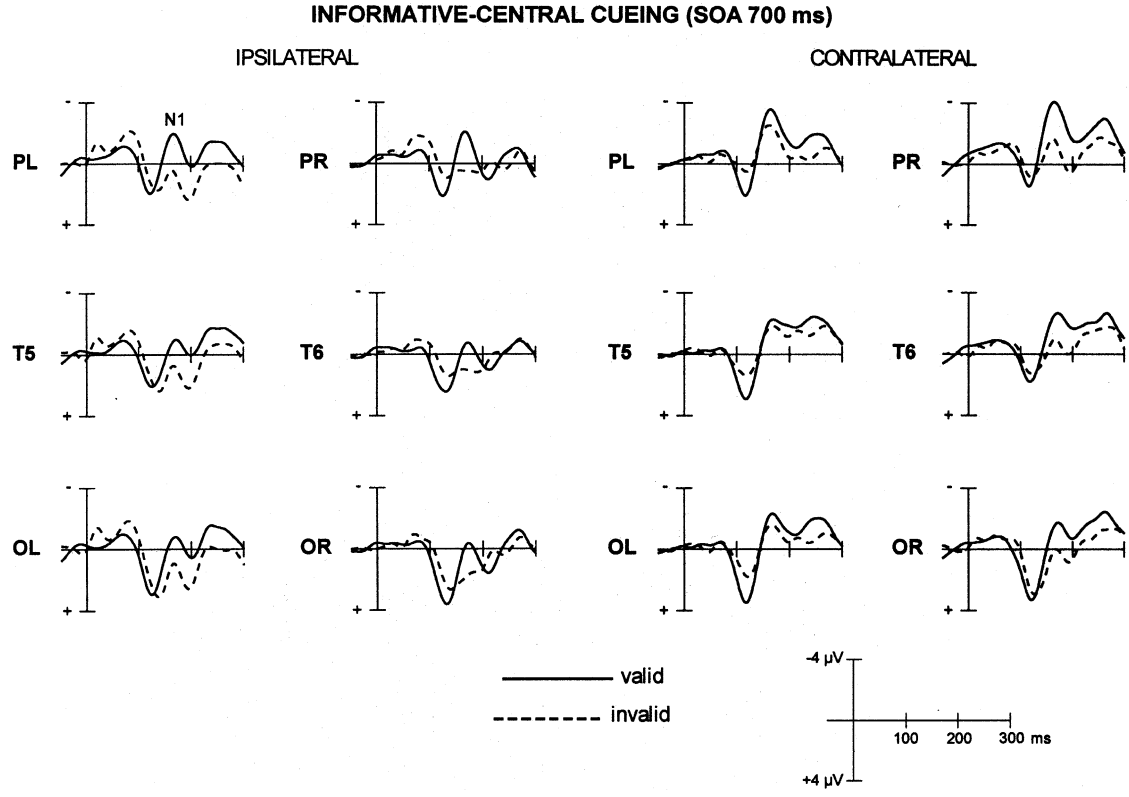

Fig. 5. Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-central cue condition for the 700 ms SOA.

Table 2
Mean values of N1 amplitude (in μV) to valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital scalp locations contralateral and ipsilateral to the target location in the informative-peripheral cueing condition

SOA	Electrode	Contralateral		Ipsilateral	
		Valid	Invalid	Valid	Invalid
100	PL	−6.01 (4.93)	−6.95 (4.76)	−4.21 (4.19)	−3.78 (4.08)
	PR	−5.52 (4.98)	−4.20 (4.88)	−4.58 (3.74)	−5.67 (3.36)
	T5	−5.56 (5.09)	−6.02 (4.03)	−3.88 (3.85)	−4.17 (4.84)
	T6	−4.94 (4.75)	−3.11 (3.85)	−3.77 (3.35)	−4.41 (2.90)
	OL	−5.80 (5.81)	−6.54 (4.91)	−3.96 (4.95)	−4.25 (4.73)
	OR	−4.52 (4.72)	−3.20 (4.21)	−3.89 (4.11)	−4.51 (3.64)
300	PL	−4.74 (3.70)	−4.36 (4.30)	−4.48 (2.84)	−1.50 (3.54)
	PR	−4.30 (4.65)	−3.75 (4.37)	−4.35 (2.66)	−3.78 (2.97)
	T5	−2.78 (2.97)	−2.94 (4.08)	−2.61 (2.57)	−0.17 (3.07)
	T6	−2.29 (3.92)	−2.71 (3.13)	−2.48 (2.21)	−2.41 (2.28)
	OL	−3.58 (3.83)	−3.73 (4.60)	−3.21 (3.10)	−0.69 (3.71)
	OR	−1.67 (4.15)	−2.05 (4.15)	−2.48 (2.54)	−2.12 (2.33)
500	PL	−6.28 (4.27)	−5.76 (4.64)	−4.26 (3.29)	−3.09 (3.29)
	PR	−5.57 (3.87)	−4.62 (3.98)	−4.60 (3.10)	−4.64 (3.76)
	T5	−4.63 (3.49)	−4.84 (3.75)	−2.63 (2.89)	−1.82 (2.37)
	T6	−3.50 (3.31)	−3.09 (3.79)	−2.62 (2.57)	−2.97 (3.34)
	OL	−5.13 (4.56)	−4.33 (5.04)	−3.01 (3.46)	−2.02 (2.50)
	OR	−2.76 (3.65)	−2.21 (3.99)	−2.51 (3.14)	−2.54 (3.80)
700	PL	−5.21 (3.98)	−5.47 (4.10)	−3.32 (3.30)	−3.56 (3.17)
	PR	−5.11 (4.58)	−5.33 (3.81)	−3.48 (2.97)	−3.52 (2.54)
	T5	−4.16 (3.49)	−4.11 (3.69)	−1.97 (2.46)	−2.47 (2.38)
	T6	−3.42 (3.79)	−3.53 (3.63)	−2.15 (2.47)	−2.13 (2.06)
	OL	−4.56 (4.43)	−4.13 (4.76)	−2.55 (3.50)	−2.85 (3.02)
	OR	−2.67 (4.20)	−2.98 (3.69)	−1.67 (3.23)	−1.40 (2.80)

Standard deviations are in parentheses.

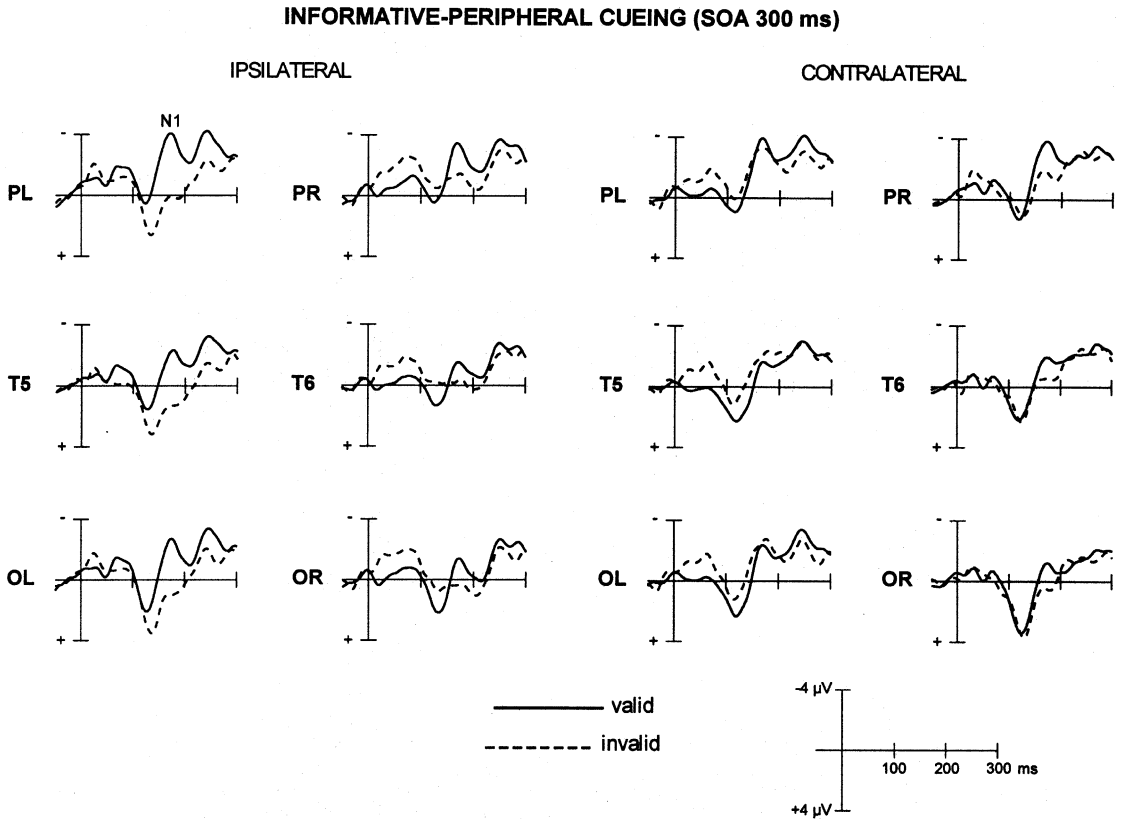

Fig. 6. Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the informative-peripheral cue condition for the 300 ms SOA.

Table 3
Mean values of N1 amplitude (in μV) to valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital scalp locations contralateral and ipsilateral to the target location in the uninformative-peripheral cueing condition

SOA	Electrode	Contralateral		Ipsilateral	
		Valid	Invalid	Valid	Invalid
100	PL	−5.30 (4.65)	−5.42 (4.75)	−4.17 (4.20)	−3.57 (4.01)
	PR	−5.52 (4.20)	−4.29 (4.93)	−4.31 (4.11)	−4.42 (2.35)
	T5	−5.21 (4.55)	−4.30 (3.83)	−3.31 (4.58)	−4.03 (4.14)
	T6	−4.88 (4.30)	−2.84 (4.49)	−4.28 (3.98)	−3.11 (2.49)
	OL	−5.50 (5.55)	−5.44 (4.99)	−3.78 (5.25)	−4.21 (4.43)
	OR	−4.45 (4.65)	−3.12 (5.14)	−3.93 (4.64)	−3.44 (3.05)
300	PL	−5.17 (3.51)	−4.92 (3.83)	−3.97 (3.06)	−1.65 (3.74)
	PR	−3.84 (4.31)	−2.94 (3.92)	−4.32 (3.19)	−2.68 (2.59)
	T5	−3.16 (2.71)	−3.56 (3.87)	−2.02 (2.50)	−0.40 (3.50)
	T6	−2.00 (3.81)	−2.11 (3.45)	−2.85 (2.30)	−1.05 (2.43)
	OL	−3.56 (4.04)	−4.29 (3.83)	−2.57 (3.13)	−0.51 (3.92)
	OR	−1.35 (4.10)	−1.45 (4.10)	−2.42 (2.73)	−0.65 (2.85)
500	PL	−5.90 (4.32)	−4.88 (4.58)	−3.58 (3.62)	−2.84 (4.18)
	PR	−4.82 (4.50)	−4.26 (4.64)	−3.63 (2.79)	−3.96 (3.87)
	T5	−4.37 (3.84)	−4.00 (3.82)	−2.57 (3.28)	−1.49 (3.31)
	T6	−3.22 (3.80)	−3.27 (3.90)	−1.93 (2.52)	−2.55 (3.31)
	OL	−4.87 (4.84)	−4.58 (4.82)	−2.64 (3.87)	−2.11 (3.94)
	OR	−2.21 (4.29)	−2.25 (4.26)	−1.31 (2.78)	−2.31 (3.58)
700	PL	−5.51 (4.75)	−4.71 (4.89)	−2.99 (4.07)	−1.90 (4.06)
	PR	−4.07 (4.72)	−3.54 (4.70)	−3.77 (3.34)	−3.87 (3.51)
	T5	−3.83 (3.86)	−3.66 (4.23)	−1.37 (3.40)	−0.77 (3.28)
	T6	−2.75 (4.39)	−2.38 (4.25)	−2.29 (2.96)	−2.74 (3.13)
	OL	−4.40 (5.09)	−4.07 (5.19)	−1.55 (4.02)	−1.02 (3.65)
	OR	−2.07 (4.74)	−1.54 (4.64)	−1.76 (3.53)	−2.31 (3.42)

Standard deviations are in parentheses.

$F(1, 14)=8.322$, $P=0.012$), and by the persistence of the validity effect over these locations when stimuli were presented ipsilaterally (PL: $F(1, 14)=19.927$, $P=0.001$; OL: $F(1, 14)=14.664$, $P=0.002$; T5: $F(1, 14)=16.836$, $P=0.001$).

There were no significant effects of validity, and no significant interactions between this factor and other factors at 100, 500 or 700 ms SOAs.

3.2.3. Uninformative-peripheral cueing

The mean values of N1 amplitude to valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital sites contralateral and ipsilateral to the target location are shown in Table 3.

Although no main effect of validity was found, there was a significant interaction between electrode, validity and SOA ($F(15, 210)=4.911$, $P=0.002$, $\varepsilon=0.261$). Separate analysis for each SOA revealed that there was a main effect of validity on N1 at 300 ms SOA ($F(1, 14)=5.246$, $P=0.038$). Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location are shown in Fig. 7 for the 300 ms SOA. The N1 amplitude was larger for validly cued targets than for invalidly cued targets at ipsilateral sites, as indicated by the significant validity×laterality interaction ($F(1, 14)=8.544$, $P=0.011$) and by the significant effect of validity at ipsilateral sites ($F(1, 14)=12.479$, $P=0.003$).

There were no significant differences between valid and invalid trials at 100, 500 or 700 ms SOAs, although significant electrode×validity interactions for the 100 ms SOA ($F(5, 70)=5.690$, $P=0.005$, $\varepsilon=0.478$) and for the 500 ms SOA ($F(5, 70)=8.130$, $P=0.001$, $\varepsilon=0.469$) were detected. Additional analysis showed that there were no significant effects of validity at any scalp location for the SOA of 500 ms, and the difference between valid and invalid trials only reached statistical significance at the right temporal electrode for the SOA of 100 ms ($F(1, 14)=6.885$, $P=0.020$).

4. Discussion

The objective of this study was to investigate the effects of the central and peripheral cueing on N1 amplitude and the time course of these effects.

The present data showed effects of validity on N1 with central cueing at 300 and 500 ms SOAs, with variations in the topographical distribution of these effects as a function of cue-to-target SOA. N1 amplitude was enlarged for valid trials 300 ms after cue onset over right parietal, occipital and temporal scalp locations to ipsilaterally presented stimuli. When SOA increased to 500 ms, there was a main effect of validity on N1, with enhanced N1 amplitudes for valid targets over parietal, left temporal and left occipital scalp locations. These ERP results are consistent with the facilitation on RT in valid as opposed to invalid trials at these SOAs.

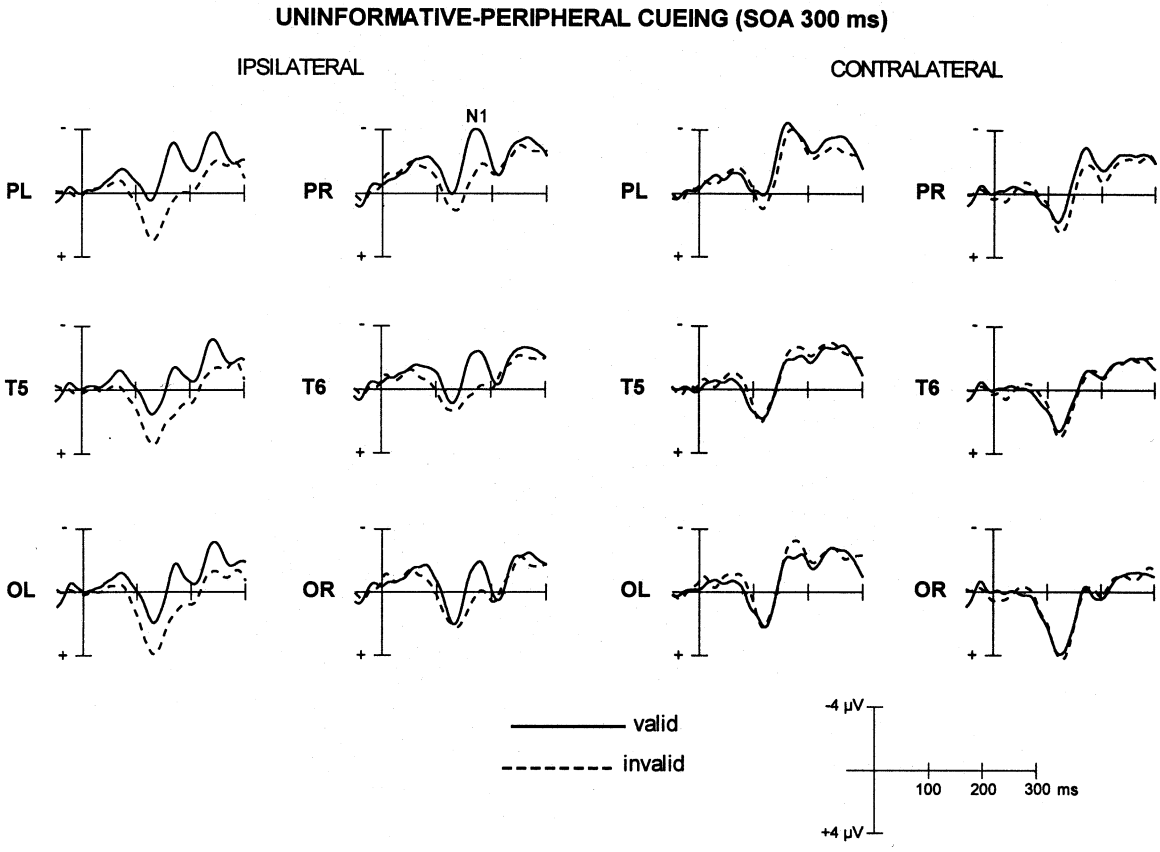

Fig. 7. Grand-averaged ERPs for valid and invalid trials at parietal, temporal and occipital electrodes ipsilateral and contralateral to the target location in the uninformative-peripheral cue condition for the 300 ms SOA.

In this way, as shown in Fig. 1, the time course of the central cueing effects on N1 amplitude revealed by the present results appears to indicate that the facilitatory effect developed over time, reaching the highest value 500 ms after cue onset. The scarcity of studies, to our knowledge, which investigate the effects of central cues on N1 component by a systematical variation of SOA, makes difficult to evaluate the consistency of the present findings. Enhanced N1 amplitudes to valid trials (relative to neutral trials) under central cueing conditions have been reported by Luck et al. (1994) for SOAs varying randomly between 200 and 500 ms, which is consistent with the N1 validity effect at medium SOAs found in the present experiment. However, this study did not allow to assess the time course of these effects or the optimal SOA. The time course of the effects of spatial orienting elicited by central cueing on ERPs was studied by Eimer (2000), who found enhanced negativities for valid trials relative to invalid trials with a long cue–target interval (700 ms), but not with a short interval (200 ms). In the present study, the systematic variation of SOA allowed us to observe that the effect of attentional orienting elicited by central cueing on N1 was present at a SOA of 300 ms over right posterior sites when targets were presented ipsilaterally, but not at 100 ms SOA (in which the effect was inverted). These results suggest that it may take a few hundred milliseconds (at least 300 ms in this experiment) in order that the effects of voluntary attentional shifts on the level of processing reflected by N1 can be observed. Additional studies manipulating the time between cue and target by closer intervals are required to characterize in more detail the time course of these effects. Furthermore, further research including neutral (or even non-cue) conditions in addition to valid and invalid ones, will shed some light on the inversion effect observed at 100 ms SOA.

Regarding the results obtained at 700 ms SOA, as shown in Fig. 1, there was a tendency for enhanced N1 amplitude for valid relative to invalid trials, which did not become statistically significant. The conclusions about the present results at 700 ms SOA must be cautions because of the enhancement of N1 amplitude to attended stimuli following valid central cues has been a common finding in the prior literature (Hillyard et al., 1994; Mangun and Hillyard, 1991). The data variability observed at this SOA condition (see Table 1) could prevent the presence of a significant effect in this experiment. Nevertheless, the factors mediating the attention effects on early perceptual processing are still debated. Some authors have reported about the influence of the response relevance of stimuli at unattended locations (Eimer, 1994b, 1996, 1998; see also Nobre et al., 2000). More recently, Handy and Mangun (2000) provided

evidence that perceptual load can also affect early spatial selection. The present results suggest that the cue-to-target SOA may represent another factor influencing in the magnitude of this effect. On the other hand, the present data are partially consistent with prior works that have found a N1 validity effect ipsilaterally distributed (Eimer, 1993, 1994b, 1996; Mangun and Hillyard, 1991), although this effect was only revealed for the 300 ms SOA in the present study.

Additionally, the present results showed differential modulations of P1 and N1 components by attention, given that the effect of validity was not significant at the P1 level in this study (Doallo et al., 2004). Dissociations between the P1 and N1 attention effects have been reported from different visuospatial attention tasks (Heinze and Mangun, 1995; Heinze et al., 1990; Luck and Hillyard, 1995; Luck et al., 1990; Mangun and Hillyard, 1991). These dissociations suggest that these two ERPs components reflect different attentional processes (for review, see Luck, 1995). Luck et al. (1994), in a spatial cueing study, found reduced P1 amplitudes to invalid trials compared to neutral trials, but enhanced N1 amplitudes to valid trials relative to neutral trials. These authors suggested that P1 attention effect may reflect a mechanism that suppresses information from unattended locations, whereas the N1 attention effect may reflect a mechanism that produces an enhancement of processing of stimuli at the attended location. Other studies have reported that the N1 effect appears to be only present when subjects make a discrimination task at the attended location (Mangun and Hillyard, 1991). On the basis of these lines of evidence, Luck (1995) proposed that the N1 effect reflects the application of a discrimination process to attended stimuli. The present data are in line with previous evidence showing that the voluntary allocation of attention facilitates the discriminative processing at the attended location.

With informative-peripheral cueing, the amplitude of N1 was larger for validly cued targets than for invalidly cued targets with an SOA of 300 ms, but this validity effect was absent at 100, 500 and 700 ms SOAs. This effect presented an ipsilateral distribution and it was lateralized to the left hemisphere. Previous studies using SOAs around 300 ms have reported diverse results: Fu et al. (2001) found a validity effect on N1 over ipsilateral temporal and occipital regions, but a smaller contralateral N1 in valid than in invalid trials; Eimer (2000) found an enhanced negativity for valid trials, starting around 150 ms post-stimulus over occipital and parietal sites with a cue–target interval of 200 ms, whereas Anllo-Vento (1995) did not find significant differences between valid and invalid trials in P1/N1 with an SOA of 200 ms. The results of the present study showed no significant differences between valid and invalid trials when an SOA of 100 ms was used, but a significant effect of cue validity on N1 was present when SOA increased to 300 ms. However, we did not find effects of cue validity on N1 with long SOAs previously reported by other authors (Eimer, 1994a; Hillyard et al., 1994).

With uninformative-peripheral cues, there was also a main validity effect on N1 with an SOA of 300 ms, ipsilaterally distributed. A significant difference between valid and invalid trials was also found at the right temporal electrode at 100 ms SOA and there were no effects with the two longest SOAs. To our knowledge, there are no studies that examined the effects of uninformative-peripheral cues with short SOAs. Previous studies using long SOAs found validity effects in one case (Eimer, 1994a, at parietal sites with an SOA of 700 ms) and no effects in other experiments (McDonald et al., 1999, with SOAs of 500–700 and 900–1100 ms).

Therefore, the present data showed that peripheral cues affected optimally to the level of processing reflected by N1 300 ms after cue onset, for both informative and uninformative cues, although it could be also observed a N1 validity effect at 100 ms SOA for uninformative cues at the right temporal electrode. In our previous study (Doallo et al., 2004), we observed markedly different effects of these peripheral cues on P1 component. The optimal cue facilitatory effects on the level of processing reflected by P1 were detected at 100 ms SOA for both informative and uninformative cues; however, P1 amplitude was reduced for validly cued targets at 300, 500 and 700 ms SOAs with uninformative-peripheral cueing, and at 500 ms SOA with informative-peripheral cueing. These results reveal a clear dissociation of the peripheral cueing effects on P1 and N1 components. Taken together, these results show that reflexive/exogenous attentional orienting triggered by a peripheral cue modulated optimally the early visual processing at a level of processing indexed by P1 for a short period after presentation of the cue (100 ms), a facilitatory effect also observed in behavioral execution. The pattern of results is less clear at longer SOAs, where the electrophysiological difference between valid and invalid trials with peripheral cues seemed to be uncoupled from overt behavior. Effects of cue validity by informative-peripheral cueing, associated with RT benefits, were observed at the level of processing reflected by the N1 component with an SOA of 300 ms. Two findings prevent to conclude that this effect is due to a fully endogenous mechanism elicited by the predictive character of the cue. First, if this N1 effect was reflecting the effects of a voluntary orienting process to the cued location, validity effects on N1 would have been also expected at longer SOAs. Second, this N1 effect was also observed for uninformative-peripheral cues. A similar pattern of results was reported by Eimer (1994a), who found a validity effect on N1 at parietal sites with informative- and uninformative-peripheral cueing, associated only with RT benefits for valid trials with informative cues. This author postulated that this validity effect might reflect a processing advantage for validly cued stimuli, which might be present even when the cue is not informative, and that these ERPs effects may

be uncoupled from overt behavior (see Eimer, 1998 for an additional explanation of the parietal N1 effect).

It must be noted that, in the present study, the N1 validity effect at 300 ms SOA was lateralized to the left hemisphere with informative-peripheral cues but not with uninformative-peripheral cues, which might be reflecting functional differences in the underlying attentional mechanisms depending on cue informativeness. Our data appears to indicate that the reflexive attention can influence the level of processing indexed by the N1 component. If the N1 validity effect reflects a facilitation of discriminative processing, it is plausible to propose from the present data that these effects can be also observed as a result of exogenous attentional orienting, at least under some circumstances. Moreover, it has been proposed that there are functional differences between central and peripheral cueing (Eimer, 1994a). This author, using peripheral cueing, also observed N1 validity effects when the response was dependent on target location, in contrast with previous central cueing studies, which found a N1 validity effect only when subjects were required to perform a discrimination task at the cued location (Mangun and Hillyard, 1991). Eimer (1994a) proposed that, with peripheral cues, 'the process reflected by the N1 validity effect may be activated regardless of specific task demands'.

It is not possible to determine completely from the present data the significance of the present N1 modulations by peripheral cueing. Our data simply provide evidence about differential characteristics in the time course of the effects of central and peripheral cues on posterior N1 component. Peripheral cues (informative and uninformative) elicited optimal effects of cue validity on N1 300 ms after cue onset, whereas valid central cues led to a more sustained effect on N1, with later optimal effects, at 500 ms SOA. These results suggest that endogenous attentional allocation in response to central cues resulted in a more sustained validity effect on N1, as compared with the more transitory activation of the process reflected by the N1 validity effect in this peripheral cueing task.

However, to assess more completely the present findings, it is necessary to take into account the following factor. The different cue-to-target SOAs were administered blockwise in order to evaluate systematically the time course of the validity effects of central and peripheral cueing. The rationale of the present experiment was that the systematical variation of the cue-to-target SOA would allow to obtain different attentional effects due to the different time course of the endogenous and exogenous orienting mechanisms. Thus, the differences between SOAs were interpreted as reflecting the time course of validity effects. However, an alternative explanation may be also raised. It is possible that different SOAs led to different states of arousal or expectation instead of a different time course of the attentional processes involved. Moreover, it is possible that a randomized variation of SOAs had elicited a different processing. For instance, it has been provided ERP evidence (Li et al., 2003) about a faster and more effective visual processing under constant SOA conditions as compared with random SOA conditions. It would be interesting to compare in future experiments central and peripheral cueing conditions using blocked and randomized order of SOAs, which would allow to assess the effects of constant and random conditions on early visual processing.

Another methodological factor that it is necessary to mention is the differential length among the cueing stimuli (central and peripheral), which may be influencing the observed effects in the present study.

In summary, the results reported here show that the pattern of the modulation effects of central and peripheral cues on the processing occurring at the N1 time is complex, as it changes when the cue-to-target SOA is manipulated. So, the lines of interpretation advanced here require new studies manipulating this variable in within-subjects designs in order to confirm the results and fully characterize the involved processes.

Acknowledgements

This study was supported by Spain's Ministerio de Ciencia y Tecnología (grant BSO2000-0041) and by the Galician Secretaría Xeral de I + D (PGIDT00PSI211102PR, PGIDT01PXI21101PN). We thank to Neurobehavioral Systems, Inc. for the free software Presentation, used to design and administer the stimulation paradigm. The authors are grateful to two anonymous reviewers for their valuable comments on an earlier version of the paper.

Appendix. Procedure to correct for possible ERP overlapping

To avoid overlapping of the ERPs elicited by cues and targets in the shortest SOA conditions, a correction was applied as follows.

Let VR(cue,tar,soa,loc;*t*) be the averaged ERP recorded at electrode location loc for each cue, target and SOA combination (six values for cue: central right–left, peripheral informative right–left, peripheral non-informative right–left; 4 for target: valid right–left, invalid right–left; four for SOA: 100, 300, 500, 700 ms); the variable '*t*' denotes the time (these functions are assumed throughout this paper to be discrete functions of time). Let us also write VC(cue,loc;*t*) for the averaged ERP triggered by a given cue at the electrode location loc, and VT(cue,tar,soa,loc;*t*) for the averaged ERP elicited by a given target after the corresponding cue. Assuming, as in the Adjar technique (Woldorff, 1993), that both VC and VT are time-invariant and that the electric fields of overlapping ERPs add linearly, the averaged recorded ERP (time-locked to the target), VR,

is given by

$$\mathrm{VR}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) = \mathrm{VT}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) + \mathrm{VC}(\mathrm{cue}, \mathrm{loc}; t + \mathrm{soa}) \quad (1)$$

Writing Eq. (1) we implicitly assume, apart from system linearity and time-invariance, that:

(a) only first-order overlapping effects from the immediately previous cue are taken into account (i.e. no overlapping effects from more remote previous nor immediate subsequent cues and targets are of interest, which is a reasonable assumption since the intertrial intervals were as long as 1800 ms); and
(b) the shape of the cue ERP (VC) is independent of the SOA (an assumption supported by the fact that the recorded cue response is noticeably equal for all SOAs during the time slot of the corresponding SOA).

Filtering the VR waveform to obtain the desired VT requires having a good estimate of the overlapping response VC. In ERP experiments with only short SOAs and short intertrial intervals, interstimulus jittering is essential in order to enable the application of procedures for estimating VC like those used in the Adjar level 1 technique. Indeed, the combination of jittering and grand-averaging is what allows us to obtain in these cases a reasonable estimate of the overlapping previous responses and carry out the overlap removal once the previous event distributions are known. However, in our experiment we have recorded VC waveforms for each cue condition (including the cue hemifield) with a long SOA (700 ms) which can reasonably be assumed not to overlap with the subsequent target response. According to (b), these averaged waveforms [denoted henceforth by VC_{700}(cue, loc; t)] give us a reasonably good estimate of the VC ERPs for the 700 ms following the corresponding cue, whatever the SOA may be. We have separately computed the VC_{700} for each cue condition at each relevant electrode location. Then, for each (cue, tar, soa, loc) condition, filtering can be done by subtracting

$$\mathrm{VT}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) = \mathrm{VR}(\mathrm{cue}, \mathrm{tar}, \mathrm{soa}, \mathrm{loc}; t) - \mathrm{VC}_{700}(\mathrm{cue}, \mathrm{loc}; t + \mathrm{soa}) \quad (2)$$

The range of validity of Eq. (2) extends to an elapsed time of [700 ms - SOA] since the stimulus onset. Eq. (2) is a particular case of overlap removal when the previous-event normalized distribution approaches a Kronecker-delta in the discrete time domain and the VC waveforms are known.

In our case the absence of jitter for each nominal SOA does not allow the low-pass filtering of the VC contribution to the recorded ERP, so there is no gain in implementing recursive procedures such as Adjar level-2. Furthermore, using such a recursive procedure to estimate the VC contribution does not seem necessary, since the required data can be obtained directly from the VC_{700} records.

References

Anllo-Vento L. Shifting attention in visual space: the effects of peripheral cueing on brain cortical potentials. Int J Neurosci 1995;80:353–70.

Briand KA, Klein RM. Is Posner's 'beam' the same as Treisman's 'glue'? On the relation between visual orienting and feature integration theory. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1987;13:228–41.

Doallo S, Lorenzo-López L, Vizoso C, Rodríguez Holguín S, Amenedo E, Bará S, Cadaveira F. The time course of the effects of central and peripheral cues on visual processing: an event-related potentials study. Clin Neurophysiol 2004;115:199–210.

Eimer M. Spatial cueing, sensory gating and selective response preparation: an ERP study on visuo-spatial orienting. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1993;88:408–20.

Eimer M. An ERP study on visual spatial priming with peripheral onsets. Psychophysiology 1994a;31:154–63.

Eimer M. 'Sensory gating' as a mechanism for visuospatial orienting: electrophysiological evidence from trial-by-trial cuing experiments. Percept Psychophys 1994b;55:667–75.

Eimer M. ERP modulations indicate the selective processing of visual stimuli as a result of transient and sustained spatial attention. Psychophysiology 1996;33:13–21.

Eimer M. Mechanisms of visuospatial attention: evidence from event-related brain potentials. Visual Cognit 1998;5:257–86.

Eimer M. The time course of spatial orienting elicited by central and peripheral cues: evidence from event-related brain potentials. Biol Psicol 2000;53:253–8.

Fu S, Fan S, Chen L, Zhuo Y. The attentional effects of peripheral cueing as revealed by two event-related potential studies. Clin Neurophysiol 2001;112:172–85.

Gómez CM, Clark VP, Fan S, Luck SJ, Hillyard SA. Sources of attention-sensitive visual event-related potentials. Brain Topogr 1994;7:41–51.

Handy TC, Mangun GR. Attention and spatial selection: electrophysiological evidence for modulation by perceptual load. Percept Psychophys 2000;62:175–86.

Heinze HJ, Mangun GR. Electrophysiological signs of sustained and transient attention to spatial locations. Neuropsychologia 1995;33:889–908.

Heinze HJ, Luck SJ, Mangun GR, Hillyard SA. Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. I. Evidence for early selection. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1990;75:511–27.

Heinze HJ, Mangun GR, Burchert W, Hinrichs H, Scholz M, Münte TF, Gös A, Scherg M, Johannes S, Hundeshagen H, Gazzaniga MS, Hillyard SA. Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. Nature 1994;372:543–6.

Hillyard SA, Luck SJ, Mangun GR. The cuing of attention to visual field locations: analysis with ERP recordings. In: Heinze HJ, Münte TF, Mangun GR, editors. Cognitive electrophysiology. Boston: Birkhäuser; 1994. p. 1–25.

Hillyard SA, Vogel EK, Luck SJ. Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. In: Humphreys GW, Duncan J, Treisman A, editors. Attention, space and action. Studies in cognitive neuroscience. New York: Oxford University Press; 1999. p. 31–53.

Hopfinger JB, Mangun GR. Reflexive attention modulates processing of visual stimuli in human extrastriate cortex. Psychol Sci 1998;9:441–7.

Hopf J-M, Vogel E, Woodman G, Heinze H-J, Luck SJ. Localizing visual discrimination processes in time and space. J Neurophysiol 2002;88:2088–95.

Jonides J. Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In: Long JB, Baddeley AD, editors. Attention and performance IX. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1981. p. 187–203.

Li M, Kuroiwa Y, Omoto S, Hotta S, Suzuki Y, Kamitani T, Koyano S, Segawa H. The effect of stimulus-onset asynchrony on human visual event-related potentials during simple and choice reaction paradigms under constant or random conditions. Neurosci Lett 2003;345:109–12.

Luck SJ. Multiple mechanisms of visual-spatial attention: recent evidence from human electrophysiology. Behav Brain Res 1995;71:113–23.

Luck SJ, Hillyard SA. The role of attention in feature detection and conjunction discrimination: an electrophysiological analysis. Int J Neurosci 1995;80:281–97.

Luck SJ, Heinze HJ, Mangun GR, Hillyard SA. Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1990;75:528–42.

Luck SJ, Hillyard SA, Mouloua M, Woldorff MG, Clark VP, Hawkins HL. Effects of spatial cuing on luminance detectability: psychophysical and electrophysiological evidence for early selection. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1994;20:887–904.

Mangun GR, Hillyard SA. Electrophysiological studies of visual selective attention in humans. In: Scheibel AB, Wechsler A, editors. The neurobiological foundations of higher cognitive function. New York: Guilford Press; 1990. p. 271–95.

Mangun GR, Hillyard SA. Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual–spatial priming. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1991;17:1057–74.

Mangun GR, Hansen JC, Hillyard SA. The spatial orienting of attention: sensory facilitation or response bias?. In: Johnson R, Rohrbaugh JW, Parasuraman R, editors. Current trends in event-related potential research. Amsterdam: Elsevier; 1987. p. 118–24.

Mangun GR, Hillyard SA, Luck SJ. Electrocortical substrates of visual selective attention. In: Meyer D, Kornblum S, editors. Attention and performance XIV. Cambridge, MA: The MIT Press; 1993. p. 219–43.

Mangun GR, Hopfinger JB, Kussmaul CL, Fletcher EM, Heinze HJ. Covariations in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex. Hum Brain Mapp 1997;5:273–9.

Martínez A, Anllo-Vento L, Sereno MI, Frank LR, Buxton RB, Dubowitz DJ, Wong EC, Hinrichs H, Heinze HJ, Hillyard SA. Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. Nat Neurosci 1999;2:364–9.

McDonald JJ, Ward LM, Kiehl KA. An event-related brain potential study of inhibition of return. Percept Psychophys 1999;61:1411–23.

Müller HJ, Rabbitt PMA. Reflexive and voluntary orienting of visual attention: time course of activation and resistance to interruption. J Exp Psychol Hum Percept Perform 1989;15:315–30.

Nobre AC, Sebestyen GN, Miniussi C. The dynamics of shifting visuospatial attention revealed by event-related potentials. Neuropsychologia 2000;38:964–74.

Pesce C, Bösel R. Focusing of visuospatial attention. Electrophysiological evidence from subjects with and without attentional expertise. J Psychophysiol 2001;15:256–74.

Posner MI. Orienting of attention. Q J Exp Psychol 1980;32:3–25.

Posner MI, Nissen MK, Ogden WC. Attended and unattended processing modes: the role of set for spatial location. In: Pick HL, Saltzman E, editors. Modes of perceiving and processing information. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1978. p. 137–57.

Vogel EK, Luck SJ. The visual N1 component as an index of a discrimination process. Psychophysiology 2000;37:190–203.

Woldorff MG. Distorsion of ERP averages due to overlap from temporally adjacent ERPs: analysis and correction. Psychophysiology 1993;30: 98–119.

ANEXO II

PROCEDIMIENTO DE CORRECCIÓN DE LA POSIBLE SUPERPOSICIÓN DE PE

Desarrollado por Salvador Bará, Departamento de Física Aplicada
Facultade de Física, Universidade de Santiago de Compostela

Con el objetivo de evitar la posible superposición de los PE provocados por señales y estímulos objetivo en las condiciones con SOAs más cortos, se aplicó la corrección descrita a continuación.

Considérese VR(señal,estímulo,soa,loc;*t*) como el PE registrado en la localización del electrodo loc para cada combinación de señal, estímulo objetivo y SOA (seis valores para la señal: central derecha-izquierda, periférica informativa derecha-izquierda, periférica no informativa derecha-izquierda; 4 para el estímulo objetivo: válido derecho-izquierdo, inválido derecho-izquierdo; 4 para el SOA: 100, 300, 500 y 700 ms); la variable "*t*" denota el tiempo (a lo largo de esta tesis se asume que estas funciones son discretas de tiempo). Considérese también escribir VC(señal,loc;*t*) para el PE generado ante una señal dada en la localización del electrodo loc, y VT(señal,estímulo,soa,loc;*t*) para el PE provocado por un determinado estímulo objetivo después de la señal correspondiente. Si se asume, como en la técnica Adjar (Woldorff, 1993), que VC y VT son invariantes en el tiempo y que los campos eléctricos de los PE superpuestos se añaden linealmente, el PE registrado (relacionado temporalmente con el estímulo objetivo), VR, viene dado por

$$VR(\text{señal,estímulo,soa,loc};t) = VT(\text{señal,estímulo,soa,loc};t) + VC(\text{señal,loc};t + SOA) \quad (1)$$

Escribiendo Eq. (1) se asume implícitamente, además de la linealidad del sistema y la invarianza temporal, que:

(a) sólo se tienen en cuenta los efectos de superposición de primer orden de la señal inmediatamente previa (esto es, no se consideran de interés los efectos de superposición entre señales y estímulos objetivo previos más remotos ni inmediatamente posteriores, lo cual es un supuesto razonable dada la duración del intervalo entre ensayos utilizado-1800 ms); y
(b) la morfología del PE a la señal (VC) es independiente del SOA (un supuesto apoyado por el hecho de que la respuesta registrada ante la señal es notablemente igual para todos los SOAs durante el espacio temporal del SOA correspondiente).

El filtrado de la onda VR para obtener la VT deseada requiere tener una buena estimación de la respuesta VC superpuesta. En experimentos de PE en los que se utilizan solamente SOAs cortos e intervalos entre ensayos cortos, el "*jittering*" entre estímulos es esencial con el fin de capacitar la aplicación de procedimientos para estimar VC, como aquéllos empleados en el nivel 1 de la técnica Adjar. En efecto, la combinación de "*jittering*" y las grandes medias es lo que permite obtener, en estos casos, una estimación razonable de las respuestas previas superpuestas y llevar a cabo la eliminación de la superposición una vez conocida la distribución del evento previo. Sin embargo, en el presente experimento se han registrado las ondas VC para cada condición de señalización (incluyendo el hemicampo al que señala o en el que se presenta la señal) con un SOA largo (700 ms), pudiéndose suponer, de manera razonable, que no se superponen con la respuesta al estímulo objetivo posterior. De acuerdo con (b), estas ondas promediadas [denominadas de ahora en adelante como VC_{700}(señal,loc;*t*)] proporcionan una estimación razonablemente buena de los PE VC durante los 700 ms que siguen a la señal correspondiente, cualquiera que sea el SOA. En este estudio se ha calculado de forma separada el VC_{700} para cada condición de señalización en cada localización relevante. Así, para cada

condición (señal, estímulo, soa, loc), se puede llevar a cabo el filtrado sustrayendo

$$VT(\text{señal,estímulo,soa,loc};t) = VR(\text{señal,estímulo,soa,loc};t) - VC_{700}(\text{señal,loc};t + SOA) \quad (2)$$

El rango de validez de Eq. (2) se extiende a un tiempo transcurrido de [700 ms. – SOA] desde el comienzo estimular. La Eq. (2) es un caso particular de eliminación de la superposición cuando la distribución normalizada del evento previo se aproxima a Kronecker-delta en el dominio temporal discreto y se conocen las ondas VC.

En el presente caso, la ausencia de "*jitter*" para cada SOA nominal no permite el filtrado de paso bajo de la contribución VC al PE registrado, así que no hay beneficio añadido en la implementación de procedimientos recursivos tales como el nivel 2 del Adjar. Más aún, la utilización de tal procedimiento recursivo para estimar la contribución VC no parece necesaria, ya que los datos requeridos se pueden obtener directamente desde los registros VC_{700}.

ANEXO III

MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA EN LAS DIMENSIONES DE VALENCIA Y *AROUSAL* DE CADA DIAPOSITIVA DEL IAPS CON VALENCIA AFECTIVA NEUTRA Y NEGATIVA.

Media y desviación típica en las dimensiones de valencia y *arousal* de cada diapositiva del IAPS de valencia afectiva neutra.

	NÚMERO	DESCRIPCIÓN	VALENCIA	*AROUSAL*
1	2190	Hombre	5.04 (1.19)	2.73 (1.78)
2	2200	Adulto	5.04 (1.55)	4.06 (2.17)
3	2210	Adulto	4.96 (1.44)	4.09 (2.14)
4	2840	Niño y ajedrez	5.18 (1.93)	3.20 (1.98)
5	5500	Setas	5.63 (1.76)	3.65 (2.18)
6	5510	Setas	5.45 (1.47)	3.62 (2.18)
7	5520	Setas	5.40 (1.49)	3.51 (2.18)
8	5530	Seta	5.57 (1.63)	3.17 (2.08)
9	5531	Seta	5.77 (1.40)	2.83 (1.90)
10	5532	Setas	5.52 (1.48)	3.08 (2.04)
11	5533	Setas	5.78 (1.35)	2.93 (1.97)
12	5534	Setas	5.46 (1.44)	3.11 (1.96)
13	6150	Enchufe	4.96 (1.13)	3.71 (2.22)
14	7000	Rodillo de amasar	5.23 (1.24)	3.57 (2.10)
15	7002	Toalla	5.62 (1.15)	2.33 (1.82)
16	7006	Cuenco	4.48 (1.49)	2.73 (2.27)
17	7009	Tazón	5.41 (1.18)	2.25 (1.79)
18	7010	Cesta	4.86 (1.57)	3.11 (2.07)
19	7025	Taburete	5.04 (1.20)	2.35 (1.77)
20	7030	Plancha	4.75 (1.23)	3.29 (2.18)
21	7034	Martillo	4.70 (1.13)	3.48 (2.04)
22	7035	Jarra de cristal	5.07 (1.43)	3.19 (2.16)
23	7040	Recogedor	5.00 (1.31)	3.00 (1.89)
24	7050	Secador de pelo	5.04 (0.89)	3.83 (2.15)
25	7060	Cubo de basura	4.78 (1.20)	3.35 (1.99)
26	7080	Tenedor	5.21 (1.20)	2.98 (2.06)
27	7090	Libro	5.56 (1.95)	3.38 (2.19)
28	7150	Paraguas	4.87 (1.06)	3.37 (1.86)
29	7170	Bombilla	5.20 (1.65)	3.63 (2.25)
30	7190	Reloj	5.02 (1.52)	3.95 (2.33)
31	7207	Pañuelos y collares	5.32 (1.47)	3.05 (2.07)
32	7217	Percha	4.84 (1.09)	2.73 (1.95)
33	7224	Archivadores metálicos	4.58 (1.20)	2.72 (2.10)
34	7233	Plato	5.39 (1.44)	2.29 (1.80)
35	7235	Silla	5.33 (1.24)	2.13 (1.72)
36	7490	Casa	5.23 (1.32)	2.95 (1.87)
37	7500	Edificio	5.06 (1.26)	4.05 (2.00)
38	7550	Oficina	5.38 (1.59)	3.68 (2.02)
39	7820	Ágata	5.56 (1.28)	3.52 (2.20)
40	7830	Ágata	5.26 (1.18)	3.55 (2.28)

Media y desviación típica en las dimensiones de valencia y *arousal* de cada diapositiva del IAPS de valencia afectiva negativa.

	NÚMERO	DESCRIPCION	VALENCIA	*AROUSAL*
1	1050	Serpiente	3.69 (1.99)	7.43 (2.14)
2	1300	Perro (PitBull)	3.77 (1.65)	6.95 (1.75)
3	2120	Adulto enfadado	3.46 (1.66)	6.44 (2.32)
4	2800	Niño llorando	1.38 (1.03)	7.18 (2.03)
5	2900	Niño llorando	2.02 (1.25)	6.40 (2.36)
6	3000	Rostro mutilado	1.65 (1.38)	7.75 (2.17)
7	3010	Rostro mutilado	1.63 (1.16)	7.56 (2.28)
8	3030	Rostro mutilado	1.73 (1.14)	6.91 (2.31)
9	3051	Rostro ensangrentado	1.52 (0.96)	7.13 (2.18)
10	3053	Quemado	1.42 (1.00)	7.00 (2.53)
11	3060	Rostro magullado	2.36 (2.12)	7.48 (2.08)
12	3071	Cuello cortado	1.92 (1.32)	7.66 (1.92)
13	3100	Quemado	1.57 (0.98)	7.21 (2.34)
14	3102	Quemado	1.29 (0.79)	6.92 (2.50)
15	3120	Cuerpo mutilado	1.56 (1.13)	7.50 (2.10)
16	3130	Cuerpo mutilado	1.81 (1.66)	7.39 (2.49)
17	3150	Dedo	2.01 (1.50)	7.67 (1.99)
18	3170	Bebé con tumor	1.54 (1.01)	7.61 (1.93)
19	3230	Enfermo de SIDA	1.86 (1.35)	6.47 (2.19)
20	3350	Bebé prematuro	2.08 (2.06)	7.22 (2.10)
21	3400	Mano cortada	2.42 (1.71)	7.28 (2.17)
22	3550	Rostro ensangrentado	2.17 (1.24)	7.33 (1.81)
23	6212	Soldado y niño	1.70 (1.29)	7.20 (1.88)
24	6250	Pistola apuntando	3.14 (2.00)	7.21 (1.86)
25	6260	Pistola apuntando	2.47 (1.74)	7.73 (2.03)
26	6313	Asalto	1.94 (1.40)	7.26 (2.12)
27	6510	Hombre con cuchillo	2.26 (1.69)	7.81 (1.73)
28	6550	Cuchillo	1.80 (1.26)	7.99 (1.64)
29	6560	Pistola apuntando	2.91 (1.99)	7.42 (1.91)
30	6570	Pistola apuntando	1.94 (1.57)	7.62 (2.00)
31	9040	Niño desnutrido	1.37 (0.79)	7.27 (2.15)
32	9050	Accidente de avión	1.84 (1.21)	7.06 (2.05)
33	9400	Soldado	1.78 (1.33)	7.01 (2.14)
34	9410	Niño	1.48 (1.28)	7.45 (2.21)
35	9421	Soldado	2.00 (1.43)	6.66 (2.02)
36	9520	Niños sucios	2.62 (2.05)	6.16 (2.29)
37	9630	Bomba atómica	2.34 (2.04)	7.67 (1.59)
38	9800	Cabeza rapada	2.61 (1.98)	7.26 (1.96)
39	9810	Ku Klux Klan	2.17 (1.59)	7.46 (1.93)
40	9920	Accidente de coche	2.17 (1.34)	6.57 (2.10)