

TESIS DOCTORAL

**MEMORIA DE TRABAJO ESPACIAL Y ATENCIÓN ESPACIAL:
ESTUDIO DE SU RELACIÓN**

DOCTORANDA

M^a CONCEPCIÓN CASTELLANOS BAENA

DIRECTOR

PÍO TUDELA GARMENDIA

Grupo de Neurociencia Cognitiva

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGIA EXPERIMENTAL Y
FISIOLOGIA DEL COMPORTAMIENTO



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Diciembre 2010

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: María Concepción Castellanos Baena
D.L.: GR 2015-2011
ISBN: 978-84-694-1313-5



UNIVERSIDAD DE GRANADA

UNIVERSIDAD DE GRANADA
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA EXPERIMENTAL
Y FISIOLÓGIA DEL COMPORTAMIENTO

Campus Universitario de Cartuja, s/n
Teléf. +34 - 958 24 37 63 - Fax: +34 - 958 24 62 39
18071 - GRANADA - ESPAÑA

Memoria de Trabajo Espacial y Atención Espacial: Estudio de su Relación

Tesis Doctoral presentada por **M^a Concepción Castellanos Baena** en el *Departamento de Psicología Experimental y Fisiología del Comportamiento*, para aspirar al grado de Doctor en Psicología, en el programa de doctorado *Psicología Experimental y Neurociencias del Comportamiento*, de la Universidad de Granada.

La tesis ha sido realizada bajo la dirección del profesor **Pío Tudela Garmendia**, quien avala la calidad de la misma, así como la formación del doctorando para aspirar al grado de doctor.

Firmado en Granada, a 20 de diciembre de 2010.

La doctoranda:

El director de la tesis:

Fdo.: M^a Concepción
Castellanos Baena

Fdo.: Pío Tudela Garmendia
Catedrático de Psicología

ÍNDICES

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICES	5
<i>ÍNDICE DE CONTENIDOS</i>	7
<i>ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS</i>	11
INTRODUCCIÓN	17
1. ATENCIÓN	19
2. TEORÍA DE POSNER.....	20
2.1. RED DE ALERTA	21
2.2. RED DE ORIENTACIÓN	21
2.3. RED DE CONTROL EJECUTIVO.....	23
3. MEMORIA DE TRABAJO	25
4. MODELO DE BADDELEY Y HITCH	25
4.1. EJECUTIVO CENTRAL	26
4.2. AGENDA VISO-ESPACIAL	27
5. ATENCIÓN ESPACIAL COMO MECANISMO DE REPASO EN LA MEMORIA DE TRABAJO ESPACIAL.....	30
5.1. DATOS COMPORTAMENTALES	32
5.2. DATOS DE NEUROIMAGEN	34
5.3. DATOS ELECTROFISIOLÓGICOS	36
SECCIÓN EXPERIMENTAL 1	39
<i>MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS</i>	41
<i>EXPERIMENTO 1</i>	43
1. MÉTODO	44
1.1. Participantes.....	44
1.2. Aparatos y estímulos	44
1.3. Procedimiento.....	44
1.4. Diseño	47
1.5. Registro del EEG	48
1.6. Análisis del EEG	48
2. RESULTADOS.....	50
2.1. Resultados comportamentales	50
2.2. Resultados electrofisiológicos.....	50
2.2.1. Electrodos lateralizados posteriores	50
2.2.1.1. <i>Ventana temporal de 80-140 ms: P1 posterior</i>	51
2.2.1.2. <i>Ventana temporal de 150-220 ms: N1 posterior</i>	52
2.2.1.3. <i>Ventana temporal de 200-260 ms: P2 posterior</i>	54
2.2.2. Electrodos lateralizados anteriores	54
2.2.2.1. <i>Ventana temporal 100-170 ms: N1 anterior</i>	55
2.2.3. Electrodos centrales	56
2.2.3.1. <i>Ventana temporal de 80-140 ms: N1 central</i>	56
2.2.3.2. <i>Ventana temporal de 150-220 ms: P1 central</i>	57

2.3. Mapas topográficos y estimación de dipolos.....	57
2.3.1. Ventana temporal 80-140 ms: P1 posterior.....	57
2.3.2. Ventana temporal 150-220 ms: N1 posterior.....	60
3. DISCUSIÓN.....	61
SECCIÓN EXPERIMENTAL 2.....	67
<i>MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS</i>	69
<i>EXPERIMENTO 2</i>	73
1. MÉTODO.....	74
1.1. Participantes.....	74
1.2. Aparatos y estímulos.....	74
1.3. Procedimiento.....	74
1.4. Diseño.....	76
2. RESULTADOS.....	76
2.1. Análisis de precisión.....	77
2.2. Análisis del tiempo de reacción.....	78
3. DISCUSIÓN.....	79
<i>EXPERIMENTO 3</i>	81
1. MÉTODO.....	83
1.1. Participantes.....	83
1.2. Aparatos y estímulos.....	84
1.3. Procedimiento.....	84
1.4. Diseño.....	84
1.5. Registro del EEG.....	85
2. RESULTADOS.....	85
2.1. Resultados comportamentales.....	85
2.2. Resultados electrofisiológicos.....	86
2.2.1. Fase de estudio.....	89
2.2.1.1. Ventana temporal 180-300 ms.....	89
2.2.1.2. Ventana temporal 400-600 ms.....	91
2.2.2. Intervalo de retención.....	92
2.2.3. Fase de búsqueda.....	95
2.2.3.1. Ventana temporal 100-180 ms.....	95
2.2.3.2. Ventana temporal 180-300 ms.....	98
2.2.3.3. Ventana temporal 450-750 ms.....	101
2.3. Mapas topográficos y estimación de dipolos.....	104
2.3.1. Fase de estudio.....	105
2.3.2. Intervalo de retención.....	106
2.3.3. Fase de búsqueda.....	108
3. DISCUSIÓN.....	109
<i>EXPERIMENTO 4</i>	119
1. MÉTODO.....	120
1.1. Participantes.....	120

1.2. Aparatos y estímulos	120
1.3. Procedimiento	120
1.4. Diseño	120
1.5. Registro del EEG	120
2. RESULTADOS.....	121
2.1. Resultados comportamentales	121
2.2. Resultados electrofisiológicos.....	122
2.2.1. Fase de estudio.....	124
2.2.1.1. <i>Ventana temporal 180-300 ms</i>	124
2.2.1.1. <i>Ventana temporal 400-600 ms</i>	127
2.2.2. Intervalo de retención	128
2.2.2.1. <i>Ventana temporal 1125-1275 ms</i>	128
2.2.3. Fase de búsqueda	132
2.2.3.1. <i>Ventana temporal 100-180 ms</i>	132
2.2.3.2. <i>Ventana temporal 180-300 ms</i>	133
2.2.3.3. <i>Ventana temporal 450-750 ms</i>	136
2.3. Mapas topográficos y estimación de dipolos.....	138
2.3.1. Fase de estudio.....	139
2.3.2. Intervalo de retención.	140
2.3.3. Fase de búsqueda	141
3. DISCUSIÓN	143
DISCUSIÓN GENERAL.....	151
REFERENCIAS	169
APÉNDICES	183
<i>APÉNDICE I: EXPERIMENTO 1-TABLAS.....</i>	<i>185</i>
<i>APÉNDICE II: EXPERIMENTO 3- RESULTADOS COMPORTAMENTALES, FIGURAS Y TABLAS.....</i>	<i>187</i>
<i>APÉNDICE III: EXPERIMENTO 4- RESULTADOS COMPORTAMENTALES, FIGURAS Y TABLAS.....</i>	<i>198</i>

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1.1. SECUENCIA TEMPORAL Y DE ESTÍMULOS DE UN ENSAYO TAREA DE MEMORIA DE TRABAJO ESPACIAL.	45
FIGURA 1.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS 128 CANALES EN LA RED GEODÉSICA.	48
FIGURA 1.3. GRUPOS DE ELECTRODOS ANALIZADOS. EN COLOR VERDE APARECE EL GRUPO DE ELECTRODOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES P1, N1 Y P2 POSTERIORES LATERALIZADOS.	49
FIGURA 1.4. GRÁFICAS DE POTENCIALES CORTICALES PARA LAS DOS TAREAS PARA LOS COMPONENTES LATERALIZADOS EN TOPOGRAFÍA POSTERIOR.	51
FIGURA 1.5. AMPLITUD MEDIA EN TAREA X POSICIÓN EN P1 POSTERIOR.	52
FIGURA 1.6. AMPLITUD MEDIA EN CVISUAL X SEÑAL EN N1 POSTERIOR.	53
FIGURA 1.7. AMPLITUD MEDIA EN SEÑAL X POSICIÓN EN N1 POSTERIOR.	53
FIGURA 1.8. INTERACCIÓN SEÑAL X POSICIÓN EN P2 POSTERIOR.	54
FIGURA 1.9. GRÁFICAS DE POTENCIALES CORTICALES PARA LAS TAREAS DE MEMORIA DE TRABAJO Y ATENCIÓN PARA N1 LATERALIZADO EN TOPOGRAFÍA ANTERIOR.	55
FIGURA 1.10. AMPLITUD MEDIA EN TAREA X POSICIÓN EN N1 ANTERIOR.	55
FIGURA 1.11. GRÁFICAS DE POTENCIALES CORTICALES PARA LAS DOS TAREAS LOS COMPONENTES CON TOPOGRAFÍA CENTRAL.	56
FIGURA 1.12. MAPA TOPOGRÁFICO DEL PROMEDIO DE AMPLITUD (μV) DE UNA VENTANA DE 100 A 140 MS EN CADA UNA DE LAS TAREAS, ATENCIÓN Y MEMORIA DE TRABAJO.	58
FIGURA 1.13. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS EN FUNCIÓN DE SU INTENSIDAD (NA) PARA CADA UNA DE LAS TAREAS EN LA VENTANA DE ANÁLISIS.	58
FIGURA 1.14. MAPA TOPOGRÁFICO DE LA DIFERENCIA DE AMPLITUD PROMEDIO (μV) EN LA VENTANA DE 100 A 140 MS ENTRE TABLEROS SEÑALADOS Y NO SEÑALADOS PARA CADA UNA DE LAS TAREAS.	59
FIGURA 1.15. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS EN FUNCIÓN DE SU INTENSIDAD (NA) DE LA DIFERENCIA ENTRE TABLEROS SEÑALADOS Y NO SEÑALADOS A LOS 120 MS.	59
FIGURA 1.16. MAPA TOPOGRÁFICO DE AMPLITUD PROMEDIO (μV) EN LA VENTANA DE 160 A 200 MS PARA CADA UNA DE LAS TAREAS, ATENCIÓN Y MEMORIA DE TRABAJO.	60
FIGURA 1.17. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS EN FUNCIÓN DE SU INTENSIDAD (NA) PARA CADA UNA DE LAS TAREAS EN LA VENTANA TEMPORAL ANALIZADA.	61
FIGURA 2.1. RESULTADO HIPOTÉTICO DEL EFECTO DEL TAMAÑO DEL CONJUNTO DE MEMORIA (TCM 1, TCM 2 Y TCM 3) Y DEL TAMAÑO DEL CONJUNTO DE PRESENTACIÓN (TCP 1, TCP 2 Y TCP 3) EN EL TR, TANTO EN ADITIVIDAD COMO EN INTERACCIÓN.	71
FIGURA 2.2. SECUENCIA TEMPORAL Y DE ESTÍMULOS DE UN ENSAYO.	75
TABLA 2.1. MEDIA DE LOS VALORES DE D' Y TR (MS) DE LAS RESPUESTAS CORRECTAS LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES EN EXPERIMENTO 2.	77
FIGURA 2.3. INTERACCIÓN TCM X TCP EN D'	77
FIGURA 2.4. INTERACCIÓN TCM X TCP EN TR.	78
FIGURA 3.1. EFECTO DE TCM Y TCP EN PRECISIÓN.	86
FIGURA 3.2. EFECTO DE TCM X TCP EN TR.	86
FIGURA 3.3. GRUPOS DE CANALES UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS. POR ENCIMA DEL VERTEX (VREF) ESTÁ EL GRUPO ANTERIOR, Y POR DEBAJO EL GRUPO POSTERIOR.	87
TABLA 3.1. COMPONENTES, VENTANAS TEMPORALES, Y ANÁLISIS EN CADA GRUPO DE ELECTRODOS PARA CADA FASE DEL ENSAYO.	88
FIGURA 3.4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS POTENCIALES CORTICALES PARA TCM EN CADA GRUPO DE ELECTRODOS EN LA FASE DE ESTUDIO.	89

ÍNDICES

FIGURA 3.5. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN N2 POSTERIOR.	90
FIGURA 3.6. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	90
FIGURA 3.7. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	91
FIGURA 3.8. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN P3 POSTERIOR.	91
FIGURA 3.9. EFECTO DE POSICIÓN SOBRE LA AMPLITUD EN P3 POSTERIOR.	92
FIGURA 3.10. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN N3 ANTERIOR.	92
FIGURA 3.12. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN LA ONDA LENTA POSTERIOR.	93
FIGURA 3.13. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN LA ONDA LENTA ANTERIOR.	94
FIGURA 3.14. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS POTENCIALES EVOCADOS ASOCIADOS CON TCP PARA CADA GRUPO UTILIZADO EN EL ANÁLISIS DENTRO DEL GRUPO POSTERIOR Y DEL GRUPO ANTERIOR EN LA FASE DE BÚSQUEDA.	95
FIGURA 3.15. EFECTO DE TCM EN LATENCIA EN P1 POSTERIOR.	96
FIGURA 3.16. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN P1 POSTERIOR.	96
FIGURA 3.17. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN P1 POSTERIOR.	97
FIGURA 3.18. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN N1 ANTERIOR.	97
FIGURA 3.19. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN N1 ANTERIOR.	98
FIGURA 3.20. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN N2 POSTERIOR.	98
FIGURA 3.21. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN N2 POSTERIOR.	99
FIGURA 3.22. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN N2 POSTERIOR.	99
FIGURA 3.23. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN P2 ANTERIOR.	100
FIGURA 3.24. EFECTO DE POSICIÓN EN LATENCIA EN P2 ANTERIOR.	100
FIGURA 3.25. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	101
FIGURA 3.26. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	101
FIGURA 3.27. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN P3 POSTERIOR.	102
FIGURA 3.28. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P3 POSTERIOR.	102
FIGURA 3.29. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN N3 ANTERIOR.	103
FIGURA 3.30. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN N3 ANTERIOR.	103
FIGURA 3.31. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN N3 ANTERIOR.	104
FIGURA 3.32. MAPAS TOPOGRÁFICOS PROMEDIO DE AMPLITUD (μV) DE LA VENTANA UTILIZADA PARA CALCULAR LA MEDIA ADAPTATIVA EN EL ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2 EN LA FASE DE ESTUDIO, PARA TCM 3, TCM 1, Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS, TCM 3-1.	105
FIGURA 3.33. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS MODELADOS PARA LA DIFERENCIA ENTRE TCM 3 Y TCM 1 EN LA VENTANA TEMPORAL DE ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2 DE LA FASE DE ESTUDIO.	106
FIGURA 3.34. MAPAS TOPOGRÁFICOS DE AMPLITUD (μV) PARA TCM 3, TCM 1, Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS, TCM 3-1.	107
FIGURA 3.35. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS MODELADOS PARA LA DIFERENCIA ENTRE TCM 3 Y TCM 1 EN LA VENTANA TEMPORAL DEL INTERVALO DE RETENCIÓN. E	107
FIGURA 3.36. MAPAS TOPOGRÁFICOS PROMEDIO DE AMPLITUD (μV) DE LA VENTANA UTILIZADA PARA CALCULAR LA MEDIA ADAPTATIVA EN EL ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2, PARA TCP 7, TCP 1, Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS, TCP 7-1.	108
FIGURA 3.37. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS MODELADOS PARA LA DIFERENCIA ENTRE TCP 7 Y TCP 1 EN LA VENTANA TEMPORAL DE ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2 DE LA FASE DE BÚSQUEDA.	109
FIGURA 4.1. EFECTO DE TCM Y TCP EN DISCRIMINACIÓN.	121
FIGURA 4.2. EFECTO DE TCM X TCP EN TR.	122

TABLA 4.1. COMPONENTES, VENTANAS TEMPORALES, Y ANÁLISIS EN CADA GRUPO DE ELECTRODOS PARA CADA FASE DEL ENSAYO.	123
FIGURA 4.3. GRÁFICAS DE POTENCIALES CORTICALES ASOCIADOS CON TCM PARA CADA GRUPO UTILIZADO EN EL ANÁLISIS, TANTO EN EL GRUPO POSTERIOR COMO EL GRUPO ANTERIOR EN LA FASE DE ESTUDIO... ..	124
FIGURA 4.4. EFECTO DE TCM EN LATENCIA EN N2 POSTERIOR.	125
FIGURA 4.5. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN N2 POSTERIOR.	125
FIGURA 4.6. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN N2 POSTERIOR.	125
FIGURA 4.7. EFECTO DE TCM EN LATENCIA EN P2 ANTERIOR.	126
FIGURA 4.8. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	126
FIGURA 4.10. EFECTO DE POSICIÓN EN LATENCIA EN N1100 POSTERIOR.	129
FIGURA 4.11. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN N1100 POSTERIOR.	129
FIGURA 4.12. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN N1100 POSTERIOR.	130
FIGURA 4.13. EFECTO DE POSICIÓN EN LATENCIA EN P1100 ANTERIOR.	130
FIGURA 4.14. EFECTO DE TCM EN AMPLITUD EN P1100 ANTERIOR.	130
FIGURA 4.15. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P1100 ANTERIOR.	131
FIGURA 4.16. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS POTENCIALES CORTICALES ASOCIADOS CON TCP PARA CADA GRUPO UTILIZADO EN EL ANÁLISIS DENTRO DEL GRUPO POSTERIOR Y DEL GRUPO ANTERIOR EN LA FASE DE BÚSQUEDA.	132
FIGURA 4.17 EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN P1 POSTERIOR.	133
FIGURA 4.18. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN P1 POSTERIOR.	133
FIGURA 4.19. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN N2 POSTERIOR.	134
FIGURA 4.20. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN N2 POSTERIOR.	134
FIGURA 4.21. EFECTO DE TCP EN LATENCIA EN P2 ANTERIOR.	135
FIGURA 4.22. EFECTO DE POSICIÓN EN LATENCIA EN P2 ANTERIOR.	135
FIGURA 4.23. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	136
FIGURA 4.24. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	136
FIGURA 4.25. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	137
FIGURA 4.26. EFECTO DE POSICIÓN EN AMPLITUD EN P2 ANTERIOR.	137
FIGURA 4.27. EFECTO DE TCP EN AMPLITUD EN N3 ANTERIOR.	138
FIGURA 4.28. MAPAS TOPOGRÁFICOS PROMEDIO DE AMPLITUD (μV) DE LA VENTANA UTILIZADA PARA CALCULAR LA MEDIA ADAPTATIVA EN EL ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2 EN LA FASE DE ESTUDIO, PARA TCM 3, TCM 1, Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS, TCM 3-1.	139
FIGURA 4.29. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS MODELADOS PARA LA DIFERENCIA ENTRE TCM 3 Y TCM 1 EN LA VENTANA TEMPORAL DE ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2 DE LA FASE DE ESTUDIO.	140
FIGURA 4.30. MAPAS TOPOGRÁFICOS DE AMPLITUD (μV) PARA TCM 3, TCM 1, Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS, TCM 3-1.	140
FIGURA 4.31. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS MODELADOS PARA LA DIFERENCIA ENTRE TCM 3 Y TCM 1 EN LA VENTANA TEMPORAL DEL INTERVALO DE RETENCIÓN.	141
FIGURA 4.32. MAPAS TOPOGRÁFICOS PROMEDIO DE AMPLITUD (μV) DE LA VENTANA UTILIZADA PARA CALCULAR LA MEDIA ADAPTATIVA EN EL ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2, PARA TCP 7, TCP 1, Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS, TCP 7-1.	142
FIGURA 4.33. DISTRIBUCIÓN DE DIPOLOS MODELADOS PARA LA DIFERENCIA ENTRE TCP 7 Y TCP 1 EN LA VENTANA TEMPORAL DE ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES N2/P2 DE LA FASE DE BÚSQUEDA.	142
TABLA I.1. MEDIA DE LOS VALORES DE AMPLITUD (μV) PARA CADA PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P1 POSTERIOR EN EXPERIMENTO 1.	185

ÍNDICES

TABLA I.2. MEDIA DE LOS VALORES DE AMPLITUD (μV) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N1 POSTERIOR EN EXPERIMENTO 1.	185
TABLA I.3. MEDIA DE LOS VALORES DE AMPLITUD (μV) PARA PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P2 POSTERIOR EN EXPERIMENTO 1.	185
TABLA I.4. MEDIA DE LOS VALORES DE AMPLITUD (μV) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N1 ANTERIOR EN EXPERIMENTO 1.	185
TABLA I.5. MEDIA DE LOS VALORES DE AMPLITUD (μV) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES EN N1 CENTRAL EN EXPERIMENTO 1.	186
TABLA I.6. MEDIA DE LOS VALORES DE AMPLITUD (μV) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES EN P1 CENTRAL EN EXPERIMENTO 1.	186
TABLA III.1 . MEDIA DE LOS VALORES DE D' Y TR (MS) DE LAS RESPUESTAS CORRECTAS EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES EN EXPERIMENTO 3.	187
FIGURA III.1. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 3 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCM.	189
FIGURA III.2. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 3 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCP.	189
FIGURA III.3. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO E INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 3 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCM.	191
FIGURA III.4. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO E INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 3 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCP.	192
FIGURA III.5. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCM.	194
FIGURA III.6. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCP.	194
TABLA III.2. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N2 POSTERIOR DE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 3.	195
TABLA III.3. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P2 ANTERIOR DE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 3.	195
TABLA III.4. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P3 POSTERIOR Y N3 ANTERIOR DE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 3.	195
TABLA III.5. VALORES DE AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN LA ONDA LENTA NEGATIVA POSTERIOR Y LA ONDA LENTA POSITIVA ANTERIOR DEL INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 3.	196
TABLA III.6. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P1 POSTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3.	196
TABLA III.7. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N1 ANTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3.	196
TABLA III.8. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N2 POSTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3.	197
TABLA III.9. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P2 ANTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3.	197
TABLA III.10. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μV) EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P3 POSTERIOR Y N3 ANTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 3.	197
TABLA IV.1. MEDIA DE LOS VALORES DE D' Y TR (MS) DE LAS RESPUESTAS CORRECTAS EN LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES EN EXPERIMENTO 4.	198
FIGURA IV.1. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 4 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCM.	200
FIGURA IV.2. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 4 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCP.	201

FIGURA IV.3. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO E INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 4 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCM..202

FIGURA IV.4. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE ESTUDIO E INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 4 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCP..203

FIGURA IV.5. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCM..204

FIGURA IV.6. PROMEDIO DE LA AMPLITUD DURANTE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4 EN TODOS LOS ELECTRODOS PARA TCP.205

TABLA IV.2. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N2 POSTERIOR DE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 4.206

TABLA IV.3. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P2 ANTERIOR DE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 4.206

TABLA IV.4. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P3 POSTERIOR Y N3 ANTERIOR DE LA FASE DE ESTUDIO EN EXPERIMENTO 4.206

TABLA IV.5. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N1100 POSTERIOR DEL INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 4.207

TABLA IV.6. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P1100 ANTERIOR DEL INTERVALO DE RETENCIÓN EN EXPERIMENTO 4.207

TABLA IV.7. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P1 POSTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4.207

TABLA IV.8. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N1 ANTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4.208

TABLA IV.9. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN N2 POSTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4.208

TABLA IV.10. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P2 ANTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4.208

TABLA IV.11. VALORES DE LATENCIA (MS) Y AMPLITUD (μ V) PARA LAS CONDICIONES EXPERIMENTALES Y POSICIÓN EN P3 POSTERIOR Y N3 ANTERIOR DE LA FASE DE BÚSQUEDA EN EXPERIMENTO 4.209

INTRODUCCIÓN

Los conceptos de **atención** y **memoria de trabajo** juegan un importante papel en el marco teórico general de la Psicología Cognitiva. Cada uno de ellos tiene una historia particular de elaboración conceptual y ha sido estudiado con tareas experimentales específicas pero, a medida que la investigación ha avanzado y los resultados comportamentales se han ido poniendo en relación con datos obtenidos mediante técnicas electroencefalográficas y de neuroimagen, la idea de que ambos conceptos están relacionados con mecanismos que, o bien son los mismos, o tienen entre sí un amplio grado de solapamiento, ha ido cobrando cuerpo en la investigación actual.

Esta tesis trata de investigar el posible grado de solapamiento de los mecanismos de atención y de memoria de trabajo en el marco concreto de la modalidad espacial, mediante el uso de técnicas de electroencefalografía de alta densidad. La investigación ha estado guiada por una determinada forma de pensar tanto acerca de la atención como de la memoria de trabajo y de la relación entre ambas. Esta introducción tratará de hacer explícita esa forma de pensar para facilitar tanto la comprensión como la crítica de la investigación realizada. Un problema de envergadura de la teoría psicológica radica en el uso de términos bajo los cuales se esconden, unas veces, profundas diferencias conceptuales, y otras, manifiestas semejanzas, así que, desde el principio conviene aclarar el sentido de los términos atención y memoria de trabajo que hemos utilizado en esta investigación.

1. ATENCIÓN

El término atención ha hecho referencia a aspectos muy diferentes del comportamiento y de la experiencia mental de las personas. Si nos ceñimos a la historia más reciente y aún influyente en nuestra forma de pensar, la atención ha sido asociada preferentemente con la función selectiva del procesamiento de la información. A partir del modelo de Broadbent (1958), que definía la atención como un filtro, la selectividad ha estado tan asociada a la atención que el término atención y atención selectiva ha sido con frecuencia utilizado de forma intercambiable (Luck y Mangun, 2009). La idea de que sólo es posible postular el funcionamiento de la atención en situaciones que implican la selección de uno entre varios posibles estímulos fue predominante hasta que Posner demostró la existencia de efectos atencionales a un único estímulo

mediante la manipulación de señales orientadoras (Posner, 1980; Posner, Snyder y Davidson, 1980).

Una importante aportación en la forma de conceptualizar la atención fue la introducida por Kahneman (1973), que recogió la influencia que las investigaciones sobre el sistema de activación (Moruzzi y Magoun, 1949) había tenido en la forma de entender la atención en determinadas corrientes conductistas (Berlyne, 1960). Kahneman definió la atención como "esfuerzo mental". Este esfuerzo actuaba como una cantidad limitada de energía que podía invertirse en su totalidad en la realización de una tarea o repartirse entre diferentes actividades. La forma de invertir el esfuerzo disponible corría a cargo de una "política de distribución de recursos" que actuaba como una especie de ejecutivo central asignando el esfuerzo a las tareas sobre la base de diferentes variables más o menos situacionales (intenciones de la persona, demandas de la tarea, disposiciones más o menos permanentes...). Esta forma de entender la atención acentuaba dimensiones de la misma que no fueron tomadas en consideración por el modelo previo de Broadbent, como el nivel de activación mental y el control. La consideración de estas dos funciones puso en tela de juicio el carácter unitario de la atención a la vez que su énfasis en los aspectos energéticos de la misma introducía una forma mucho más activa de entender el funcionamiento de la atención que la aportada por la idea de filtro.

El análisis de las distintas y principales funciones atencionales encontró su formulación más influyente en la teoría desarrollada por Michael Posner a través de un largo programa de investigación (Posner y Boies, 1971; Posner, 1978; Posner y Petersen, 1990) que ha supuesto la creación de tareas experimentales, la integración de ideas teóricas procedentes de diferentes autores y el estudio de las estructuras neurales responsables del funcionamiento de la atención. La concepción de Posner ha guiado la forma de entender la atención en esta tesis por lo que merece una exposición algo más detallada.

2. TEORÍA DE POSNER

Aunque el vocabulario utilizado por este autor ha variado desde el momento de su formulación inicial (Posner y Boies, 1971), la idea central de su teoría es que el término atención no corresponde a una realidad o mecanismo unitario sino que detrás de ese término se esconde un conjunto de redes neurales clasificables en tres amplias categorías: red de alerta, red de

orientación, también llamada sistema atencional posterior, y red de control ejecutivo, también conocida como sistema atencional anterior (Posner y Petersen, 1990).

2.1. RED DE ALERTA

La red de alerta está relacionada de forma general con la preparación ante la aparición de un estímulo más o menos inminente. Aunque atención sostenida, vigilancia y alerta son términos que con frecuencia se utilizan para caracterizar el estado mental de referencia, es conveniente diferenciar entre **alerta fásica**, que es un estado transitorio de preparación para una tarea específica, inducido por la presentación de una señal de aviso, y **alerta tónica** o **intrínseca**, que está relacionada con un estado general de activación del organismo. Aunque el concepto de activación (arousal) se consideró inicialmente como un concepto unitario, la investigación ha demostrado el carácter multidimensional del mismo (Parasuraman, 1998). Así se han caracterizado al menos cuatro subsistemas de neurotransmisores que proyectan a la corteza cerebral desde diferentes núcleos subcorticales: el **colinérgico** del cerebro anterior basal, el **noradrenérgico** del locus coeruleus (LC), el **dopaminérgico** del haz del cerebro anterior medial y el **serotonérgico** del núcleo del rafe dorsal. Posner ha relacionado su red de alerta con el sistema noradrenérgico del LC y con estructuras neuronales de la corteza frontal y parietal del hemisferio derecho. La red de alerta constituye en cierto modo el fundamento sobre el que se asientan los sistemas atencionales de orientación y control ejecutivo (Robertson, 2004).

2.2. RED DE ORIENTACIÓN

La red de orientación tiene como función característica dirigir los sistemas sensoriales hacia las fuentes de información. La orientación hacia la fuente de información forma parte integrante de la selectividad atencional, que ha sido una de las funciones de la atención más estudiadas. En la modalidad visual, tanto de forma **abierta**, es decir en coordinación con los movimientos oculares, como de forma **encubierta**, es decir sin movimientos oculares, el efecto de la orientación atencional se ha medido por la reducción en el tiempo de reacción a un objetivo que ha sido precedido por una señal informativa de la posición espacial en que iba a aparecer. Una distinción importante ha sido establecida entre dos tipos de orientación producidas por dos tipos de señales diferentes. Por un lado, la **orientación exógena**, producida por una señal, en

este caso exógena, que captura de forma automática la atención orientándola hacia la posición espacial en que aparece. Por otro lado, **orientación endógena** o voluntaria en la que la atención es dirigida por una señal, en este caso endógena, que indica la posición espacial de aparición del objetivo pero que no está situada en dicha posición. En la medida en que la relación entre la posición espacial indicada por la señal endógena es independiente de la posición espacial en que la señal aparece, puede decirse que la orientación endógena está guiada por una expectativa de posición espacial suscitada por la señal.

La orientación endógena mediante una expectativa no está limitada en la modalidad visual a la dimensión espacial, ya que la expectativa puede hacer referencia a múltiples aspectos de la estimulación. Por ejemplo, en una tarea típica de búsqueda visual, la expectativa del objetivo guía su búsqueda entre el conjunto de distractores cuyo número se manipula característicamente como variable independiente. También en esta tarea, dependiendo de las peculiaridades de la situación, el objetivo puede atraer automáticamente la atención provocando un fenómeno de "**salto a la vista**" (**pop-out**), o ser captado por el sistema visual como resultado de un proceso voluntario de búsqueda más o menos duradero. En cualquiera de los dos casos es importante caer en la cuenta de que la relevancia del estímulo para la tarea es el factor determinante de la orientación atencional (Corbetta, Patel y Shulman, 2008).

La investigación basada en técnicas de neuroimagen ha contribuido en gran medida a determinar las estructuras neurales responsables de esta red atencional de orientación (Corbetta y Shulman, 2002; Corbetta, Patel y Shulman, 2008). En la primera formulación de su teoría, Corbetta y Shulman (2002) relacionaron la orientación endógena de la atención con las operaciones de un sistema neural bilateral dorsal formado por el campo del ojo frontal (frontal eye field) y el surco lateral intraparietal. A su vez, la orientación exógena se relacionó con las operaciones de un sistema fronto-parietal ventral lateralizado al hemisferio derecho y formado por la corteza frontal inferior y la conjunción temporo-parietal. En esa primera formulación los términos exógeno y endógeno se utilizaban también como sinónimos de procesamiento de abajo-arriba (bottom-up) y procesamiento de arriba-abajo (top-down) de forma que el sistema ventral era considerado como responsable del primer tipo de procesamiento y el dorsal del segundo. En la última revisión de la teoría (Corbetta et al., 2008) los autores han diferenciado estas funciones de forma

que el procesamiento de abajo-arriba puede tener lugar también a través del sistema dorsal mientras que la función del sistema ventral queda limitada a la reorientación del sistema dorsal tanto entre estímulos dentro de una modalidad sensorial como entre modalidades sensoriales¹. La nueva formulación incluye una estructura cortical, situada en el giro frontal medial, encargada de la comunicación entre las redes dorsal y ventral. La dirección ventral-dorsal de esta comunicación sería la responsable de la reorientación del sistema dorsal, mientras que la dirección dorsal-ventral de la comunicación sería la responsable de una operación de filtraje mediante la cual la respuesta del sistema ventral se limitaría a los estímulos exógenos relevantes para la tarea o para el organismo. En cualquier caso, tanto el funcionamiento de la orientación exógena como endógena estaría restringido a la estimulación relevante. En esta tesis, utilizaremos tanto tareas de señalización como tareas de búsqueda, por lo que nuestra investigación estará relacionada con el funcionamiento de la red de orientación, preferentemente la red de orientación endógena.

2.3. RED DE CONTROL EJECUTIVO

La red de control ejecutivo tiene como función fundamental controlar la acción motora y los procesos cognitivos superiores. Al caracterizar funcionalmente esta red, Posner (Posner y Di Girolamo, 1998) utilizó como referencia el modelo de atención supervisora de Norman y Shallice (1986). En este modelo de procesamiento de información, el control ejecutivo corre a cargo de dos mecanismos diferentes. Uno de ellos, denominado "**programador de esquemas competitivos**" (**contention scheduling**), está basado en representaciones de esquemas de control resultantes de la experiencia con situaciones cotidianas. El aprendizaje y la práctica son los procesos preferentemente relacionados con este mecanismo programador que tiene una estructura jerárquica. Los esquemas están relacionados entre sí por conexiones excitatorias e inhibitorias recíprocas que permiten a la vez un equilibrio general dentro de la jerarquía y un predominio del esquema adecuado ante la presencia de una circunstancia determinada. En contextos habituales este sistema es suficiente para resolver los conflictos resultantes entre respuestas competitivas. Sin embargo existen situaciones especiales de emergencia en las que la

¹ La teoría también incluye en el sistema ventral la función de reorientación entre el sistema dorsal y el sistema por defecto, pero el desarrollo de este aspecto de la teoría no es relevante para el objetivo de esta tesis.

actividad controladora del programador de esquemas no proporciona una solución adecuada, como situaciones nuevas o cuyos esquemas de respuesta no están bien aprendidos; también situaciones en las que la acción adecuada entra en conflicto con actividades habituales más potentes, o situaciones que requieren bien la corrección de errores, bien la planificación o toma de decisiones. Por último, también fueron incluidas las situaciones juzgadas difíciles o peligrosas. En este último caso, aunque existan los esquemas para abordarlas, su puesta en funcionamiento necesita potenciación, concentración y esfuerzo.

En circunstancias como éstas, o el programador de esquemas no está en condiciones de proporcionar una respuesta, o el esquema adaptativo adecuado necesita una potenciación especial para controlar el procesamiento de la información. Entonces entra en juego un segundo mecanismo de control, que recibe el nombre de **Sistema Atencional Supervisor (SAS)**, cuya función activadora sobre el esquema adecuado permite llevar a cabo la respuesta apropiada a la situación. La actividad del SAS es parecida a la postulada por Desimone y Duncan (1995) en su modelo de "**competición sesgada**" (**biased competition**). Esta es también la función del sistema atencional anterior, o red de control ejecutivo, en el caso de la teoría de Posner.

Basándose en estudios con técnicas de neuroimagen, Posner asumió que la corteza del cíngulo anterior dorsal era la estructura neural implicada en esta función de control (Bush, Luu, y Posner, 2000; Posner y Di Girolamo, 1998). La investigación ha puesto de manifiesto que otras zonas corticales, como la corteza dorsolateral y ventrolateral prefrontales, también forman parte de este sistema de control (Duncan y Owen, 2000). En la actualidad la investigación de las estructuras neurales relacionadas con este sistema de control constituye uno de los capítulos más interesantes de la neurociencia cognitiva en cuya exposición y comentario no nos detendremos. En el contexto de esta tesis, la red de control ejecutivo resulta de especial relevancia porque nos proporciona el lazo conceptual que en el nivel teórico nos permite relacionar la atención y la memoria de trabajo. Como vamos a ver a continuación, en el SAS de Norman y Shallice convergen las ideas de Posner sobre la red de control ejecutivo y las de Baddeley sobre memoria de trabajo.

3. MEMORIA DE TRABAJO

El término memoria de trabajo ha estado presente en la Psicología Cognitiva desde sus inicios (Douglas, 1967; Miller, Galanter y Pribram, 1960), aunque sin duda el influyente trabajo de Baddeley y Hitch (1974) ha determinado de alguna forma el desarrollo del área. Estos autores introdujeron el concepto de memoria de trabajo como una reelaboración del concepto de memoria a corto plazo predominante hasta entonces en los modelos de memoria (Atkinson y Shiffrin, 1968). La distinción entre memoria a corto y a largo plazo fue parte de las señas de identidad iniciales de la Psicología Cognitiva y estaba bien establecida cuando Baddeley y Hitch presentaron su modelo teórico. No obstante, el concepto de memoria a corto plazo estaba prácticamente limitado en su definición a la duración temporal del trazo de memoria (Brown, 1958; Peterson y Peterson, 1959) o a la capacidad de un sistema de almacenamiento de trazos de memoria (Atkinson y Shiffrin, 1968; Miller, 1956) aunque también hubo importantes contribuciones que trataron de relacionarlo con los niveles de procesamiento (Craik y Lockhart, 1972). Baddeley y Hitch entendieron la memoria de trabajo de una forma mucho más activa, como un sistema complejo de memoria que servía de base a las habilidades cognitivas complejas. Este sistema tenía capacidad limitada y operaba en el contexto de numerosas tareas implicando diferentes modalidades sensoriales y códigos de procesamiento.

4. MODELO DE BADDELEY Y HITCH

El sistema de memoria de trabajo propuesto por estos autores estaba formado por tres componentes. Un **ejecutivo central** entendido como sistema de control de capacidad atencional limitada, responsable por un lado de la manipulación de información dentro de la memoria de trabajo, y por otro, del control de dos sistemas subsidiarios: el **bucle fonológico (phonological loop)** y la **agenda viso-espacial (visuospatial sketchpad)**. El bucle fonológico era el responsable de almacenar y mantener la información en forma fonológica, mientras que la agenda viso-espacial estaba dedicada al almacenamiento y mantenimiento de la información visual y espacial. Sobre la base de investigaciones posteriores, Baddeley (2000) añadió un cuarto componente, el **almacén episódico (episodic buffer)** de capacidad limitada capaz de codificación multidimensional que permite la unificación de información para generar episodios integrados. Para el objetivo de esta tesis

sólo nos detendremos a exponer brevemente el ejecutivo central y la agenda viso-espacial. No obstante, antes de llevar a cabo esa exposición, nos detendremos en comentar la metodología general que ha caracterizado a la investigación de la memoria de trabajo.

Aunque no de forma exclusiva, la investigación comportamental de la memoria de trabajo ha estado preferentemente ligada al uso de tareas duales. En este procedimiento se pide al participante que lleve a cabo una tarea que absorbe la capacidad de su memoria de trabajo y al mismo tiempo tiene que realizar otra tarea cuya ejecución se supone que depende de la memoria de trabajo. Si este supuesto es correcto, la ejecución de una tarea concurrente de memoria de trabajo debe producir un empeoramiento manifiesto en la otra tarea. Por ejemplo, si pedimos a los participantes que recuerden series de números que pueden variar de uno a ocho mientras llevan a cabo al mismo tiempo una prueba de razonamiento, en la medida en que la tarea de razonamiento requiera la utilización de la memoria de trabajo, cuanto mayor sea la cantidad de números a recordar, peor será la ejecución en la tarea de razonamiento. La lógica que subyace al procedimiento es que el grado de participación de la memoria de trabajo en una tarea determinada puede inferirse a partir del grado de interferencia que la manipulación de la carga de memoria produce en la ejecución de esa tarea.

4.1. EJECUTIVO CENTRAL

En el desarrollo de su teoría, Baddeley centró su investigación inicial en el estudio de los sistemas subsidiarios de memoria, en primer lugar el bucle fonológico y posteriormente la agenda viso-espacial. El interés por desarrollar el ejecutivo central tuvo lugar al estudiar la memoria de trabajo en pacientes con daño cerebral frontal (Baddeley 1986; Baddeley y Wilson, 1988). En este contexto, de forma parecida a lo que había ocurrido con Posner y su red atencional anterior, recurrió a la conceptualización de la atención propuesta por Norman y Shallice que se ha expuesto anteriormente. No obstante, Baddeley restringió las funciones del ejecutivo central a cuatro funciones atencionales: **focalización** de la atención en una tarea, su **división** en tareas duales, el **cambio** de tarea y la **relación de contenido** entre memoria de trabajo y memoria a largo plazo. La última de estas cuatro funciones ha sido posteriormente (Baddeley, 1996) asociada con el funcionamiento del tercer sistema subsidiario de memoria, el almacén episódico, por lo que solamente las

tres primeras funciones permanecen asociadas al ejecutivo central. Obsérvese que en el caso de Baddeley las funciones del ejecutivo central sólo se solapan parcialmente con las funciones de la red de control ejecutivo de Posner. En particular, la **focalización** es en el caso de Posner una función preferentemente asociada con la red de orientación. El concepto de atención tiene en Baddeley un sentido relativamente restringido, si lo comparamos con la teoría de Posner expuesta anteriormente.

En el contexto de la memoria de trabajo, Baddeley ha postulado la implicación del ejecutivo central siempre que la información almacenada en los sistemas subsidiarios necesite ser manipulada. La mera representación o mantenimiento de la información puede tener lugar sin su intervención a menos que la tarea requiera una compleja integración de la información. En relación con tareas de búsqueda visual, esta implicación ha sido demostrada en diferentes experimentos (Han y Kim, 2004; Lavie y Fockert, 2005). Baddeley (2006) hace suya la opinión de Lavie (2005) según la cual la participación de la memoria de trabajo es crucial para mantener las prioridades entre los estímulos relevantes e irrelevantes en la tarea. Esta participación permite el control de la atención selectiva y el rechazo de los distractores irrelevantes para la tarea. No obstante la necesidad de este control activo sólo parece necesaria en presencia de conflicto entre objetivo y distractores.

4.2. AGENDA VISO-ESPACIAL

En el desarrollo de su teoría, Baddeley centró sus primeras investigaciones en el bucle fonológico, pero en los últimos años la agenda visoespacial ha recibido más atención como sistema subsidiario de memoria encargado del mantenimiento y manipulación de la información visual y espacial. Gran parte de la investigación se ha centrado en estudiar su estructura funcional. La agenda es capaz de tratar de forma independiente tanto la información espacial y la localización de un objeto, como la información sobre su apariencia visual. Además la investigación parece indicar que los mecanismos neuronales encargados de cada uno de estos dos tipos de información, visual y espacial, son diferentes. Esta idea la apoyan tanto datos comportamentales con tareas duales y disociaciones dobles (Baddeley, 1996; Darling, Della Sala, y Logie, 2007; Hecker y Mapperson, 1997; Klauer y Zhao, 2004; Logie, 1986; Logie y Marchetti, 1991; Tresch, Sinnamon y Seamon, 1993), como datos de neuroimagen (Baker et al., 1996; Courtney et al., 1996;

Munk et al., 2002; Smith et al., 1995), datos de pacientes (Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano y Wilson, 1999; Darling et al., 2006) y datos de potenciales evocados (Mecklinger y Müller; 1996; Mecklinger y Pfeiffer, 1996; Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune y Ritter, 1997).

Un ejemplo de investigación comportamental es el estudio de Klauer y Zhao (2004), en el que una tarea de memoria de posiciones se vio más afectada por la ejecución de una tarea de discriminación de movimientos que por la ejecución de una tarea de discriminación de color. Una tarea de memoria de ideogramas chinos se vio más afectada por la ejecución de la tarea de discriminación de color que por la ejecución de la tarea de discriminación de movimientos. Esta doble disociación apoya, de acuerdo con los autores, un fraccionamiento de la memoria de trabajo viso-espacial en un componente espacial y otro visual.

En cuanto a la investigación con técnicas de neuroimagen, Smith et al. (1995) midieron mediante PET los cambios en el flujo sanguíneo en dos experimentos, en uno de ellos en los que las dos tareas de memoria eran distintas, una espacial y otra de objeto, y en otro en el que el material en las dos tareas era el mismo, pero eran las instrucciones las que determinaban el tipo de tarea. En los dos experimentos encontraron una doble disociación: las tareas de tipo espacial activaban sólo regiones del hemisferio derecho (áreas occipitales, parietales y prefrontales), mientras que las tareas de objeto activaban principalmente regiones en el hemisferio izquierdo (áreas parietales e inferotemporales). Los autores concluyeron que estos resultados proporcionan una fuerte evidencia de que la memoria de trabajo visual o de objeto, y la memoria de trabajo espacial están mediadas por sistemas diferentes.

Dentro de la investigación neuropsicológica, Darling et al. (2006) evaluaron la ejecución en dos tareas de memoria de trabajo, una espacial, y otra visual, de dos pacientes, A y B. El paciente A había sufrido un infarto en los lóbulos frontal, parietal y temporal derechos. El paciente B presentaba lesiones en los lóbulos frontales bilateralmente, y en el lóbulo parietal derecho. Se utilizaba la misma presentación estimular para ambas tareas, y lo que determinaba la tarea eran las instrucciones. Encontraron que el paciente A mostraba un déficit selectivo de retención en la tarea de memoria espacial, pero no en la tarea de memoria visual. El paciente B mostró el patrón opuesto: un déficit selectivo para la retención de la apariencia visual, pero no en la tarea

de memoria espacial. La disociación encontrada entre pacientes y tareas lleva a los autores a establecer una disociación entre los componentes de la agenda viso-espacial.

Mecklinger y Pfeiffer (1996), utilizando técnicas electroencefalográficas, analizaron dos tareas, una espacial en la que los sujetos debían recordar la posición de un conjunto de elementos sin conexión; y otra visual en la que debían recordar era un conjunto de figuras geométricas. Sus resultados mostraron un P300 con topografía, latencia y amplitud distinta para cada tarea. Para la tarea de objeto, el P300 que mostraban tenía una amplitud máxima en la zona parietal, mientras que en la tarea espacial la distribución topográfica fue similar en electrodos anteriores y posteriores. Además, el P300 en la tarea de objeto aparecía más tarde que en la tarea espacial y era mayor en amplitud. Estos P300 fueron seguidos por ondas lentas negativas que en la tarea de objeto presentaban amplitudes mayores en topografía frontal medial, mientras que en la tarea espacial aparecían en electrodos occipitales y parietales. Además, en la tarea espacial la onda aparecía antes incluso de que acabara la presentación del estímulo, mientras que en la tarea de objeto no se desarrollaba hasta pasados 2.300 ms. después del estímulo. Como en otros casos, estos resultados proporcionan evidencia de que los procesos de codificación y retención para la información sobre objetos y espacial pueden ser separados funcionalmente e implican patrones diferenciales de activación neuronal.

Aunque la disociación de los componentes parece bien establecida, no parece tan clara la relación que se establece entre ambos componentes. Autores como Logie (1995, 2003) proponen que la parte visual sería de **codificación pasiva (visual cache)** y la parte espacial sería de **repaso activo (inner scribe)**, mientras que otros consideran que cada componente tendría su propio repaso (Smith et al., 1995; Wilson et al., 1993). Un ejemplo significativo de esta última idea es la propuesta de Awh y colaboradores sobre la relación entre memoria de trabajo espacial y atención espacial, que detallamos a continuación. Esta tesis tratará de explorar la relación entre atención y memoria de trabajo en el contexto de la hipótesis formulada por estos autores.

5. ATENCIÓN ESPACIAL COMO MECANISMO DE REPASO EN LA MEMORIA DE TRABAJO ESPACIAL

En el estudio sobre la naturaleza del mecanismo de repaso en la agenda viso-espacial, ha tenido bastante apoyo la idea de que la atención espacial está implicada en el repaso en la memoria de trabajo espacial. Aunque Morris (1989) ya propuso que en la codificación y el mantenimiento en la memoria de trabajo espacial estaba implicado algún aspecto atencional, Smith y colaboradores (Smyth, 1996; Smyth y Scholey, 1994) fueron los primeros en señalar la idea de que el control espacial o cambios en la atención espacial están implicados tanto en la codificación como en el mantenimiento de la memoria de trabajo espacial.

En el trabajo de Smyth y Scholey (1994) se utilizaban una serie de interferencias entre la presentación y el recuerdo de una secuencia de localizaciones espaciales, en una tarea de amplitud espacial basada en la tarea de bloques de Corsi² utilizada por De Renzi y Nichelli (1975). Las tareas que se realizaron durante el intervalo de retención consistían en tocar objetivos visuales, repetir palabras oídas, escuchar tonos desde localizaciones separadas, señalar la dirección en la que aparecían esos tonos, señalar la dirección en la que aparecían los objetivos visuales y categorizar objetivos espaciales provenientes de la izquierda y la derecha. Los resultados mostraron que la amplitud espacial se vio afectada de manera significativa con tareas que implicaban cambios de atención espacial, en concreto señalar tonos y objetivos visuales o dar una respuesta de categorización. El efecto de la interferencia se redujo en las otras tareas, y no se produjo con la repetición de palabras en diferentes localizaciones espaciales. Estos resultados indican que la memoria viso-espacial a corto plazo requiere el mantenimiento activo de información viso-espacial y puede producirse interferencia en ella mediante tareas que requieran cambios en la atención espacial; mayores cambios de atención implican mayor interferencia.

² Esta tarea, originalmente desarrollada por Corsi (1972; citado en Kessels, Van Zandvoort, Kapelle, Postma y De Haan, 2000), es utilizada frecuentemente en investigación en memoria viso-espacial a corto plazo, tanto en clínica como en experimental. Básicamente es una tarea de amplitud, y consiste en memorizar secuencias de posiciones de nueve cubos situados en un tablero. El experimentador va señalando una secuencia de bloques, y los participantes deben repetirla en el orden correcto. Al incrementar la longitud de las secuencias, se puede medir la capacidad y amplitud de la memoria viso-espacial a corto plazo.

Dado que es posible que estos resultados puedan interpretarse en términos de interferencia debida a movimientos oculares más que a cambios en la atención espacial, Smyth (1996) les pidió a los participantes en uno de sus experimentos que fijaran la vista mientras realizaban la tarea de Corsi. Encontró que la fijación no afectaba al recuerdo, pero un estímulo auditivo espacial presentado durante el intervalo de retención disminuía la ejecución, y más si había que categorizar la dirección de la que provenía el estímulo (izquierda o derecha). En un segundo experimento investigó los efectos de estímulos auditivos espaciales para los que no se requería respuesta, y no encontró interferencia con la tarea de bloques de Corsi. En general, esta interferencia que se produce en ausencia de cualquier movimiento ocular evidente es interpretada por Smyth en términos de cambios de atención espacial o control espacial.

Esta idea de que la atención está implicada en el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo espacial fue retomada por Awh y colaboradores, y han presentado a su favor evidencia tanto comportamental como de neuroimagen y de estudios de potenciales evocados. Awh y colaboradores (Awh y Jonides 2001; Awh, Jonides, y Reuter-Lorenz 1998, Awh et al., 2006) asumen que diferentes memorias de trabajo se ocuparían de distintas clases de información, centrándose en la memoria de trabajo espacial. Parten de la idea de que la asignación de la atención espacial selectiva mejora la eficiencia en el procesamiento específico de la localización (v. g. Posner, 1980), y además este incremento empieza a un nivel temprano de procesamiento. Según esto, se respondería más rápido y con más precisión a estímulos que caen en regiones atendidas del espacio. Estos autores proponen un modelo de repaso espacial en el que la interacción de mecanismos atencionales y perceptuales median el mantenimiento "on line" en la memoria de trabajo de la información espacial. De este modo, los mecanismos frontales y parietales que guían la asignación de la atención producirían un incremento de la activación de áreas en la corteza occipital extraestriada, aumentando la activación de las representaciones específicas de localización durante el mantenimiento de la información espacial.

Aunque la evidencia presentada por estos autores tiene una secuencia temporal, por motivos expositivos hemos desglosado los resultados en función del tipo de dato, comportamental, de neuroimagen, y electrofisiológicos.

5.1. DATOS COMPORTAMENTALES

De la hipótesis del repaso de la memoria de trabajo espacial basado en atención espacial se derivan dos predicciones; por un lado, si la atención espacial selectiva se dirige hacia localizaciones almacenadas en la memoria de trabajo, se encontraría una mejora en el procesamiento visual de las localizaciones memorizadas. Por otro, si se dificulta la habilidad para atender a localizaciones memorizadas, también se vería afectada la habilidad para recordar esas localizaciones.

Awh, Smith y Jonides (1995) pusieron a prueba la primera predicción. Pedían a los participantes que ejecutaran una tarea de tiempo de reacción de elección durante el intervalo de retención de una tarea de memoria de trabajo espacial, en la que sólo el 25% de los estímulos de elección coincidía con la localización memorizada. En los resultados se encontró que se respondía más rápido a los estímulos de elección que coincidían con las localizaciones memorizadas.

En un estudio posterior (Awh, et al., 1998) utilizaron una tarea simple de memoria en la que una letra aparecía en una localización específica; 5000 ms después aparecía otra letra y había que decir si coincidía con la almacenada en memoria, en identidad o en localización. Además, durante el intervalo de retención los participantes tenían que realizar una tarea de tiempo de reacción de elección, en la que aparecía uno de dos posibles estímulos con forma similar a una letra, en la misma posición que el estímulo de memoria o en otra parte del campo visual, y debían pulsar rápidamente una tecla u otra para indicar cuál de los dos estímulos era. Se predecía que el tiempo de reacción a los estímulos de elección sería más rápido cuando estos aparecieran en la localización memorizada, pero sólo cuando se estuviera repasando la localización del estímulo de memoria inicial; en la condición de memoria de identidad nunca se estaría repasando la localización. De acuerdo con esta predicción, encontraron que sólo en la condición de memoria espacial los tiempos de reacción fueron más rápidos para los estímulos de elección cuya posición coincidía con la del estímulo de memoria. Estos datos sugieren que es el repaso espacial, y no la presentación estimular, el responsable de los efectos en el tiempo de reacción en la condición de memoria espacial.

Este estudio demostraba la asociación predicha entre el foco de la atención espacial y las localizaciones memorizadas, pero no contestaba a la

cuestión de si la atención espacial juega un papel funcional en la memoria de trabajo. Es decir, si la atención espacial puede dirigirse hacia localizaciones memorizadas sin beneficiar al mantenimiento de la información sobre posición. La respuesta a esto viene dada por la segunda predicción: dificultando la habilidad de los participantes para dirigir su atención hacia las localizaciones memorizadas, la precisión de la memoria se ve afectada.

Para poner a prueba esta segunda predicción utilizaron un paradigma de interferencia de doble tarea (Awh et al., 1998). Durante el intervalo de retención de una tarea de memoria espacial para una única posición, los participantes realizaron una tarea de discriminación de color. Se presentaban dos tipos de estímulos de color. En una condición, el estímulo de color ocupaba localizaciones específicas de la pantalla seleccionadas al azar (condición de cambio de atención), ya que la literatura indica que una discriminación precisa implica cambios de la atención a localizaciones no memorizadas (ver Tsal y Lavie, 1993³). Estas posiciones eran también aquellas en las que podía presentarse el estímulo de memoria. En otra condición el estímulo de color ocupaba todas las potenciales localizaciones que se podían memorizar (condición de atención estática), de modo que la información de color necesaria estuvo disponible en todas partes de la presentación y no eran necesarios cambios en la atención espacial para hacer discriminaciones precisas. Aunque los juicios de color eran virtualmente idénticos en este tipo de tareas, sólo la primera condición implica cambios de atención espacial. De acuerdo con el modelo propuesto, el cambio de la atención a localizaciones no memorizadas sería incompatible con el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo espacial a causa de los recursos limitados de la atención espacial selectiva, y por tanto, la tarea de discriminación de colores que requiere cambios de atención causaría mayor perjuicio en la precisión en la memoria de trabajo espacial.

Los resultados confirmaron esta hipótesis: en la condición de cambio de atención se producía una peor ejecución que en condición de atención estática. Las respuestas a los estímulos de color también fueron informativas, ya que cuando se ejecutaron las tareas de discriminación de color solas la precisión fue

³Estos autores sugieren que intentar atender a cualquier aspecto de un estímulo vincula directamente la atención a su localización, aun cuando la posición sea irrelevante para la tarea.

similar entre las condiciones de cambio de atención y atención estática. Sin embargo, cuando se añadieron las tareas de memoria, las respuestas a la discriminación del color fueron menos precisas en la condición de cambio de atención y no se vieron afectadas en la condición de atención estática. Estos resultados hacen hincapié en la incompatibilidad fundamental entre el mantenimiento preciso de la información en la memoria de trabajo espacial y una tarea secundaria que requiere cambios de atención espacial, demostrando que la atención espacial interviene en el mantenimiento activo de la información sobre la posición espacial.

Esta predicción también se vería apoyada por otras investigaciones, como los datos de interferencia en la tarea de Smith y Scholey (1994) antes comentada, y en paradigmas que combinan tareas de memoria de trabajo y búsqueda visual. Los paradigmas de búsqueda visual han sido dominantes en el estudio de la eficiencia de los observadores al prestar atención a los aspectos relevantes de una escena, y por tanto, las interacciones que se encuentran entre tareas de búsqueda visual y memoria de trabajo parecen ser una buena herramienta en el estudio de su relación (Awh et al., 2006). Cuando la búsqueda visual es difícil, la tarea de buscar implica cambios atencionales seriales dentro del conjunto de búsqueda (Woodman y Luck, 1999). El siguiente paso sería suponer que la eficacia en la memoria de trabajo espacial se vería afectada por una tarea de búsqueda visual concurrente. Y así lo evidencian los estudios de Oh y Kim (2004), y Woodman y Luck (2004), en los que realizar una tarea de búsqueda visual durante el intervalo de retención de una tarea de memoria de trabajo espacial perjudica la ejecución de esta última tarea.

5.2. DATOS DE NEUROIMAGEN

Awh, Smith y Jonides (1995) revisaron las áreas cerebrales implicadas en la atención espacial selectiva (regiones parieto-occipitales y extraestriadas, corteza parietal superior, y corteza frontal, incluida la corteza prefrontal dorsolateral y área de Brodmann 6, comparándolas con los resultados de PET obtenidos en una tarea de memoria espacial. En esta tarea los participantes debían realizar una tarea espacial de 3-hacia atrás⁴, y decidir si la posición espacial de cada letra coincidía con la de la letra presentada tres veces antes en

⁴Este tipo de tarea ("n-back" en inglés) es utilizada en la investigación porque implica manipulación o procesamiento de la información, no sólo almacenamiento. En esta tarea el participante debe indicar si el estímulo que se ha presentado en cada ensayo coincide con el que ocupaba el puesto n hacia atrás.

la secuencia. Encontraron que las áreas activadas en esta tarea mostraban una superposición con las áreas activadas en tareas de atención espacial selectiva. La revisión de evidencia neuroanatómica de la memoria de trabajo espacial, y de la atención espacial selectiva, mostró resultados similares de solapamiento (Awh y Jonides; 1998). En concreto, la revisión mostró un solapamiento de una red fronto-parietal, así como la activación de áreas occipitales extraestriadas.

En un estudio posterior, Awh y colaboradores (1999), midieron las activaciones visuales posteriores mediante fMRI durante una tarea de memoria de trabajo espacial con la idea de comprobar si las activaciones aparecían contralaterales a las localizaciones memorizadas, como ocurre con las posiciones atendidas. En la tarea los participantes debían memorizar tres posiciones indicadas por caracteres similares a letras en el campo visual izquierdo o derecho. Durante el intervalo de retención se presentaba una matriz bilateral que parpadeaba ("flicker") durante siete segundos, y luego se le presentaba un estímulo al que debían responder. Los resultados mostraron que durante el intervalo de retención había consistencias de la activación en las áreas occipitales contralaterales a las posiciones memorizadas. Estos resultados apoyan la idea de que la atención espacial funciona como mecanismo de repaso en la memoria de trabajo espacial.

Posteriormente (Postle et al., 2004) registraron las áreas que se activaban durante una tarea de memoria espacial, no sólo para investigar la topografía del repaso basado en la atención, sino también el mecanismo por el que opera. La tarea fue similar a la usada por Awh et al. (1999). Era una tarea de reconocimiento demorado, en la que había que memorizar la posición de un estímulo, y pasado un intervalo de demora de 7,5 segundos, aparecía otro estímulo sobre el que había que responder. Los participantes tenían que contestar acerca de la excentricidad de este segundo estímulo respecto al estímulo a memorizar (más cerca o más lejos). Tanto el primer estímulo, del que había que memorizar la posición, como el segundo, sobre el que había que responder aparecían en el mismo hemisferio en cada ensayo. En la mitad de los ensayos aparecían en el hemisferio izquierdo, y en la otra mitad en el hemisferio derecho. Durante el intervalo de retención, aleatoriamente, podía aparecer únicamente el punto de fijación que estaba presente durante toda la tarea, o un estímulo bilateral parpadeante que ocupaba prácticamente los dos hemisferios. Encontraron que durante la presentación del estímulo bilateral se

activaron las áreas de Brodmann 18 y 19, de modo que la actividad en cada hemisferio estaba lateralizada respecto al hemicampo memorizado. En los ensayos en los que sólo se presentaba el punto de fijación, las áreas contralaterales respecto al hemicampo memorizado se activaban más que las ipsilaterales. Al evaluar otras áreas relacionadas con la memoria de trabajo espacial, en concreto en el surco intraparietal, el lóbulo parietal superior, el campo del ojo frontal, la corteza frontal superior, y en la corteza prefrontal dorso y ventrolateral, encontraron que sólo apareció activación lateralizada en el lóbulo parietal superior, y el surco intraparietal.

5.3. DATOS ELECTROFISIOLÓGICOS

Tanto los datos comportamentales como los de neuroimagen evidencian la implicación de la atención selectiva en la memoria de trabajo espacial, pero en concreto estas medidas de flujo sanguíneo cerebral no indican si la ocurrencia de los procesos de selección de estímulos dentro de esas áreas corticales es equivalente para las dos situaciones. El estudio de potenciales evocados sí permite analizar la equivalencia del momento temporal en el que ocurren los procesos. Para ello, Awh, Anllo-Vento y Hillyard (2000) investigaron mediante potenciales evocados el tipo de procesos implicados en el repaso en la memoria de trabajo espacial.

La literatura presenta potenciales evocados (v. g. Hillyard y Anllo-Vento, 1998) relacionados con la selección estimular durante la atención espacial que ocurren en un nivel temprano de procesamiento e implica una modulación en la amplitud de la actividad sensorial evocada en el cerebro en la corteza extraestriada visual que empieza unos 80 ms. después del inicio del estímulo. En concreto, estímulos en las localizaciones atendidas elicitaban una intensificación de componentes tempranos positivos (P1, latencia de 80-130 ms) y negativos (N1, latencia de 150-200 ms). Si los mismos mecanismos de atención espacial participan en el mantenimiento de la información en la tarea de memoria de trabajo espacial, los estímulos presentados en localizaciones almacenadas en memoria elicitaban potenciales evocados con patrones espacio-temporales de intensificación de la amplitud como los observados en los experimentos de atención espacial.

Awh y colaboradores (2000) registraron los potenciales evocados durante dos condiciones que usaban una presentación estimular idéntica pero que requería que los participantes realizaran dos tareas, una de memoria de

trabajo espacial y otra de atención espacial. En la condición de memoria, los participantes debían recordar tres posiciones que podían aparecer en el campo visual derecho o izquierdo. A continuación, mientras los participantes mantenían las posiciones en memoria durante un intervalo de 8.700 ms. se presentaba una serie de estímulos irrelevantes (con fondo de tablero de ajedrez) en el campo visual memorizado, o en el otro de forma aleatoria. Tras esto a los participantes se les presentaba un objetivo de memoria, y tenían que responder si la posición era o no la misma que alguna de las presentadas al principio del ensayo. En la condición de atención, los mismos participantes realizaban una tarea de atención espacial explícita, en la que al principio de cada ensayo se le señalaba un campo visual u otro. Los participantes tenían que responder ante estímulos que aparecían en ese campo visual señalado, y no en el otro, durante un intervalo de 8700 ms. Entre estos estímulos se presentaban los estímulos irrelevantes (tableros), en el campo visual al que había que prestar atención, o al otro, aleatoriamente. Se realizaron comparaciones entre los potenciales evocados por los mismos estímulos irrelevantes (tableros) en las dos tareas. Aparecieron tres componentes principales: un P1 alrededor de los 125 ms después del inicio del estímulo que fue mayor en electrodos temporales posteriores y occipitales; un N1 posterior con una latencia de unos 190 ms y con una amplitud máxima en registros parietales; y un N1 anterior alrededor de los 150 ms después del estímulo que fue máximo sobre las áreas frontales y centrales.

Los estímulos irrelevantes que aparecían en el hemisferio contralateral a que las localizaciones que había que recordar o prestar atención producían mayores amplitudes para los tres componentes que las que aparecían en el mismo hemisferio. Los autores concluyen diciendo que el repaso espacial producía una intensificación de los componentes P1 temprano y N1 de potenciales evocados relativos a localizaciones memorizadas, y además el tiempo de aparición y la topografía de esas modulaciones de potenciales evocados visuales eran similares a las observadas después de la manipulación explícita de la atención espacial. Estos resultados, que convergen con la evidencia previa que hemos presentado (ver Awh y Jonides (2001) para una revisión del tema) dan soporte al modelo de repaso de la memoria de trabajo espacial basado en la atención, en el que una red parieto-frontal interactiva media la asignación de la atención espacial a localizaciones almacenadas en la memoria de trabajo. Esta focalización de la atención da lugar a cambios

específicos de la posición en el procesamiento visual temprano, lo que permitiría una prolongación en la activación de representaciones específicas en la memoria de trabajo.

Jha (2002) encontró resultados similares a Awh et al. (2000). Registró los potenciales evocados en dos tareas, una de memoria de trabajo espacial, y otra de atención espacial, en las que aparecían estímulos irrelevantes (cuadrados), tanto en el en el lado memorizado o atendido, como en el no memorizado o no atendido. Se analizaron los potenciales evocados por estos estímulos irrelevantes en ambas tareas. En la tarea de memoria de trabajo, los participantes memorizaban la posición de un rombo, y tras un intervalo de 4800 ms tenían que responder si la posición de un subsiguiente círculo era o no la misma que la del rombo. En la tarea de atención, un rombo al principio de cada ensayo indicaba a qué hemisferio había que prestar atención. Tras un intervalo variable de 1200 a 2000 ms aparecía una barra en el hemisferio atendido, o en el otro, y la tarea consistía en decir si esa barra era corta o larga. Encontró que los estímulos irrelevantes en la memoria de trabajo mostraban los mismos potenciales evocados que los estímulos irrelevantes en la tarea de atención. Esto es, componentes tempranos P1 y N1 que presentaban mayor amplitud en los cuadrados presentados en los mismos lugares que los rombos, frente a cuadrados presentados en otras posiciones, tanto en la tarea de memoria de trabajo como en la atencional. Además, la amplitud en electrodos contralaterales a la presentación de los cuadrados también fue mayor. Estos resultados son similares a los obtenidos por Awh et al. (2000), dando apoyo a la idea de que la atención espacial está implicada en el repaso en la memoria de trabajo espacial.

SECCIÓN EXPERIMENTAL 1

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es investigar la relación entre memoria de trabajo espacial y atención espacial. Como acabamos de ver, Awh y colaboradores han concretado esta relación con la propuesta de que el mecanismo de repaso implicado en la memoria de trabajo espacial es la atención espacial. Como hemos expuesto en la introducción, esta hipótesis ha recibido apoyo en resultados experimentales de tipo comportamental, electrofisiológico y hemodinámico. Nuestro objetivo se centra en explorar la naturaleza del apoyo electrofisiológico que esta hipótesis ha recibido.

Un primer paso en nuestro objetivo fue replicar los resultados obtenidos por Awh et al. (2000). Este experimento es el que más se ha acercado a este tema usando la técnica de potenciales corticales. En concreto, en el Experimento 1 utilizamos un procedimiento similar al de estos autores en el que analizaron los potenciales corticales asociados con estímulos irrelevantes que aparecían durante el intervalo de retención de una tarea de memoria de trabajo espacial, y durante la ejecución de una tarea de atención espacial. En las dos tareas se presentaron los mismos estímulos, y dependiendo de la tarea había que memorizar o prestar atención. Para el registro del EEG durante la ejecución de las tareas utilizamos un sistema de registro de alta densidad, con 128 canales, con un mayor número de electrodos que el utilizado por estos autores. El uso de un sistema con mayor número de electrodos da pie a buscar una mayor distribución del efecto que el proporcionado por un registro con menos electrodos; por otro lado, permite realizar análisis de localización de fuentes.

Nuestro interés en la localización de fuentes no es hacer inferencia sobre la estimación anatómica absoluta de la localización espacial de las mismas, dado que esta técnica tiene, respecto a otras técnicas de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional, la limitación conocida como "problema inverso". Independientemente de su localización absoluta, nos interesa la localización relativa de las fuentes; es decir, mediante esta técnica podemos establecer si los algoritmos de cálculo utilizados dan lugar a fuentes que son similares para las distintas condiciones o tareas.

Como hemos visto, en el estudio de Awh et al. (2000) la relación entre memoria de trabajo espacial y atención espacial se establecía a partir de la comparación del procesamiento de estímulos irrelevantes durante la ejecución de dos tareas distintas, una de memoria de trabajo y otra de atención espacial.

Esta comparación lo que muestra es que durante el intervalo de retención en la tarea de memoria de trabajo se produce un efecto atencional, similar al que ocurre en la tarea de atención espacial. De esta manera, se trataría de un proceso de atención espacial selectiva, que aparece de manera abierta en la tarea de atención, y que sería responsable de manera encubierta del repaso en la tarea de memoria de trabajo espacial.

EXPERIMENTO 1

En este primer experimento utilizamos un procedimiento similar al de Awh et al. (2000), en el que analizan los potenciales corticales asociados con estímulos irrelevantes que aparecen durante el intervalo de retención de una tarea de memoria de trabajo espacial, y durante la ejecución de una tarea de atención espacial. En las dos tareas se presentaban los mismos estímulos, y dependiendo de la tarea, había que memorizar o prestar atención. Para el registro del EEG durante la ejecución de las tareas utilizamos un sistema de registro de alta densidad, con 128 canales. De acuerdo con Awh et al. (2000) las modulaciones de los potenciales corticales tempranos (P1, N1) asociados con los estímulos irrelevantes (tableros) presentados durante el intervalo de retención de la tarea de memoria de trabajo serán similares a las modulaciones de esos mismos estímulos durante la tarea de atención. En estas modulaciones de "tipo atencional" los componentes P1 y N1 tendrán la misma aparición temporal y serán mayores ante estímulos irrelevantes que aparecen en el mismo hemisferio visual donde han aparecido los estímulos a memorizar o que señalan a qué hemisferio atender que ante estímulos que aparecen en el hemisferio en el que no han aparecido los estímulos que hay que memorizar o atender. Además, el componente P1 será mayor en electrodos cuya posición en el cuero cabelludo sea contralateral durante el registro a la posición en la que se presentaban los estímulos irrelevantes. Dado que el número de electrodos de registro utilizado en nuestro experimento es considerablemente mayor que el utilizado por Awh et al. (2000), pudimos realizar un análisis de fuentes con la herramienta GeoSource del programa Net Station. De acuerdo con la hipótesis del repaso atencional en la memoria de trabajo, las fuentes modeladas para los componentes relacionados con los estímulos irrelevantes serán similares en las mismas condiciones en las dos tareas.

En resumen, este experimento trató de llevar a cabo una réplica del experimento ideado por Awh y colaboradores, pero introduciendo una serie de mejoras metodológicas que nos permitieran una valoración más adecuada de la hipótesis. Estas mejoras derivan del uso de un sistema de registro de alta densidad con 128 electrodos que nos permitirá un análisis más completo de la topografía de la actividad electrofisiológica en todo el volumen del cráneo. Mediante este procedimiento, además de ampliar el campo de análisis del efecto, podremos hacer una valoración mejor del aspecto concreto de la hipótesis relacionado con la distribución espacial del efecto. También podremos

realizar una comparación de las fuentes de origen de los efectos en ambas tareas.

1. MÉTODO

1.1. Participantes

18 estudiantes de la Facultad de Psicología, con visión normal o corregida recibieron créditos tras su participación, y 17 de ellos fueron mujeres. La media de edad fue de 20,5 años. Uno de los participantes era zurdo. Todos dieron consentimiento informado antes de participar en el experimento.

1.2. Aparatos y estímulos

Los estímulos se presentaban en una pantalla a color de 17 pulgadas conectada a un PC. Este ordenador estaba conectado a un ordenador Macintosh que registraba el EEG durante toda la sesión (los materiales para el registro se detallan más adelante). Tanto la presentación de los estímulos como la recogida de respuesta comportamental (precisión y tiempo de reacción) se realizaban mediante el programa E-Prime, versión 1.0. (Schneider, Eschman y Zuccolotto, 2002). El punto de fijación era una "+" en fuente Courier New de tamaño 14, y aparecía siempre en el centro de la pantalla. Los dos rectángulos en los que aparecían el resto de estímulos, con el borde blanco y el fondo negro, tenían una anchura de 9° g.a.v. y 6° g.a.v. de largo y se situaban en el campo visual superior, encima del punto de fijación, cada uno centrado en un hemisferio visual. Los estímulos, que iban apareciendo en la sucesión temporal que se describe en el procedimiento, eran círculos rojos y verdes de 0,99° g.a.v. de diámetro, cuadrados grises de 0,99° g.a.v. de lado, o rectángulos de 8'34° g.a.v. de ancho y 5,99° g.a.v. de largo con un fondo de patrón de tablero de ajedrez en negro y gris. Los círculos y cuadrados podían aparecer en cualquier posición dentro de un área central de 6,29° g.a.v. de ancho y 4'2° g.a.v. de largo en los rectángulos con borde blanco. El fondo de la pantalla permanecía en negro durante la tarea.

1.3. Procedimiento

Antes de empezar la tarea, a cada participante se le explicaba que durante la misma se iba a hacer un registro del EEG y se le enseñaba la red de electrodos que se iba a utilizar. Después de colocar la red en la cabeza de los participantes, éstos se sentaban en una habitación aislada y sin ruido, a unos 65 cm de la pantalla, y se conectaba la red a los amplificadores. Cada

participante tenía que realizar dos tareas, una de atención selectiva espacial y otra de memoria de trabajo espacial. Las dos tareas se realizaban en una única sesión, y su orden estaba contrabalanceado entre participantes. Las instrucciones para cada tarea aparecían antes de las mismas. En ellas se explicaba en qué consistía la tarea, y se pedía que priorizaran la precisión sobre la velocidad. También se pedía que se intentase parpadear al final de cada ensayo, para evitar artefactos en el registro del EEG.

En la tarea de memoria de trabajo espacial (Figura.1.1), al principio de cada ensayo aparecía un punto de fijación en el centro de la pantalla durante 500 ms.

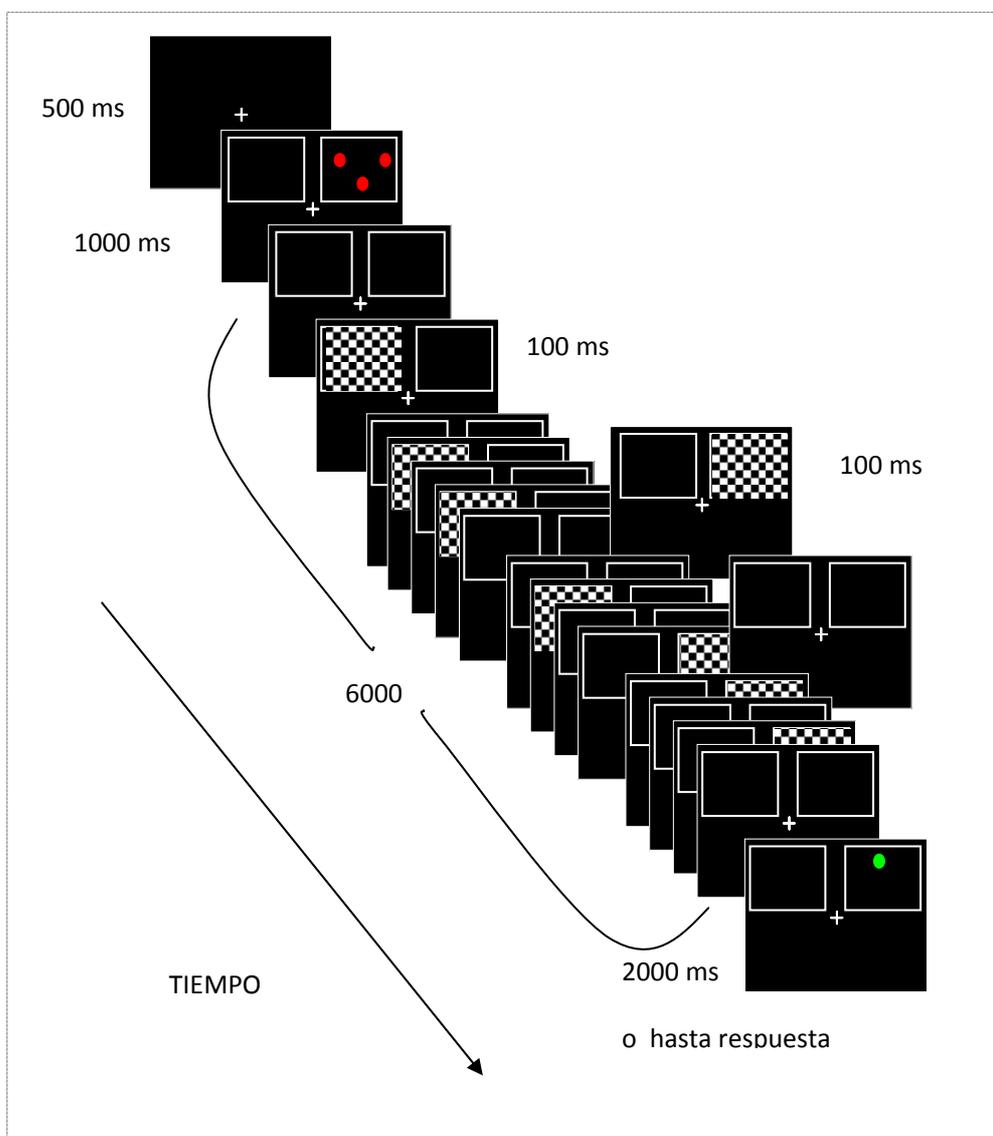


Figura 1.1. Secuencia temporal y de estímulos de un ensayo tarea de memoria de trabajo espacial.

Transcurrido este tiempo, aparecían dos rectángulos con el borde blanco a la izquierda y derecha de la pantalla y encima del punto de fijación que servían de marcos en los que aparecían los restantes estímulos de la tarea. Estos rectángulos y el punto de fijación estaban presentes en la pantalla hasta la terminación del ensayo. A la vez que los rectángulos, aparecían en posiciones determinadas aleatoriamente tres círculos rojos durante 1000 ms en uno de los dos rectángulos, la mitad de ensayos en el hemisferio derecho, y la otra mitad en el hemisferio izquierdo. Los participantes tenían que memorizar la posición de estos tres círculos. Los círculos desaparecían, y empezaba el intervalo de retención, que duraba 6000 ms. Durante cada ensayo, aparecían ocho estímulos irrelevantes para la tarea, la mitad a la izquierda y la otra mitad a la derecha, con una duración de 100 ms cada uno. Aunque fueran irrelevantes para la tarea, eran los estímulos de interés para la investigación. La aparición a la derecha o la izquierda estaba determinada aleatoriamente. Estos estímulos, que llamaremos a partir de ahora tableros, eran rectángulos cuyo fondo era semejante a un tablero de ajedrez, negro y gris, y aparecían centrados en los rectángulos blancos. Antes del primer tablero había un intervalo de 200 ms y el intervalo entre tableros podía oscilar durar entre 400 y 700 ms. Esta duración estaba determinada de manera pseudoaleatoria, con la restricción de que entre estímulos debía haber al menos 150 ms de intervalo. Transcurrido el intervalo de retención, aparecía un círculo verde en el mismo rectángulo en el que habían aparecido los círculos rojos y había que responder si el círculo verde aparecía o no en una de las posiciones memorizadas pulsando una de las dos teclas asociadas con las respuestas SÍ o NO. Este círculo verde estaba presente durante 2000 ms o hasta que el participante respondiese. En cada ensayo el intervalo entre la desaparición del último tablero y la aparición del punto verde se ajustó de forma que todos los intervalos de retención durasen 6000 ms.

Una vez que terminaba cada ensayo, la pantalla permanecía en negro durante un intervalo entre ensayos que podía durar entre 2500 y 3500 ms, determinado al azar. Este era el momento recomendado a los participantes para parpadear, como se había indicado en las instrucciones.

En la tarea de atención espacial los estímulos que aparecían en pantalla fueron iguales a los de la tarea de memoria, pero con los siguientes cambios. Los círculos rojos indicaban a qué hemisferio de la pantalla había que prestar atención, porque a lo largo del periodo de demora de 6000 ms, además de los tableros, podían aparecer aleatoriamente en alguno de los dos rectángulos de 1

a 4 cuadrados, durante 50 ms cada cuadrado, o ningún cuadrado. La tarea del participante consistía en pulsar una tecla de la caja de respuestas cada vez que uno de esos cuadrados aparecía en el mismo rectángulo en el que habían aparecido los círculos rojos. Al final del ensayo, aparecía un círculo verde en el mismo rectángulo en el que habían aparecido los círculos rojos, y que servía para indicar que el ensayo había terminado, ante el cual había que pulsar una tecla de la caja de respuestas para continuar. El intervalo de retención duraba 6000 ms, y como en el caso anterior, aparecían ocho tableros que eran irrelevantes para la tarea, la mitad a la izquierda y la otra mitad a la derecha, con el orden de aparición en un hemisferio u otro determinado aleatoriamente. Se mantuvo la misma restricción temporal entre estímulos que en la tarea de memoria de trabajo, así como el procedimiento para igualar la duración del intervalo de retención en todos los ensayos.

1.4. Diseño

El diseño de este experimento fue de medidas repetidas, con tres variables manipuladas: SEÑAL, TAREA y CAMPO VISUAL, con dos niveles cada una. SEÑAL se manipuló a dos niveles, señalado y no señalado. En la condición denominada señalado, el tablero apareció en el mismo lugar donde habían aparecido los tres puntos rojos; en la condición de no señalado el tablero apareció en el hemisferio contrario. TAREA hace referencia a las dos tareas, la de atención selectiva y la de memoria de trabajo espacial. CAMPO VISUAL hace referencia al lugar de aparición del tablero, hemisferio visual izquierdo o hemisferio visual derecho.

En la tarea de memoria de trabajo espacial, la asignación de las teclas de respuesta SÍ o NO a la mano derecha o izquierda estaba contrabalanceada entre sujetos. En la mitad de los ensayos, el círculo verde apareció en la misma posición que alguno de los círculos rojos; en la otra mitad, lo hizo en una posición distinta. En la tarea de atención espacial la asignación de teclas de respuesta se correspondió con el campo visual izquierdo o derecho de aparición de los estímulos sobre los que responder durante la tarea.

Al principio de cada tarea, se proporcionó un bloque de práctica de 12 ensayos. Después de este bloque, se hicieron tres bloques experimentales de 36 ensayos cada uno, con un descanso entre ellos. En total, se realizaron 108 ensayos de cada tarea.

1.5. Registro del EEG

El registro del EEG se realizó con una red Geodésica de 128 canales con electrodos de Ag/ClAg (Tucker, 1993), y tanto el registro como el análisis se realizaron con el programa Net Station (versión 4.2.1). En la Figura 1.2 aparece la distribución de los electrodos.

El montaje de los electrodos incluía sensores para controlar los movimientos oculares verticales y laterales, así como los parpadeos. Estos electrodos se situaban al lado y bajo los ojos.

El EEG fue amplificado con un paso de banda de 0.1-100Hz (filtro elíptico) y digitalizado a una tasa de muestreo de 250 Hz. Las impedancias para canal se midieron y mantuvieron bajo 50 k Ω antes del registro. Todos los electrodos fueron referenciados al electrodo Cz durante el registro y fueron referenciados algebraicamente después del registro (off-line) para calcular la referencia promedio.

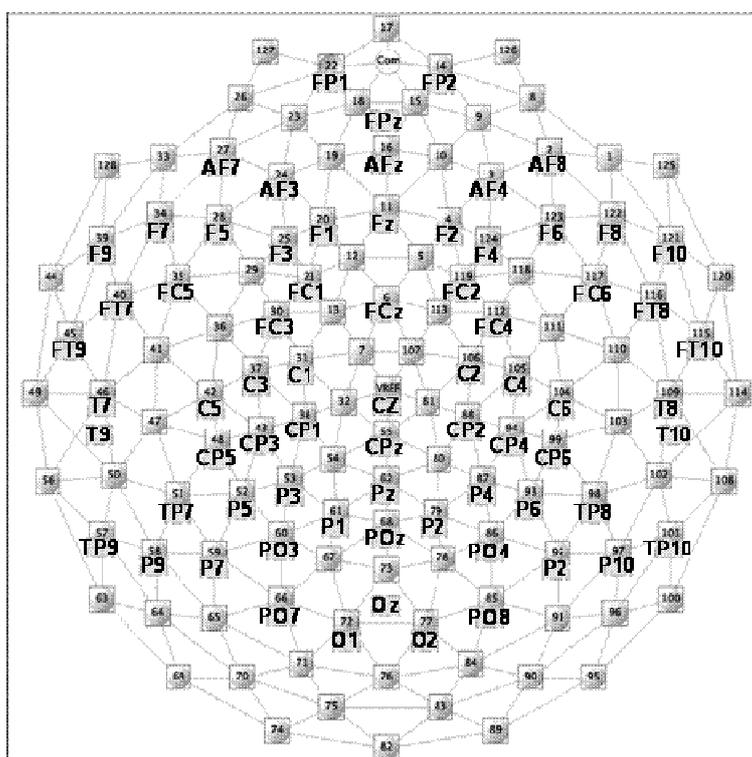


Figura 1.2. Distribución de los 128 canales en la red geodésica. El canal 17 se sitúa en el nasion, y el canal marcado como VREF se sitúa en el vertex. Las etiquetas representan la situación de los electrodos en el sistema internacional 10/10. Las posiciones FPz, T9, T10 y Oz no se corresponden con ningún electrodo de la red geodésica de 128 canales, así que su posición es aproximada.

1.6. Análisis del EEG

El EEG continuo fue filtrado después del registro usando un filtro de paso bajo de 30 Hz, y segmentado a continuación en épocas de 200 ms antes y 1000

ms después del inicio de los tableros. Los 200 ms previos a la aparición del estímulo se usaron para calcular la línea de base. Los segmentos que contenían artefactos, parpadeos o movimientos oculares fueron descartados para el análisis posterior. Los segmentos se promediaron de acuerdo con las condiciones experimentales. Después de una inspección visual se eligieron los componentes de los potenciales a analizar, así como las ventanas temporales y los electrodos en los que aparecían. Se seleccionaron dos grandes grupos de electrodos, uno posterior, en zonas parieto-occipitales de la cabeza, y otro anterior, en zonas frontales, como se ve en la Figura 1.3. En cada uno de ellos se hicieron dos grupos, uno izquierdo, y otro derecho. Esta selección de electrodos fue similar a la utilizada por Awh et al. (2001). Además, en el grupo posterior se agregó un grupo central.

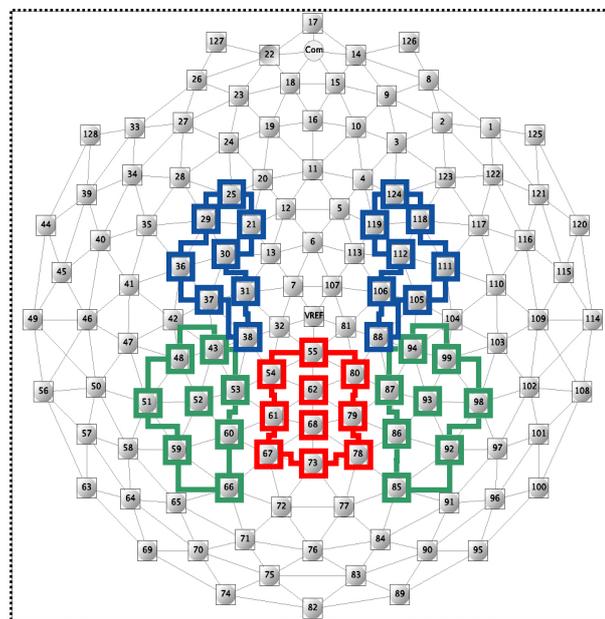


Figura 1.3. Grupos de electrodos analizados. En color verde aparece el grupo de electrodos utilizados en el análisis de los componentes P1, N1 y P2 posteriores lateralizados. En color azul aparece el grupo utilizado en el análisis del componente N1 anterior lateralizado. En color rojo aparece el grupo utilizado en el análisis de los componentes N1 central y P1 central.

En la selección de electrodos lateralizados posteriores y anteriores, y electrodos centrales antes comentados se eligieron las siguientes ventanas temporales. En el grupo posterior lateralizado, se eligieron tres ventanas, la primera de 80 a 140 ms tras la aparición de los tableros, la segunda de 150 a 220 ms tras la aparición de los tableros, y la tercera de 200 a 260 ms tras la aparición de los tableros. En la primera de estas ventanas analizamos un P1 con una latencia aproximada de 120 ms. En la segunda de las ventanas temporales, analizamos un N1 en los grupos lateralizados con una latencia aproximada de 180 ms. En la tercera de estas ventanas, analizamos un P2 en

los grupos lateralizados con una latencia aproximada de 220 ms. Denominaremos a estos componentes P1, N1 y P2 posteriores respectivamente. En el grupo de electrodos anterior, se eligió una ventana temporal de 100 a 170 ms, y el componente que se analizó fue un N1, con una latencia aproximada de 140 ms, denominado a partir de ahora N1 anterior. En el grupo de electrodos central, elegimos dos ventanas temporales, de 80 a 140 ms, y de 150 a 220 ms. En la primera analizamos un N1 con una latencia aproximada de 120 ms, similar a la del P1 posterior, y en la segunda un P1 con una latencia aproximada de 200 ms. Denominaremos a estos componentes N1 central, y P1 central, respectivamente.

En cada uno de los componentes se analizó una media adaptativa de 40 ms dentro de la ventana temporal. Esta media adaptativa se calculaba promediando el valor de amplitud de una ventana de 40 ms centrada en el valor máximo o mínimo de amplitud de la ventana temporal. La amplitud de la media adaptativa de las correspondientes ventanas temporales se analizó mediante ANOVAs intrasujeto. Como factores se utilizaron las condiciones experimentales, SEÑAL, TAREA, CAMPO VISUAL, y además la POSICIÓN. Este último factor hace referencia a la colocación de los grupos de electrodos en el cuero cabelludo durante el registro con respecto a la aparición del estímulo: ipsilaterales, es decir, que el electrodo estaba en el mismo hemisferio en el que se presentaba el estímulo, o contralaterales de modo que el electrodo estaba situado en el hemisferio contralateral a la presentación del estímulo. El factor POSICIÓN se analizó únicamente en los electrodos lateralizados.

2. RESULTADOS

2.1. Resultados comportamentales

En la tarea de memoria de trabajo, el porcentaje de aciertos fue del 77,5%, y el tiempo de reacción medio fue de 844 ms. En la tarea de atención, el porcentaje de aciertos fue del 94,5 % y el tiempo de reacción medio fue de 381,5 ms.

2.2. Resultados electrofisiológicos

2.2.1. Electrodo lateralizados posteriores

En la Figura 1.4 aparecen las gráficas de potenciales corticales para la tarea de memoria de trabajo y la tarea de atención.

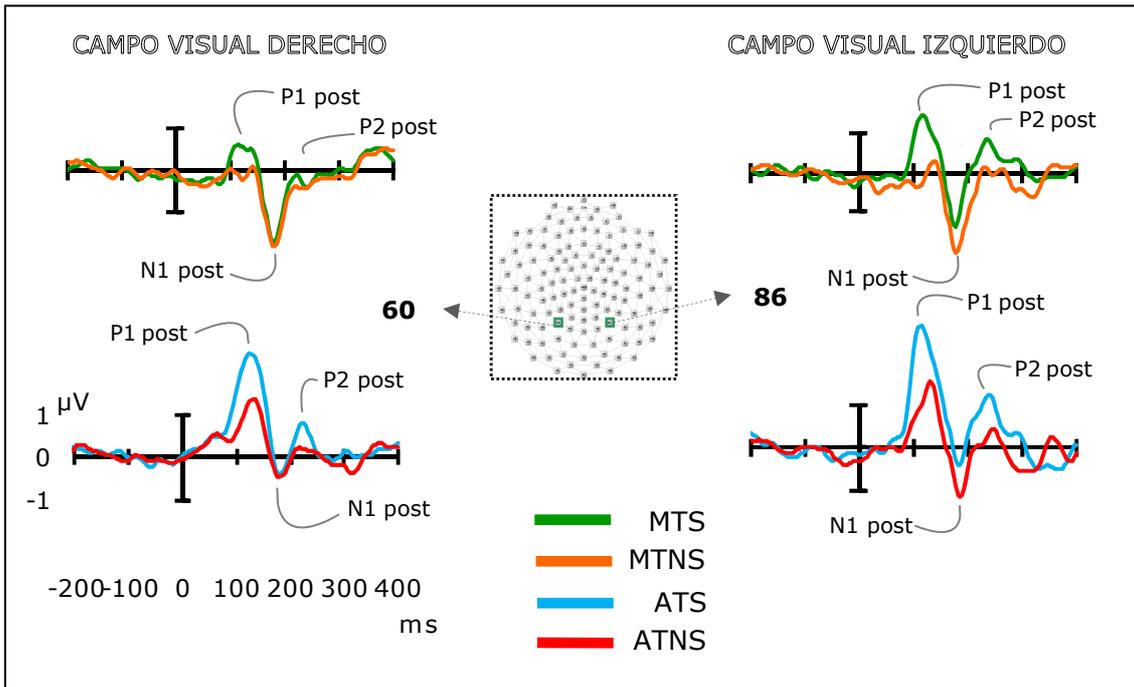


Figura 1.4. Gráficas de potenciales corticales para las dos tareas para los componentes lateralizados en topografía posterior. Las gráficas representan electrodos de registro contralaterales al campo visual de presentación de los tableros. En memoria de trabajo, la condición SEÑALADO aparece en verde, y la NO SEÑALADO aparece en naranja. En atención, SEÑALADO aparece en azul, y NO SEÑALADO en rojo.

En cada una de ellas, aparecen las ondas para tableros señalados y no señalados para P1 posterior, N1 posterior, y P2 posterior. Las gráficas que aparecen son de electrodos representativos dentro de cada grupo de electrodos, y son contralaterales al campo visual de presentación de los tableros. El análisis se realizó sobre el promedio de cada grupo.

2.2.1.1. Ventana temporal de 80-140 ms: P1 posterior

En el análisis de P1 posterior (Tabla I.1 en Apéndice I) encontramos efecto principal de SEÑAL (MCE= 1,929; $F(1,17)= 7,630$; $p= 0,013323$), TAREA (MCE= 2,070; $F(1,17)= 18,934$; $p < ,001$), y POSICIÓN (MCE= 2,387; $F(1,17)= 24,205$; $p < ,001$). La amplitud en los tableros señalados fue mayor que en los no señalados. En la tarea de atención, la amplitud del componente fue mayor que en la tarea de memoria de trabajo, y la amplitud en los electrodos contralaterales fue mayor que en los ipsilaterales.

La interacción TAREA x POSICIÓN, que aparece en la Figura 1.5, resultó significativa (MCE= 0,264; $F(1,17)= 6,170$; $p= ,024$).

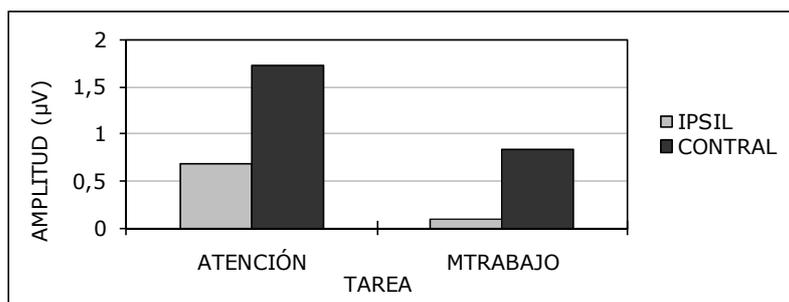


Figura 1.5. Amplitud media en TAREA x POSICIÓN en P1 posterior.

En la tarea de atención la amplitud en electrodos contralaterales fue mayor que en electrodos ipsilaterales (MCE= 1,503; $F(1,17)= 26,211$; $p < ,001$). En la tarea de memoria de trabajo la amplitud en electrodos contralaterales también fue mayor que en electrodos ipsilaterales (MCE= 1,147; $F(1,17)= 17,429$; $p < ,001$). Realizamos un ANOVA sobre la magnitud de las diferencias entre electrodos ipsi y contralaterales para cada tarea. Encontramos que la diferencia en amplitud entre electrodos ipsi y contralaterales resultó significativa (MCE= 0,160; $F(1,17)= 6,227$; $p = ,023$), de modo que la diferencia de amplitud fue mayor en la tarea de atención que en la de memoria de trabajo, como aparece en la Figura 1.7.

En resumen, encontramos que el P1 posterior de los tableros señalados fue mayor que el de los tableros no señalados. La amplitud de este componente fue mayor en tableros que aparecían en posiciones atendidas que en tableros que aparecían en posiciones memorizadas. También presentó una mayor amplitud en electrodos situados en el cuero cabelludo en posiciones contralaterales a la localización de los tableros, frente a electrodos ipsilaterales. Tanto en la tarea de atención como en la de memoria de trabajo la amplitud en electrodos contralaterales fue mayor que en electrodos ipsilaterales, y esta diferencia fue mayor en la tarea de atención.

2.2.1.2. Ventana temporal de 150-220 ms: N1 posterior

En el análisis de N1 posterior (Tabla I.2 en Apéndice I) encontramos efecto principal de TAREA (MCE= 1,087; $F(1,17)= 25,573$; $p < ,001$), y POSICIÓN (MCE= 1,926; $F(1,17)= 18,341$; $p < ,001$). La amplitud en este componente en la tarea de memoria de trabajo fue mayor que en la tarea de atención, y en electrodos contralaterales fue mayor que en ipsilaterales.

La interacción SEÑAL x CVISUAL, que aparece en la Figura 1.6, resultó significativa (MCE= 0,225; $F(1,17)= 8,266$; $p = ,011$).

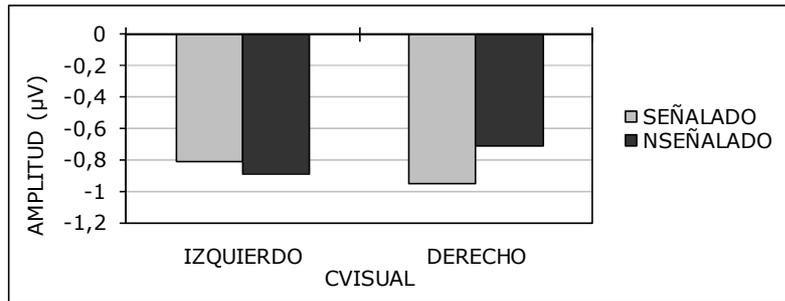


Figura 1.6. Amplitud media en CVISUAL x SEÑAL en N1 posterior.

Entre tableros señalados y no señalados que aparecieron en el hemisferio izquierdo no hubo diferencias ($p > ,1$). Cuando los tableros aparecieron en el campo visual derecho, la amplitud del componente fue menor en tableros señalados que en tableros no señalados (MCE= 0,336; $F(1,17)= 6,095$; $p = ,025$).

La interacción SEÑAL x POSICIÓN, que aparece en la Figura 1.7, resultó significativa (MCE= 0,488; $F(1,17)= 9,331$; $p = ,007$).

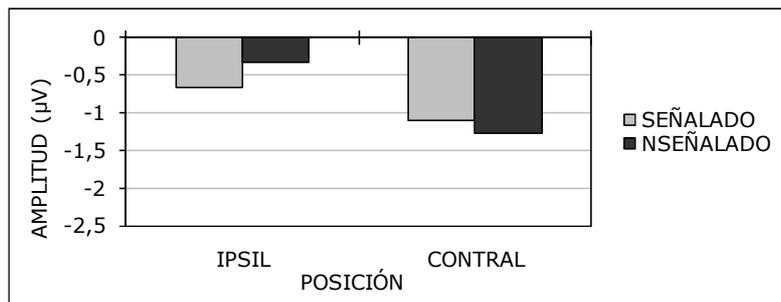


Figura 1.7. Amplitud media en SEÑAL x POSICIÓN en N1 posterior.

Encontramos que la amplitud de los tableros señalados fue mayor que la de los tableros no señalados en electrodos ipsilaterales (MCE= 0,394; $F(1,17)= 9,903$; $p = ,006$), mientras que en electrodos contralaterales la diferencia en amplitud entre tableros señalados y no señalados no fue significativa ($p > ,1$).

En resumen, los tableros presentados durante la tarea de memoria de trabajo tuvieron mayor amplitud en el N1 posterior que los tableros presentados en la tarea de atención espacial. Este componente también mostró mayor amplitud a la presentación de los tableros en electrodos contralaterales que en ipsilaterales, aunque la diferencia entre tableros señalados y no señalados sólo apareció en electrodos ipsilaterales. Además, en tableros señalados presentados a la derecha, la amplitud fue mayor que en tableros no señalados presentados a la derecha, diferencia que no apareció en tableros presentados a la izquierda.

2.2.1.3. Ventana temporal de 200-260 ms: P2 posterior

En el análisis de P2 posterior (Tabla I.3 en Apéndice I) encontramos efecto principal de TAREA (MCE= 1,387; $F(1,17)= 16,791$; $p < ,001$). En la tarea de atención, la amplitud del componente fue mayor que en la tarea de memoria de trabajo.

La interacción SEÑAL x POSICIÓN, que aparece en la Figura 1.8, resultó significativa (MCE= 0,258; $F(1,17)= 9,544$; $p = ,007$). En electrodos contralaterales la amplitud en tableros señalados fue mayor que en tableros no señalados (MCE= 0,546; $F(1,17)= 5,379$; $p = (MCE= 0,336$; $F(1,17)= 6,095$; $p = ,024$).). En electrodos ipsilaterales no hubo diferencias ($p > ,1$).

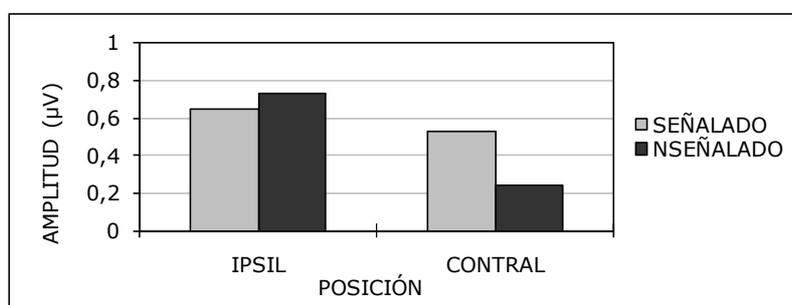


Figura 1.8. Interacción SEÑAL x POSICIÓN en P2 posterior.

En resumen, los tableros presentados durante la tarea de atención espacial mostraron una mayor amplitud en P2 que los tableros presentados en la tarea de memoria de trabajo espacial. Además, los tableros señalados cuyo registro se realizó en electrodos contralaterales al campo visual de presentación mostraron un mayor P2 que los tableros no señalados en esos mismos electrodos.

2.2.2. Electrodo lateralizados anteriores

En la Figura 1.9 aparecen las gráficas de potenciales para la tarea de memoria de trabajo y la tarea de atención. En cada una de ellas, aparecen las ondas para tableros señalados y no señalados para N1 anterior. Las gráficas que aparecen son de electrodos representativos dentro del grupo de electrodos, y son contralaterales al campo visual de presentación de los tableros. El análisis se realizó sobre el promedio del grupo.

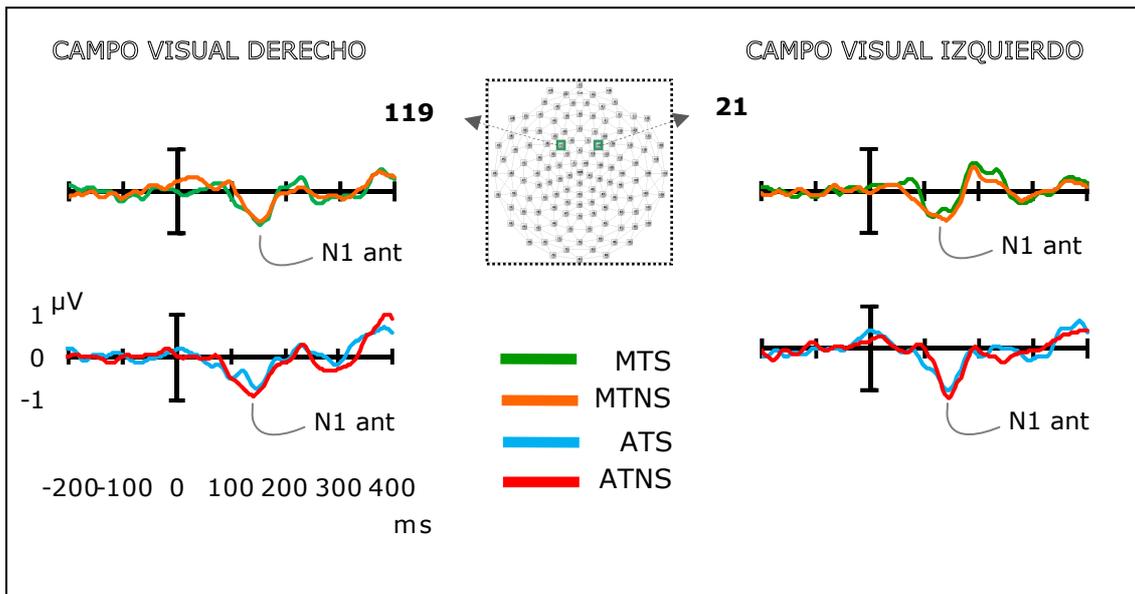


Figura 1.9. Gráficas de potenciales corticales para las tareas de memoria de trabajo y atención para N1 lateralizado en topografía anterior. Las gráficas que se presentan corresponden a electrodos de registro contralaterales al campo visual de presentación de los tableros. En la memoria de trabajo, SEÑALADO aparece en verde, y NO SEÑALADO aparece en naranja. En la tarea de atención, SEÑALADO aparece en azul, y NO SEÑALADO en rojo.

2.2.1.1. Ventana temporal 100-170 ms: N1 anterior

En el análisis de N1 anterior (Tabla I.4 en Apéndice I) encontramos efecto principal de TAREA (MCE= 0,063; $F(1,17)= 4,742$; $p=,043808$) y POSICIÓN (MCE= 0,560; $F(1,17)= 9,750$; $p= ,006$). La amplitud del componente fue mayor en la tarea de atención que en la de memoria de trabajo. En electrodos ipsilaterales la amplitud fue mayor que en electrodos contralaterales.

La interacción TAREA x POSICIÓN, que aparece en la Figura 1.10, resultó significativa (MCE= 0,083; $F(1,17)= 7,161$; $p=,015952$).

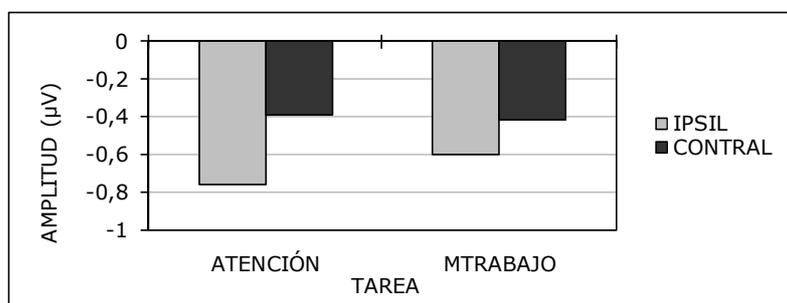


Figura 1.10. Amplitud media en TAREA x POSICIÓN en N1 anterior.

En la tarea de atención la amplitud fue mayor en electrodos ipsilaterales (MCE= 0,302; $F(1,17)= 15,974$; $p< ,001$) que en electrodos contralaterales, mientras que en la tarea de memoria de trabajo la diferencia, aunque en la

misma dirección, fue marginalmente significativa (MCE= 0,341; $F(1,17)= 3,599$; $p= ,075$).

Resumiendo, la amplitud del N1 anterior en tableros presentados en posiciones atendidas fue mayor que en tableros presentados en posiciones memorizadas. En electrodos ipsilaterales a la presentación de los tableros la amplitud también fue mayor, frente a la amplitud en electrodos contralaterales. Esta diferencia entre electrodos ipsi y contralaterales fue mayor en la tarea de atención que en la de memoria de trabajo.

2.2.3. Electrodo centrales

En las Figura 1.11 aparecen las gráficas de potenciales para la tarea de memoria de trabajo y la tarea de atención para N1 central, y P1 central para tableros señalados y no señalados en los campos visuales izquierdo y derecho en un electrodo representativo del grupo de electrodos central. Los análisis se realizaron sobre el promedio del grupo (Tablas I.5 y I.6, respectivamente).

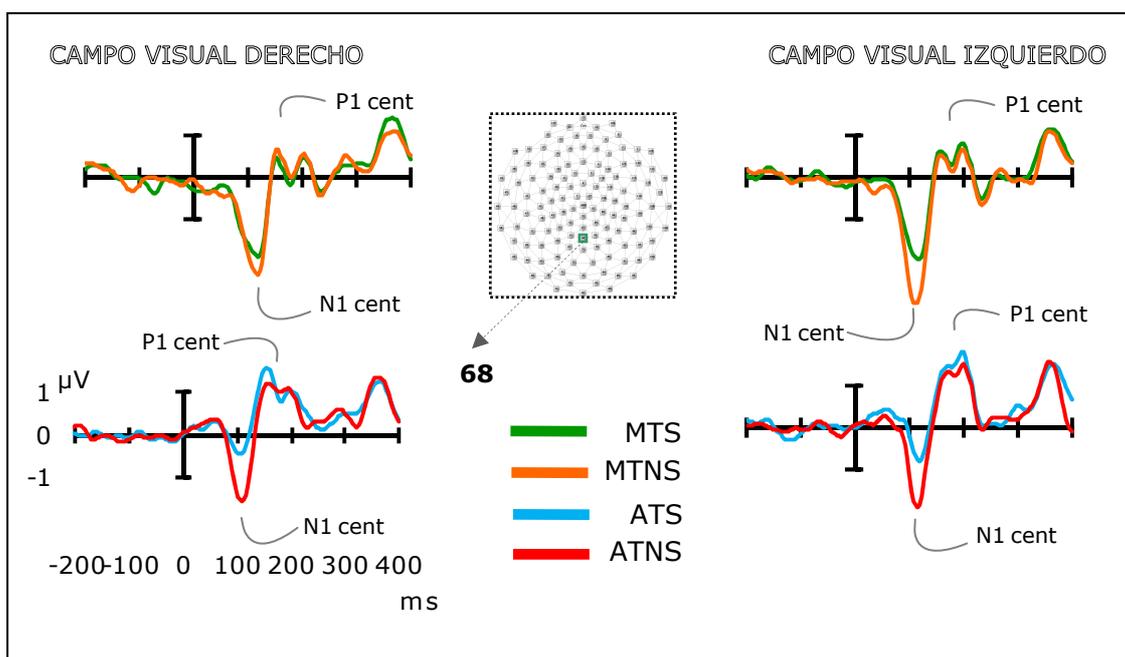


Figura 1.11. Gráficas de potenciales corticales para las dos tareas los componentes con topografía central. Las gráficas que se presentan corresponden a un electrodo representativo del grupo utilizado para el análisis. En memoria de trabajo, la condición SEÑALADO aparece en verde, y la NO SEÑALADO aparece en naranja. En atención, SEÑALADO aparece en azul, y NO SEÑALADO en rojo.

2.2.3.1. Ventana temporal de 80-140 ms: N1 central

El efecto de TAREA resultó significativo (MCE= 1,246; $F(1,17)= 21,962$; $p < ,001$). El componente en la tarea de memoria de trabajo fue mayor que en la tarea de atención.

2.2.3.2. Ventana temporal de 150-220 ms: P1 central

Encontramos únicamente efecto principal de TAREA (MCE= 1,297; $F(1,17)= 14,418$; $p= ,001$). La amplitud en la tarea de atención fue mayor que en la tarea de memoria de trabajo

2.3. Mapas topográficos y estimación de dipolos

La localización de la fuente se realizó mediante la herramienta GeoSource implementada en la versión 4.3.1 del programa Net Station (EGI). El modelo de cabeza fue un modelo isotrópico Sun-Stok de cuatro capas (Sun, 1997). La localización de los dipolos se derivó del MRI Atlas del Montreal Neurological Institute. Basado en este mapa probabilístico, el volumen de la materia gris fue parcelado en voxels de 7 mm; cada voxel tenía tres orientaciones ortogonales, y servía como localización del dipolo. En total, resultaron un total de 2447 localizaciones/fuentes. Una vez construida la cabeza, se registró un promedio de las posiciones de los 128 electrodos en la superficie del cuero cabelludo. La solución inversa utilizaba fue el método MNLS (minimum-norm least squares), con una corrección de los pesos por localización, y una regularización TSDV (truncated singular value decomposition). Se utilizó la constricción LAURA (local autorregresive average; Michel et al., 2004). Dado que la herramienta GeoSource da una estimación de los 2447 dipolos ordenados por intensidad muestra a muestra, elegimos los 12 dipolos más intensos en las ventanas temporales que se detallan a continuación.

Elegimos la ventana de 80-140 ms del componente P1 posterior porque en este componente fue el único en el que encontramos un efecto principal de SEÑAL. Elegimos la ventana de 150-220 ms del componente N1 posterior porque en contra de los resultados de Awh et al. (2000) no encontramos efecto de SEÑAL.

2.3.1. Ventana temporal 80-140 ms: P1 posterior

En las Figuras 1.12, y 1.13 aparecen los mapas topográficos y la estimación de dipolos para cada una de las tareas, respectivamente, en el componente P1 posterior. Tanto para los mapas topográficos como para la descripción de dipolos elegimos una ventana de 40 ms centrada en el momento de máxima amplitud, en concreto a los 120 ms tras la presentación de los tableros.

Como vemos en la Figura 1.12, la topografía del voltaje para la tarea de atención y la tarea de memoria de trabajo son similares, una amplia negatividad central muy distribuida. Sin embargo, esa negatividad está más centrada en la tarea de memoria de trabajo. En la tarea de atención tiene una distribución más anterior, y además aparece una positividad posterior lateralizada en los dos hemisferios, que no es tan evidente en la tarea de memoria de trabajo.

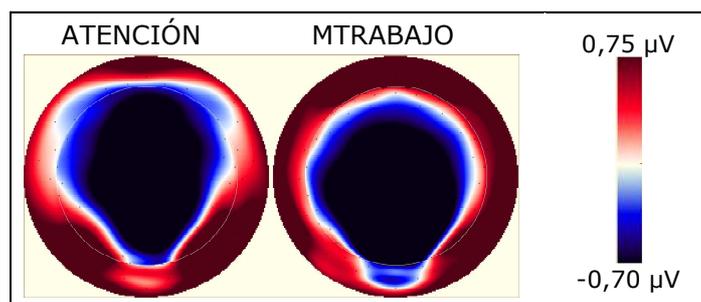


Figura 1.12. Mapa topográfico del promedio de amplitud (μV) de una ventana de 100 a 140 ms en cada una de las tareas, atención y memoria de trabajo.

Como se ve en la Figura 1.13, los dipolos estimados para la tarea de atención y la tarea de memoria de trabajo son similares, aunque los de la tarea de atención presentan mayor intensidad.

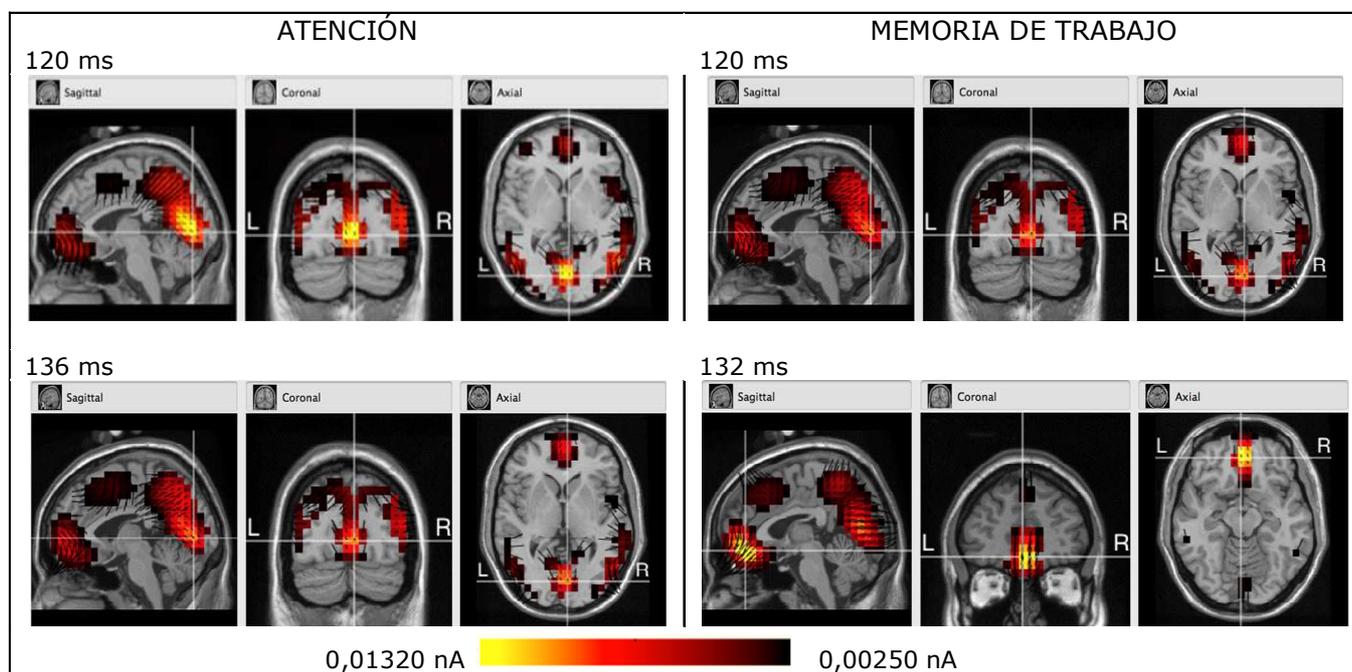


Figura 1.13. Distribución de dipolos en función de su intensidad (nA) para cada una de las tareas en la ventana de análisis. La tarea de atención aparece a la izquierda y la de memoria de trabajo a la derecha. El punto donde se unen las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor activación. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

En las Figuras 1.14 y 1.15 aparecen los mapas topográficos de la diferencia entre los tableros señalados y no señalados para cada tarea y la estimación de dipolos de dicha diferencia en la ventana temporal de 100 a 140 ms, respectivamente.

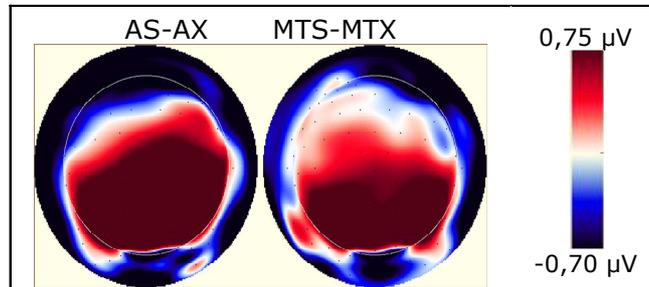


Figura 1.14. Mapa topográfico de la diferencia de amplitud promedio (μV) en la ventana de 100 a 140 ms entre tableros señalados y no señalados para cada una de las tareas. Leyenda: AS-AX: diferencia entre atención señalada y atención no señalada; MTS-MTX: diferencia entre memoria de trabajo señalada y memoria de trabajo no señalada.

En el mapa topográfico de la Figura 1.14, la diferencia entre tableros señalados y no señalados produce una positividad centro parietal más distribuida en la tarea de atención que en la tarea de memoria de trabajo, en la que esa positividad está localizada por debajo del vertex.

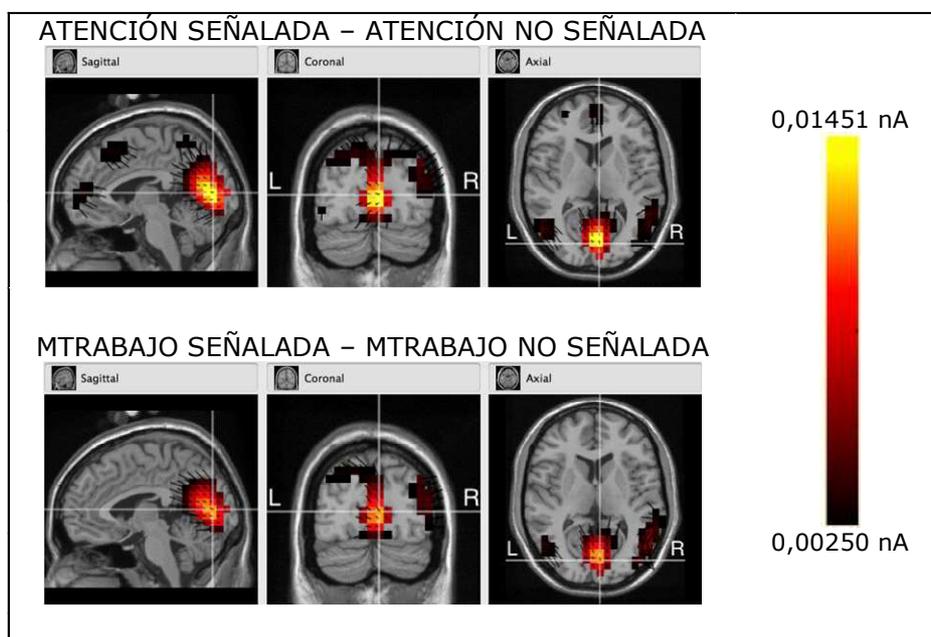


Figura 1.15. Distribución de dipolos en función de su intensidad (nA) de la diferencia entre tableros señalados y no señalados a los 120 ms. La tarea de atención aparece en la parte superior y la tarea de memoria de trabajo en la parte inferior. El punto donde se unen las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor activación. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

Como vemos en la Figura 1.15, tanto en la tarea de atención como en la tarea de memoria de trabajo, los dipolos más activos fueron aquellos que se encuentran en áreas occipitales, en concreto en el cuneus (AB 17 y 23) y el giro

lingual (AB 18). Los dipolos en la tarea de atención tienen más intensidad que en la tarea de memoria de trabajo. La imagen sólo muestra la estimación de dipolos para el momento temporal de 120 ms, pero los mismos dipolos se activan para esta diferencia entre tableros señalados y no señalados desde los 100 a los 140 ms. La activación va aumentando hasta los 120 ms, y luego empieza a disminuir.

2.3.2. Ventana temporal 150-220 ms: N1 posterior

En las Figuras 1.16 y 1.17 aparecen el mapa topográfico promedio y la estimación de dipolos para cada tarea en la ventana de 160-200 ms.

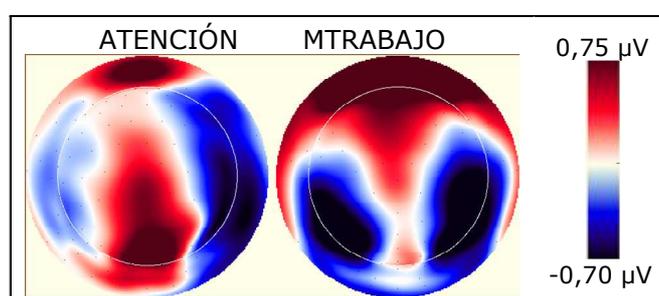


Figura 1.16. Mapa topográfico de amplitud promedio (μV) en la ventana de 160 a 200 ms para cada una de las tareas, atención y memoria de trabajo.

En la Figura 1.16, los mapas topográficos para la tarea de atención y la tarea de memoria de trabajo son diferentes. En la tarea de memoria de trabajo aparece una mayor amplitud tanto positiva como negativa. La positividad se distribuye de manera anterior y central, y la negatividad, lateralizada desde zonas occipitales hasta zonas temporales. En la tarea de atención, hay una positividad muy anterior y medial, y otra occipital, también medial. Aparece una negatividad parieto-temporal lateralizada a la derecha.

La distribución de los dipolos durante la ventana temporal analizada para la tarea de atención y la tarea de memoria de trabajo fueron diferentes. En la Figura 1.17 aparecen la distribución de dipolos a los 180 ms, momento representativo de toda la ventana analizada.

En la tarea de atención, aunque durante las dos primeras muestras los dipolos más intensos aparecieron en las mismas localizaciones frontales (AB 11 y 10) que en la tarea de memoria de trabajo, a continuación los dipolos más intensos aparecieron en el lóbulo parietal y lóbulo occipital: precuneus (AB 31) y cuneus (AB 18), y algunos frontales (AB 11).

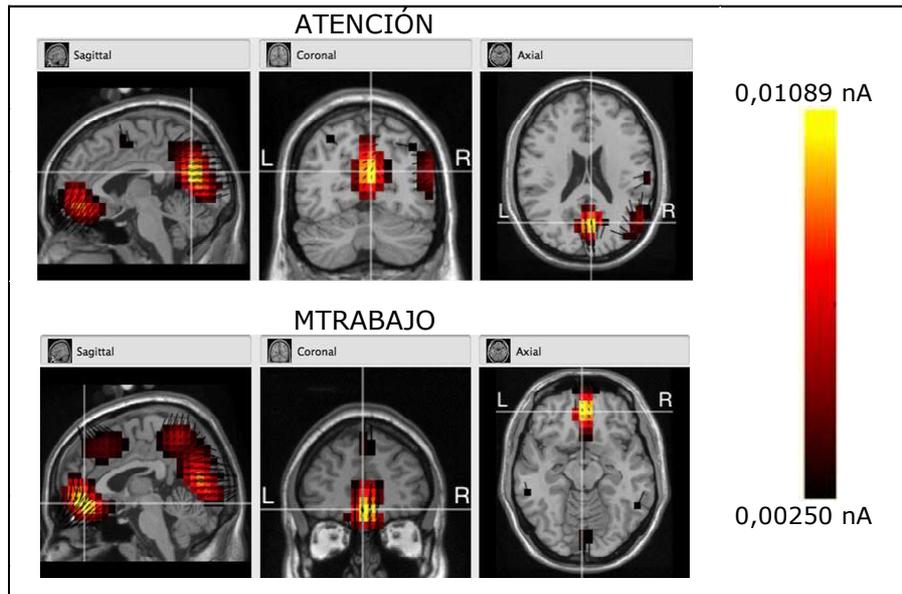


Figura 1.17. Distribución de dipolos en función de su intensidad (nA) para cada una de las tareas en la ventana temporal analizada. La tarea de atención aparece en la parte superior y la tarea de memoria de trabajo en la parte inferior. El punto donde se unen las dos líneas blancas es el dipolo de mayor activación. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

En la tarea de memoria de trabajo se mantuvieron los dipolos más intensos en el lóbulo frontal durante toda la ventana analizada: giro frontal medial y giro orbital (AB 10 y 11), así como algunos dipolos occipitales (AB 18 y 23).

3. DISCUSIÓN

Al igual que en el experimento de Awh et al. (2000) y Jha (2002), encontramos que en estímulos irrelevantes (tableros) presentados en posiciones memorizadas durante el intervalo de retención, apareció una modulación del componente temprano P1 que fue similar a la modulación atencional producida en los mismos estímulos presentados durante la ejecución de una tarea de atención espacial. Esta tarea de atención y la tarea de memoria de trabajo fueron prácticamente idénticas a nivel estimular. En concreto, esta modulación consistió en una mayor amplitud de este componente para tableros "señalados" que se presentaron en el mismo hemisferio en el que aparecieron los estímulos a memorizar o en el mismo hemisferio al que había que prestar atención, frente a tableros que se presentaron en el hemisferio en el que no se memorizaba o en el que no se atendía. Además, también apareció una mayor amplitud del componente en electrodos cuyas posiciones estaban situadas contralateralmente a la posición de presentación de los tableros, tanto si había que memorizar o atender, aunque esta diferencia en la amplitud entre electrodos ipsi y contralaterales fue mayor en la tarea de atención. Este

resultado puede deberse a al hecho de que la tarea de atención requiere una acción abierta de respuesta mientras que la de memoria sólo requiere una actividad encubierta de repaso.

Estos resultados son consistentes con la literatura previa sobre atención espacial (Clark y Hillyard, 1996; Heinze et al., 1990; Hillyard y Anllo-Vento, 1998; Mangun, 1995), en la que aparece una intensificación del componente P1 (latencia de 80-130 ms), e implica una modulación en la amplitud de la actividad sensorial evocada en la corteza extraestriada visual que empieza unos 80 ms. después del inicio del estímulo. En nuestros resultados, la estimación de dipolos sobre este componente modela la activación en áreas occipitales extraestriadas (AB 18 y 19) tanto en la tarea de memoria de trabajo como en la tarea de atención, lo que está en consonancia con los resultados de neuroimagen presentes en la literatura (Awh y Jonides 1998; Awh et al., 1999; Postle et al., 2004), y estudios en los que se ha modelado el generador del P1 en la corteza extraestriada lateral (Gomez et al., 1994; Mangun et al., 1993).

Nuestros resultados apoyan la hipótesis de que la atención espacial está implicada en el repaso en la memoria de trabajo espacial, propuesta por Awh y colaboradores. Según esta hipótesis, si en el mantenimiento de la información en una tarea de memoria de trabajo espacial participan mecanismos de atención espacial, los estímulos presentados en localizaciones almacenadas en memoria elicitarán potenciales corticales con patrones espacio-temporales de intensificación de la amplitud como los observados en los experimentos de atención.

A diferencia del trabajo de Awh et al. (2000), no se produjo un efecto de la señal en los componentes negativos. En cuanto al N1 posterior, encontramos mayor amplitud en electrodos contralaterales, pero no encontramos efecto principal de la señal. Lo que sí encontramos es un mayor efecto de la señal en electrodos ipsilaterales, no en electrodos contralaterales. De acuerdo con algunos autores (v.gr. Heinze y Mangun, 1995), cuando el efecto atencional en N1 posterior contralateral aparece cancelado por una prolongada positividad previa, como nuestro caso, en electrodos ipsilaterales sí se encuentra una mayor amplitud de este componente para tableros señalados. Así, este N1 posterior podría reflejar la ventaja del efecto atencional de P1, que se mantiene en el tiempo, hasta P2 posterior, pero no un efecto atencional en sí mismo.

En la literatura previa no siempre se encuentran diferencias respecto a la señal en el N1 posterior (Heinze et al., 1990). Estos autores proponen que el P1

y el N1 reflejarían distintos procesos. Mientras el P1 implicaría una facilitación del input sensorial que cae en posiciones atendidas, el N1 implicaría un cambio de orientación de la atención. En nuestro caso, la tarea de atención y la tarea de memoria de trabajo implican una atención sostenida durante la ejecución de las mismas. Esto es, los participantes son instruidos para prestar atención a los cuadrados que aparecen en un hemisferio, o memorizar los estímulos que aparecen en un hemisferio, durante cada ensayo, y a no prestar atención a los tableros, que son estímulos irrelevantes para ambas tareas. Aunque no deben prestar atención a los tableros, su mera aparición, de forma aleatoria en un hemisferio u otro, puede producir un cambio de orientación debido a la captura de la atención debida a la súbita aparición de los estímulos. Esta instrucción de atención sostenida atenúa el efecto de captura atencional que produce la aparición de los tableros. En nuestro caso, el análisis de los tableros se restringe al de la atención sostenida: se comparan los tableros señalados y no señalados presentados en el mismo hemisferio visual pero en distintos ensayos. De esta manera, no podemos excluir la idea de la reorientación de la atención ante la presentación de los tableros. Sin embargo, como comentaremos más adelante, es posible que el N1 posterior en nuestro experimento esté reflejando procesos de memoria.

Encontramos otros resultados diferentes a los de la literatura previa. Respecto a los estudios de Awh et al. (2000) y Jha (2002), encontramos un efecto de la tarea en todos y cada uno de los componentes. En los componentes positivos, la amplitud fue mayor en la tarea de atención; en los componentes negativos, fue mayor en la tarea de memoria de trabajo. Esto fue así excepto en el componente N1 anterior, en el que la amplitud en la tarea de atención fue mayor.

Encontramos un P2 en electrodos posteriores lateralizados, en el que volvimos a encontrar una mayor amplitud en la tarea de atención, y una mayor amplitud en tableros señalados, frente a tableros no señalados, en electrodos contralaterales. Esta diferencia no se mostró en electrodos ipsilaterales. Aunque no se encuentra descrito en la literatura previa como en el caso del P1 este componente reflejaría el efecto atencional de la señal.

Cabe mencionar que encontramos un N1 y un P1 en electrodos centrales con una latencia similar a la del P1 posterior y N1 posterior, respectivamente. Una revisión de la literatura previa no indica ningún resultado similar. Es

posible que no tengamos conocimiento de un resultado similar previo porque habitualmente el P1 posterior y N1 posterior para presentaciones lateralizadas se suelen registrar en electrodos lateralizados respecto a la presentación del estímulo, y además, hasta hace relativamente poco tiempo no se han realizado estudios con registros de alta densidad, en los que se cubre todo el cuero cabelludo.

En general los resultados de este experimento muestran un efecto claro tanto de la manipulación de la señal como de la tarea. El efecto de la señal aparece de forma clara en los componentes positivos, preferentemente el componente P1 posterior donde los tableros señalados muestran una mayor amplitud que los no señalados tanto en la tarea de memoria como en la de atención aunque el efecto es mayor en la de atención que en la de memoria. El efecto de la tarea, a su vez, depende del tipo de componente que se tome en consideración. Si consideramos los electrodos posteriores, en los que se concentran los principales efectos encontrados en este experimento, la tarea de atención muestra mayores amplitudes en los componentes positivos que la tarea de memoria, mientras que la amplitud de los negativos es mayor en la tarea de memoria que en la de atención. Este contraste aparece particularmente marcado cuando se compara el efecto de la tarea en los componentes posteriores lateralizados y centrales. El componente P1 lateralizado es sincrónico con el componente central N1, sin embargo la amplitud de P1 es mayor para la tarea de atención que para la de memoria mientras que la amplitud de N1 es mayor para la tarea de memoria que para la de atención.

Con respecto al objetivo principal de esta investigación, que se pregunta por el grado de solapamiento entre los procesos de mantenimiento de la información espacial en memoria de trabajo y los procesos de atención espacial, los resultados no proporcionan una respuesta inequívoca. Si se adopta una estrategia de análisis de los datos por componentes, al estilo clásico en la investigación basada en potenciales corticales, nuestros resultados tienden a diferenciar más que a identificar los respectivos mecanismos de atención y de memoria. Como acabamos de ver, la amplitud de los componentes positivos y negativos tiende a ser diferente dependiendo de la tarea. En la investigación que nos sirvió de referencia, Awh y colaboradores concluyeron a favor de la identificación entre los procesos de mantenimiento de la información espacial en memoria de trabajo y los de atención espacial sobre la base de unos efectos

iguales en P1 y N1 en ambas tareas. Al encontrar en las dos tareas efectos semejantes en los componentes analizados, Awh y colaboradores asumieron igualdad de mecanismos. Sin embargo en nuestro experimento, en el que se ha registrado la actividad eléctrica del cerebro de una forma mucho más amplia, los resultados muestran una mayor complejidad y un efecto diferencial del tipo de tarea que no aparecía en los resultados de Awh y colaboradores. En nuestro caso, las tareas no sólo afectan a la magnitud de las amplitudes producidas por la señal en P1, sino que muestran efectos diferentes en los componentes positivos y negativos.

La conclusión anterior se ve reforzada por la consideración de los resultados basados en el análisis de dipolos. En la ventana temporal comprendida entre los 80 y 140 ms, los dipolos preferentemente activados se localizaron en zonas posteriores occipitales tanto en la tarea de atención como en la tarea de memoria aunque el nivel de activación era mayor en la primera tarea que en la segunda. Lo mismo ocurrió cuando analizamos las fuentes asociadas a la diferencia entre tableros señalados y no señalados en cada una de las tareas. Si estas activaciones reflejaran los procesos atencionales y de memoria implicados en la tarea podríamos concluir que se trata de los mismos procesos aunque más activos en la tarea de atención que en la de memoria. Sin embargo la localización clara en la parte posterior de la cabeza y del cerebro de los efectos encontrados, hace pensar que estas activaciones reflejan los efectos producidos en zonas visuales por procesos atencionales y de memoria y no los mecanismos de atención y memoria responsables de estos efectos. En este caso la conclusión más probable es que el efecto atencional de potenciación de las áreas visuales es mayor en la tarea de atención que en la de memoria.

Cuando consideramos la ventana temporal entre los 150 y 220 ms los dipolos preferentemente activados son diferentes en la tarea de atención que en la de memoria. Mientras que en el caso de la atención la localización de los dipolos más activados se localizan en zonas occipitales mediales, en la tarea de memoria los dipolos más activados se localizan en frontales mediales. En conclusión, no parece que, sobre la base de los resultados de nuestro experimento, resulte razonable asumir que el proceso de repaso de la información durante el intervalo de retención en una tarea de memoria de trabajo espacial sea simplemente un proceso de atención espacial selectiva.

Es conveniente aclarar que tanto si se toma en consideración tanto el análisis clásico de componentes como la estimación de dipolos, los resultados, por sí mismos, no pueden aclararnos si las diferencias que hemos observado reflejan diferentes procesos o diferencias en los efectos producidos por procesos que pueden ser idénticos o no serlo. Sobre los procesos mismos y su mayor o menor grado de solapamiento resulta difícil decidir mediante un paradigma como el utilizado por Awh y colaboradores y explorado en este experimento que solamente permite constatar si los efectos producidos en ambas tareas son iguales o diferentes. Para poder hacer inferencias acerca de los procesos necesitamos diseños experimentales más potentes, tema que abordaremos en los próximos experimentos en los que propondremos un paradigma alternativo.

SECCIÓN EXPERIMENTAL 2

MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

Los resultados del experimento anterior respaldaron de manera parcial la idea de que la atención espacial es el mecanismo implicado en el repaso de la información en la memoria de trabajo espacial. En el procedimiento empleado por Awh et al. (2000) se analizaron los potenciales evocados por estímulos irrelevantes en dos tareas distintas, una de memoria de trabajo espacial y otra de atención espacial. El hecho de que los potenciales evocados por estos estímulos en estas dos tareas fueran semejantes fue interpretado por los autores como evidencia a favor de la identidad de procesos. En la tarea de memoria de trabajo espacial, la atención espacial sería el mecanismo mediante el cual se lleva a cabo el repaso o mantenimiento de la información. Sin embargo, esta interpretación sobre la identidad de mecanismos se deriva del hecho de que los efectos obtenidos ante los estímulos irrelevantes en las dos tareas son similares. Estos resultados son compatibles con la idea de que el efecto que encontramos en las dos tareas son los mismos, pero no podemos incidir en la naturaleza de los procesos implicados en ambos efectos. Otra de las limitaciones de este procedimiento es que el proceso de repaso en sí mismo se mantiene constante, no se manipula.

En la segunda fase de nuestra investigación nuestro objetivo fue incidir directamente en el proceso de repaso, manipulando la cantidad de posiciones espaciales que el participante tenía que atender y recordar. Para ello utilizamos una versión modificada de la tarea de reconocimiento de Sternberg (1966). En la tarea original, Sternberg presentaba al participante una serie de dígitos que tenía que memorizar, y transcurridos 2000 ms, se le presentaba un ítem de prueba. La tarea consistía en responder si el ítem de prueba era o no era uno de los ítems memorizados. A lo largo de la tarea el número de dígitos podía variar dentro de los límites de capacidad de la memoria a corto plazo. En nuestro caso, la información a retener fueron posiciones espaciales y el intervalo de retención se amplió a 4000 ms. Además se modificó la fase de recuperación de la tarea de Sternberg de forma que, en lugar de presentar un único ítem a reconocer, se varió la cantidad de ítems presentados, transformando así la fase de recuperación en una tarea de búsqueda visual. De esta forma, la tarea a realizar por el participante puede entenderse como la conjunción de una tarea de búsqueda en memoria y otra de búsqueda visual con la particularidad de que ambas eran realizadas por el participante en cada ensayo en el mismo contexto de estimulación. Las mejoras que este diseño

introduce a la hora de determinar la relación entre los procesos de repaso, atención y memoria de trabajo, respecto al utilizado por Awh et al. (2000) y en nuestro Experimento 1 son varias:

1. La manipulación de la carga de memoria permite incidir directamente en el funcionamiento del proceso de repaso y en los mecanismos responsables del mismo. De forma semejante, mediante la manipulación del tamaño del conjunto de presentación se espera incidir sobre los procesos y mecanismos de atención que operan en la búsqueda visual. De esta forma esperamos responder directamente a la pregunta sobre el grado de solapamiento en el nivel de los procesos y poderlos diferenciar de los correspondientes al nivel de efecto. Si, como supone la hipótesis de partida, los procesos de repaso de la memoria de trabajo son los correspondientes a la atención espacial, los resultados esperables tendrán unas características particulares, tanto en los datos comportamentales como en los datos electrofisiológicos, que comentaremos a continuación.

2. Con respecto a los datos comportamentales nuestro paradigma experimental permite aplicar a su análisis la lógica de los factores aditivos propuesta por Sternberg (1969). Esta lógica se basa en la utilización de un diseño factorial en el que se cruzan dos variables, cada una de ellas relacionada hipotéticamente con diferentes procesos. Los resultados nos permiten determinar la relación entre las variables y los procesos. Si se cumple la hipótesis diferencial, las variables no deben interactuar sino que únicamente deben aparecer efectos principales o aditivos, mientras que si las variables afectan al mismo proceso, entonces debe aparecer una forma determinada de interacción. En nuestro caso, la manipulación del tamaño de conjunto de memoria se espera que esté relacionada con el funcionamiento del proceso de repaso en la memoria de trabajo. Por otra parte, la manipulación del tamaño del conjunto de presentación se espera que esté relacionada con el funcionamiento de la atención espacial.

Los resultados esperables de acuerdo con la hipótesis de los factores aditivos, si cada variable se manipula a tres niveles, aparecen en la Figura 2.1., tomando como ejemplo de variable dependiente el tiempo de reacción.

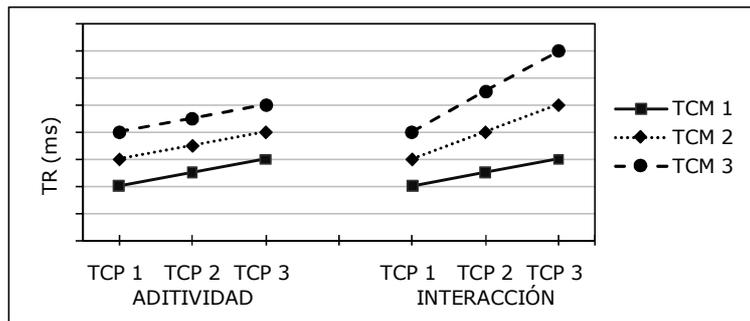


Figura 2.1. Resultado hipotético del efecto del tamaño del conjunto de memoria (TCM 1, TCM 2 y TCM 3) y del tamaño del conjunto de presentación (TCP 1, TCP 2 y TCP 3) en el TR, tanto en aditividad como en interacción.

A la izquierda de la figura puede verse la predicción de aditividad correspondiente al caso en que las variables actúen sobre procesos diferentes. A la derecha se muestra el patrón de interacción esperable si las variables afectan al mismo proceso. Obsérvese que el patrón de interacción implica incrementos mayores en el tiempo de reacción a medida que el tamaño de los conjuntos, tanto de memoria como de presentación, aumenta.

3. Con respecto a los datos electrofisiológicos, su registro nos permitirá analizar diferentes aspectos de los mismos relacionados con la manipulación de las variables de interés. Al igual que en el Experimento 1, analizaremos los potenciales corticales, la topografía de distribución craneal de la actividad eléctrica del cerebro y las fuentes que originan dicha actividad. Nos interesa principalmente localizar los aspectos de la actividad electrofisiológica que responden diferencialmente a la manipulación de nuestras principales variables independientes: el tamaño de los conjuntos de memoria y el tamaño del conjunto de presentación. Este tipo de registro también nos permitirá analizar por separado las fases de estudio, retención y recuperación o búsqueda y la influencia de nuestras variables independientes en cada una de las fases de procesamiento. El registro electrofisiológico proporciona así la posibilidad de constatar directamente el efecto de nuestras variables en cada una de las fases de la tarea, información que los datos comportamentales no pueden proporcionar ya que sólo permiten el análisis de parámetros (precisión y tiempo de reacción) asociados a la ejecución final de la misma.

4. Finalmente, el análisis comparativo de datos comportamentales y electrofisiológicos nos permitirá valorar el grado de convergencia o divergencia de los mismos. En particular será de gran utilidad para valorar la lógica de los factores aditivos y el grado en que los resultados comportamentales asociados a un diseño factorial pueden ser indicativos de la identidad o no de los

procesos implicados por la manipulación de las variables independientes del experimento.

A continuación exponemos los experimentos realizados en este nuevo paradigma. En el Experimento 2 presentamos la nueva tarea y analizamos datos comportamentales, mientras que en los Experimentos 3 y 4 incluimos el registro del EEG, analizando por tanto datos comportamentales y electrofisiológicos.

EXPERIMENTO 2

En este segundo experimento, abordamos el estudio de la relación entre memoria de trabajo espacial y atención espacial con una nueva tarea comportamental. Como hemos explicado anteriormente, se trataba de una modificación de la tarea clásica de reconocimiento de ítems de Sternberg (1966), en la que manipulamos la carga de información tanto en la fase de estudio como en la fase de búsqueda a tres niveles: en la fase de estudio hay que memorizar 1, 2 ó 3 posiciones en la pantalla – conjunto de memoria-, mientras que en la fase de búsqueda hay que responder sobre 1, 4 ó 7 posiciones –conjunto de presentación-. Nuestro interés se centró en analizar el efecto de esas dos cargas en la ejecución de la tarea.

Investigaciones previas han estudiado por separado el efecto de la carga en memoria en tareas de búsqueda en memoria (v.gr. Brookhuies et al., 1981; Loorist et al., 1996; Schneider y Shiffrin, 1977) y tareas de memoria de trabajo (v.gr. McEvoy et al., 1998; Mecklinger y Pfiefer, 1992;) o del efecto del tamaño del conjunto de presentación en tareas de búsqueda visual (v.gr. Oh y Kim, 2004; Woodman y Luck, 2004). De acuerdo con estos resultados previos, nuestra expectativa general respecto al efecto de las variables fue una disminución de la precisión, y un enlentecimiento de las respuestas a medida que aumenta la carga, tanto en el conjunto de memoria como en el conjunto de presentación.

Además, el principal interés para nosotros se centraba en analizar el patrón de resultados de nuestro diseño factorial, en el que se cruzaron los niveles de las dos variables. Para poder llevar a cabo una aplicación adecuada de la lógica de los factores aditivos, manipulamos cada una de las dos variables independientes a tres niveles, de forma que fuera posible evaluar la forma de la función que relaciona el tamaño de los conjuntos de memoria y de presentación con las variables dependientes de precisión y tiempo de reacción. La utilización de tres niveles en cada variable independiente nos permitió la estimación en nuestros datos tanto de la tendencia lineal como de la tendencia cuadrática de las funciones que relacionaban nuestras variables dependientes e independientes.

1. MÉTODO

1.1. Participantes

18 estudiantes de la Facultad de Psicología de la Universidad de Granada, con visión normal o corregida, recibieron créditos tras su participación, y 16 de ellos fueron mujeres. La media de edad fue de 22,5 años. Dos de los participantes eran zurdos. Todos los participantes dieron consentimiento informado antes de incluirlos en el experimento.

1.2. Aparatos y estímulos

Los estímulos se presentaron en una pantalla a color de 15 pulgadas conectada a un PC Pentium 4. La presentación de estímulos y la recogida de datos se realizaron a través del programa E-Prime (Schneider et al., 2002)

Los estímulos fueron cuadrados de color gris, de $0,82^\circ$ g.a.v. de lado. Podían aparecer en cualquiera de 16 posiciones, y la cantidad de cuadrados dependió de la condición experimental. Las posiciones se distribuían equitativamente en un círculo imaginario centrado en el punto de fijación, con un diámetro de $15'83^\circ$ g.a.v. Entre cada posición había una distancia equivalente a un arco de $22,5^\circ$. El punto de fijación fue el símbolo "+" de color blanco, en fuente Courier New y tamaño 14, y se presentó en el centro de la pantalla. El fondo de la pantalla fue negro.

1.3. Procedimiento

El experimento se realizó en una habitación con la luz atenuada y aislada de ruidos. El participante se sentaba delante de una pantalla en la que se presentaba la tarea, a unos 65 cm de distancia. Antes de ejecutar la tarea se dieron a los participantes unas instrucciones generales sobre la tarea que iban a realizar. En la Figura 2.2 se presenta la secuencia de estímulos en cada ensayo.

Al principio de cada ensayo en la pantalla del ordenador se presentó un punto de fijación que estuvo presente durante todo el ensayo. Después de 500 ms, aparecían los estímulos de la fase de estudio durante 1000 ms (1, 2 ó 3 cuadrados dependiendo del bloque), de los que había que memorizar su posición en la pantalla. El número de elementos determinaba el tamaño del conjunto de memoria (TCM). La posición de estos estímulos en la pantalla se elegía aleatoriamente de las 16 posibles. Después de un intervalo de 4.000 ms

en el que el único elemento presente era el punto de fijación, se presentaban los estímulos de la fase de búsqueda (1, 4 ó 7 cuadrados dependiendo de la condición). El número de elementos determinaba el tamaño conjunto de presentación o TCP. En cada uno de los ensayos, uno de los estímulos del TCP podía ocupar la misma posición que alguno de los presentados en la fase de estudio (ensayos positivos) o todos aparecían en posiciones diferentes (ensayos negativos). Los estímulos se presentaron durante 1.500 ms o hasta que el participante respondiese. El participante debía presionar la tecla M ó Z -con el dedo índice de la mano derecha o izquierda- dependiendo de que el ensayo fuera positivo o negativo. La asignación de teclas a tipo de ensayo se contrabalanceó entre participantes.

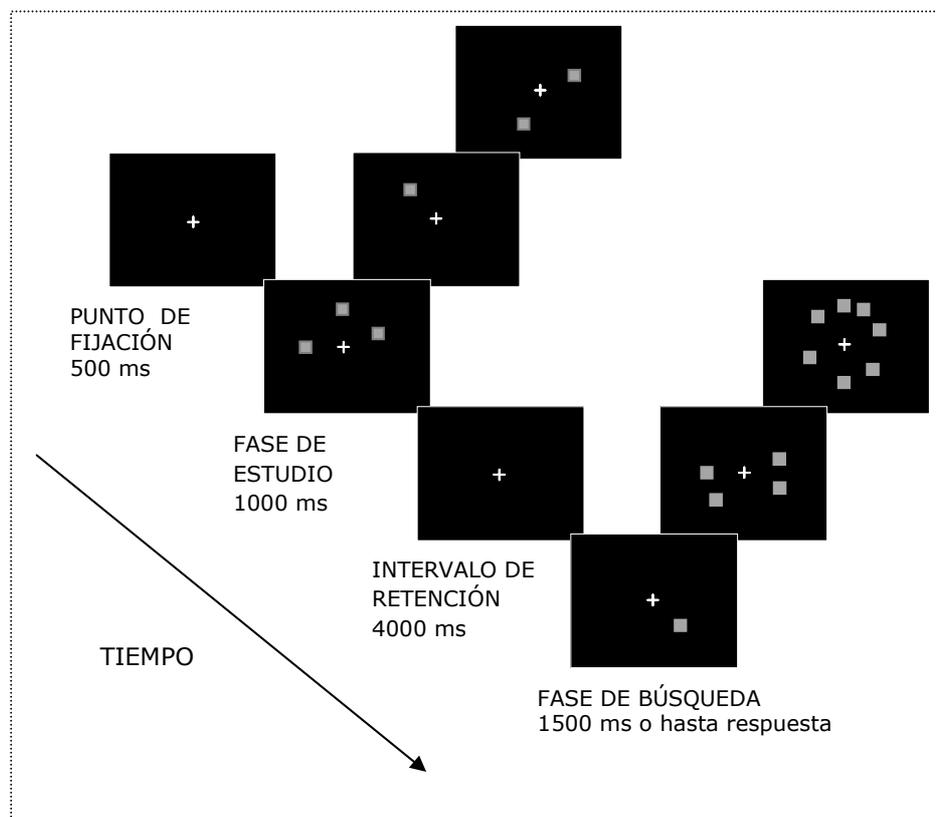


Figura 2.2. Secuencia temporal y de estímulos de un ensayo. Tanto en la fase de estudio como en la fase de búsqueda aparecen los tres tamaños del conjunto de memoria y conjunto de presentación que podían presentarse en pantalla: 1, ó 2, ó 3 cuadrados en la fase de estudio; 1 ó 4, ó 7 en la fase de búsqueda.

Una vez dada la respuesta, la pantalla se quedaba en negro durante 1000 ms hasta el inicio del ensayo siguiente. En total había nueve condiciones bloqueadas, cada una con un determinado TCM, y un determinado TCP. Antes de cada bloque se indicó a los participantes el número de posiciones en TCM y TCP. Entre cada bloque hubo un descanso determinado a voluntad por cada

participante. La tarea duraba aproximadamente 55 minutos. En la Figura 2.1 se presenta la secuencia de los ensayos

1.4. Diseño

Se manipularon tres variables intrasujeto: el tamaño del conjunto de memoria (TCM) que podía contener 1, 2 ó 3 elementos; el tamaño del conjunto de presentación (TCP) que podía consistir en 1, 4 ó 7 elementos; y el tipo de ensayo (TE), con dos niveles: positivo o negativo. En la mitad de los ensayos, una de las posiciones de los estímulos de la fase de prueba apareció en las posiciones de los estímulos de la fase de memoria, y la respuesta correcta fue positiva –SÍ-; en la otra mitad, ninguna lo hacía; en este caso, todas las posiciones de los estímulos en la fase de presentación fueron nuevas, y la respuesta correcta fue negativa –NO-. Las condiciones estuvieron bloqueadas, de manera que el tamaño de cada conjunto, TCM y TCP, permaneció constante dentro de cada bloque. El orden de aparición de los bloques, así como la asignación de la tecla SI o NO a la izquierda o la derecha estuvo contrabalanceada entre los participantes.

En cada una de las nueve condiciones se realizó un bloque de práctica de 10 ensayos; tras éste, un bloque experimental de 50 ensayos, 450 ensayos experimentales en toda la tarea.

2. RESULTADOS

Se analizó tanto la precisión como el tiempo de reacción de los participantes. Para el estudio de la precisión se aplicó a la tasa de aciertos y a la tasa de falsas alarmas un análisis basado en la Teoría de Detección de Señales utilizando como índice de reconocimiento el parámetro d' . Para el estudio del tiempo de reacción (TR) se utilizaron las medianas de los participantes en cada condición experimental. Tanto en el análisis de la precisión como del TR sólo se incluyeron las respuestas cuyo TR fue mayor de 250 ms, y únicamente respuestas correctas en el caso del TR.

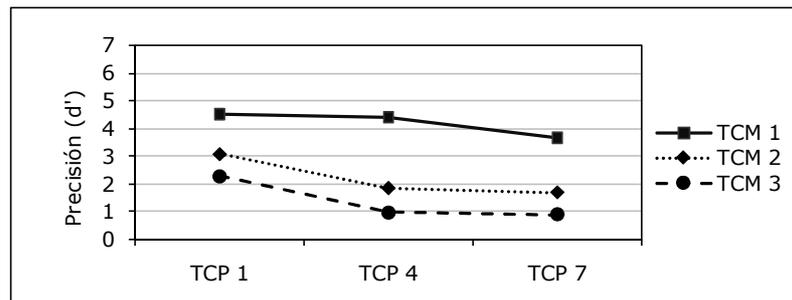
Las puntuaciones de d' y los valores de TR (ver Tabla 2.2) fueron sometidos a un ANOVA intrasujeto con las variables TCM (tamaño del conjunto de memoria: 1, 2 ó 3 posiciones), y TCP (tamaño del conjunto de presentación: 1, 4 ó 7 posiciones). En caso necesario, los grados de libertad se ajustaron con la corrección Greenhouse-Geisser.

Tabla 2.1. Media de los valores de d' y TR (ms) de las respuestas correctas las condiciones experimentales en Experimento 2.

	TCM	1	2	3
TCP	1	4,518	4,398	3,678
d'	4	3,093	1,847	1,693
	7	2,286	0,990	0,909
	TCP	1	627,472	718,667
TR	4	697,556	800,083	877,899
	7	678,306	866,556	902,167

2.1. Análisis de precisión

Los resultados mostraron un efecto principal significativo de TCM (MCE= 2,77; $F(1,69;28,81)= 40,55$; $p < ,001$) y de TCP (MCE= 1,18; $F(1,84;31,30)= 17,88$; $p < ,001$). En los dos casos, al aumentar el tamaño del conjunto, disminuyó el valor de d' . La interacción no resultó significativa ($p > ,1$). En la Figura 2.3 aparece el efecto en d' producido por el TCM y el TCP.

**Figura 2.3. Interacción TCM x TCP en d'**

Para TCM, el análisis de tendencia mostró que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 3,61; $F(1,17)= 57,93$; $p < ,001$). También la tendencia cuadrática fue significativa (MCE= 1,87; $F(1,17)= 6,59$; $p = ,020$). Además, la disminución en discriminación entre TCM 1 y TCM 2 fue significativa (MCE= 2,98; $F(1,17)= 35,77$; $p < ,001$), así como la disminución entre TCM 2 y TCM 3 (MCE= 1,66; $F(1,17)= 1,82$; $p = ,004$).

En el TCP, el análisis mostró una tendencia lineal significativa (MCE= 1,14; $F(1,17)= 34,5$; $p = ,001$), de modo que la discriminación disminuyó al aumentar el TCP, pero la tendencia cuadrática no fue significativa ($p > ,1$). La discriminación en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 (MCE= 1,49; $F(1,17)= 14,19$; $p = ,002$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

2.2. Análisis del tiempo de reacción

Los resultados mostraron un efecto principal de TCM (MCE= 18981; $F(1,76; 29,99)= 23,17$; $p < ,001$), y de TCP (MCE= 5058; $F(1,82; 30,88)= 41,64$; $p < ,001$). En ambos casos, a medida que aumentó el tamaño del conjunto aumentó el tiempo de respuesta. Al analizar el efecto de TCM la tendencia lineal fue significativa (MCE= 24720,6; $F(1,17)= 33,236$; $p < ,001$), mientras que la tendencia cuadrática resultó marginalmente significativa (MCE= 13240,86; $F(1,17)= 4,37$; $p = ,052$). En las comparaciones entre niveles, encontramos que en TCM 1 se tardó menos en responder que en TCM 2 (MCE= 19482,5; $F(1,17)= 22,47$; $p < ,001$). En TCM 2 se tardó menos en responder que en TCM 3 (MCE= 12739,07; $F(1,17)= 4,71$; $p = ,045$).

Al analizar el efecto de TCP tanto la tendencia lineal como la cuadrática fueron significativas (para lineal, MCE= 6331,7; $F(1,17)= 59,47$; $p < ,001$; y para cuadrática MCE= 3784,56; $F(1,17)= 11,8$; $p = ,003$). En las comparaciones entre niveles, cuando el TCP fue igual a 1, los tiempos de respuesta fueron menores que cuando el TCP fue igual a 4 (MCE= 5271,7; $F(1,17)= 45,51$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 la diferencia fue marginalmente significativa (MCE= 3571,02; $F(1,17)= 4,3$; $p = ,054$).

En la Figura 2.4 se presenta la gráfica de la interacción TCM x TCP, que resultó significativa (MCE= 5601; $F(2,88;48,90)= 3,38$; $p = ,027$).

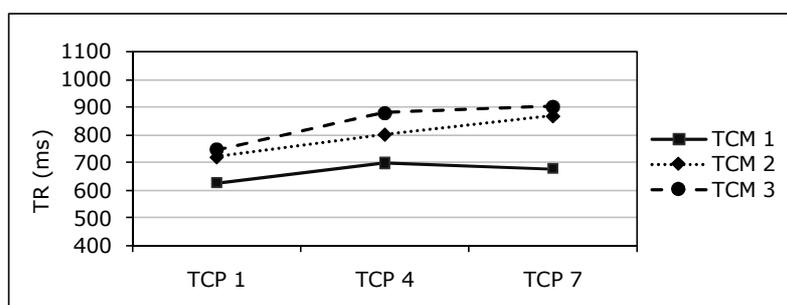


Figura 2.4. Interacción TCM x TCP en TR

Al hacer análisis de tendencia entre los niveles de TCP en cada uno de los niveles de TCM, encontramos que para TCM 1 y TCM 3 tanto la tendencia lineal como la cuadrática fueron significativas (MCE= 2427,66; $F(1,17)= 9,58$; $p = ,007$ para TCM 1 lineal; MCE= 2882,40; $F(1,17)= 8,31$; $p = ,010$ para TCM 1 cuadrática; para TCM 3, MCE= 6021,4; $F(1,17)= 36,17$; $p < ,001$; y MCE= 3724,86; $F(1,17)= 9,22$; $p = ,007$, respectivamente). Al realizar comparaciones entre niveles, encontramos que la latencia fue menor en TCP 1 que en TCP 4

tanto para TCM 1 como TCM 3 (MCE= 3880,86; $F(1,17)= 11,39$; $p= ,004$ para TCM 1; y MCE= 4601,7; $F(1,17)= 33,72$; $p< ,001$ para TCM 3), y entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p> ,1$, para TCM 1 y TCM 3).

Cuando TCM fue 2 sólo fue significativa la tendencia lineal (MCE= 11134,4; $F(1,17)= 17,68$; $p< ,001$ para la lineal, $p> ,1$ para la cuadrática). Al comparar entre niveles, encontramos que en TCP 1 la latencia fue menor que en TCP 4 (MCE= 8644,99; $F(1,17)= 6,90$; $p= ,018$). En TCP 4 la latencia fue menor que en TCP 7 (MCE= 6414,67; $F(1,17)= 6,20$; $p= ,023$).

En resumen, encontramos un efecto principal de TCM y TCP tanto en precisión como en TR. Al aumentar el número de posiciones a memorizar, o sobre las que responder, disminuyó la precisión, independientemente de la otra variable. En TR, aumentó la latencia al aumentar el número de posiciones a memorizar, y al aumentar el número de posiciones sobre las que responder. También encontramos efecto de interacción en TR. Cuando hubo que memorizar una, dos o tres posiciones, la latencia fue mayor al responder sobre cuatro posiciones que al responder a una. Sin embargo, la latencia al responder a siete posiciones fue mayor que la latencia a responder a cuatro posiciones sólo cuando hubo que memorizar dos posiciones.

3. DISCUSIÓN

En este experimento, encontramos efecto de la manipulación de la carga en la fase de estudio –TCM- y de la manipulación de la carga en la fase de búsqueda –TCP- tanto en precisión como en latencia. En precisión, encontramos efecto principal de TCM y de TCP, de modo que la discriminación fue peor al aumentar el número de posiciones a memorizar, y al aumentar el número de posiciones sobre las que buscar. Estos resultados fueron similares a investigaciones previas en las que se manipulaba TCM (v.gr. Brookhuies et al., 1981; Looist et al., 1996; McEvoy et al., 1998; Mecklinger y Pfeifer, 1992; Schneider y Shiffrin, 1977) y TCP (v.gr. Oh y Kim, 2004; Schneider y Shiffrin, 1977; Woodman y Luck, 2004).

Sólo encontramos efectos principales de TCM y TCP, pero no interacción entre ellas. De acuerdo con nuestra hipótesis, basada en la lógica del método de factores aditivos de Sternberg (1969), la aditividad de estos dos factores se puede interpretar como que cada variable afecta a procesos diferentes.

En latencia también encontramos efectos principales: la latencia aumentó al aumentar tanto TCM como TCP, similares a los de la literatura previa como en el caso de la precisión (Brookhuies et al., 1981; Loorist et al., 1996; McEvoy et al., 1998; Mecklinger y Pfiefer, 1992; Oh y Kim, 2004; Schneider y Shiffrin, 1977; Woodman y Luck, 2004).

Aunque la interacción fue significativa en latencia, el sentido de la interacción no se produjo en la dirección que de acuerdo con la lógica de los factores aditivos permita inferir que ambas variables independientes afectan a un mismo proceso. En efecto, según esta lógica el TR debía mostrar un mayor aumento al pasar del valor intermedio al valor máximo de carga en una variable, y este aumento debía ser mayor a medida que aumenta la otra variable. En este caso, esperaríamos una mayor diferencia en latencia entre los niveles de TCP a medida que aumentase el TCM.

Sin embargo tanto para TCM como para TCP esto no ocurre; en TCM 1 y TCM 3 encontramos que entre los niveles de TCP, además de tendencia lineal, como en TCM 2, hay una tendencia cuadrática, de modo que el TR no sigue aumentando al pasar del valor intermedio al valor máximo, sino que se mantiene igual.

Por tanto, la aplicación de la lógica de los factores aditivos nos induce a pensar que la manipulación de la carga en la fase de estudio y en la fase de búsqueda, mediante el TCM y TCP, respectivamente, afecta a procesos diferentes. Como hemos comentados previamente, la manipulación de la carga en la fase de búsqueda afecta al proceso de repaso en la memoria de trabajo espacial, mientras que la manipulación de la carga en la fase de búsqueda afecta al proceso de atención espacial de la fase de recuperación. Si estas dos cargas no interactúan, podemos decir que los procesos a los que afectan son independientes. Por tanto, y en contraste con los resultados del Experimento 1, el proceso implicado en el repaso en la memoria de trabajo espacial, por un lado, y en la atención espacial, por otro, no parece ser el mismo.

EXPERIMENTO 3

En el experimento anterior el análisis de los datos comportamentales nos llevó a concluir que los procesos afectados por la manipulación de nuestras dos variables independientes eran dos procesos diferentes, de acuerdo con la lógica de factores aditivos. En la medida en que estos procesos estaban relacionados con la codificación y el mantenimiento en memoria y con la atención en búsqueda visual, la conclusión apunta hacia una independencia mutua entre estos dos procesos.

Sin embargo, como ya apuntábamos en la introducción a esta segunda serie de experimentos, la consideración exclusiva de datos comportamentales está limitada por su incapacidad para proporcionarnos datos directos de las diferentes fases de procesamiento de la tarea. El funcionamiento de las diferentes fases tiene que ser inferido a partir del resultado final, ya que solamente el análisis del resultado final en términos de precisión y velocidad está disponible como dato.

La utilización de técnicas electroencefalográficas y, en particular, el análisis de los potenciales corticales asociados a las diferentes fases de procesamiento permiten solventar esta deficiencia. En el Experimento 3 el procedimiento fue el mismo que en el Experimento 2 con la particularidad de que, a lo largo de toda la tarea, se registró de forma continua la actividad eléctrica del cerebro. El análisis de los potenciales corticales asociados a eventos presentes en cada fase de procesamiento de la tarea, nos permitió así analizar directamente el funcionamiento cerebral durante la codificación, el almacenamiento y la recuperación de la información espacial objeto de nuestro estudio.

Así pues, en este experimento esperamos encontrar, a nivel comportamental, los mismos resultados que encontramos en el experimento anterior. Esperamos una disminución de la precisión y un enlentecimiento de las respuestas al aumentar la carga, tanto en el conjunto de memoria como en el conjunto de presentación. Además, como en el Experimento 2, no esperamos una interacción de las variables, de modo que cada una de las variables afectará a los distintos procesos.

A nivel electrofisiológico, nos interesa explorar cuáles son los componentes de potenciales corticales que están asociados con la manipulación

de la carga, tanto en el conjunto de memoria como en el conjunto de presentación. De acuerdo con estudios previos (Mecklinger y Pfeifer, 1996; Ruchkin et al., 1992, 1995, 1997) la mayoría de las tareas que se han utilizado para ver el efecto de la carga en memoria de trabajo espacial han sido tareas de reconocimiento, con presentaciones estimulares e intervalos de retención largos (entre 500 y 200 ms, y entre 3300 y 5000 ms, respectivamente). Sólo encontramos un estudio (McEvoy et al., 1998) en el que la tarea no es de reconocimiento, sino una tarea n-back. Aunque de forma diferente, todas las tareas mencionadas manipulan la carga de memoria durante la fase de estudio. La diferencia respecto a la nuestra es que no manipulan la carga durante la fase de prueba.

Sólo dos de estos estudios (McEvoy et al., 1998; Mecklinger y Pfeifer, 1996) analizan los componentes asociados con los estímulos de la fase de estudio. En ambos encuentran un componente P300, aunque sólo en el estudio de McEvoy et al. (1998) la amplitud de este componente se ve modulada por la carga. La amplitud disminuye a medida que aumenta el número de posiciones a memorizar.

Durante el intervalo de retención, en todos los estudios revisados (McEvoy et al., 1998; Mecklinger y Pfeifer, 1996; Ruchkin et al., 1992, 1995, 1997) se encuentra un resultado común: una onda negativa lenta en electrodos parietales y occipitales que aparece cuando ya ha terminado el procesamiento del estímulo de memoria y está presente durante todo el intervalo de retención. La amplitud de esta onda negativa aumenta al incrementarse el número de posiciones a memorizar. Esta onda se relaciona con el mantenimiento de la información en memoria de trabajo.

Otros estudios han analizado el efecto de la manipulación de la carga de memoria en los potenciales asociados al estímulo de la fase de prueba. Ninguno de estas investigaciones ha manipulado el tamaño del conjunto de presentación durante esa fase. En general, estos estudios, siguiendo a Schneider y Shriffrin (1977), han utilizado tareas de búsqueda en memoria con estímulos alfanuméricos principalmente. Otros estudios se han focalizado en investigar el papel de la carga en el conjunto de presentación. Estas tareas equivalen a tareas clásicas de búsqueda visual. Tanto al manipular la carga en el conjunto de memoria (Gunter et al., 1992; Kramer et al., 1986; de Jong et al., 1988; Lorist et al., 1994) como la carga en el conjunto de presentación (Brookhuis et

al., 1981; Lorist et al., 1996) se ha encontrado un P300, asociado con los estímulos de presentación, cuya amplitud disminuye a medida que aumenta el tamaño del conjunto.

Además, también nos interesa ver la relación que se establece entre la lógica de los factores aditivos, que es la que inspira esta investigación, con la información que proporciona el análisis de los potenciales corticales.

Al igual que en el Experimento 1, el análisis de la topografía y en particular de las fuentes que originan los cambios en actividad eléctrica como resultado de la manipulación de nuestras variables independientes, nos permitirá comprobar si los mecanismos cuyo funcionamiento se ve afectado por la manipulación de las variables son los mismos en cada una de las fases de procesamiento o son diferentes. Es conveniente tener en cuenta dos tipos de información diferente que estos análisis nos proporcionan. En primer lugar, nos permite distinguir entre fase de procesamiento y mecanismo responsable. En la literatura comportamental la distinción entre proceso y mecanismo no siempre aparece claramente delimitada. En este experimento utilizaremos el término proceso para referirnos a la fase de procesamiento de la tarea (codificación, mantenimiento y recuperación) y el término mecanismo para referirnos a las estructuras neuronales implicadas por la manipulación de nuestras variables. En segundo lugar, y en relación con los mecanismos, la estimación de dipolos nos permitirá determinar si se trata de los mismos o de diferentes mecanismos los que participan en cada fase de procesamiento. Sin embargo, como ya se indicó en el primer experimento, la determinación anatómica de las estructuras implicadas es menos fiable debido a las limitaciones de la técnica empleada. También en este experimento nos interesa el juicio relativo de igualdad o no de mecanismos entre procesos diferentes más que la ubicación anatómica definitiva de esos mecanismos.

1. MÉTODO

1.1. Participantes

Dieciocho estudiantes, con visión normal o corregida, tres de ellos zurdos, de la Facultad de Pedagogía recibieron créditos tras su participación. La media de edad era de 21 años, y 17 de ellos fueron mujeres. Todos los participantes dieron consentimiento informado antes de incluirlos en el experimento. Para el análisis de los resultados electrofisiológicos de la fase de

estudio y del intervalo de retención dos participantes fueron eliminados por excesivo parpadeo. En el análisis de la fase de recuperación sí se incluyeron.

1.2. Aparatos y estímulos

Los estímulos se presentaron en una pantalla a color de 17 pulgadas conectada a un PC Pentium 4. La presentación de estímulos y la recogida de datos se realizaron a través del programa E-Prime (Schneider et al., 2002) Este ordenador estaba conectado a un ordenador Macintosh que registraba el EEG durante toda la sesión. Los materiales para el registro se detallan más adelante.

Los estímulos utilizados fueron similares a los del experimento anterior, con la diferencia de que el diámetro del círculo imaginario en el que se distribuían las 16 posiciones se redujo a $7,04^\circ$ g.a.v. de diámetro para reducir los movimientos oculares. El tamaño de los cuadrados se redujo a $0,63^\circ$ g.a.v. de lado.

1.3. Procedimiento

Antes de empezar la tarea, a cada participante se le explicaba que durante la misma se iba a hacer un registro del EEG. Se mostraba la red de electrodos que se iba a utilizar, y se colocaba en la cabeza del participante. Una vez hecho esto, los participantes se sentaban en una habitación aislada y sin ruido, y se conectaba la red a los amplificadores. Tras medir las impedancias, empezaba el experimento.

El procedimiento fue similar al del experimento anterior, con las siguientes excepciones. Antes de empezar con las instrucciones particulares de cada bloque, se explicó en qué consistía la tarea, poniendo de ejemplo un ensayo de la condición más difícil. También se explicó a los participantes que era importante que evitasen parpadear durante los ensayos. El intervalo entre ensayos podía durar entre 2500 y 3500 ms, determinado al azar. Este era el momento recomendado a los participantes para parpadear. Los participantes respondían en una caja de respuesta.

1.4. Diseño

Como en el Experimento 2, el diseño fue intrasujeto, con tres variables manipuladas: tamaño del conjunto de memoria con 1, 2, ó 3 posiciones (TCM), tamaño del conjunto de presentación, con 1, 4 ó 7 posiciones (TCP) y tipo de

ensayo (TE). En la mitad de los ensayos las respuestas eran positivas, y en la otra mitad eran negativas. En las respuestas positivas, una de las posiciones de los estímulos en la fase de estudio apareció en una de las posiciones de los estímulos de la fase de búsqueda. En las respuestas negativas, ninguna lo hacía. Las nueve condiciones estuvieron bloqueadas, de manera que se realizaron nueve bloques de 60 ensayos, 540 ensayos en total. Entre cada bloque hubo un descanso con una duración determinada por el propio participante.

1.5. Registro del EEG

El registro del EEG, similar al del primer experimento, se realizó con una red Geodésica de 128 canales (Tucker, 2003), con electrodos de Ag/ClAg, con la distribución que aparecen en la Figura 1.3. El montaje de los electrodos incluía sensores para controlar los movimientos oculares verticales y laterales, así como los parpadeos. Se situaban lateralmente y bajo los ojos. El EEG fue amplificado con un paso de banda de 0.1-100Hz (filtro elíptico) y digitalizado a una tasa de muestreo de 250 Hz. Las impedancias para canal se midieron y mantuvieron bajo 50 k Ω antes del registro. Todos los electrodos fueron referenciados al electrodo Cz durante el registro y fueron referenciados algebraicamente después del registro (off-line) para calcular la referencia promedio.

2. RESULTADOS

2.1. Resultados comportamentales

El análisis de los resultados comportamentales fue similar al del Experimento 2. Por ese motivo, presentamos un resumen de ellos, y su descripción, tabla de datos promedios por condición y estadística aparecen en el Apéndice III.

En precisión (ver Figura 3.1) encontramos efectos principales tanto de TCM ($F(1,35;22,87)= 39,21$) como de TCP ($F(1,91;32,41)= 22,21$), pero no interacción. Encontramos una disminución en la ejecución en la tarea al aumentar el número de posiciones a memorizar, y al aumentar el número de posiciones sobre las que responder.

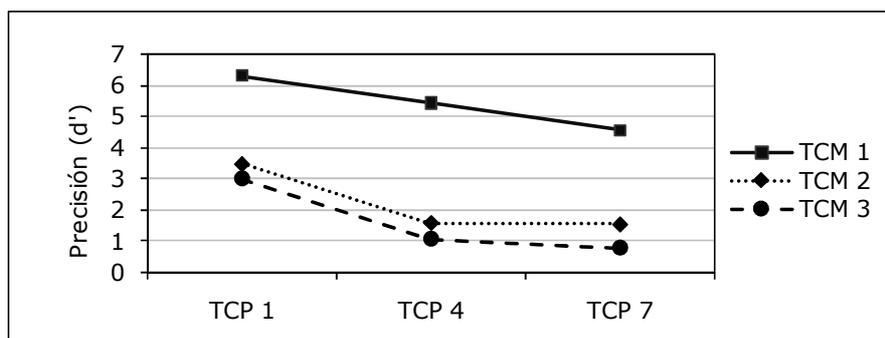


Figura 3.1. Efecto de TCM y TCP en precisión.

Además, en tiempo de reacción (ver Figura 3.2) también encontramos efectos principales de TCM ($F(1,92;32,65)= 47,08$) y de TCP ($F(1,62;27,50)= 71,42$). El tiempo de reacción aumentó al incrementarse tanto TCM como TCP. Además, encontramos interacción entre TCM y TCP ($F(2,98;50,71)= 6,46$).

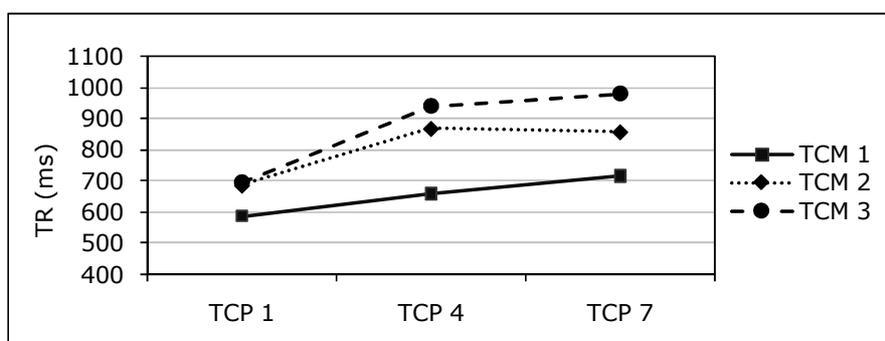


Figura 3.2. Efecto de TCM x TCP en TR.

Cuando hubo que memorizar una, dos o tres posiciones, la tendencia lineal entre niveles de TCP fue significativa, mientras que la cuadrática sólo lo fue al memorizar tres posiciones.

2.2. Resultados electrofisiológicos

El EEG continuo fue filtrado después del registro usando un filtro de 1-30 Hz. y segmentado a continuación en épocas de 200 ms antes y 5000 ms después del inicio de los estímulos para la fase de estudio (incluyendo el intervalo de retención), y 200 ms antes y 800 ms después para la fase de búsqueda. Los 200 ms previos a la aparición de los estímulos se usaron para calcular la línea de base. Los segmentos que contenían artefactos, parpadeos o movimientos oculares fueron descartados para el análisis posterior. Los segmentos se promediaron de acuerdo con las condiciones experimentales, y después de una inspección visual se eligieron los componentes de los potenciales a analizar, así como las ventanas temporales y los electrodos en los que aparecían. En el Apéndice II aparece la representación gráfica del promedio en amplitud para todos los electrodos para el TCM y el TCP en la fase de

estudio, intervalo de retención y fase de búsqueda (de la Figura III.1 a la Figura III.6).

En función de la inspección visual, se eligieron dos grupos de electrodos respecto al vertex, uno posterior, y otro anterior, situados por encima y por debajo del vertex, respectivamente. Cada uno de ellos se dividió en tres grupos de electrodos: un grupo de electrodos izquierdos, un grupo de electrodos centrales, y un grupo de electrodos derechos. Estos grupos de electrodos se pueden ver en la Figura 3.3.

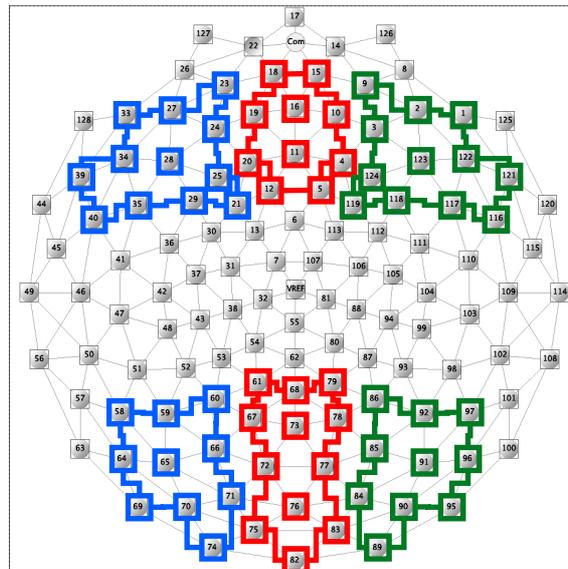


Figura 3.3. Grupos de canales utilizados para el análisis. Por encima del vertex (VREF) está el grupo anterior, y por debajo el grupo posterior. En color azul aparece el grupo de electrodos izquierdos, en color rojo el grupo de electrodos centrales, y en color verde el grupo de electrodos derechos.

En la Tabla 3.1 aparecen los principales componentes que detectamos en cada una de las fases del ensayo, con sus correspondientes ventanas temporales en cada uno de los grupos de electrodos.

En la fase de estudio, el análisis se centró en los componentes que denominamos N2 y P2 con topografía posterior y anterior, respectivamente, seguidos por unos componentes denominados P3 y N3. En el intervalo de retención, el análisis se centró en la onda lenta, negativa en electrodos posteriores, y positiva en electrodos anteriores, que estuvo presente durante todo el intervalo. En la fase de búsqueda, además de los componentes N2/P2 y P3/N3 con topografía similar a la de estos componentes en la fase de estudio, analizamos unos componentes tempranos, P1 posterior y N1 anterior.

Tabla 3.1. Componentes, ventanas temporales, y análisis en cada grupo de electrodos para cada fase del ensayo.

FASE	GRUPO POSTERIOR	GRUPO ANTERIOR
ESTUDIO	N2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms	P2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms
	P3 (400-600 ms): media de amplitud de la ventana temporal	N3 (400-600 ms): media de amplitud de la ventana temporal
INTERVALO DE RETENCIÓN	ONDA LENTA NEGATIVA (1000-5000 ms): media de amplitud de la ventana temporal	ONDA LENTA POSITIVA (1000-5000 ms): media de amplitud de la ventana temporal
BÚSQUEDA	P1 (100-180 ms): latencia y media adaptativa de 40 ms	N1 (100-180 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms
	N2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms	P2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms
	P3 (450-750 ms): media de la ventana temporal	N3 (450-750 ms): media de amplitud de la ventana temporal

Dependiendo del componente, se analizó la amplitud media de la ventana temporal, o la media adaptativa de la amplitud de esa ventana temporal (ver Tabla 3.1). Esta media adaptativa se calculaba promediando la amplitud de una ventana temporal de 40 ms centrada en el momento temporal donde el valor de amplitud fuera máximo o mínimo. Donde se calculó la media adaptativa también se analizó la latencia o momento temporal en milisegundos en el que la amplitud fue máxima o mínima. Los valores de latencia y amplitud se analizaron en ANOVAs intrasujeto. Como factores se utilizaron las condiciones experimentales, y la POSICIÓN de los de electrodos durante el registro (izquierda, centro o derecha). Cuando fue necesario los grados de libertad se ajustaron con la corrección Greenhouse-Geisser. Dentro de cada fase se analizan las ventanas temporales y componentes descritos en la Tabla 3.1, para el grupo posterior y el grupo anterior. Se analiza primero la latencia (cuando proceda), y luego la amplitud.

2.2.1. Fase de estudio

En la Figura 3.4 aparecen las gráficas de los potenciales corticales del promedio de amplitud de cada uno de los grupos de electrodos para TCM.

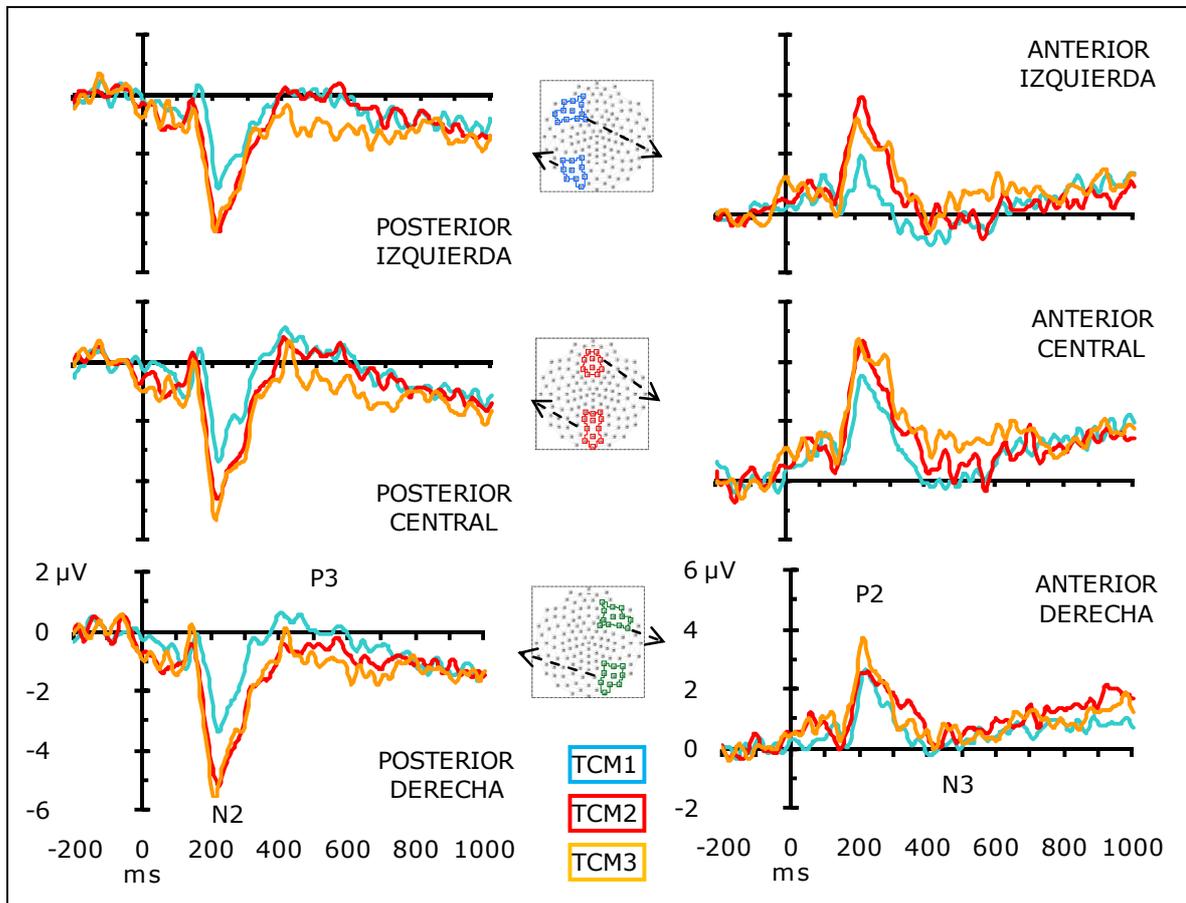


Figura 3.4. Representación gráfica de los potenciales corticales para TCM en cada grupo de electrodos en la fase de estudio. Cada gráfica es el promedio de todos los electrodos dentro de cada grupo. Leyenda: TCM 1 en color azul, TCM 2 en color rojo y TCM 3 en color amarillo.

2.2.1.1. Ventana temporal 180-300 ms

El promedio de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales en los componentes N2 posterior y P2 anterior aparecen en las Tablas III.2 y III.3 (respectivamente) del Apéndice II.

Componente N2 posterior: latencia. No se encontró ningún efecto significativo ($p > ,1$).

Componente N2 posterior: amplitud. Encontramos efecto significativo de TCM ($MCE = 9,86$; $F(1,70;25,55) = 11,16$; $p < ,001$), como aparece en la Figura 3.5. A medida que aumentó el número de elementos del conjunto de posiciones a memorizar, la amplitud se hizo más negativa

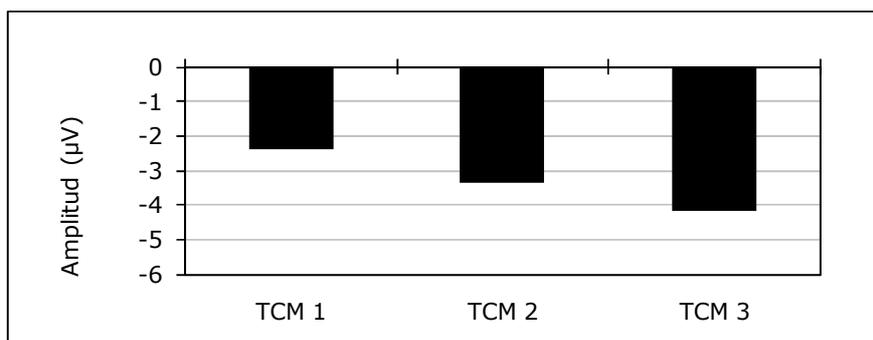


Figura 3.5. Efecto de TCM en amplitud en N2 posterior.

Analizamos la tendencia entre los niveles de TCM y encontramos que la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 12,57$; $F(1,17)= 17,46$; $p < ,001$), mientras que la cuadrática no lo fue ($p > ,1$).

Componente P2 anterior: latencia. No se encontró ningún efecto significativo ($p > ,1$).

Componente P2 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCM ($MCE= 9,172$; $F(1,81;27,13)= 7,12$; $p= ,004$), aumentando la amplitud al aumentar el número de posiciones a memorizar (Figura 3.6).

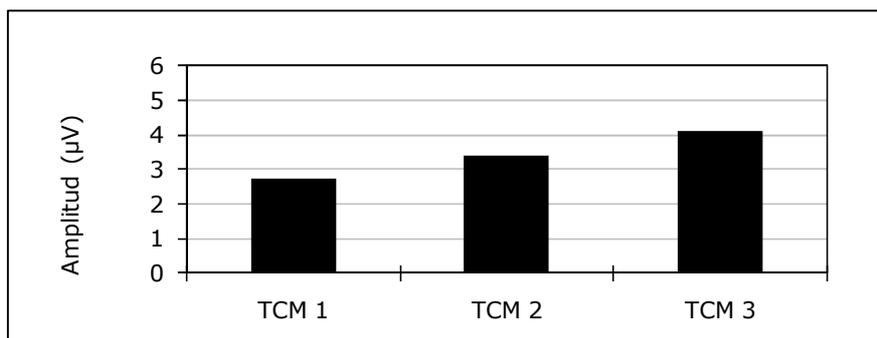


Figura 3.6. Efecto de TCM en amplitud en P2 anterior.

Al analizar la tendencia encontramos que la lineal fue significativa ($MCE= 11,563$; $F(1,15)= 11,27$; $p= ,004$), mientras que la cuadrática no lo fue ($p > ,1$).

Encontramos efecto principal de POSICIÓN ($MCE= 5,38$; $F(1,38;20,71)= 13,01$; $p < ,001$). El efecto de amplitud se mostró centralizado, como aparece en la Figura 3.7. Al comparar entre niveles encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue más positiva que en electrodos izquierdos y derechos ($MCE= 4,57$; $F(1,15)= 19,46$; $p < ,001$ para izquierdos; y $MCE= 2,75$; $F(1,15)= 43,31$; $p < ,001$ para derechos), mientras que entre izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p > ,1$).

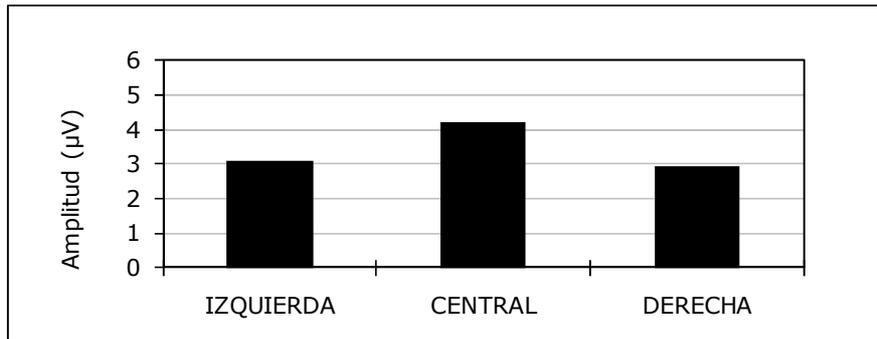


Figura 3.7. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P2 anterior.

2.2.1.2. Ventana temporal 400-600 ms

El promedio de amplitud para cada una de las condiciones experimentales en los componentes P3 posterior y N3 anterior aparece en la Tablas III.4 y III.3 del Apéndice II.

Componente P3 posterior. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 6,43; $F(1,76;26,42) = 5,011$; $p = ,017$).

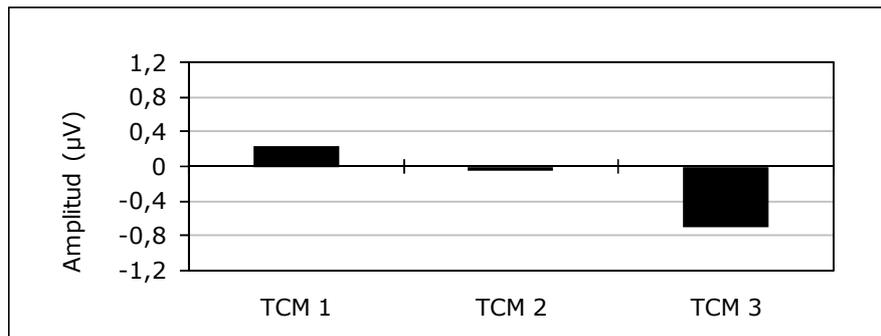


Figura 3.8. Efecto de TCM en amplitud en P3 posterior.

Como aparece en la Figura 3.8, a medida que aumentó el número de elementos del conjunto a memorizar, la amplitud se hizo más negativa. El análisis de tendencia lineal fue significativo (MCE= 4,55; $F(1,15) = 13,483$ $p = ,002$), mientras que el cuadrático no lo fue ($p > ,1$).

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 1,57; $F(1,95;29,23) = 6,12$; $p = ,006$). Al comparar las distintas posiciones entre sí, que aparecen en la Figura 3.9 encontramos que la amplitud en los electrodos centrales fue mayor que para electrodos izquierdos, y para electrodos derechos (MCE= 1,55; $F(1,15) = 8,854$; $p = ,010$ para izquierdos; MCE= 1,36; $F(1,15) = 11,09$; $p = ,005$ para derechos). Entre los electrodos izquierdos y los derechos no hubo diferencias en amplitud ($p > ,1$).

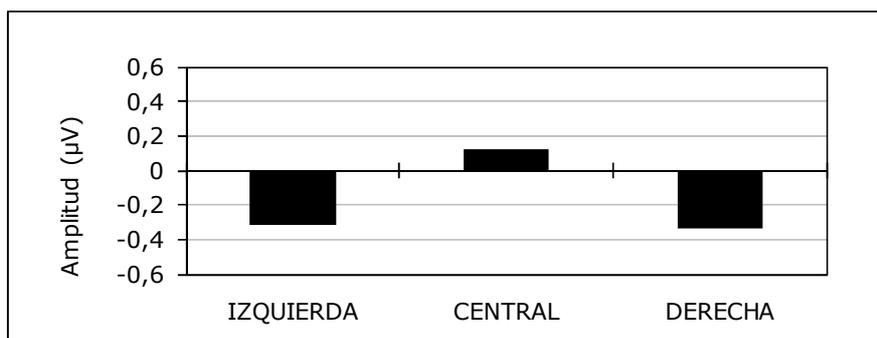


Figura 3.9. Efecto de POSICIÓN sobre la amplitud en P3 posterior.

Componente N3 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 6,16; $F(1,61;24,14)= 4,95$; $p= ,021$). La amplitud se hizo más positiva al aumentar el tamaño del conjunto (Figura 3.10). Al analizar la tendencia, encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 3,26; $F(1,15)= 13,84$; $p < ,001$), pero no la cuadrática ($p > ,1$).

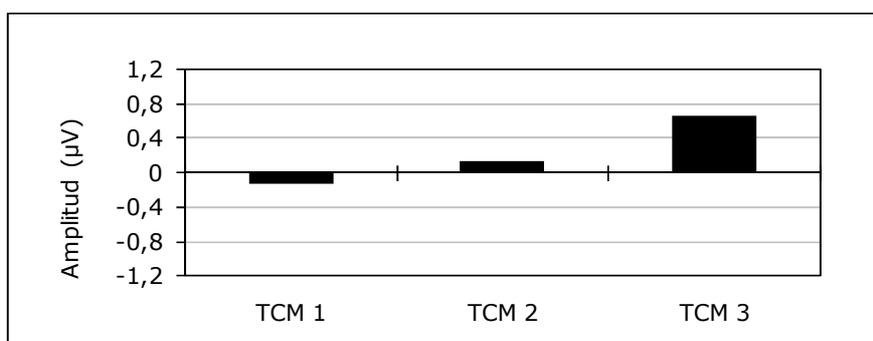


Figura 3.10. Efecto de TCM en amplitud en N3 anterior.

En resumen, En la fase de estudio, en la ventana temporal de 180-300 ms, encontramos efecto principal de TCM en amplitud. Al aumentar TCM, aumentó la amplitud tanto en N2, en electrodos posteriores, como en P2, en electrodos anteriores. Además, en P2 la amplitud en electrodos centrales fue mayor que en electrodos izquierdos o derechos. En la ventana temporal de 400-600 ms, encontramos efecto principal de TCM, tanto en P3 posterior como N3 anterior. La amplitud disminuyó al aumentar TCM. Además, en P3 posterior la amplitud en electrodos centrales fue más positiva que en electrodos izquierdos o derechos.

2.2.2. Intervalo de retención

En la Figura 3.11 aparecen las gráficas de los potenciales evocados del promedio de amplitud de cada uno de los grupos de electrodos posteriores y anteriores para el TCM. El promedio de amplitud para cada una de las condiciones experimentales de la onda lenta negativa posterior y la onda lenta positiva anterior aparecen en la Tablas III.5 del Apéndice II. Para una mejor

visualización de las diferencias de TCM, en las gráficas aparece el ajuste lineal de las ondas.

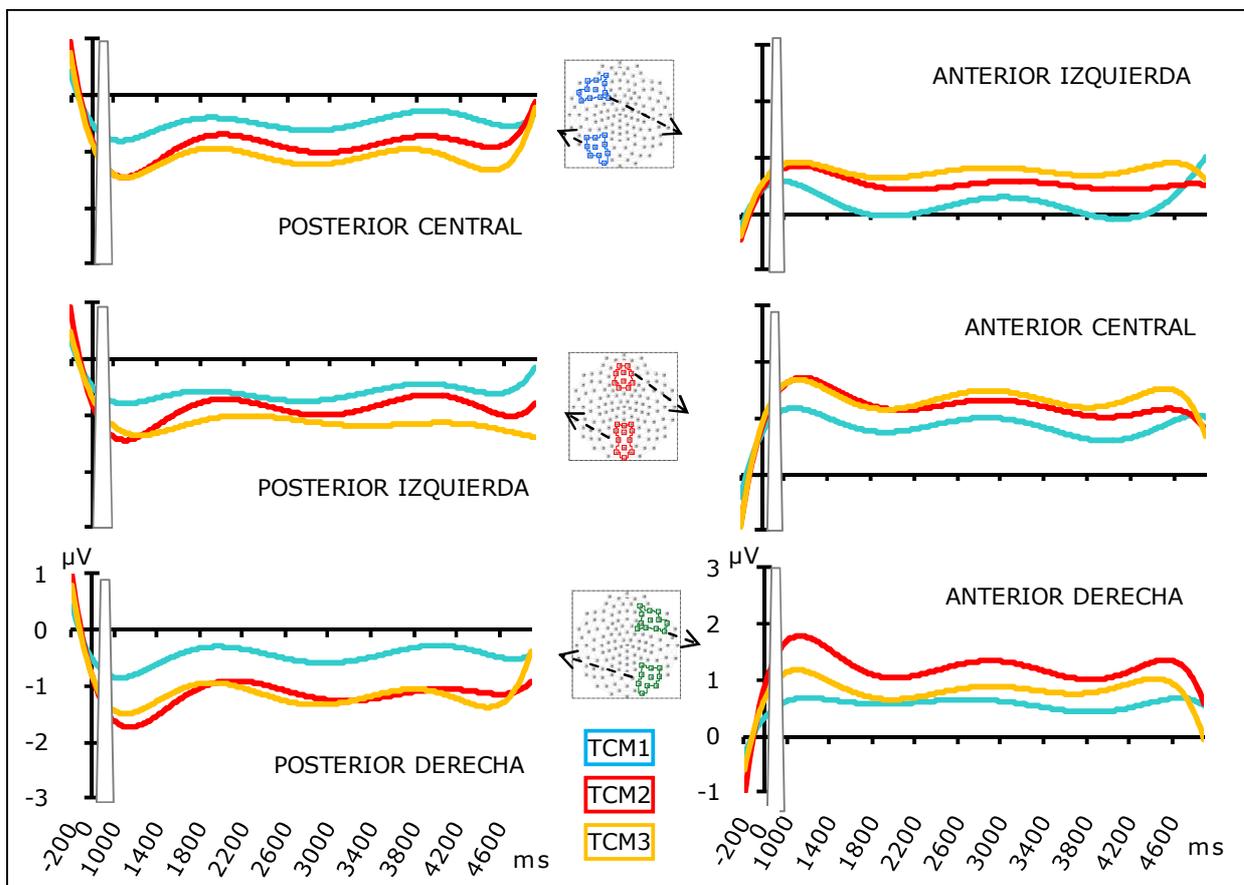


Figura 3.11. Representación gráfica de los potenciales corticales asociados con TCM para cada grupo utilizado en el análisis dentro del grupo posterior y grupo anterior. Cada gráfica es el promedio de cada grupo de electrodos. Leyenda: TCM 1 en color azul, TCM 2 en color rojo y TCM 3 en color amarillo.

Onda lenta negativa posterior. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 2,21; $F(1,29;19,33)= 6,67$; $p= ,012$), como aparece en la Figura 3.12.

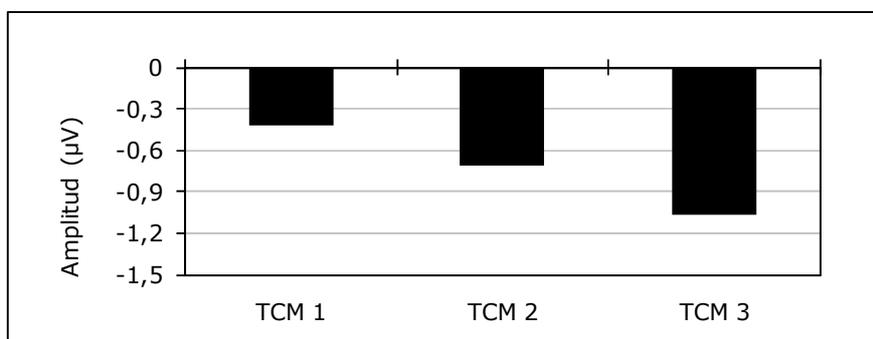


Figura 3.12. Efecto de TCM en amplitud en la onda lenta posterior.

Al aumentar el número de posiciones a memorizar la amplitud se hizo más negativa. Al analizar la tendencia encontramos que la tendencia lineal fue

significativa ($MCE= 2,55$; $F(1,15)= 11,57$; $p= ,004$), pero la cuadrática no ($p> ,1$).

Onda lenta positiva anterior. Encontramos efecto principal de TCM ($MCE= 1,88$; $F(1,27;19,10)= 4,77$; $p= ,033$). La amplitud se hizo más positiva al aumentar el TCM (Figura 3.25). Al analizar la tendencia (Figura 3.13) encontramos que la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 2,23$; $F(1,15)= 8,04$; $p= ,012$), pero la cuadrática no ($p> ,1$).

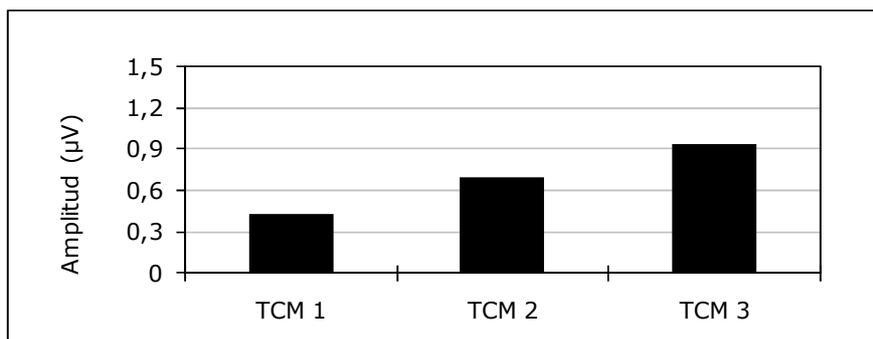


Figura 3.13. Efecto de TCM en amplitud en la onda lenta anterior.

En resumen, en el intervalo de retención, encontramos efecto de TCM tanto en electrodos posteriores como anteriores. La amplitud en electrodos posteriores se hizo más negativa, y en electrodos anteriores más positiva al aumentar TCM.

2.2.3. Fase de búsqueda

En la Figura 3.14 aparecen las gráficas de los potenciales evocados del promedio de amplitud de cada uno de los grupos de electrodos para el TCP.

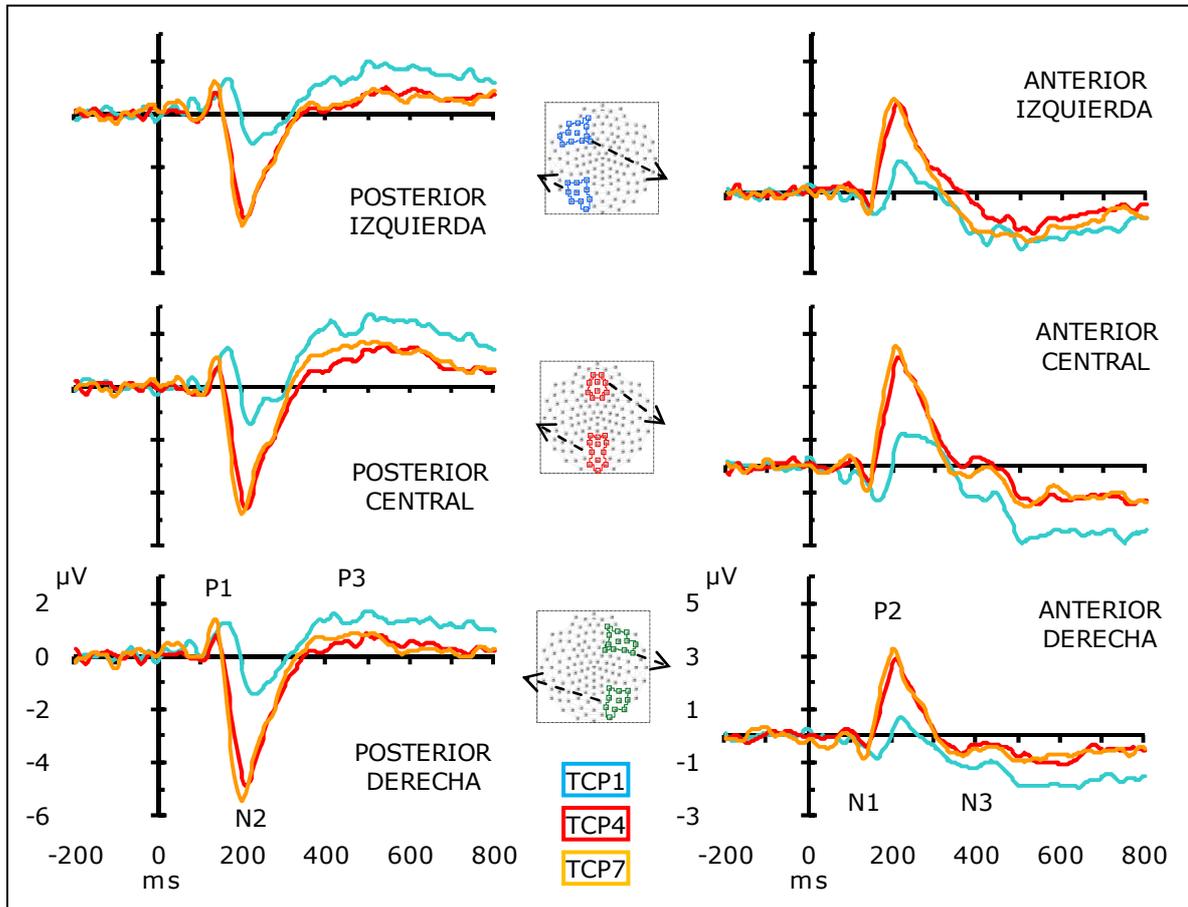


Figura 3.14. Representación gráfica de los potenciales evocados asociados con TCP para cada grupo utilizado en el análisis dentro del grupo posterior y del grupo anterior en la fase de búsqueda. Cada gráfica es el promedio de todos los canales de cada grupo de electrodos, izquierdos, centrales y derechos, respectivamente. Leyenda: TCP 1 en color azul, TCP 4 en color rojo y TCP 7 en color amarillo.

2.2.3.1. Ventana temporal 100-180 ms

El promedio de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales en los componentes P1 posterior y N1 anterior aparecen en las Tablas III.6 y III.7 (respectivamente) del Apéndice II.

P1 posterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCM ($MCE=446$; $F(1,98;33,72)=12,35$; $p=,022$). Al aumentar el conjunto de posiciones a memorizar aumentó la latencia (Figura 3.15).

Al analizar la tendencia encontramos que la tendencia lineal fue significativa ($MCE=411,48$; $F(1,17)=8,73$; $p=,009$), pero no la cuadrática ($p>,1$).

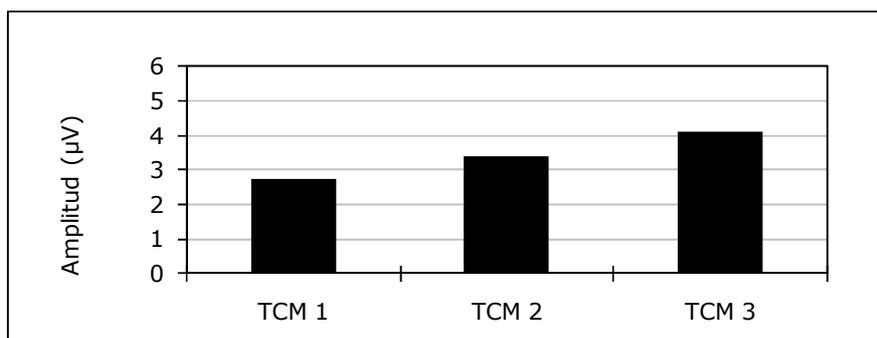


Figura 3.15. Efecto de TCM en latencia en P1 posterior.

Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 488; $F(1,43;24,39)= 12,35$; $p < ,001$).

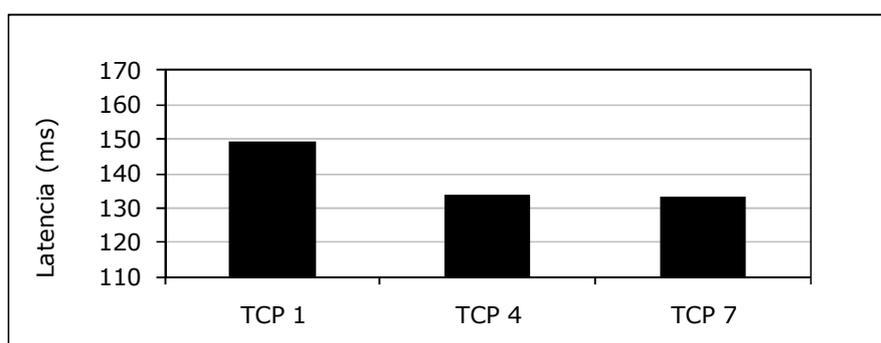


Figura 3.16. Efecto de TCP en latencia en P1 posterior.

La latencia disminuyó al aumentar el número de posiciones sobre las que buscar (Figura 3.16). Al analizar la tendencia encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 555,89; $F(1,17)= 36,65$; $p < ,001$), así como la cuadrática (MCE= 420,15; $F(1,17)= 14,44$; $p = ,001$). Al hacer comparaciones entre niveles encontramos que la latencia en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 (MCE= 712,77; $F(1,17)= 27,04$; $p < ,001$), y que entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

Componente P1 posterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 4,07; $F(1,47;25,02)= 8,99$; $p = ,003$), de manera que al aumentar el número de posiciones sobre las que buscar la amplitud se hizo menor (Figura 3.17). Al realizar análisis de tendencia encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 3,50; $F(1,17)= 17,62$; $p < ,001$) y la cuadrática fue marginalmente significativa (MCE= 6,15; $F(1,17)= 3,67$; $p = ,072$). Al hacer comparaciones entre niveles encontramos que la amplitud en TCP 1 fue más positiva que en TCP 4 (MCE= 6,75; $F(1,17)= 9,59$; $p = ,007$), y entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

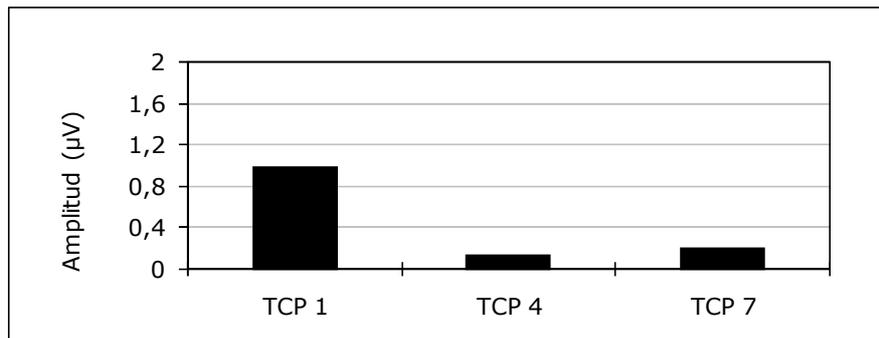


Figura 3.17. Efecto de TCP en amplitud en P1 posterior.

Componente N1 anterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 332; $F(1,88;31,99)= 40,10$; $p < ,001$). La latencia disminuyó al aumentar el número de posiciones sobre las que responder (Figura 3.18). Al analizar la tendencia en TCP encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 276,95; $F(1,17)= 80,14$; $p < ,001$), así como la cuadrática (MCE= 387,35; $F(1,17) 11,47$; $p = ,003$). Al hacer comparaciones entre niveles encontramos que la latencia en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 (MCE= 413,66; $F(1,17)= 42,27$; $p < ,001$)-Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

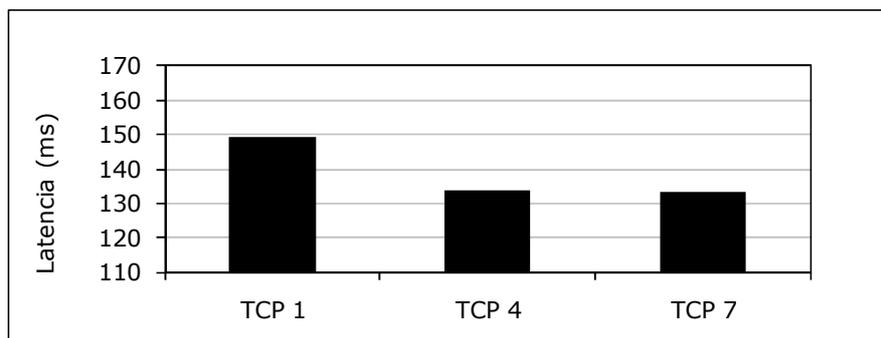


Figura 3.18. Efecto de TCP en latencia en N1 anterior.

Componente N1 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal significativo de TCP (MCE= 9,31; $F(1,62;27,50)= 21,94$; $p < ,001$). Como aparece en la Figura 3.19, la amplitud se hizo menor al aumentar el número de posiciones sobre las que responder. Al analizar la tendencia tanto la tendencia lineal como la cuadrática resultaron significativas (MCE= 13,76; $F(1,17)= 26,89$; $p < ,001$; y MCE= 4,86; $F(1,17)= 7,92$; $p = ,011$, respectivamente). Al comparar los niveles entre sí encontramos que la amplitud en TCP 1 fue más negativa que en TCP 4 (MCE= 7,81; $F(1,17)= 28,788$ $p < ,001$), y entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

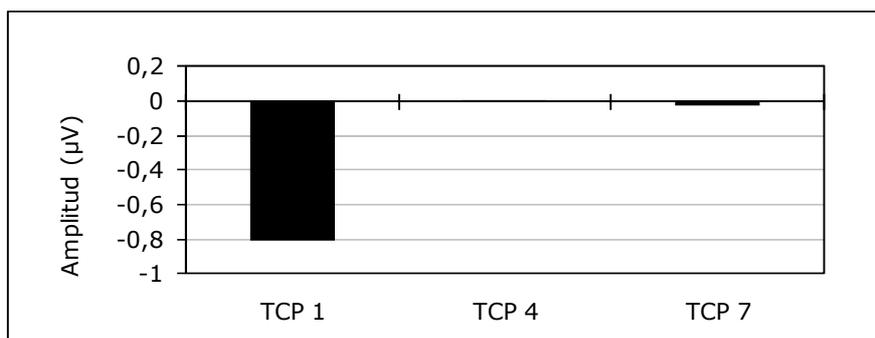


Figura 3.19. Efecto de TCP en amplitud en N1 anterior.

2.2.3.2. Ventana temporal 180-300 ms

El promedio de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales en los componentes N2 posterior y P2 anterior aparecen en las Tablas III.8 y III.9 (respectivamente) del Apéndice II.

Componente N2 posterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 726; $F(1,48;25,18)= 33,52$; $p < ,001$). Como aparece en la Figura 3.20 la latencia disminuyó al aumentar el número de posiciones sobre las que responder.

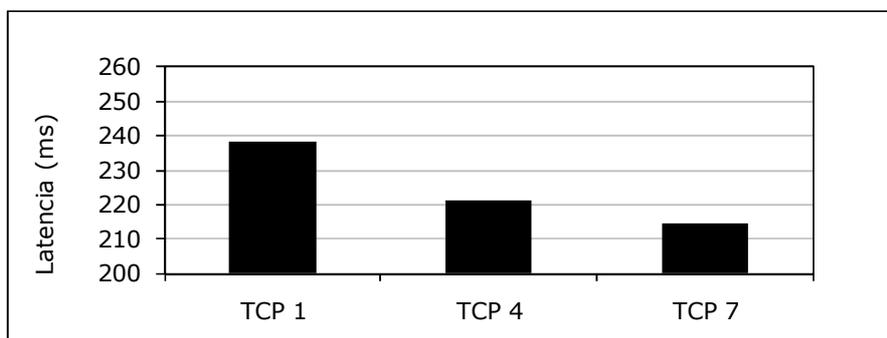


Figura 3.20. Efecto de TCP en latencia en N2 posterior.

Al analizar la tendencia en TCP encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 959,69; $F(1,17)= 47,77$; $p < ,001$), así como la cuadrática (MCE= 491,93; $F(1,17)= 5,72$; $p = ,028$). Al hacer comparaciones entre niveles encontramos que la latencia en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 (MCE= 920,78; $F(1,17)= 25,43$; $p < ,001$). En TCP 4 fue mayor que en TCP 7 (MCE= 296,96; $F(1,17)= 12,56$; $p = ,002$).

Componente N2 posterior: amplitud. Encontramos efecto principal significativo de TCP (MCE= 11,55; $F(1,39; 23,63)= 26,21$; $p < ,001$). A medida que aumentó el TCP la amplitud se hizo más negativa, como se ve en la Figura 3.21. Al analizar la tendencia entre los tres niveles de TCP encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 18,31; $F(1,17)= 22,36$; $p < ,001$), así

como la cuadrática (MCE= 4,79; $F(1,17)= 40,92$; $p < ,001$). Al hacer comparaciones entre niveles encontramos que la amplitud en TCP 4 fue más negativa que en TCP 1 (MCE= 11,27; $F(1,17)= 43,87$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

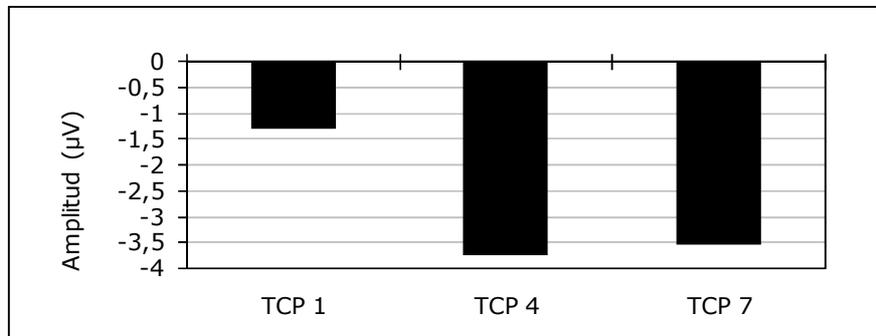


Figura 3.21. Efecto de TCP en amplitud en N2 posterior.

Encontramos efecto marginal de POSICIÓN (MCE= 5,37; $F(1,81; 30,79)= 3,10$; $p = ,063$), que se puede ver en la Figura 3.22. Encontramos que en electrodos derechos la amplitud fue más negativa que en electrodos izquierdos (MCE= 6,85; $F(1,17)= 4,81$; $p = ,042$). Entre electrodos izquierdos y centrales, y centrales y derechos no hubo diferencias ($p > ,1$).

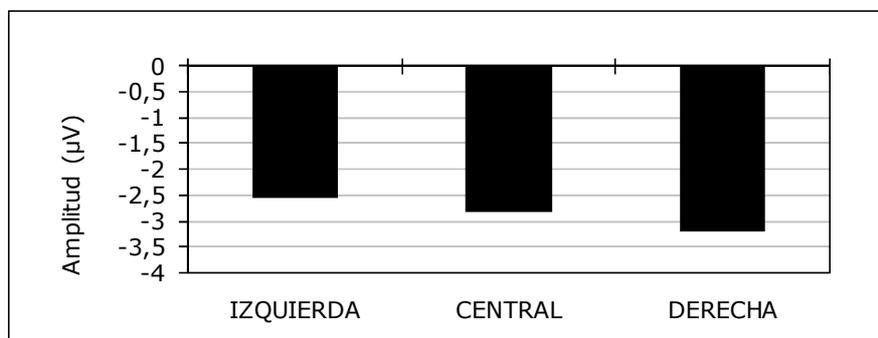


Figura 3.22. Efecto de POSICIÓN en amplitud en N2 posterior.

Componente P2 anterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 494; $F(1,57;26,70)= 33,52$; $p < ,001$). La latencia disminuyó al aumentar el número de posiciones sobre las que buscar (Figura 3.23). Al analizar la tendencia encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 621,03; $F(1,17)= 66,80$; $p < ,001$), así como la cuadrática (MCE= 366,40; $F(1,17)= 9,55$; $p = ,007$).

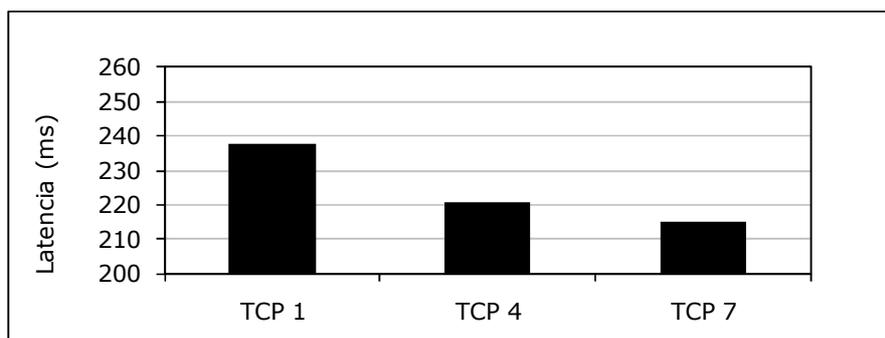


Figura 3.23. Efecto de TCP en latencia en P2 anterior.

Al hacer comparaciones entre niveles encontramos que la latencia en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 ($MCE= 624,52$; $F(1,17)= 37,53$; $p < ,001$). En TCP 4 fue mayor que en TCP 7 ($MCE= 235,61$; $F(1,17)= 10,86$; $p = ,004$).

Encontramos efecto principal de POSICIÓN ($MCE= 572$; $F(1,99;33,81)= 33,52$; $p = ,006$), como se ve en la Figura 3.24. Al analizar las diferencias entre los niveles de POSICIÓN encontramos que en electrodos centrales la latencia fue mayor que en electrodos izquierdos ($MCE= 531,29$; $F(1,15)= 10,93$; $p = ,004$) y derechos ($MCE= 604,01$; $F(1,15)= 7,19$; $p = ,015$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p > ,1$).

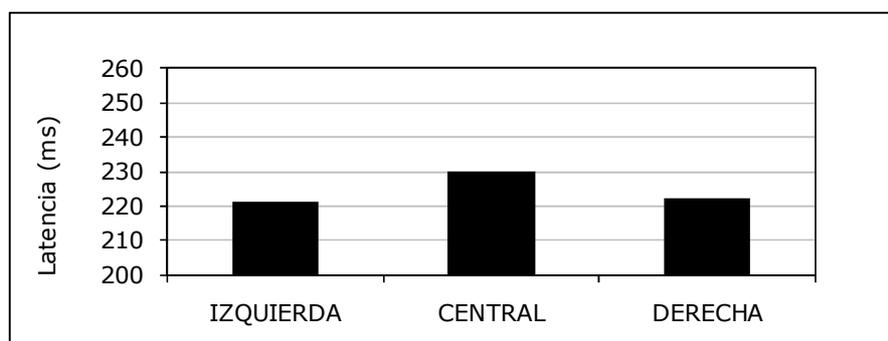


Figura 3.24. Efecto de POSICIÓN en latencia en P2 anterior.

Componente P2 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal significativo de TCP ($MCE= 8,61$; $F(1,41;23,97)= 21,23$; $p < ,001$). La amplitud resultó más positiva al aumentar el número de posiciones sobre las que responder, como aparece en la Figura 3.25.

Al analizar la tendencia en TCP encontramos que tanto la tendencia lineal como la cuadrática resultaron significativas ($MCE= 13,39$; $F(1,17)= 18,76$; $p < ,001$; y $MCE= 3,82$; $F(1,17)= 29,83$; $p < ,001$, respectivamente). Al comparar entre niveles encontramos que la amplitud en TCP 4 fue más positiva que en TCP 1 ($MCE= 8,69$; $F(1,17)= 33,96$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

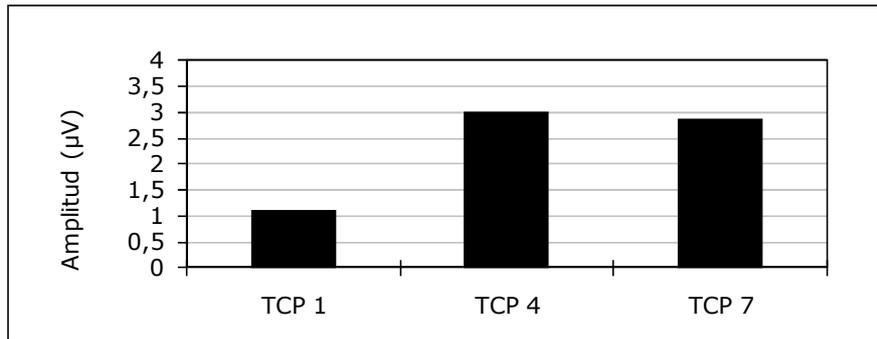


Figura 3.25. Efecto de TCP en amplitud en P2 anterior.

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 1,77; $F(1,96;33,29)= 14,36$; $p < ,001$). El efecto de la amplitud de los electrodos estuvo centralizado (Figura 3.26). Al comparar los distintos niveles entre sí encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue más positiva que en electrodos izquierdos (MCE= 4,55; $F(1,17)= 7,96$; $p = ,012$) y derechos (MCE= 2,09; $F(1,17)= 46,31$; $p < ,001$). La amplitud en electrodos izquierdos fue más positiva que en electrodos derechos (MCE= 2,61; $F(1,17)= 5,64$; $p = ,029$).

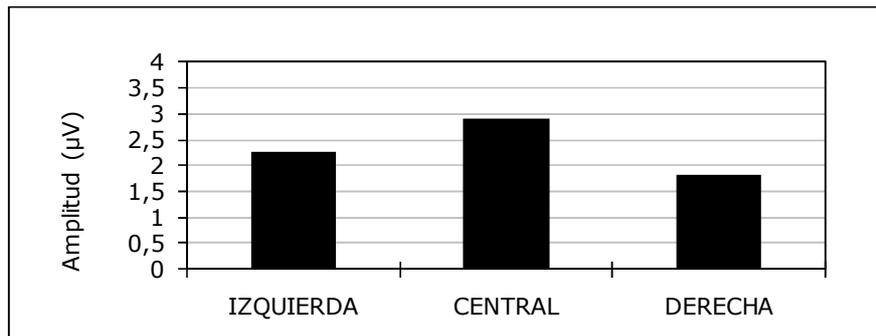


Figura 3.26. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P2 anterior.

2.2.3.3. Ventana temporal 450-750 ms

En la Tabla III. 10 del Apéndice II aparece el promedio de amplitud para cada una de las condiciones experimentales en los componentes P3 posterior y N3 anterior aparecen.

Componente P3 posterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 3,93; $F(1,39;23,64)= 13,93$; $p < ,001$). Como se ve en la Figura 3.27, la amplitud se hizo más negativa al aumentar el número de posiciones sobre las que buscar.

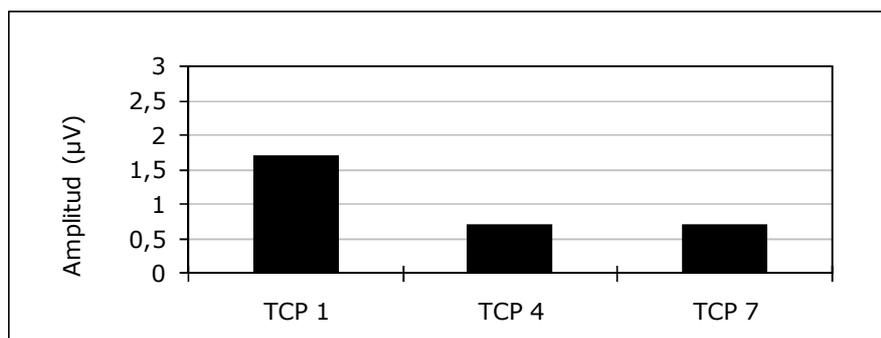


Figura 3.27. Efecto de TCP en amplitud en P3 posterior.

El análisis de tendencia en TCP mostró que tanto la lineal como la cuadrática resultaron significativas (MCE= 1,81; $F(1,17)= 45,06$ $p < ,001$; y MCE= 6,06; $F(1,17)= 4,64$; $p = ,045$, respectivamente). Al comparar los distintos niveles entre sí encontramos que en TCP 4 la amplitud fue más negativa que en TCP 1 (MCE= 6,30; $F(1,17)= 13,17$; $p = ,002$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 1,77; $F(1,96;33,29)= 14,37$; $p < ,001$). El efecto de amplitud se presentó centralizado (Figura 3.28). Al hacer comparaciones entre los niveles encontramos que la amplitud en electrodos izquierdos y derechos fue más negativa que en electrodos centrales (MCE= 1,57; $F(1,17)= 14,77$; $p = ,001$ para izquierdos; y MCE= 1,74; $F(1,17)= 27,94$; $p < ,001$ para derechos). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p > ,1$).

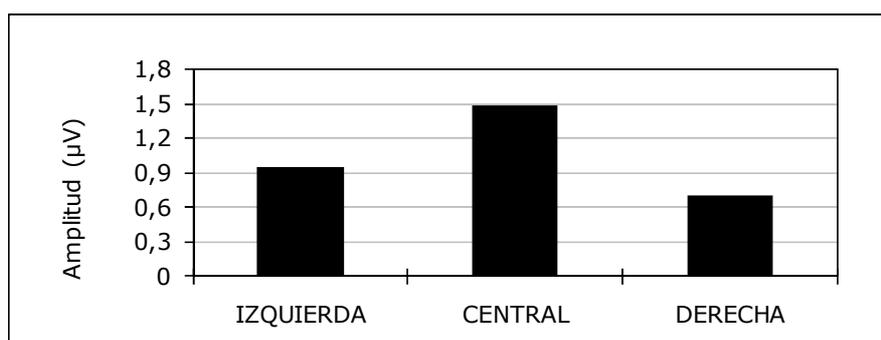


Figura 3.28. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P3 posterior.

Componente N3 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal significativo de TCM (MCE= 6,45; $F(1,27;21,52)= 4,10$; $p < ,046$). Como aparece en la Figura 3.29, la amplitud se hizo más positiva al aumentar el número de posiciones que memorizar

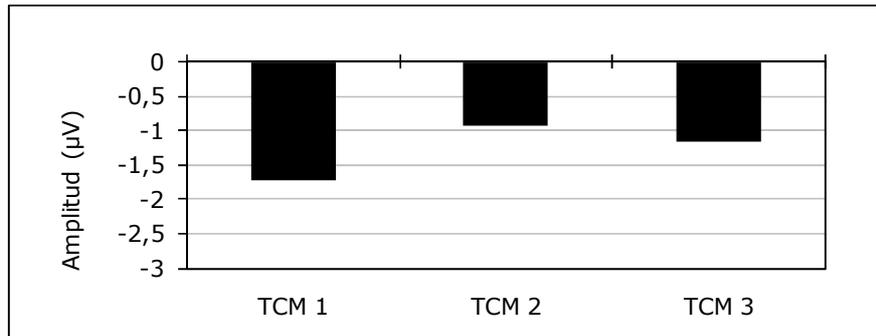


Figura 3.29. Efecto de TCM en amplitud en N3 anterior.

Al analizar la tendencia en TCM encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 1,89; $F(1,17)= 13,44$; $p= ,002$), pero no la cuadrática ($p > ,1$).

Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 4,42; $F(1,27;21,52)= 11,596$; $p= ,001$). La amplitud resultó más positiva al aumentar el número de posiciones sobre las que buscar (Figura 3.30).

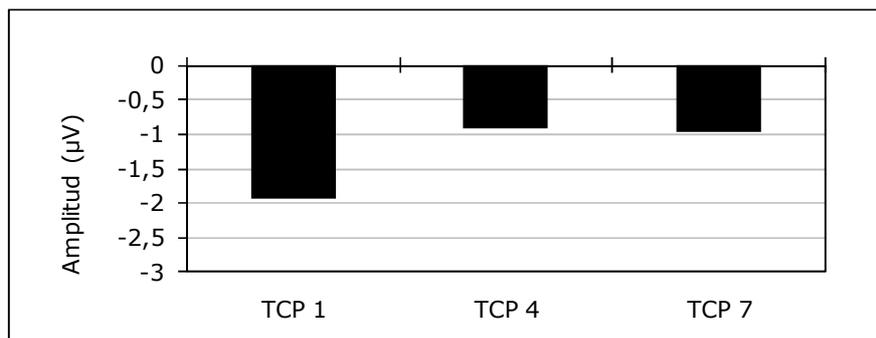


Figura 3.30. Efecto de TCP en amplitud en N3 anterior.

Al analizar la tendencia en TCP encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 1,50; $F(1,17)= 48,94$; $p < ,001$) y la tendencia cuadrática fue marginalmente significativa (MCE= 7,44; $F(1,17)= 4,05$; $p= ,060$). Al comparar los niveles entre sí encontramos que la amplitud en TCP 4 fue más positiva que en TCP 1 (MCE= 6,43; $F(1,17)= 12,72$; $p= ,002$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 2,35; $F(1,83;31,03)= 4,51$; $p= ,021$). El efecto de posición estuvo centralizado, como aparece en la Figura 3.31. Al comparar los distintos niveles de POSICIÓN entre sí encontramos que entre electrodos izquierdos y centrales, e izquierdos y derechos no hubo diferencias en amplitud ($p > ,1$). La amplitud en electrodos centrales fue más negativa que en electrodos derechos (MCE= 1,78; $F(1,17)= 11,66$; $p= ,003$).

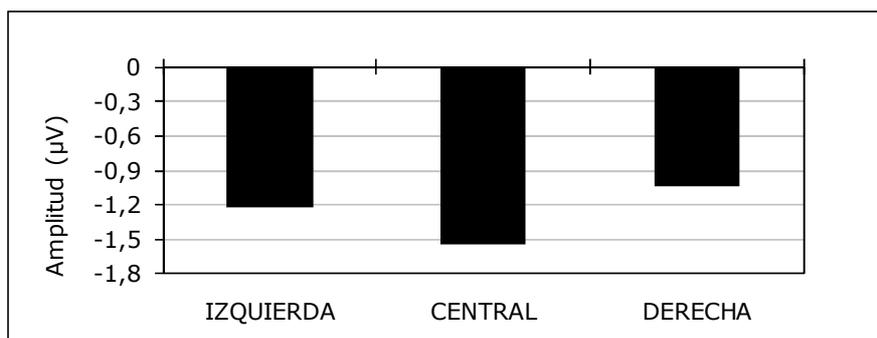


Figura 3.31. Efecto de POSICIÓN en amplitud en N3 anterior.

En resumen, en la fase de búsqueda, en la ventana temporal de 100-180 ms, encontramos efecto de TCM en latencia en P1 posterior, aumentando la latencia al incrementarse TCM. Encontramos efecto de TCP tanto en P1 posterior como N1 anterior, de modo que la latencia disminuyó al aumentar TCP. En amplitud encontramos efecto de TCP tanto en P1 posterior como N1 anterior, de modo que la amplitud se hizo menor. En la ventana temporal de 180-300 ms, tanto en N2 posterior como P2 anterior encontramos efecto de TCP en latencia, disminuyendo la latencia al aumentar TCP; y en amplitud, aumentando la amplitud al incrementarse TCP. Además, encontramos efecto de POSICIÓN en la latencia de P2 anterior, de modo que la latencia fue mayor en electrodos centrales que en izquierdos y derechos. En amplitud también encontramos efecto de POSICIÓN. En N2 posterior la amplitud en electrodos derechos fue mayor que en izquierdos. En P2 anterior la amplitud en electrodos centrales fue mayor que en electrodos izquierdos o derechos. En la ventana temporal de 450-750 ms, encontramos efecto de TCP en P3 posterior y N3 anterior. La amplitud disminuyó al aumentar TCP. Además, en N3 anterior la amplitud disminuyó al aumentar TCM. Encontramos efecto de POSICIÓN tanto en P3 posterior como N3 anterior, de modo que la amplitud en electrodos centrales fue mayor que en electrodos izquierdos o derechos.

2.3. Mapas topográficos y estimación de dipolos

A continuación se presentan los mapas topográficos y la estimación de dipolos para la fase de estudio, intervalo de retención y fase de búsqueda. Para la localización de dipolos se utilizó la herramienta GeoSource implementada en la versión 4.3.1 del programa Net Station (EGI). El modelo de cabeza y la solución inversa utilizados fueron los mismos que en el Experimento 1. Dado que la herramienta GeoSource da una estimación de los 2447 dipolos ordenados por intensidad muestra a muestra, elegimos los 12 dipolos más

intensos en las ventanas temporales que se detallan a continuación. Estas ventanas fueran las mismas en las que se construyeron los mapas topográficos de la amplitud promedio de esas ventanas.

En la fase de estudio y fase de búsqueda nos centramos en el componente N2/P2, en la ventana temporal de 180 a 300 ms, dado que el efecto principal de las variables manipuladas lo encontramos en este componente. Dentro de esta ventana, analizamos el intervalo de la media adaptativa de la amplitud, es decir 40 ms centrados en la latencia promedio en ms del momento temporal en el que la amplitud tanto en N2 como P2 fue máxima. En la fase de estudio, los mapas topográficos representan TCM 3 y TCM 1 y su diferencia (TCM3-1). La estimación de dipolos la centramos en esa diferencia. En la fase de búsqueda los mapas topográficos representan TCP 7 y TCP 1 y su diferencia (TCP7-1). Como en la fase de estudio, la estimación de dipolos se centró en la diferencia.

Los mapas topográficos del intervalo de retención representan el promedio de la ventana temporal de 4 segundos para TCM 3 y TCM 1 y su diferencia (TCM3-1), mientras que la estimación de dipolos se centra en esa diferencia, pero en cada uno de los 4 segundos del intervalo de retención.

2.3.1. Fase de estudio

En la Figura 3.32 aparecen los mapas topográficos del promedio de amplitud de la ventana temporal de 212 a 252 ms (latencia promedio de los componentes N2/P2 a los 232 ms) en la fase de estudio para TCM 3, TCM 1 y su diferencia.

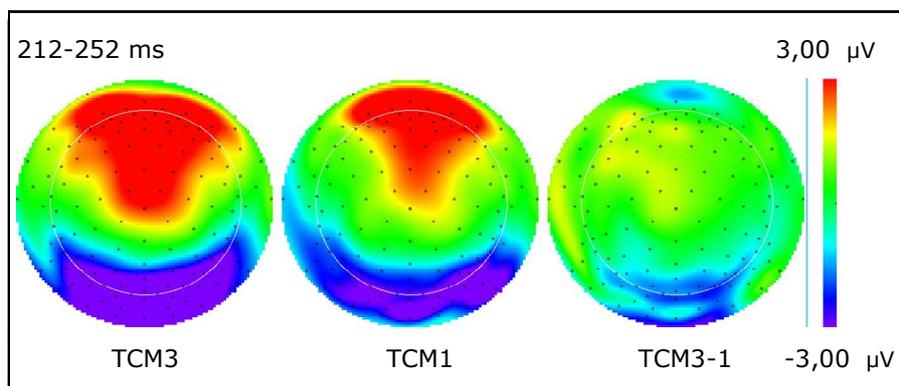


Figura 3.32. Mapas topográficos promedio de amplitud (μV) de la ventana utilizada para calcular la media adaptativa en el análisis de los componentes N2/P2 en la fase de estudio, para TCM 3, TCM 1, y la diferencia entre ambas, TCM 3-1.

Como podemos ver, a medida que aumentó el TCM la amplitud en zonas posteriores se hizo más negativa, y en zonas anteriores más positiva. La diferencia entre condiciones mantuvo la negatividad en zonas posteriores.

En la estimación de dipolos para TCM3-1 (Figura 3.33) analizamos la misma ventana temporal de 212 a 252 ms utilizada en los mapas topográficos.

Hasta los 228 ms la mayoría de los dipolos se presentaron en el giro medial del lóbulo frontal (AB 11 y 10), tanto derecho como izquierdo. A partir de los 228 ms, empezaron a aparecer dipolos temporales que se hicieron predominantes hasta el final de la ventana. En concreto, el giro temporal medio derecho (AB 37 y 21), el giro fusiforme derecho (AB 37 y 20) y el giro temporal inferior derecho (AB 20).

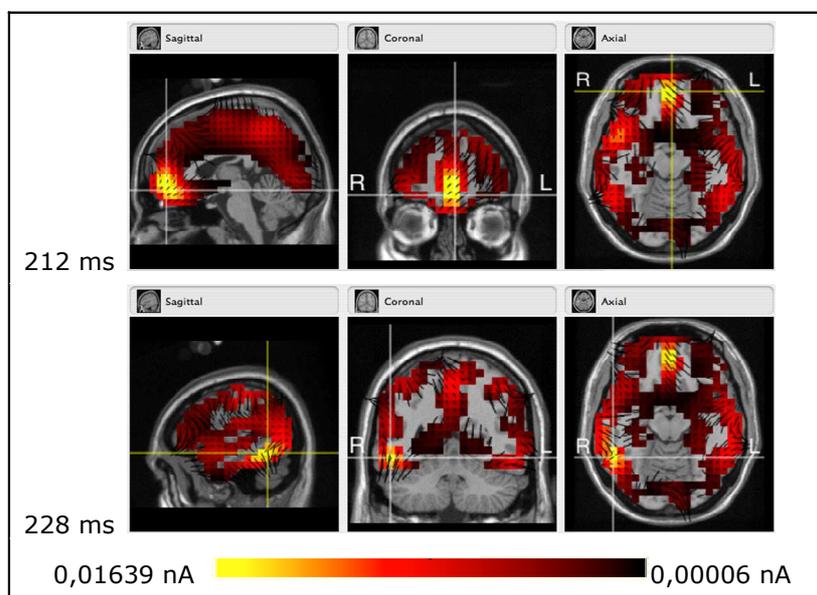


Figura 3.33. Distribución de dipolos modelados para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 en la ventana temporal de análisis de los componentes N2/P2 de la fase de estudio. El punto de unión de las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor intensidad. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

2.3.2. Intervalo de retención

En la Figura 3.34 aparecen los mapas topográficos del promedio de amplitud de la ventana temporal de la onda lenta negativa en el intervalo de retención para TCM 3, TCM 1 y su diferencia.

Como podemos ver en la figura siguiente, a medida que aumenta el TCM la amplitud en zonas posteriores se hace más negativa, y más positiva en zonas anteriores. La diferencia mantiene la negatividad posterior y la positividad anterior.

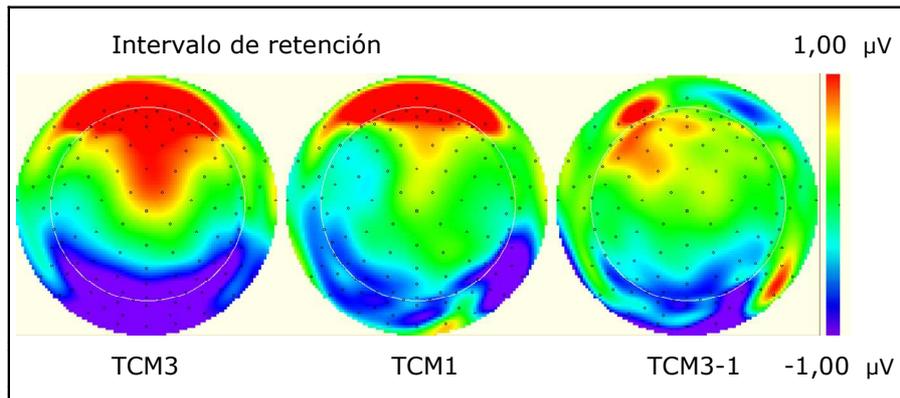


Figura 3.34. Mapas topográficos de amplitud (μV) para TCM 3, TCM 1, y la diferencia entre ambas, TCM 3-1. El mapa representa el promedio de la ventana temporal utilizada en el análisis de la onda lenta negativa en el intervalo de retención.

Para la estimación de dipolos en el intervalo de retención (Figura 3.35), analizamos la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 en el promedio de cada uno de los 4 segundos del intervalo de retención.

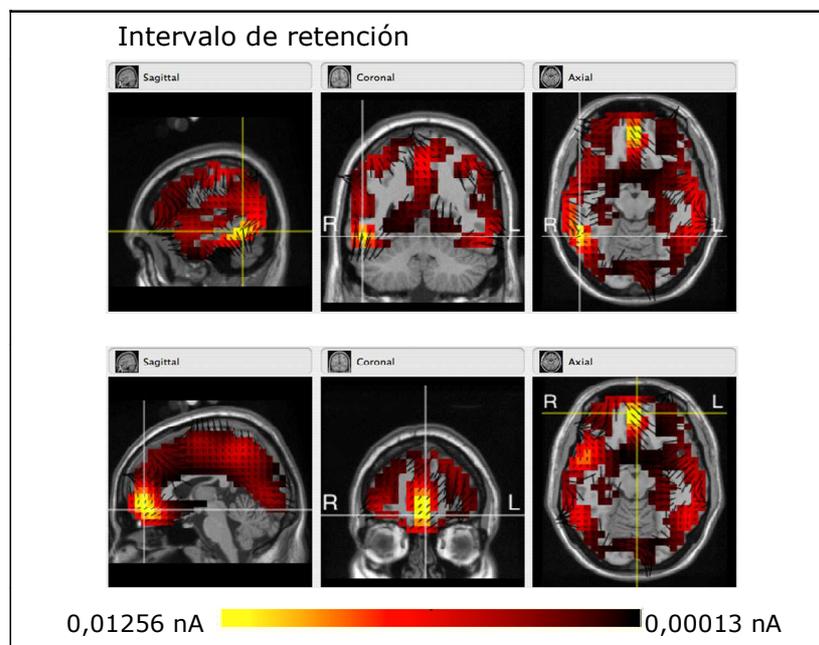


Figura 3.35. Distribución de dipolos modelados para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 en la ventana temporal del intervalo de retención. El punto de unión de las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor intensidad. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

En cada una de los cuatro segundos los dipolos con mayor intensidad aparecieron en las mismas zonas. En concreto, en el giro temporal medio derecho (AB 37 y 21), el giro fusiforme derecho (AB 37) y el giro temporal inferior derecho (AB 37), así como en el giro orbital izquierdo y derecho (AB 11) y el giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 11). En el segundo y cuarto segundos también aparecieron dipolos occipitales, en el giro lingual izquierdo y derecho (AB 18 y 17).

2.3.3. Fase de búsqueda

En la Figura 3.36 aparecen los mapas topográficos del promedio de amplitud de la ventana temporal de 200 a 240 ms (latencia promedio de los componentes N2/P2 a los 220 ms), para TCP 7, TCP 1 y su diferencia en la fase de búsqueda.

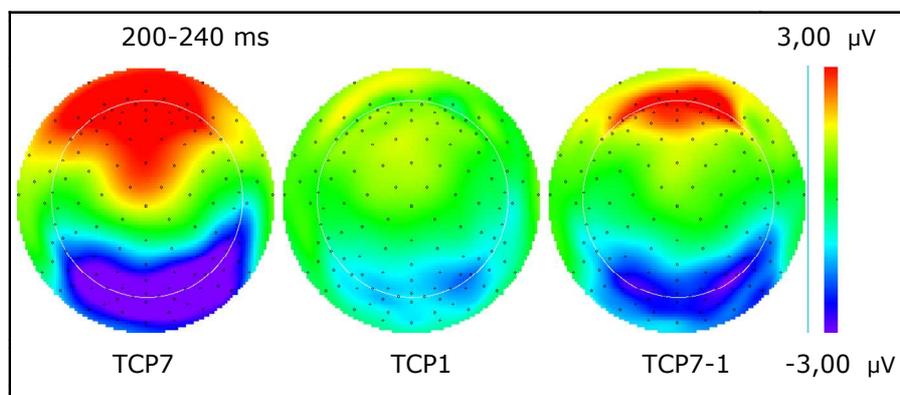


Figura 3.36. Mapas topográficos promedio de amplitud (μV) de la ventana utilizada para calcular la media adaptativa en el análisis de los componentes N2/P2, para TCP 7, TCP 1, y la diferencia entre ambas, TCP 7-1.

A medida que aumenta el TCP, la amplitud es más negativa en zonas posteriores, y más positiva en zonas anteriores. La diferencia mantiene la negatividad posterior, y la positividad anterior.

Para la estimación de dipolos en la fase de búsqueda para TCP7-1, que aparece en la Figura 3.37, usamos la ventana temporal de 200 a 240 ms. A partir de los 200 ms, y hasta los 224 ms, los dipolos con más intensidad aparecieron en áreas occipitales, en concreto en el giro lingual izquierdo y derecho (AB 18 y 17) y el cuneus (AB 17 y 23). A los 224 ms la mayoría de estos dipolos son sustituidos por dipolos en el giro frontal superior y medio derecho (AB 10), así como el giro temporal medio izquierdo y derecho (AB 37), y giro fusiforme derecho (AB 37) y el precuneus del lóbulo parietal izquierdo (AB 7). Desde los 228 ms, y hasta el final de la ventana, los dipolos aparecen en el giro frontal superior derecho (AB 10), el giro frontal medial derecho (AB 10 y 11) y el giro frontal inferior izquierdo y derecho (AB 10).

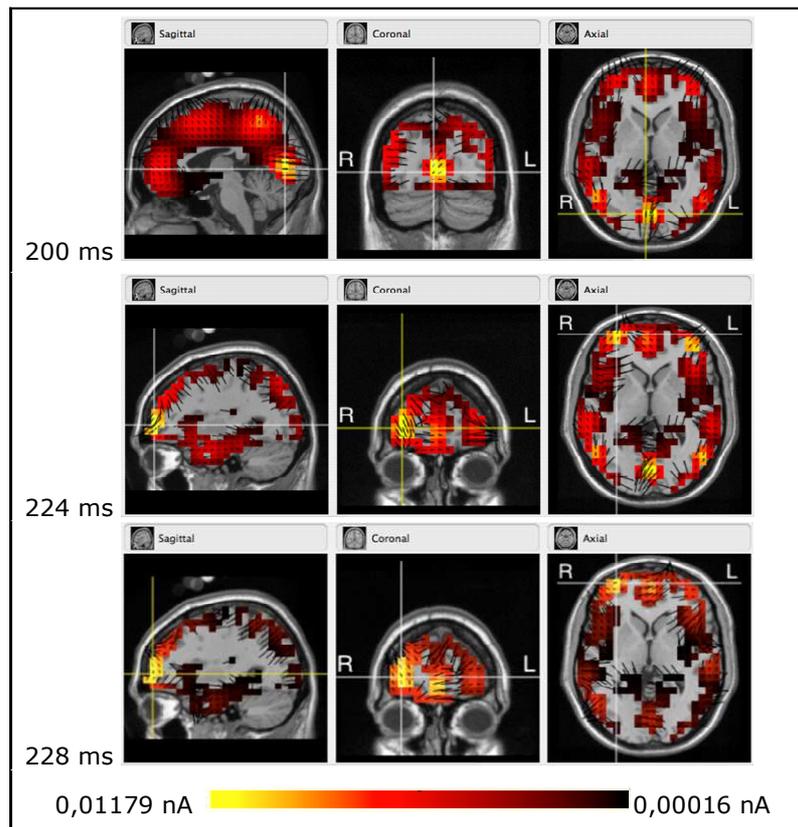


Figura 3.37. Distribución de dipolos modelados para la diferencia entre TCP 7 y TCP 1 en la ventana temporal de análisis de los componentes N2/P2 de la fase de búsqueda. El punto de unión de las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor intensidad. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

3. DISCUSIÓN

Como en el Experimento 2, en los resultados comportamentales encontramos efecto tanto de TCM como de TCP, en precisión y en tiempo de reacción. A medida que aumentó el número de posiciones a memorizar o sobre las que responder, disminuyó la precisión, independientemente de la otra variable. En el caso del tiempo de reacción, como en el experimento anterior, encontramos efectos principales de TCM y TCP, aumentando al incrementar el tamaño del conjunto de una y otra variable. También encontramos interacción, pero como en el experimento anterior no es el tipo de interacción esperada si los procesos implicados fueran los mismos, de acuerdo con la lógica de los factores aditivos: en TCM 3 aparece una tendencia cuadrática negativa entre los niveles de TCP que no aparece ni en TCM 1 ni TCM 2. De este modo, igual que concluíamos en el Experimento 2, los resultados comportamentales, de acuerdo con la lógica de factores aditivos, nos llevan a pensar las variables independientes manipuladas afectan a procesos diferentes.

Datos Electrofisiológicos: Análisis de Componentes

Fase de Estudio

En cuanto a los datos electrofisiológicos, los resultados de los principales componentes encontrados en el experimento muestran una estructura clara. En la fase de estudio la única variable dependiente que se vio afectada por las manipulaciones experimentales fue la amplitud, ya que no encontramos efectos en la latencia de los componentes N2 posterior y P2 anterior. Por lo que respecta a la amplitud, el efecto fundamental se localiza en la ventana comprendida entre los 180 y los 300 ms, en los componentes N2 y P2 cuyos picos máximos se localizaron en torno a los 233 y 235 ms, respectivamente. En esta ventana temporal, la única variable experimentalmente manipulada que produce un cambio sistemático en amplitud es TCM. A medida que el tamaño del conjunto aumenta, la amplitud de los componentes se hace mayor. No apareció efecto alguno de TCP ni interacción alguna entre ambas variables. Resulta interesante comprobar que el análisis de la amplitud en esta ventana temporal también arrojó un efecto significativo relacionado con la posición de los electrodos. Este efecto se localizó en los electrodos anteriores, en el componente P2, y mostró una mayor amplitud en los electrodos centrales que en los electrodos lateralizados tanto a la derecha como a la izquierda. En la literatura previa relacionada con memoria de trabajo espacial, el único estudio que hace mención de un N200 posterior y P200 anterior, relacionados con el estímulo de memoria y con una latencia similar a la que nosotros encontramos es el de Ruchkin et al. (1992). Sin embargo, en este estudio la amplitud de estos componentes no está modulada por la carga en el conjunto de memoria.

El análisis de la amplitud media de la ventana comprendida entre los 400 y los 600ms (N3 posterior y P3 anterior) mostró unos resultados semejantes a los encontrados en la ventana anterior. No hubo efecto alguno de TCP pero sí de TCM, disminuyendo la amplitud de dichos componentes en función del tamaño del conjunto de presentación. Tampoco apareció interacción alguna entre las variables manipuladas. La amplitud del componente P3 de esta ventana también mostró un efecto debido a la posición de los electrodos, siendo más positiva en los electrodos centrales que en los lateralizados a la derecha o a la izquierda. Sin embargo, la localización de este efecto fue más posterior que en la ventana anterior.

Como hemos comentado previamente, McEvoy et al. (1998) encontraron un efecto similar: una disminución en la amplitud del componente a medida que aumenta el número de posiciones a memorizar. Sin embargo otros estudios no han encontrado efecto alguno en la amplitud del componente producido por el aumento de la carga en memoria (Mecklinger y Pfeifer, 1996; Ruckin et al., 1992). Curiosamente estos investigadores utilizaron una tarea de memoria de reconocimiento semejante a la utilizada en nuestra investigación, mientras que la tarea empleada por McEvoy et al. (1998) fue una tarea n-back. Lo que nuestra tarea tiene en común con la de Mac Evoy y colaboradores y, a su vez, difiere de las de Mecklinger y Pfeifer (1996) y de Ruckin et al. (1992) fue la relación entre las posiciones de los estímulos en la fase de estudio y su localización en la fase de prueba. En nuestro caso los sujetos tenían que memorizar entre una y tres posiciones en la fase de estudio y durante fase de prueba, en los ensayos positivos, un único estímulo de los presentados ocupaba la misma posición que en la fase de estudio. De esta forma, al igual que en la tarea n-back de McEvoy y colaboradores los participantes tenían que memorizar la posición específica de cada uno de los estímulos en pantalla. En la tarea utilizada por Mecklinger y Pfeifer, y Ruckin et al., tanto el estímulo de memoria como el estímulo de prueba fueron un patrón bidimensional formado por 3, 4 o 5 elementos no conectados entre sí y los participantes tenían que detectar si en el patrón de prueba alguno de los elementos había cambiado de posición respecto a la fase de estudio. Es posible que en este caso los participantes no estén memorizando la localización específica de cada elemento del patrón, sino la configuración o forma general que produce el conjunto.

Intervalo de Retención

En la fase de mantenimiento, durante el intervalo de retención, tanto la amplitud de la onda lenta negativa posterior como la de la onda lenta positiva anterior mostraron un claro efecto del TCM. La amplitud de las ondas aumentó en función de TCM pero no hubo ningún efecto de TCP ni interacción entre las dos variables. Este resultado es similar al encontrado en la literatura previa sobre el efecto de la carga en la memoria de trabajo espacial. La onda lenta negativa se ha asociado con el mantenimiento de la información en memoria de trabajo, dado que aparece durante el intervalo de retención, y que la modulación de su amplitud por la carga es independiente de la modalidad sensorial de la tarea (v.gr. Mecklinger y Pfeifer, 1996; Rucking et al., 1992,

1995, 1997). Además McEvoy et al. (1998) la ha relacionado con la actividad demorada encontrada en registros unicelulares realizados en monos durante la ejecución de tareas de comparación demorada a la muestra (Fuster y Alexander, 1971). La actividad demorada se refiere a la actividad de disparo sostenida que mantienen ciertas neuronas en la corteza, por encima de la línea de base, y que se mantiene durante el intervalo de retención, cuando el estímulo de memoria ya no está presente y hasta que el estímulo de prueba aparece. El hecho de que esta actividad sea específica a la posición o identidad del estímulo mantenido en memoria (Miller y Desimone, 1994) y que se reduzca en ensayos en los que la ejecución comportamental es más lenta o es incorrecta (Funahashi et al., 1989; Sakai et al., 2002) llevan a pensar que es este tipo de actividad neural la que contribuye al mantenimiento de la representación de la información almacenada en memoria durante el intervalo de retención. Las áreas corticales en las que se ha encontrado esta actividad demorada selectiva a la memorización de la posición han sido el área intraparietal lateral (Constantinidis y Steinmetz, 1996; Gottlieb et al., 1998), y la corteza prefrontal (Rao et al., 1997), aunque esta última también es sensible a la identidad del estímulo, o a aspectos más complejos de la representación en memoria, como categorías relevantes para la tarea (Freedman et al., 2001) o el mantenimiento de reglas abstractas (Wallis et al., 2001).

Otros autores (Drew et al., 2006; McCollough et al., 2007) proponen que esta onda negativa podría implicar otros procesos más generales de la tarea además del mantenimiento de la información en memoria de trabajo, como procesos de preparación ante el estímulo que va a aparecer a continuación (CNV, *contingent negative variation*). Sin embargo, Ruchkin y colaboradores (1995, 1990) indican que las ondas lentas asociadas con el mantenimiento de la información, presentan una topografía distinta que las de las ondas lentas asociadas con procesos preparatorios y además, son moduladas por demandas de la tarea –carga, en este caso– que no afectan a la CNV, por lo que son negatividades relacionadas con procesos distintos.

Fase de Búsqueda

En la fase de búsqueda los resultados presentaron un patrón diferente al encontrado en las dos fases anteriores. Por una parte aparecieron efectos significativos en unos componentes tempranos, P1 posterior y N1 anterior, entre los 100 y los 180 ms con una latencia promedio de 139 ms que no habían

aparecido en la fase de estudio. Por otra parte, tanto estos componentes tempranos como los componentes P2 y N2 de la ventana temporal 180 a 300 ms, con una latencia promedio de 225 ms, mostraron efectos tanto en latencia, cosa que no ocurrió en la fase de estudio, como en amplitud. Finalmente, la variable manipulada experimentalmente responsable de casi todos los efectos encontrados en esta fase fue el TCP en oposición al TCM que apenas produjo efectos significativos. En ningún caso la interacción entre el tamaño de conjunto de memoria y el TCP resultó significativa.

Repasando los resultados en detalle, vemos que en la ventana comprendida entre los 100 y los 180 ms, la latencia de P1 se vio afectada por las dos variables experimentales, TCM y TCP sin que hubiera interacción entre ambas. Sin embargo el efecto de cada variable en la latencia de P1 fue en dirección opuesta. Mientras que la latencia aumentó a medida que aumentaba TCM, la latencia disminuyó a medida que aumentaba TCP. En ningún otro componente, tanto de esta ventana como de la comprendida entre los 180 y 300 ms, TCM afectó a su latencia, aunque ésta se vio significativamente afectada en todos ellos por TCP y siempre en el mismo sentido: al aumentar TCP disminuía la latencia.

Por lo que respecta a la amplitud de P1, N1, P2 y N2, únicamente se vieron afectados por el TCP, nunca por el TCM, y nunca apareció interacción entre TCP y TCM.

En el caso de P1 posterior y N1 anterior, a medida que aumentó el TCP, la amplitud disminuyó. Este efecto de disminución de latencia y amplitud en estos componentes tempranos replican resultados anteriores, aunque la explicación que los diferentes autores dan difiere. Taylor (2002) sugiere que un mayor número de elementos produce un procesamiento global más rápido, ya que la información global se procesa más rápidamente que las características más finas (Bullier, 2001; Sugita, 1999). Luck y Hillyard (1990) proponen que el aumento del número de estímulos produce cambios en los parámetros físicos de la estimulación que hacen que aumente la latencia y la amplitud. Tanto P2 posterior como N2 anterior también mostrarían estos cambios físicos que produce el aumento de TCP. La disminución de la latencia en N2 posterior y P2 anterior por el aumento de TCP también podría ser debida a cambios en la configuración global (Taylor, 2002) o en la estimulación física, de acuerdo con Luck y Hillyard (1990).

En el caso de N2 y P2, a medida que aumentó el TCP, la amplitud aumentó. Nunca apareció interacción entre TCM y TCP. En la literatura previa no aparece ningún efecto semejante al nuestro asociado con la fase de recuperación en tareas de memoria de trabajo espacial tipo Sternberg. Sin embargo, en tareas de búsqueda visual sí aparece un componente negativo en el mismo rango temporal en electrodos posteriores. Por ejemplo, Potts y Tucker (2001) utilizaron una tarea de búsqueda en la que se debía responder cuando uno de cuatro estímulos posibles aparecía en una posición determinada. En ese caso describieron un componente N2b posterior que aparecía en una ventana temporal entre 180 y 300 ms tras la presentación del estímulo. De manera sincrónica a este componente posterior, aparecía un componente positivo anterior, denominado P2. Estos autores asociaron el N2b con el procesamiento de estímulos visuales en la corteza parietal posterior, y el P2 con el procesamiento de la relevancia del estímulo en la corteza prefrontal.

En tareas de búsqueda visual en las que la presentación estimular está lateralizada, se ha encontrado un componente denominado N2pc, dentro de una ventana similar a la del N2b. Este componente N2pc es el resultado de sustraer al voltaje de los electrodos que son contralaterales a la posición en la que se presenta los estímulos, el voltaje de los electrodos con posición ipsilateral a la presentación estimular. Este componente se ha relacionado con un mecanismo de selección atencional (Eimer, 1996; Kiss, Van Velzen y Eimer, 2008) y de acuerdo con Luck y Hillyard (1994) podría reflejar la actividad selectiva de áreas estriadas o extraestriadas que está bajo control de áreas superiores.

Es importante caer en la cuenta de que los componentes N2 y P2 encontrados en esta fase de búsqueda tienen unas características similares a las de los componentes N2 y P2 encontrados en la fase de estudio. En ambas fases aparecen en la misma ventana temporal, la ventana 180-300 ms y sus picos de máxima amplitud presentan latencias similares aunque la latencia de los picos de esta fase de búsqueda es ligeramente menor. A pesar de esta semejanza, el efecto en esta fase fue producido únicamente por la variable TCP mientras que en el caso de la fase de estudio la variable relevante fue únicamente TCM.

La posición de los electrodos mostró efecto en los componentes P2 y N2. En P2 el efecto apareció tanto en latencia como en amplitud siendo en ambos

casos mayores para los electrodos centrales que para los lateralizados a derecha o izquierda, aunque la amplitud en electrodos izquierdos fue más positiva que en electrodos derechos. En N2 sólo apareció efecto de la posición en su amplitud. En este caso, la amplitud en electrodos derechos fue más negativa que en electrodos izquierdos siendo la de los centrales intermedia entre ambas. Por lo que conocemos, esta mayor amplitud encontrada en posiciones centrales del sistema de registro no aparece en la literatura experimental, posiblemente porque no se han utilizado sistemas de registro de alta densidad. Sin embargo, como sugieren los mapas topográficos y la estimación de dipolos, este efecto puede ser un indicativo de la preponderante participación de estructuras cerebrales mediales en la tarea.

En la ventana comprendida entre los 450 y los 750 ms, de nuevo apareció efecto significativo de TCP en P3 y en N3 aunque tanto la positividad de P3 como la negatividad de N3 disminuyeron a medida que aumento el TCP. En el caso de N3 también TCM produjo un efecto significativo de forma que su negatividad disminuyó al aumentar el TCM. En esta ventana temporal el efecto principal de la posición de los electrodos también mostró una clara tendencia a aumentar las amplitudes de P3 y N3 en los electrodos centrales comparados con los situados a derecha o izquierda del cuero cabelludo.

Este resultado está en consonancia con estudios previos de búsqueda visual en los que se ha encontrado efecto del tamaño del conjunto de presentación en la amplitud del componente P300 asociado a los estímulos del conjunto de presentación (Brookhuis et al., 1981; Lorist et al., 1996; Luck y Hillyard, 1990), de manera que la amplitud disminuye al aumentar el tamaño del conjunto. Sin embargo, en nuestro experimento no encontramos que la manipulación del tamaño del conjunto de memoria muestre efecto en la ventana temporal del componente P300 asociado con los estímulos de la fase de prueba, como muestran otros estudios (Kotchonbey et al., 1996; Kramer et al., 1986; de Jong et al., 1988; Lorist et al., 1994).

En resumen, los componentes de los potenciales corticales evocados que mostraron efectos significativos de las variables experimentales son fundamentalmente los mismos en la fase de búsqueda que los componentes encontrados en la fase de estudio. Sin embargo, al contrario que las fases de codificación y almacenamiento, durante la fase de recuperación el TCP resultó ser la variable relevante en todos los componentes estudiados. Solamente en la

latencia de P1 y en la amplitud de N3 el TCM ejerce una cierta influencia. En ningún caso se produjo interacción entre las dos variables. Finalmente las amplitudes de los componentes pertenecientes a las dos últimas ventanas temporales estudiadas mostraron una predominancia en los electrodos centrales con respecto a los lateralizados a derecha e izquierda. Este efecto de posición presenta también las mismas características en la fase de recuperación que en la fase de estudio.

Datos Electrofisiológicos: Estimación de Dipolos

La comparación de los dipolos estimados en cada una de las tres fases de procesamiento de la tarea mostró las siguientes semejanzas y diferencias.

Los dipolos más activos que aparecieron en la fase de estudio fueron prácticamente los mismos que en la fase de mantenimiento, durante el intervalo de retención, aunque el orden de aparición varió de una a otra fase. En ambas fases se mantuvo activa la zona del giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 11) aunque en la fase de estudio la implicación frontal se amplió extendiéndose dorsalmente (AB 10) en ambos hemisferios. También en ambas fases apareció una marcada participación de zonas temporales mediales e inferiores (AB 37, 21 y 20). En la fase de mantenimiento aparecieron también activadas zonas posteriores, occipitales (AB 17 y 18), que no se mostraron en la fase de estudio pero que, como veremos más adelante, participaron en la fase de recuperación.

Estos resultados sugieren que los mecanismos neuronales implicados en la fase de estudio y en la fase de mantenimiento son en gran medida los mismos. En ambas fases parece establecerse una intercomunicación entre zonas frontales y temporales que muestra una gran coherencia con los esfuerzos por memorizar en la fase de estudio y por mantener la información en memoria durante el intervalo de retención característicos de la tarea. Los resultados también son coherentes con la hipótesis de que los mecanismos implicados en ambas fases son los mismos. Dado que las zonas temporales del cerebro, y en particular la zona temporal medial del mismo es sabido que está implicada preferentemente en procesos de memoria (Ranganath y D'Esposito, 2001; Shrager y Squire, 2009; Stern, Sherman, Kirchoff y Hasselmo, 2001) y las zonas frontales con procesos atencionales (Desimone y Duncan, 1995; Fuster, 2001; Miller, 2000; Shallice, 2004), parece lógico concluir que tanto en

la fase de estudio como en la fase de mantenimiento los mecanismos de atención y de memoria implicados son los mismos. El hecho de que en ambas fases únicamente TCM haya producido un efecto significativo en los distintos componentes de los potenciales corticales correspondientes, refuerza esta interpretación.

Por lo que respecta a la fase de búsqueda, las estructuras frontales que aparecieron activadas en las dos fases anteriores (AB 10 y 11) volvieron a aparecer con una alta participación en esta fase. Sin embargo, durante la fase de búsqueda estas zonas mostraron una intercomunicación preferencial con zonas posteriores occipitales (AB 17,18) como sería de esperar en una tarea de búsqueda visual en la que la variable experimental que ha producido más claros efectos ha sido TCP. Dado que la tarea de búsqueda visual ha sido siempre considerada una de las tareas atencionales por excelencia (ver Wolfe, 1998) los resultados de esta fase refuerzan la interpretación atencional de la función asignada a las zonas frontales que han intervenido en esta tarea.

En resumen, por lo que respecta a la información proporcionada por el análisis de los dipolos, parece claro que a lo largo de las tres fases de procesamiento de la tarea utilizada en esta investigación los mismos mecanismos atencionales han estado implicados. Tanto en la fase de estudio como en las de mantenimiento y búsqueda las mismas áreas frontales (AB 10 y 11) han aparecido predominantemente activadas aunque comunicándose preferentemente con zonas temporales de memoria durante las fases de estudio y mantenimiento, y con zonas occipitales visuales en la fase de búsqueda.

Finalmente merece la pena hacer notar que las zonas occipitales (AB 17 y 18) también aparecieron activadas, aunque en menor grado, en la fase de mantenimiento y que durante la fase de búsqueda también aparecieron activadas zonas temporales (AB 37) y parietales (AB 7). Estos resultados sugieren que la implicación de las zonas visuales fue menor en la fase de estudio que en las otras dos fases mientras que tanto las áreas relacionadas con la memoria como las relacionadas con la atención estuvieron altamente implicadas en todas las fases de la tarea.

En general los resultados relativos al análisis de dipolos ofrecen fuerte apoyo a la hipótesis que afirma que los mecanismos responsables del

mantenimiento de la información espacial en la memoria de trabajo son mecanismos de atención espacial. En primer lugar se ha mostrado que los mecanismos que aparecen activados en las tres fases de procesamiento, es decir, codificación, mantenimiento y búsqueda son los mismos, las áreas frontales mediales de ambos hemisferios. En segundo lugar, la naturaleza claramente atencional de nuestra tarea de búsqueda apoya una interpretación atencional de la función de esas áreas. En consecuencia parece lógico concluir que es el mismo tipo de mecanismo atencional el que interviene en las fases de codificación, mantenimiento y búsqueda de una tarea como la utilizada en esta investigación.

En conjunto, todos los resultados de este experimento muestran características que aparentemente pueden llevar a conclusiones diferentes e incluso contrarias. En primer lugar, los resultados comportamentales, que replican los del Experimento 2, mostraron efectos exclusivamente aditivos de nuestras dos variables experimentales, lo que, de acuerdo con la lógica del método de factores aditivos propuesto por Sternberg, habría de considerarse indicativo de que nuestras dos variables afectan a procesos diferentes. En segundo lugar, el análisis de los componentes de los potenciales corticales muestra, por un lado que la variable TCM afecta de forma predominante a los componentes de las fases de estudio y de mantenimiento pero muy poco a la fase de recuperación, mientras que la variable TCP afecta únicamente a la fase de recuperación, y, por otro lado, que los componentes que muestran el efecto de TCM en la fase de estudio y los que muestran el efecto de TCP en la fase de recuperación son fundamentalmente los mismos. Finalmente, el análisis de los dipolos predominantemente activados durante los componentes más relevantes en cada fase de la tarea muestra que existen zonas frontales que participan activamente en las tres fases de la tarea y que la función de esas zonas es de carácter atencional. ¿Es posible armonizar estos resultados? La contestación a esta pregunta será uno de los principales objetivos de la discusión general. Por el momento baste anticipar que los resultados de este experimento muestran la conveniencia de establecer investigaciones en diferentes niveles de análisis y de buscar la forma de relacionar los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

EXPERIMENTO 4

En los experimentos anteriores (Experimento 2 y Experimento 3) la tarea que realizaron los participantes estuvo bloqueada, de manera que cada participante realizaba nueve bloques, uno por cada condición experimental, y en cada uno de ellos siempre se presentaba el mismo número de posiciones a memorizar, y el mismo número de posiciones sobre las que responder. Los resultados comportamentales en ambos experimentos fueron similares. En precisión, encontramos efecto principal de TCM y TCP pero no interacción de las variables. En tiempo de reacción, encontramos efecto principal de TCM y TCP, e interacción de ellas, pero no en el sentido esperado. En el Experimento 3, en los resultados electrofisiológicos, encontramos una especificidad de la variable asociada con cada fase del experimento: TCM modulaba la latencia y amplitud de los componentes en la fase de estudio e intervalo de retención, pero no lo hacía el TCP. Este sí modulaba la latencia y amplitud de los componentes en la fase de búsqueda, que no se veían modulados por TCM. Así pues, tanto a nivel comportamental como electrofisiológico encontramos una especificidad en el efecto de las dos variables de carga manipuladas.

Es posible que unos efectos tan específicos estén, al menos parcialmente, determinados por el hecho de que las condiciones experimentales estaban bloqueadas. A lo largo de cada bloque, los participantes sabían perfectamente el número de posiciones a memorizar y el número de posiciones entre las que debían buscar el objetivo. Las expectativas respecto a estos dos aspectos de la tarea se mantenían constantes durante las tres fases de la misma, pudiendo dar lugar a estrategias que tendieran a favorecer la especificidad del efecto de las variables manipuladas que se ha encontrado en los anteriores experimentos. Para investigar si estos resultados del efecto de la carga se debían en alguna medida al bloqueo de las condiciones, en el siguiente experimento las condiciones experimentales no estuvieron bloqueadas sino aleatorizadas entre los ensayos, de modo que el participante no sabía hasta la aparición de los estímulos en pantalla cuántas posiciones tenía que memorizar, y sobre cuántas tenía que responder. De este modo, el participante en cada ensayo no pudo mantener expectativa alguna respecto al número de posiciones a memorizar con anterioridad a la fase codificación, ni expectativa alguna respecto al número de posiciones distractoras durante la fase de mantenimiento y con anterioridad a la fase de búsqueda.

Por tanto, en el Experimento 4, el único cambio respecto al experimento anterior consistió en aletorizar la presentación de ensayos de cada condición experimental, en vez de bloquearla. Al igual que en el experimento anterior, el EEG se registró de manera continua durante la ejecución de toda la tarea, y los análisis de los datos electrofisiológicos se hicieron por separado para la fase de estudio, al intervalo de retención y la fase de búsqueda.

1. MÉTODO

1.1. Participantes

Dieciocho estudiantes de la Facultad de Psicología, tres de ellos zurdos, con visión normal o corregida, recibieron créditos tras su participación. La media de edad era de 21,06 años, y 14 de ellos fueron mujeres. Todos los participantes dieron consentimiento informado antes de incluirlos en el experimento. Para el análisis de los resultados electrofisiológicos de la fase de estudio y del intervalo de retención tres participantes fueron eliminados por excesivo parpadeo.

1.2. Aparatos y estímulos

Los aparatos y estímulos fueron similares a los del experimento anterior.

1.3. Procedimiento

El procedimiento fue similar al del Experimento 3, con la excepción de que las condiciones no estuvieron bloqueadas. En las instrucciones se especificó que la tarea se dividía en nueve bloques, pero en cada uno de ellos podía aparecer de forma aleatoria un ensayo de cualquiera de las condiciones, hasta el total de 540 ensayos. Cada 60 ensayos hubo un descanso. Además, en vez de hacer un bloque de práctica delante de cada bloque experimental, se realizó un único bloque de práctica al principio de la tarea.

1.4. Diseño

El diseño fue similar al del experimento anterior.

1.5. Registro del EEG

El registro fue similar al del experimento anterior.

2. RESULTADOS

2.1. Resultados comportamentales

Como en los experimentos anteriores, se analizó tanto la precisión como el tiempo de reacción (TR) de los participantes mediante sendos análisis de varianza de medidas repetidas con las variables TCM (tamaño del conjunto de memoria: 1, 2 ó 3 posiciones), y TCP (tamaño del conjunto de presentación: 1, 4 ó 7 posiciones), con los valores de d' como índice de precisión y las medianas de los tiempos de respuesta en el TR. Sólo se incluyeron en los análisis las respuestas cuyo TR fue mayor de 250 ms, y únicamente respuestas correctas en el análisis del TR. Los grados de libertad se ajustaron con la corrección Greenhouse-Geisser en caso necesario.

Los resultados fueron similares a los del Experimento 2, así que optamos por presentar a continuación un resumen de los resultados, y la descripción de los mismos, tablas de datos y estadística aparecen en el Apéndice III.

Encontramos efecto principal de TCM ($F(1,28;21,74)= 47,39$) y TCP ($F(1,96;33,40)= 25,81$) en precisión (Figura 4.1), pero no interacción. Al aumentar el TCM y el TCP, disminuyó la precisión.

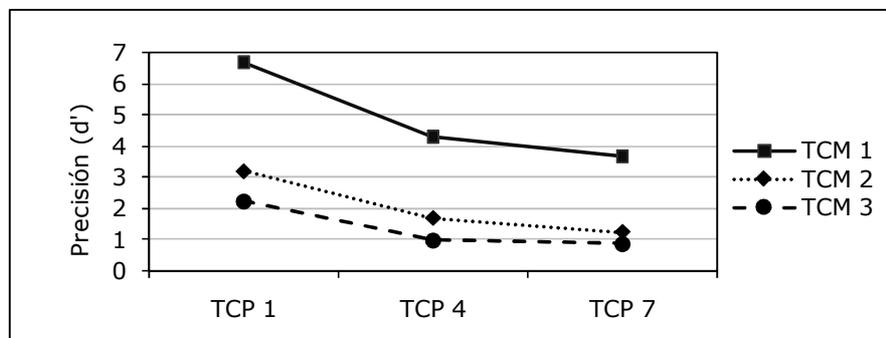


Figura 4.1. Efecto de TCM y TCP en discriminación.

En latencia (Figura 4.2) también encontramos efecto principal de TCM ($F(1,34;22,85)= 94,62$) y TCP ($F(1,74 ;29,51)= 131,49$): incrementar ambos produjo un aumento de la latencia.

Además, encontramos interacción entre TCM y TCP ($F(3,36;57,09)= 5,59$). Cuando hubo que memorizar una, dos o tres posiciones la tendencia lineal entre niveles de TCP fue significativa, mientras que la cuadrática sólo lo fue al memorizar tres posiciones.

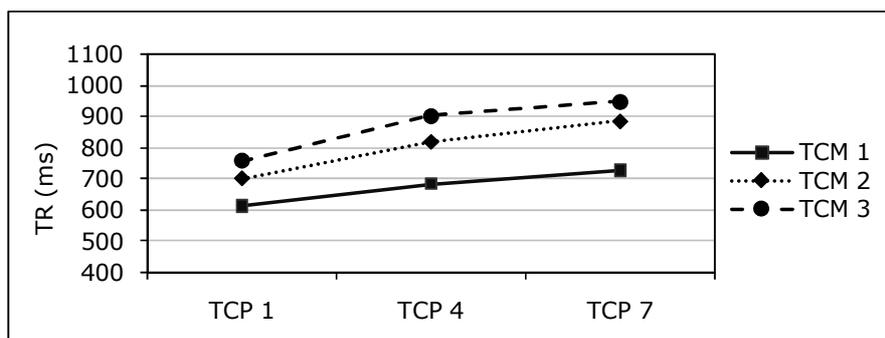


Figura 4.2. Efecto de TCM x TCP en TR.

2.2. Resultados electrofisiológicos

Como en el experimento anterior, el EEG continuo fue filtrado después del registro usando un filtro de 1-30 Hz y segmentado a continuación en épocas de 200 ms antes y 5000 ms después del inicio de los estímulos para la fase de estudio (incluyendo el intervalo de retención), y 200 ms antes y 1000 ms después para la fase de búsqueda. Los 200 ms previos a la aparición de los estímulos se usaron para calcular la línea de base. Los segmentos que contenían artefactos, parpadeos o movimientos oculares fueron descartados para el análisis posterior. Los segmentos se promediaron de acuerdo con las condiciones experimentales, y tras una inspección visual se eligieron los componentes a analizar, así como las ventanas temporales y los electrodos en los que aparecían.

En el Apéndice III aparece la representación gráfica del promedio en amplitud para todos los electrodos para el TCM y el TCP en la fase de estudio, intervalo de retención y fase de búsqueda (de la Figura IV.1 a la Figura IV.6). Como en el Experimento 3, en la fase de estudio observamos una diferencia entre niveles para el TCM, pero no para el TCP. En la fase de búsqueda, la diferencia entre niveles se vio para el TCP y no para el TCM. En el intervalo de retención observamos una diferencia entre niveles en una ventana temporal específica, que detallamos posteriormente, no en el intervalo entero como en el experimento anterior.

Se eligieron dos grupos de electrodos, uno anterior, y otro posterior respecto al vertex (ver Figura 3.4), y dentro de estos un grupo de electrodos izquierdos, un grupo de electrodos centrales y un grupo de electrodos derechos. Los componentes utilizados y sus respectivas ventanas temporales aparecen en la Tabla 4.1, y fueron similares a los del experimento anterior, excepto en el intervalo de retención.

Tabla 4.1. Componentes, ventanas temporales, y análisis en cada grupo de electrodos para cada fase del ensayo.

FASE	GRUPO POSTERIOR	GRUPO ANTERIOR
ESTUDIO	N2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms	P2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms
	P3 (400-600 ms): media de amplitud de la ventana temporal	N3 (400-600 ms): media de amplitud de la ventana temporal
INTERVALO DE RETENCIÓN	N1100 (1150-1275 ms): media adaptativa de amplitud 24 ms	P1100 (1150-1275 ms): media adaptativa de amplitud de 24 ms
BÚSQUEDA	P1 (100-180 ms): latencia y media adaptativa de 40 ms	N1 (100-180 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms
	N2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms	P2 (180-300 ms): latencia y media adaptativa de amplitud de 40 ms
	P3 (450-750 ms): media de la ventana temporal	N3 (450-750 ms): media de amplitud de la ventana temporal

En este caso, la diferencia entre niveles de TCM se observó sólo en una deflexión centrada en una determinada ventana temporal (1150-1275 ms tras la aparición de los estímulos). Los valores de amplitud y latencia se analizaron mediante ANOVAs intrasujeto. Como factores se utilizaron las condiciones experimentales y la POSICIÓN de los electrodos durante el registro (izquierda, centro o derecha). Los grados de libertad se ajustaron con la corrección Greenhouse-Geisser en caso necesario.

A continuación se presentan los resultados para la fase de estudio, el intervalo de retención, y la fase de búsqueda. Como en el experimento anterior, dentro de cada fase se analizan las ventanas temporales descritas en la Tabla 4.1, y en ellas los componentes descritos para el grupo posterior y el grupo anterior, analizando la latencia (cuando proceda), y la amplitud.

2.2.1. Fase de estudio

En la Figura 4.3 aparecen las gráficas de los potenciales corticales del promedio de amplitud de cada uno de los grupos de electrodos para el TCM.

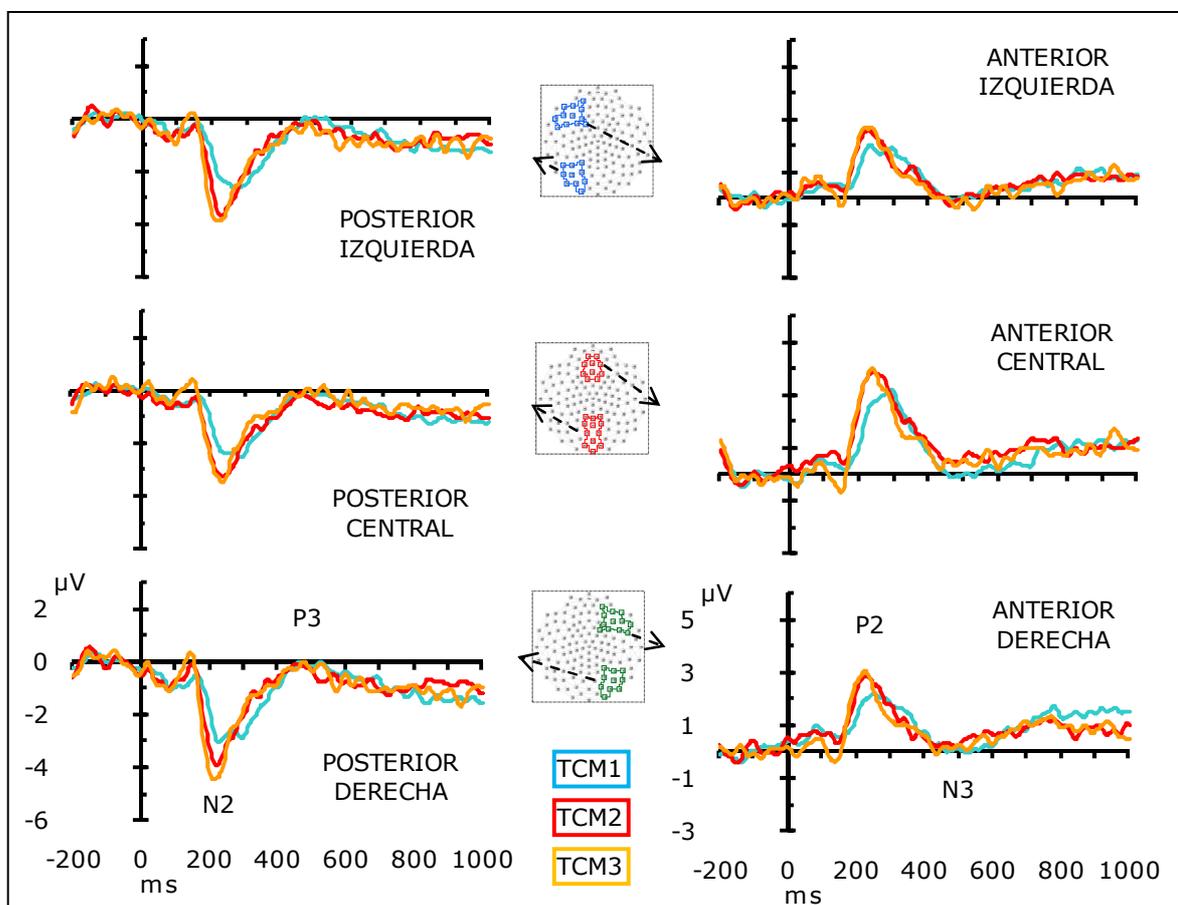


Figura 4.3. Gráficas de potenciales corticales asociados con TCM para cada grupo utilizado en el análisis, tanto en el grupo posterior como el grupo anterior en la fase de estudio. Cada gráfica es el promedio de todos los canales del grupo de electrodos, izquierdos, centrales y derechos, respectivamente. Leyenda: TCM 1 en color azul, TCM 2 en color rojo y TCM 3 en color amarillo.

2.2.1.1. Ventana temporal 180-300 ms

En la Tablas IV.2 y Tabla IV.3 del Apéndice III aparecen los promedios de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales y POSICIÓN para N2 posterior y P2 anterior, respectivamente.

Componente N2 posterior: latencia. Encontramos efecto principal significativo de TCM ($MCE= 1454$; $F(1,57;22,02)= 12,46$; $p < ,001$). Como se puede ver en la Figura 4.4, a medida que aumentó la cantidad de elementos a memorizar disminuyó la latencia del pico del componente. Al analizar la tendencia en TCM encontramos que la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 1902,07$; $F(1,14)= 19,03$; $p < ,001$), pero no la cuadrática ($p > ,1$).

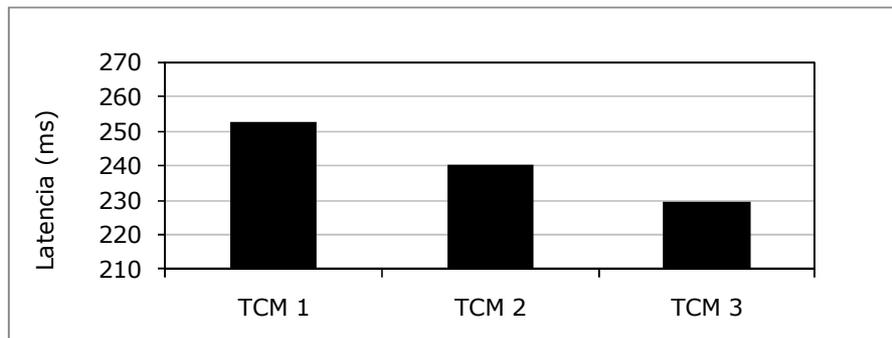


Figura 4.4. Efecto de TCM en latencia en N2 posterior.

Componente N2 posterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 3,47; $F(1,68;23,53)= 7,54$; $p= ,004$). La amplitud aumentó al incrementarse el número de posiciones a memorizar (Figura 4.5). Al analizar la tendencia en TCM encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 3,24; $F(1,14)= 15,38$; $p= ,002$) pero no la cuadrática ($p > ,1$).

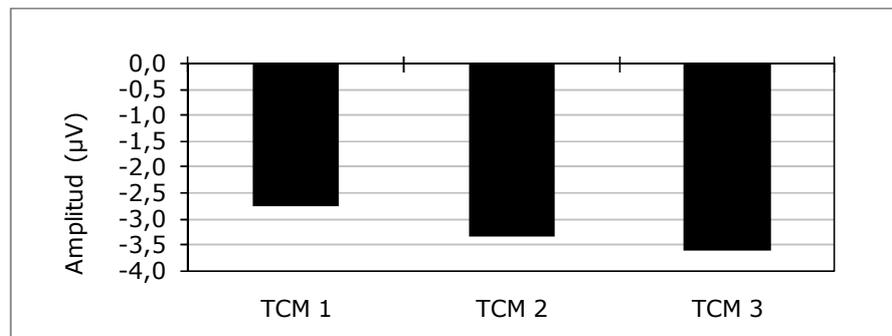


Figura 4.5. Efecto de TCM en amplitud en N2 posterior.

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 3,05; $F(1,88;26,27)= 4,3$; $p= ,026$). Como aparece en la Figura 4.6, el efecto de la posición de los electrodos en la amplitud resultó centralizado.

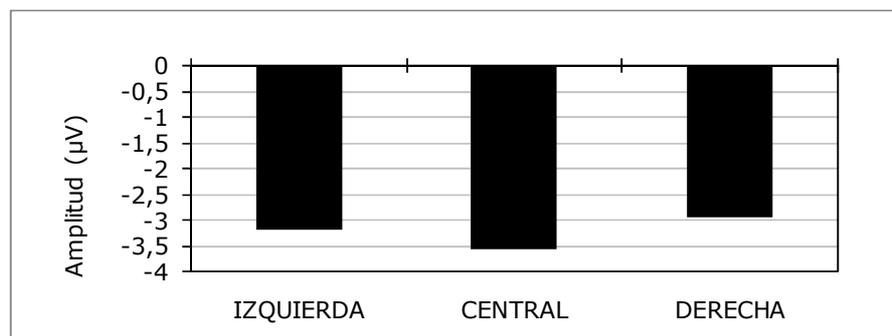


Figura 4.6. Efecto de POSICIÓN en amplitud en N2 posterior.

Al comparar los niveles de POSICIÓN entre sí encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue más negativa que en electrodos izquierdos (MCE= 2,27; $F(1,14)= 4,62$; $p= ,049$) y electrodos derechos (MCE= 3,40;

$F(1,14)= 7,50$; $p= ,016$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p> ,1$).

Componente P2 anterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 734; $F(1,84;25,78)= 33,27$; $p< ,001$). La latencia del pico disminuyó al aumentar el número de posiciones a memorizar, como aparece en la Figura 4.17. Al analizar la tendencia en TCM (Figura 4.7) encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 936,26; $F(1,14)= 51,3$; $p< ,001$), pero no la cuadrática ($p> ,1$).

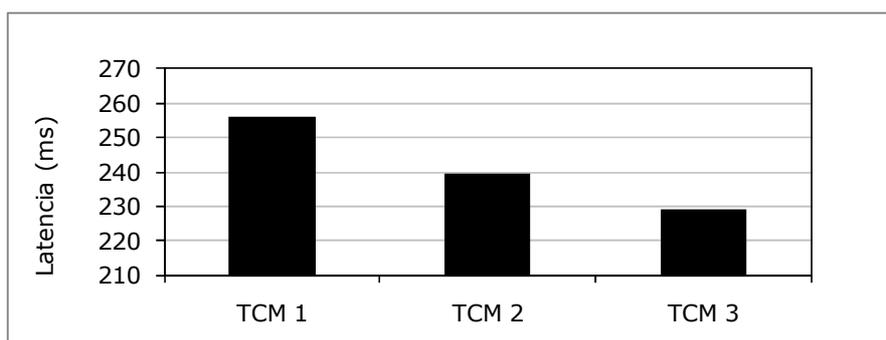


Figura 4.7. Efecto de TCM en latencia en P2 anterior.

Componente P2 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal significativo de POSICIÓN (MCE= 1,96; $F(1,99;27,92)= 19,98$; $p< ,001$), que podemos ver en la Figura 4.8.

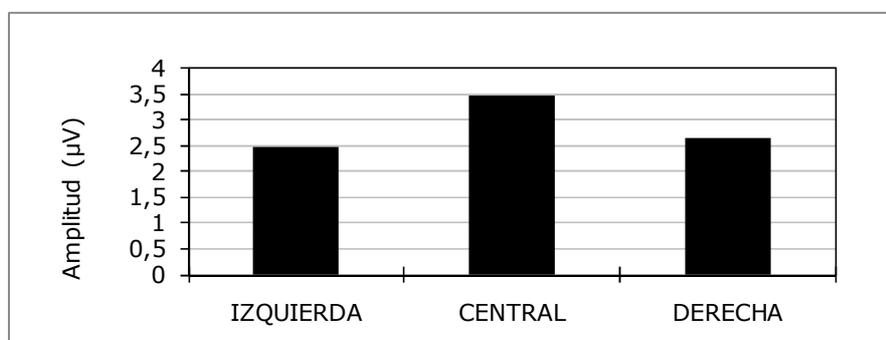


Figura 4.8. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P2 anterior.

Al comparar los niveles de POSICIÓN (Figura 4.8) entre sí encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue más positiva que en electrodos izquierdos (MCE= 1,85; $F(1,14)= 37,15$; $p< ,001$) y electrodos derechos (MCE= 2,02; $F(1,14)= 22,78$; $p< ,001$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p> ,1$).

2.2.1.1. Ventana temporal 400-600 ms

El promedio de amplitud para cada una de las condiciones experimentales y POSICIÓN para P3 posterior y N2 anterior aparece en la Tabla IV.4 del Apéndice III.

Componente P3 posterior: amplitud. Ningún efecto resultó significativo ($p > ,1$).

Componente N3 anterior: amplitud. No resultó ningún efecto significativo ($p > ,1$).

En resumen, en la fase de estudio, sólo encontramos efectos en la ventana temporal de 180-300 ms, encontramos efecto de TCM en latencia en N2 posterior y P2 anterior. A medida que TCM se hizo mayor, la latencia disminuyó. En amplitud, encontramos efecto de TCM en N2 posterior. A medida que se incrementó TCM la amplitud aumentó. Encontramos efecto de POSICIÓN tanto en N2 posterior como en P2 anterior, de modo que la amplitud fue mayor en electrodos centrales.

2.2.2. Intervalo de retención

En la Figura 4.9 aparecen las gráficas de los potenciales corticales del promedio de amplitud de cada uno de los grupos de electrodos para el TCM. El análisis de la onda lenta negativa posterior, y de la onda lenta positiva anterior no mostró efecto de ninguna variable ($p > ,1$).

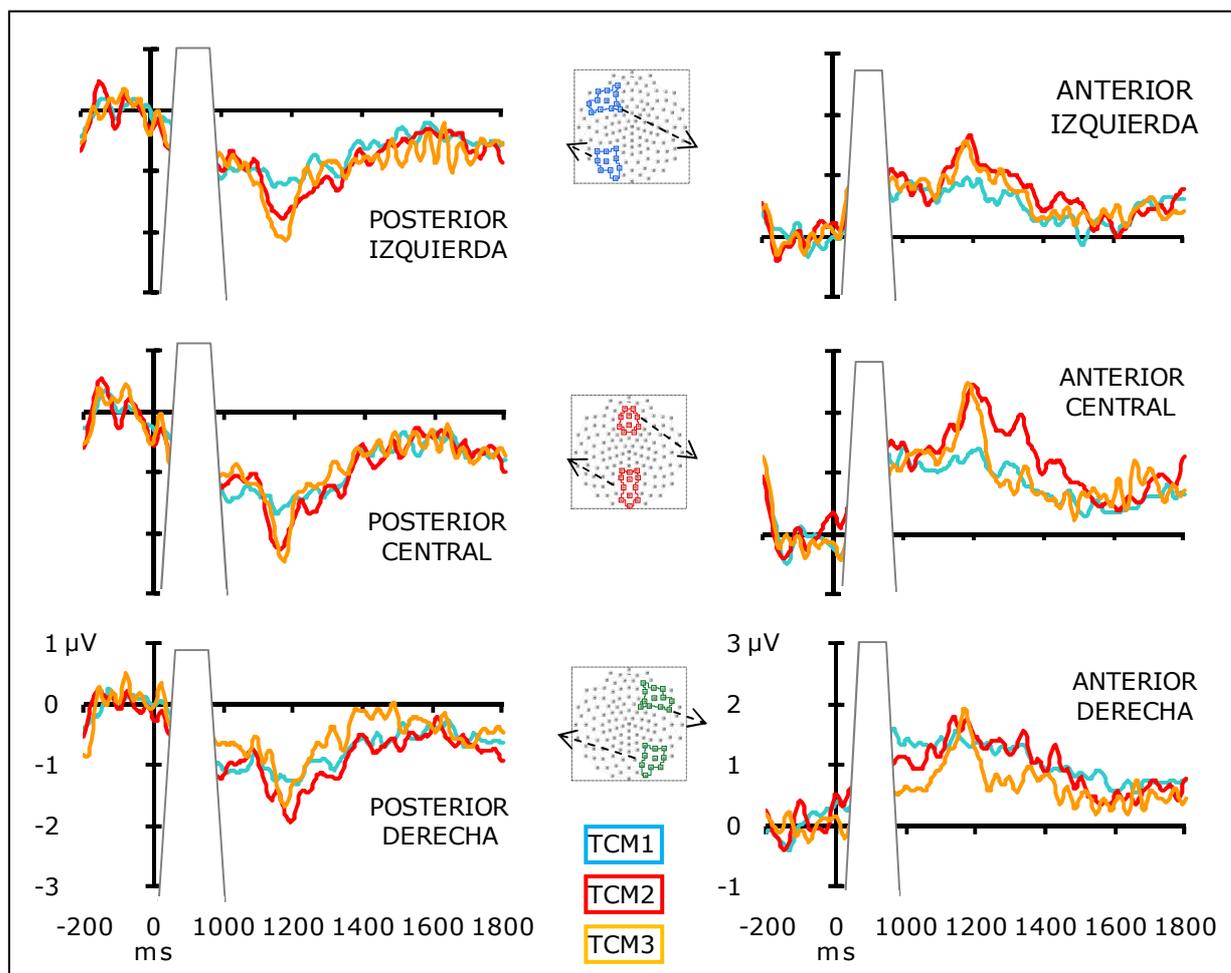


Figura 4.9. Gráficas de los potenciales corticales asociados con TCM para cada grupo utilizado en el análisis para los grupos posterior y anterior. Cada gráfica es el promedio de todos los canales de cada grupo de electrodos, izquierdos, centrales y derechos, respectivamente. Leyenda: TCM 1 en color azul, TCM 2 en color rojo y TCM 3 en color amarillo.

2.2.2.1. Ventana temporal 1125-1275 ms

En la Tabla IV.5 y Tabla IV.6 del Apéndice III aparecen los promedios de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales y POSICIÓN para N1100 posterior y P1100 anterior, respectivamente.

Componente N1100 posterior: latencia. El efecto principal de POSICIÓN resultó significativo ($MCE = 622$; $F(1,50;21,04) = 5,0$; $p = ,024$). La latencia presentó una lateralización derecha, como se ve en la Figura 4.10. Al comparar la latencia en las distintas posiciones encontramos que la latencia en

electrodos centrales fue menor que en electrodos derechos (MCE= 442,85; $F(1,14)= 13,55$; $p= ,003$). El resto de comparaciones no fue significativo ($p> ,1$).

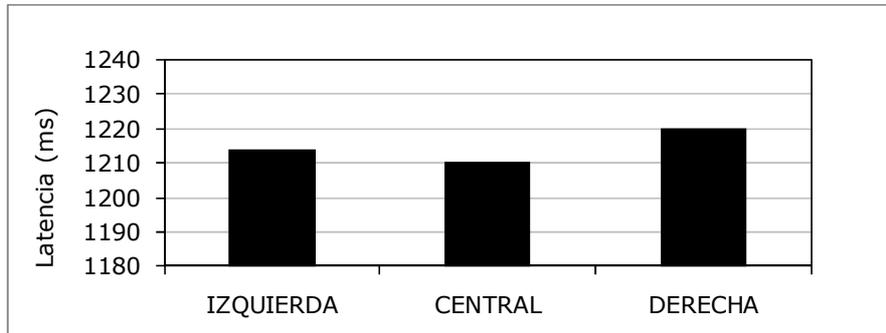


Figura 4.10. Efecto de POSICIÓN en latencia en N1100 posterior.

Componente N1100: amplitud. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 2,46; $F(1,70; 23,78)= 4,15$; $p= ,034$), representado en la Figura 4.11. La amplitud se hizo mayor al aumentar el número de posiciones a memorizar. Al analizar la tendencia en los niveles de la variable encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 2,92; $F(1,14)= 5,58$; $p= ,033$) mientras que la cuadrática no lo fue ($p> ,1$).

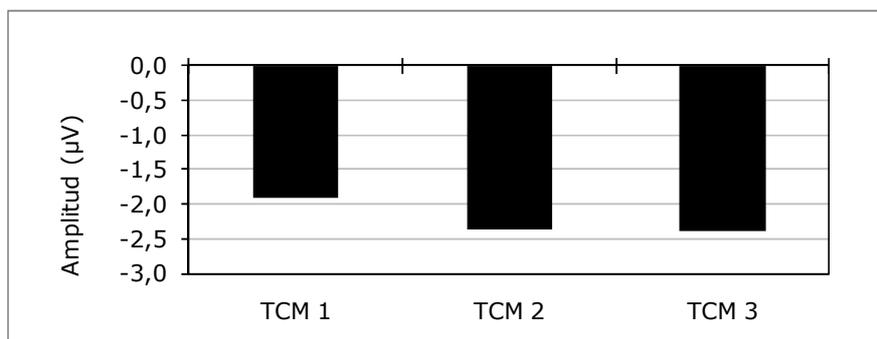


Figura 4.11. Efecto de TCM en amplitud en N1100 posterior.

Encontramos efecto significativo de POSICIÓN (MCE= 1,25; $F(1,47;20,53)= 6,70$; $p= ,010$). La mayor amplitud resultó centralizada, como aparece en la Figura 4.12. Al comparar los distintos niveles entre sí encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue más negativa que en electrodos izquierdos (MCE= 0,78; $F(1,14)= 8,99$; $p= ,010$) y electrodos derechos (MCE= 0,97; $F(1,14)= 16,68$; $p= ,001$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p> ,1$).

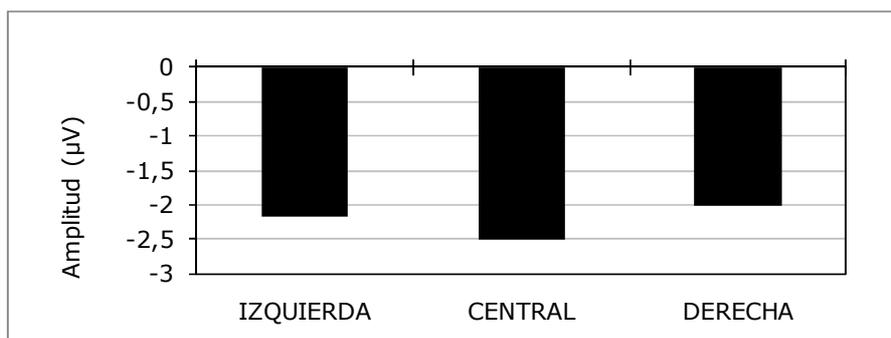


Figura 4.12. Efecto de POSICIÓN en amplitud en N1100 posterior.

Componente P1100 anterior: latencia. Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 609; $F(1,68;23,50) = 4,2$; $p = ,033$), como aparece en la Figura 4.13.

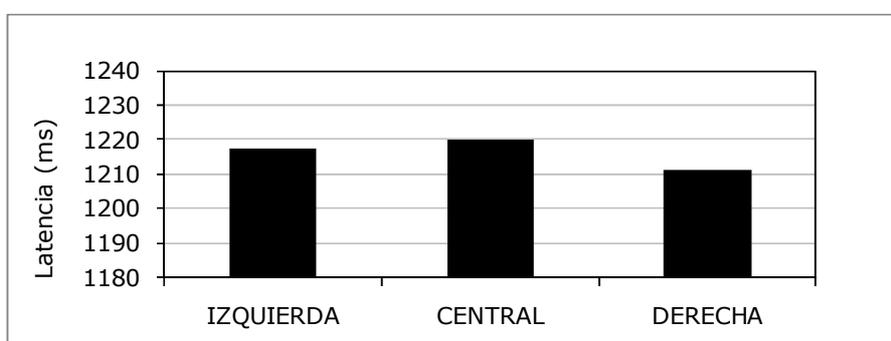


Figura 4.13. Efecto de POSICIÓN en latencia en P1100 anterior.

La latencia fue mayor en electrodos centrales. Al comparar el valor de latencia en las distintas posiciones encontramos que la diferencia en latencia entre electrodos izquierdos y derechos fue marginalmente significativa (MCE= 797,38; $F(1,14) = 3,21$; $p = ,095$). La latencia en electrodos centrales fue mayor que en electrodos derechos (MCE= 351,39; $F(1,14) = 13,65$; $p = ,002$). Entre electrodos izquierdos y centrales no hubo diferencias ($p > ,1$).

Componente P1100: amplitud. Encontramos efecto principal de TCM (MCE= 3,50; $F(1,76;24,65) = 3,59$; $p = ,048$) representado en la Figura 4.14.

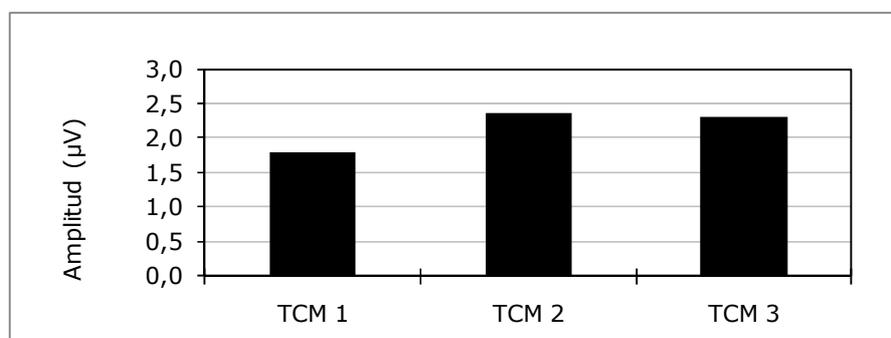


Figura 4.14. Efecto de TCM en amplitud en P1100 anterior.

Al aumentar el TCM, la amplitud fue mayor. Al analizar la tendencia en TCM encontramos que la tendencia lineal resultó significativa (MCE= 3,74; $F(1,14)= 4,63$; $p= ,049$), pero no la cuadrática ($p > ,1$).

Encontramos efecto principal significativo de POSICIÓN (MCE= 3,74; $F(1,46;20,48)= 5,32$; $p= ,021$). La amplitud estuvo centralizada, como aparece en la Figura 4.15. Al comparar las distintas posiciones entre sí encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue mayor que en electrodos izquierdos (MCE= 2,58; $F(1,14)= 15,44$; $p= ,002$). La diferencia entre electrodos centrales y derechos fue marginalmente significativa (MCE= 2,63; $F(1,14)= 3,99$; $p= ,066$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias en amplitud ($p > ,1$).

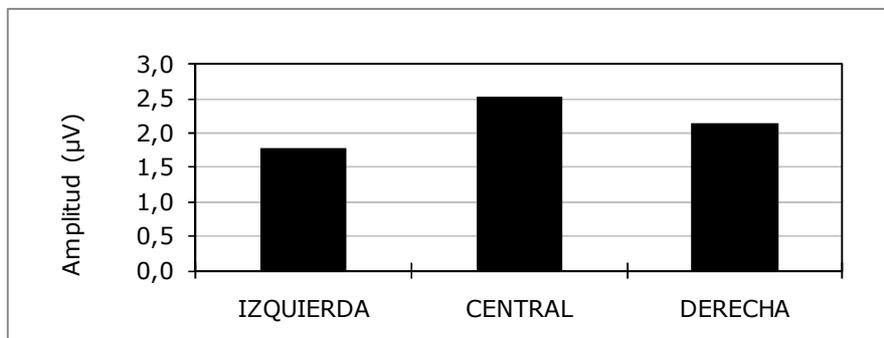


Figura 4.15. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P1100 anterior.

En resumen, en latencia encontramos efecto de POSICIÓN en N1100 posterior y P1100 anterior. En el primero, la latencia en electrodos derechos fue mayor que en electrodos centrales. En el segundo, la latencia en electrodos centrales fue mayor que en electrodos derechos. En amplitud, encontramos efecto de TCM en N1100 y P1100; al incrementar TCM, aumentó la amplitud del componente. Encontramos efecto de POSICIÓN, de modo que la amplitud fue mayor en electrodos centrales en ambos componentes.

2.2.3. Fase de búsqueda

En la Figura 4.16 aparecen las representaciones gráficas de amplitud para cada uno de los grupos analizados. Cada gráfica representa el promedio de la amplitud en cada uno de los grupos, en posiciones izquierda, central y derecha, tanto para electrodos posteriores como anteriores.

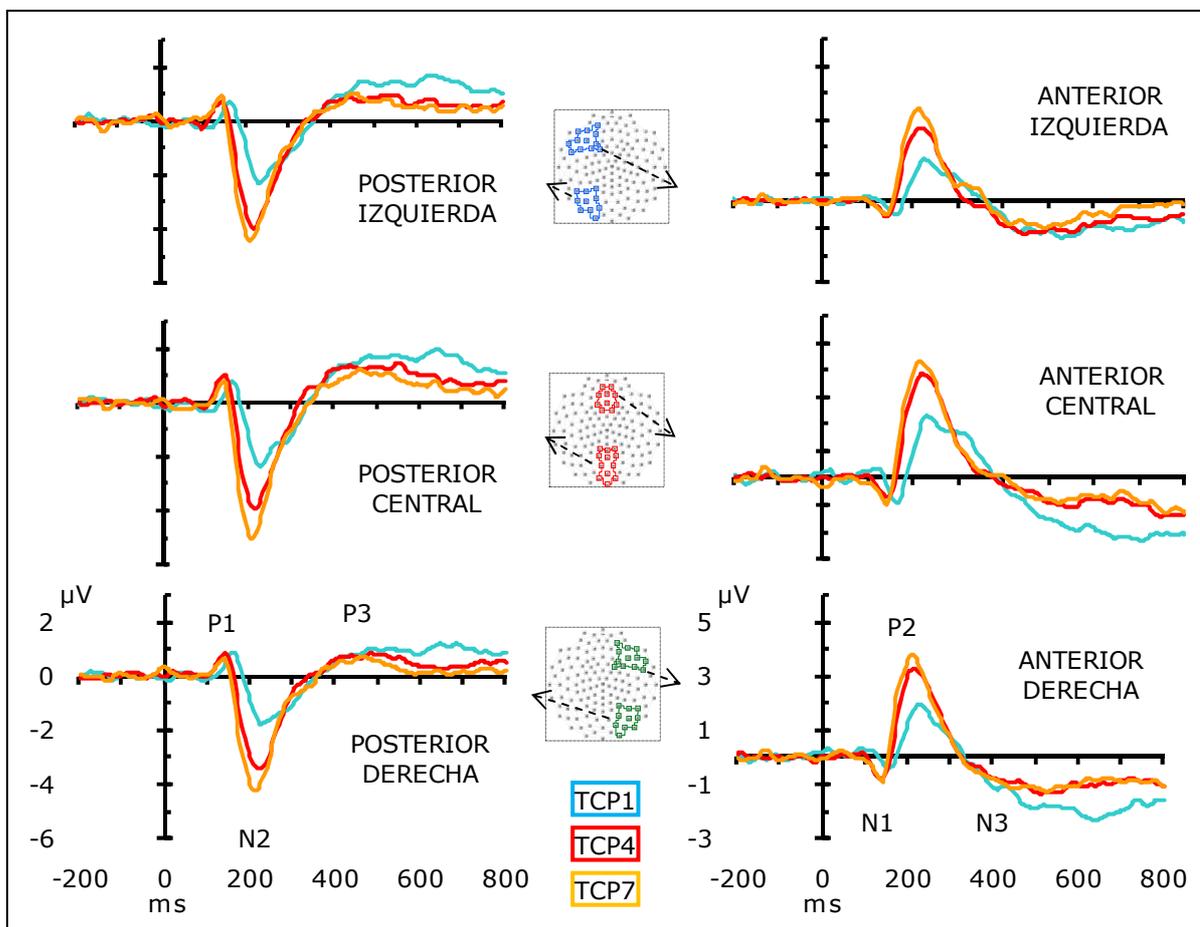


Figura 4.16. Representación gráfica de los potenciales corticales asociados con TCP para cada grupo utilizado en el análisis dentro del grupo posterior y del grupo anterior en la fase de búsqueda. Cada gráfica es el promedio de todos los canales de cada grupo de electrodos, izquierdos, centrales y derechos, respectivamente. Leyenda: TCP 1 en color azul, TCP 4 en color rojo y TCP 7 en color amarillo.

2.2.3.1. Ventana temporal 100-180 ms

Los promedios de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales y POSICIÓN para P1 posterior y N1 anterior aparecen en las Tablas IV.7 y IV.8 (respectivamente) del Apéndice III.

Componente P1 posterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP ($MCE = 732$; $F(1,72;29,28) = 8,65$; $p = ,002$). La latencia disminuyó a medida que aumentó el número de posiciones sobre las que responder, como aparece en la Figura 4.17. Al analizar la tendencia entre los distintos niveles

encontramos que la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 1005,86$; $F(1,17)= 12,35$; $p= ,003$), pero no lo fue la cuadrática ($p> ,1$).

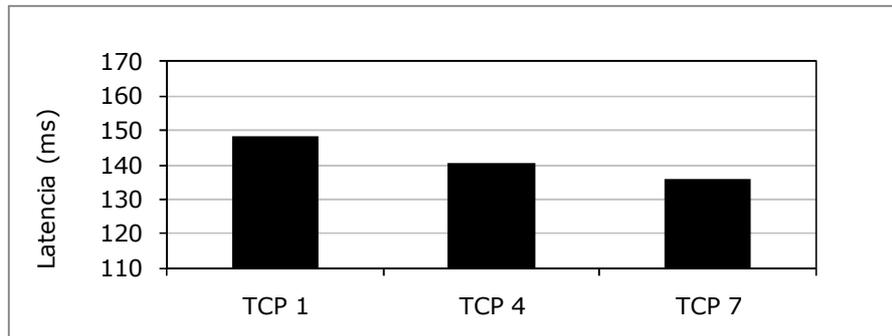


Figura 4.17 Efecto de TCP en latencia en P1 posterior.

Componente P1 posterior: amplitud. No encontramos ningún efecto significativo ($p> ,1$).

Componente N1 anterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP ($MCE= 596$; $F(1,77;30,14)= 10,64$; $p< ,001$). La latencia disminuyó a medida que aumentó el número de posiciones sobre las que responder, como se ve en la Figura 4.18. Al analizar la tendencia la tendencia lineal resultó significativa ($MCE= 804,72$; $F(1,17)= 14,85$; $p= ,001$), mientras que la cuadrática no ($p> ,1$).

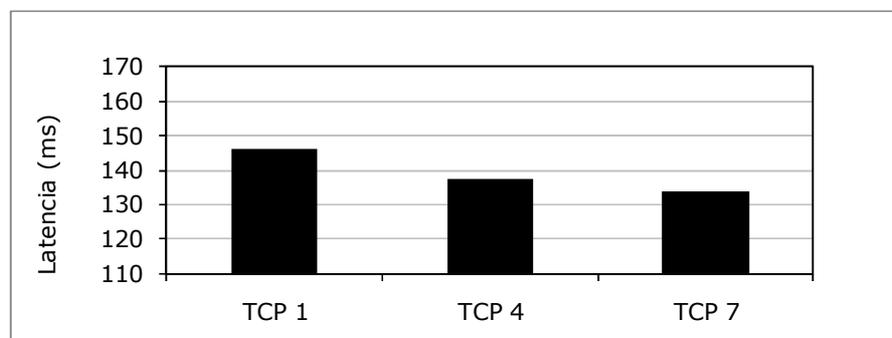


Figura 4.18. Efecto de TCP en latencia en P1 posterior.

Componente N1 anterior: amplitud. Ningún efecto principal ni interacción resultaron significativos ($p> ,1$).

2.2.3.2. Ventana temporal 180-300 ms

En las Tablas IV.9 y IV.10 del Apéndice III aparecen los promedios de latencia y de amplitud para cada una de las condiciones experimentales y POSICIÓN para N2 posterior y P2 anterior, respectivamente.

Componente N2 posterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP ($MCE= 551$; $F(1,59;27,10)= 41,92$; $p< ,001$). A medida que aumentó el

número de posiciones a buscar, disminuyó la latencia (Figura 4.19). Al analizar la tendencia entre los distintos niveles, encontramos que tanto la tendencia lineal como la cuadrática fueron significativas (MCE= 729,97; $F(1,17)= 60,19$; $p < ,001$ para lineal; y MCE= 371,22; $F(1,17)= 6,00$; $p = ,025$ para cuadrática). Al comparar los niveles entre sí, encontramos que la latencia en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 (MCE= 644,64; $F(1,17)= 32,93$; $p < ,001$). La latencia en TCP 4 fue mayor que en TCP 7 (MCE= 277,17; $F(1,17)= 14,74$; $p = ,001$).

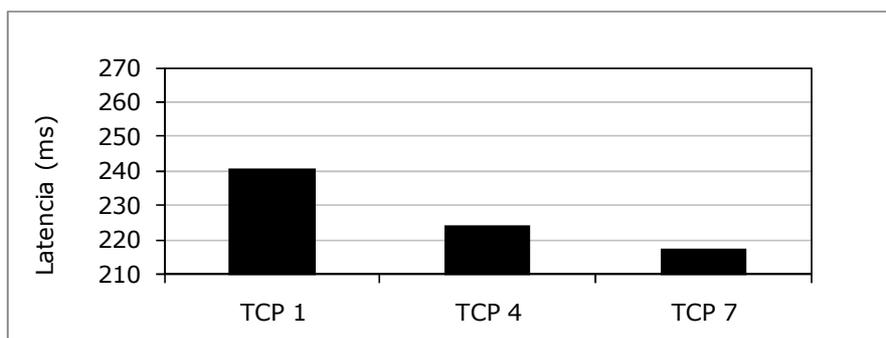


Figura 4.19. Efecto de TCP en latencia en N2 posterior.

Componente N2 posterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 3,61; $F(1,96;33,32)= 44,01$; $p < ,001$). La amplitud se hizo más negativa al aumentar el número de posiciones sobre las que responder, como aparece en la Figura 4.20.

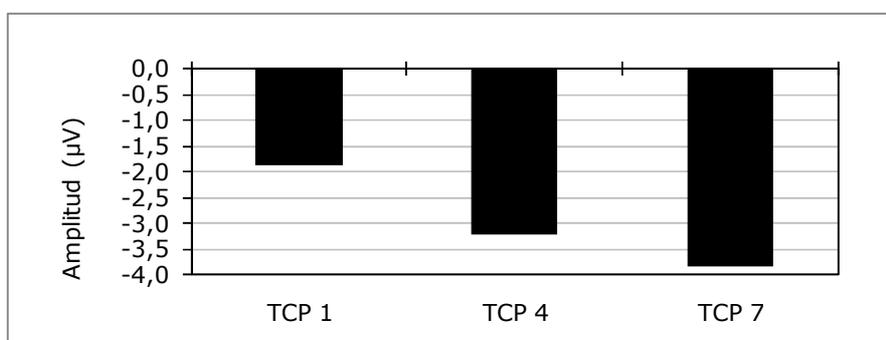


Figura 4.20. Efecto de TCP en amplitud en N2 posterior.

Al analizar la tendencia, encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 3,88; $F(1,17)= 78,38$; $p < ,001$) y la cuadrática marginalmente significativa (MCE= 3,34; $F(1,17)= 4,09$; $p = ,060$). Al comparar los distintos niveles entre sí, encontramos que la amplitud en TCP 4 fue más negativa que en TCP 1 (MCE= 3,10; $F(1,17)= 45,92$; $p < ,001$). La amplitud en TCP 7 fue más negativa que en TCP 4 (MCE= 3,86; $F(1,17)= 7,90$; $p = ,012$).

Componente P2 anterior: latencia. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 594; $F(1,59;26,98)= 40,23$; $p < ,001$). La latencia disminuyó al

aumentar el número de posiciones sobre las que responder (Figura 4.21). Al analizar la tendencia en TCP encontramos que la tendencia lineal y la cuadrática fueron significativas (MCE= 875,87; $F(1,17)= 47,63$; $p < ,001$, y MCE= 311,99; $F(1,17)= 19,46$; $p < ,001$ respectivamente). La latencia en TCP 1 fue mayor que en TCP 4 (MCE= 549,30; $F(1,17)= 52,37$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 la diferencia fue marginalmente significativa (MCE= 356,63; $F(1,17)= 3,36$; $p = ,084$).

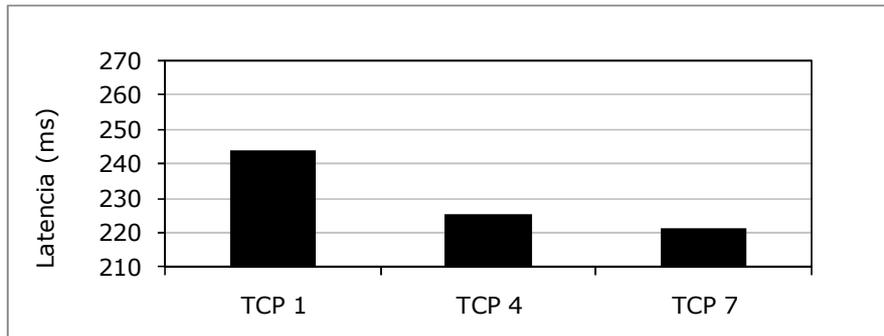


Figura 4.21. Efecto de TCP en latencia en P2 anterior.

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 737; $F(1,92;32,57)= 4,06$; $p = ,028$), representada en la Figura 4.22, mostrando una centralización de la latencia.

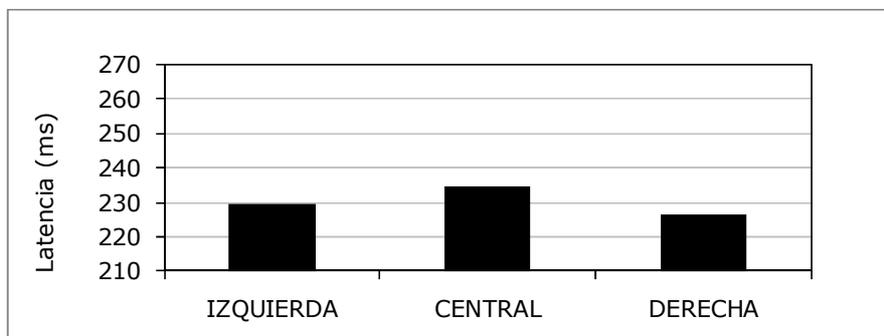


Figura 4.22. Efecto de POSICIÓN en latencia en P2 anterior.

Al comparar las distintas posiciones entre sí encontramos que entre electrodos izquierdos y centrales las diferencias en latencia fueron marginalmente significativas (MCE= 644,28; $F(1,17)= 3,62$; $p = ,074$). La latencia en electrodos centrales fue mayor que en electrodos derechos (MCE= 875,87; $F(1,17)= 47,63$; $p < ,001$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias en latencia ($p > ,1$).

Componente P2 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal significativo de TCP (MCE= 2,51; $F(1,90;32,34)= 39,42$; $p < ,001$), representado en la Figura 4.23. Al aumentar el número de posiciones sobre las

que buscar, la amplitud se hizo más positiva. Al analizar la tendencia de los niveles encontramos que tanto la tendencia lineal como la cuadrática fueron significativas (MCE= 2,75; $F(1,17)= 66,27$; $p < ,001$ para lineal; y MCE= 2,27; $F(1,17)= 6,82$; $p = ,018$ para cuadrática). Al comparar los niveles entre sí encontramos que la amplitud en TCP 4 fue más positiva que en TCP 1 (MCE= 1,94; $F(1,17)= 53,13$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 la diferencia fue marginalmente significativa (MCE= 2,83; $F(1,17)= 3,95$; $p = ,063$).

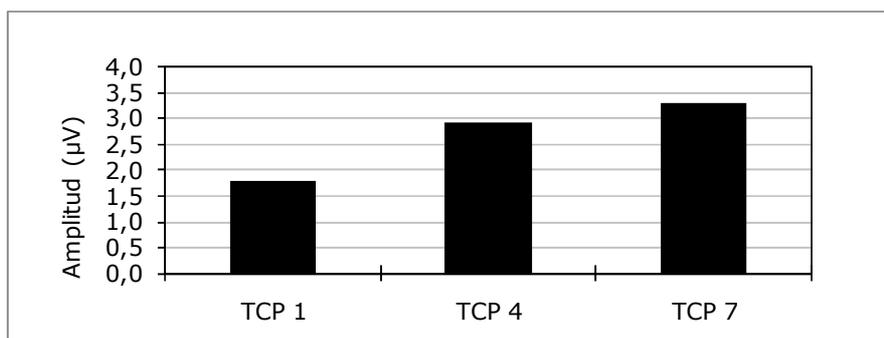


Figura 4.23. Efecto de TCP en amplitud en P2 anterior.

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 1,75; $F(1,42;24,08)= 19,51$; $p < ,001$). La amplitud se mostró centralizada, como aparece en la Figura 4.24.

Al comparar las distintas posiciones entre sí encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue más positiva que en electrodos izquierdos (MCE= 0,99; $F(1,17)= 65,86$; $p < ,001$) y derechos (MCE= 1,40; $F(1,17)= 20,87$; $p < ,001$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias ($p > ,1$)

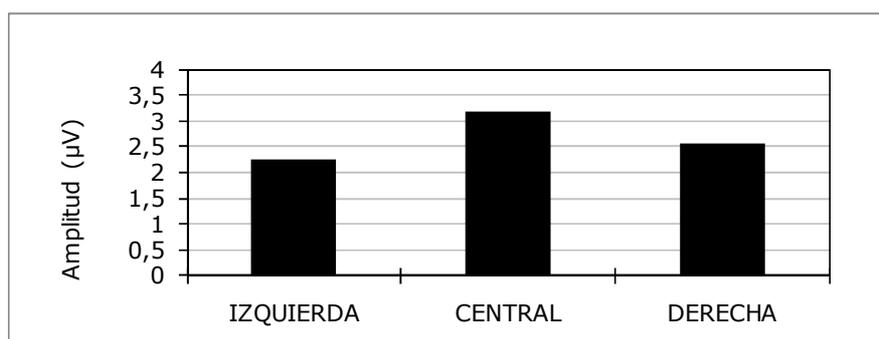


Figura 4.24. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P2 anterior.

2.2.3.3. Ventana temporal 450-750 ms

El promedio de amplitud para cada una de las condiciones experimentales y POSICIÓN para P3 posterior y N3 anterior aparecen en la Tablas IV.11 del Apéndice III.

Componente P3 posterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 2,66; $F(1,78;30,29)= 10,87$; $p < ,001$). La amplitud se hizo más negativa en función del aumento del número de posiciones sobre las que responder, como se ve en la Figura 4.25. Al analizar la tendencia de los niveles encontramos que la tendencia lineal fue significativa (MCE= 3,58; $F(1,17)= 15,06$; $p = ,001$) pero la cuadrática no lo fue ($p > ,1$).

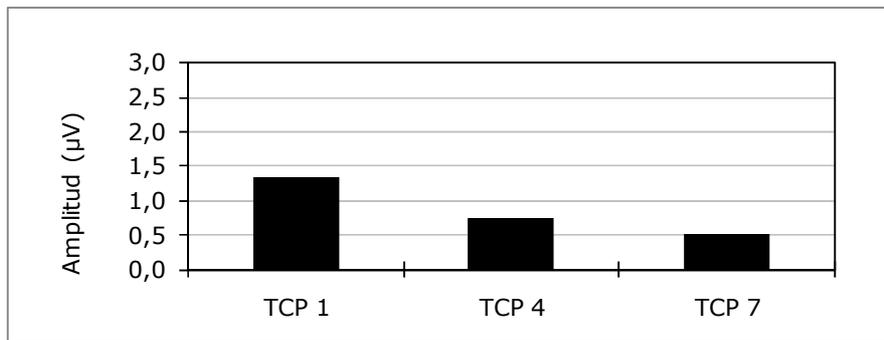


Figura 4.25. Efecto de TCP en amplitud en P2 anterior.

Encontramos efecto principal de POSICIÓN (MCE= 1,72; $F(1,47;24,99)= 7,02$; $p = ,003$). La amplitud apareció centralizada (Figura 4.26). Al comparar entre niveles encontramos que la amplitud en centrales fue más positiva que en electrodos izquierdos (MCE= 2,21; $F(1,17)= 12,94$; $p = ,002$) y derechos (MCE= 2,21; $F(1,17)= 12,94$; $p = ,002$). Entre electrodos izquierdos y derechos no hubo diferencias en amplitud ($p > ,1$)

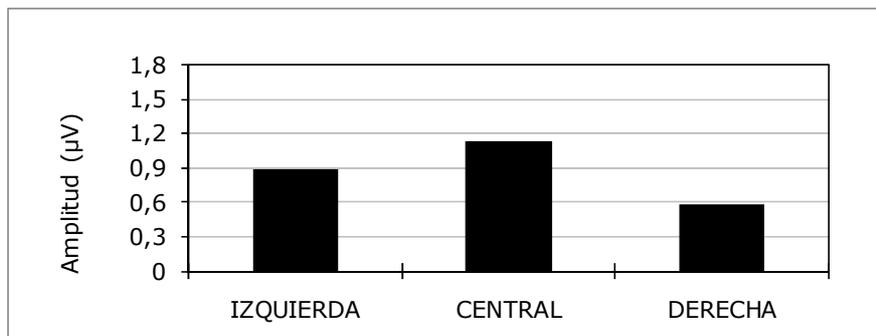


Figura 4.26. Efecto de POSICIÓN en amplitud en P2 anterior.

Componente N3 anterior: amplitud. Encontramos efecto principal de TCP (MCE= 1,93; $F(1,95;33,07)= 17,26$; $p < ,001$). La amplitud se hizo más positiva al aumentar el número de posiciones sobre las que responder, como se ve en la Figura 4.27. Al analizar la tendencia encontramos que la lineal fue significativa (MCE= 2,11; $F(1,17)= 28,29$; $p < 0,001$) y la cuadrática fue marginalmente significativa (MCE= 1,75; $F(1,17)= 3,89$; $p = 0,065$). Al comparar los niveles entre sí encontramos que la amplitud en TCP 1 fue más

negativa que en TCP 4 ($MCE= 1,61$; $F(1,17)= 23,35$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

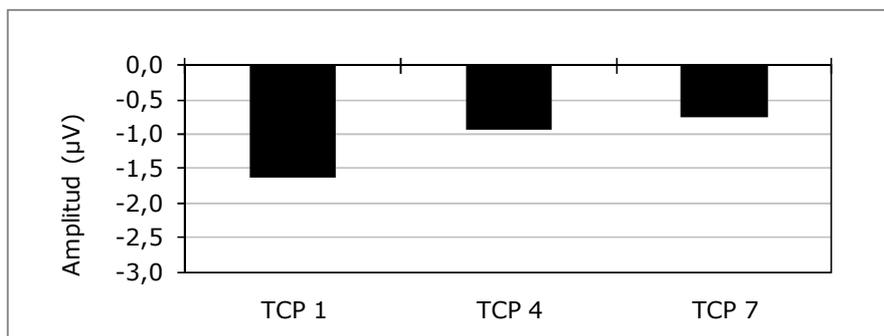


Figura 4.27. Efecto de TCP en amplitud en N3 anterior.

En resumen, en la ventana temporal de 100-180 ms de la fase de búsqueda encontramos efecto de TCP en latencia, de manera que la latencia disminuyó al aumentar TCP. En la ventana de 180-300 ms encontramos efecto de TCP tanto en latencia como en amplitud en N2 posterior y P2 anterior. La latencia disminuyó y la amplitud aumentó al incrementarse TCP. Además, en P2 anterior encontramos efecto de POSICIÓN en latencia y amplitud. La latencia fue mayor en electrodos centrales que derechos, y la amplitud fue mayor en electrodos centrales que en izquierdos o derechos. En la ventana de 450-750 ms, encontramos efecto de TCP en P3 posterior y N3 anterior, aumentando la amplitud al incrementar TCP. Además, en P3 posterior encontramos que la amplitud en electrodos centrales fue mayor que en electrodos izquierdos y derechos.

2.3. Mapas topográficos y estimación de dipolos

En la fase de estudio y fase de búsqueda del Experimento 4, como en el experimento anterior, realizamos la estimación de dipolos para el componente N2/P2, centrándonos en el intervalo temporal usado para calcular la media adaptativa de la amplitud. En la fase de estudio estimamos los dipolos para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 (TCM3-1). En la fase de búsqueda, la estimación se realizó la diferencia entre TCP 7 y TCP 4 (TCP7-1). En el intervalo de retención, nos centramos en la ventana temporal usada para el análisis de la media adaptativa del componente N1100/P1100, estimando dipolos para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 (TCM3-1). Para la fase de estudio y la fase de búsqueda, igual que en el Experimento 3, elegimos los 12 dipolos más intensos en cada una de las muestras de la ventana temporal de 5 muestras a la derecha y 5 muestras a la izquierda a partir del promedio en ms del momento

temporal en el que la amplitud en N2, y en P2 fue máxima. Para el intervalo de retención, elegimos 3 muestras a la izquierda y 3 muestras a la derecha a partir del promedio en ms del momento en el que en el que la amplitud tanto en N1100 como en P1100 fue máxima.

2.3.1. Fase de estudio

En la Figura 4.28 aparecen los mapas topográficos del promedio de amplitud de la ventana temporal de 224 a 264 ms (latencia promedio de los componentes N2/P2 a los 244 ms) en la fase de estudio para TCM 3, TCM 1 y su diferencia.

Como podemos ver en la figura siguiente, a medida que aumenta el TCM la amplitud en zonas posteriores se hace más negativa, y en zonas anteriores más positiva. La diferencia mantiene la negatividad posterior, y la positividad anterior.

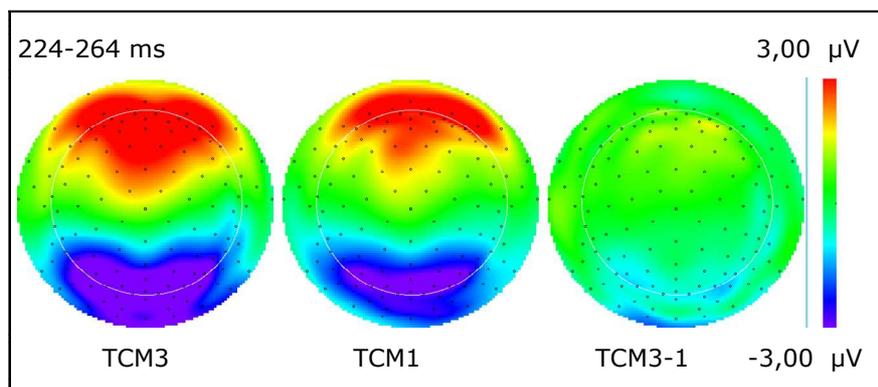


Figura 4.28. Mapas topográficos promedio de amplitud (μV) de la ventana utilizada para calcular la media adaptativa en el análisis de los componentes N2/P2 en la fase de estudio, para TCM 3, TCM 1, y la diferencia entre ambas, TCM 3-1.

Para la estimación de dipolos de la diferencia TCM 3-1 (Figura 4.29) usamos una ventana temporal de 224 a 264 ms (promedio 244 ms). Desde el inicio de la ventana, y hasta los 236 ms aparecieron dipolos en el giro temporal medio izquierdo (AB 21) y el giro temporal inferior (AB 37 y 21), y áreas frontales, el giro frontal medio derecho (AB 10), el giro orbital izquierdo y derecho (AB 11), el giro superior frontal derecho (AB 10) y el giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 11). Durante el resto de la ventana temporal, los dipolos se presentaron en las áreas frontales descritas, y aparecieron más dipolos en el giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 10).

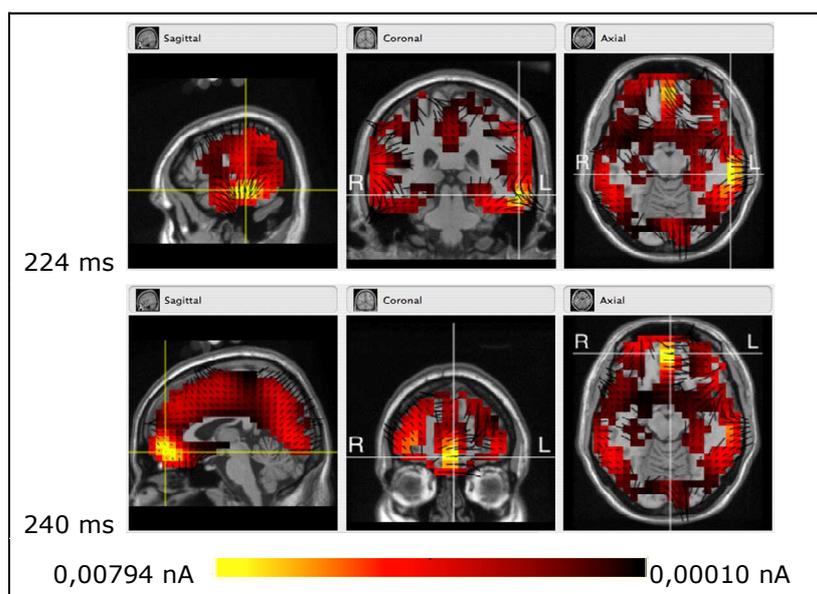


Figura 4.29. Distribución de dipolos modelados para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 en la ventana temporal de análisis de los componentes N2/P2 de la fase de estudio. El punto de unión de las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor intensidad. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

2.3.2. Intervalo de retención.

En la Figura 4.30 y Figura 4.31 aparecen los mapas topográficos y la estimación de dipolos, respectivamente, para TCM 3 y TCM 1 y su diferencia, en la ventana temporal de 1204 a 1228 ms del intervalo de retención (el momento inicial 0 es la aparición de los estímulos de la fase de estudio).

Como podemos ver en los mapas topográficos de la Figura 4.30, en zonas posteriores la amplitud se hace más negativa al aumentar el TCM, y en zonas anteriores se hace más positiva. La diferencia mantiene parte de la negatividad en la zona posterior, y parte de la positividad en la zona anterior.

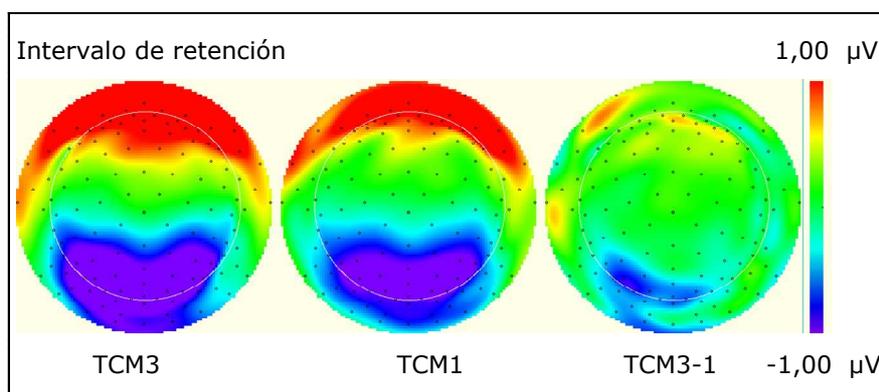


Figura 4.30. Mapas topográficos de amplitud (μV) para TCM 3, TCM 1, y la diferencia entre ambas, TCM 3-1. El mapa representa el promedio de la ventana temporal utilizada para el análisis.

En la estimación de dipolos analizamos la ventana temporal de 1204 a 1228 ms (promedio 1216 ms), como aparece en la Figura 4.31. El momento inicial 0 es la aparición de los estímulos a memorizar en la fase de estudio.

Para TCM3-1 los dipolos se situaron en áreas frontales durante toda la ventana analizada, en concreto el giro frontal medio derecho (AB 10), el giro frontal superior derecho (AB 10), el giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 11 y 10), el giro frontal inferior derecho (AB 10), y el giro orbital izquierdo y derecho (AB 11).

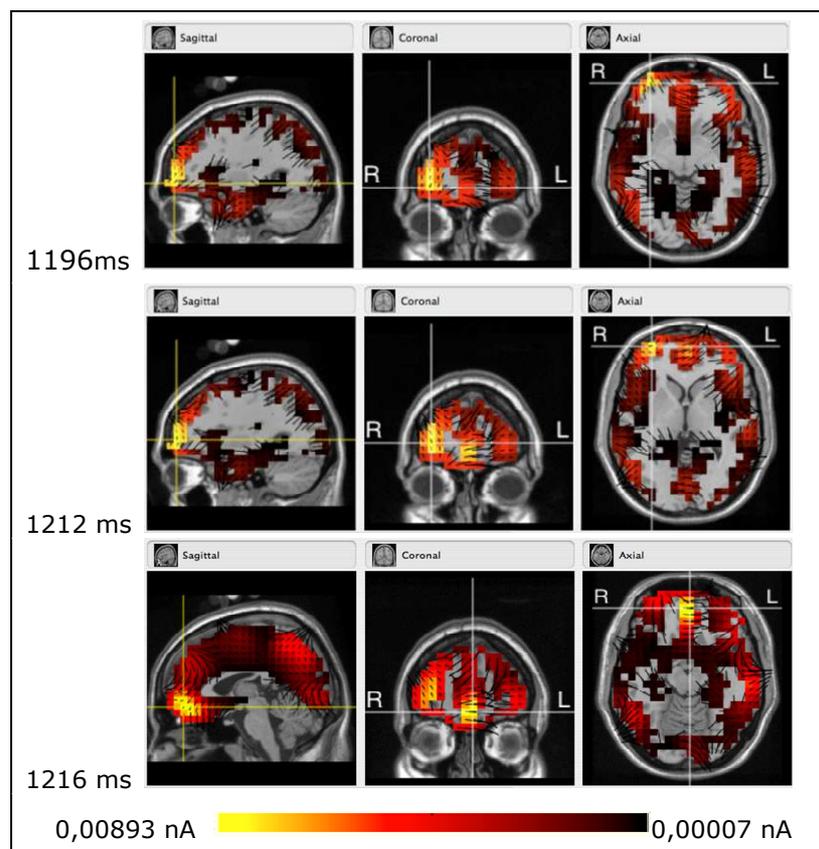


Figura 4.31. Distribución de dipolos modelados para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 en la ventana temporal del intervalo de retención. El punto de unión de las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor intensidad. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

2.3.3. Fase de búsqueda

En la Figura 4.32 aparecen los mapas topográficos del promedio de amplitud de la ventana temporal de 212 a 252 ms (latencia promedio de los componentes N2/P2 a los 232 ms), para TCP 7, TCP 1 y su diferencia en la fase de búsqueda.

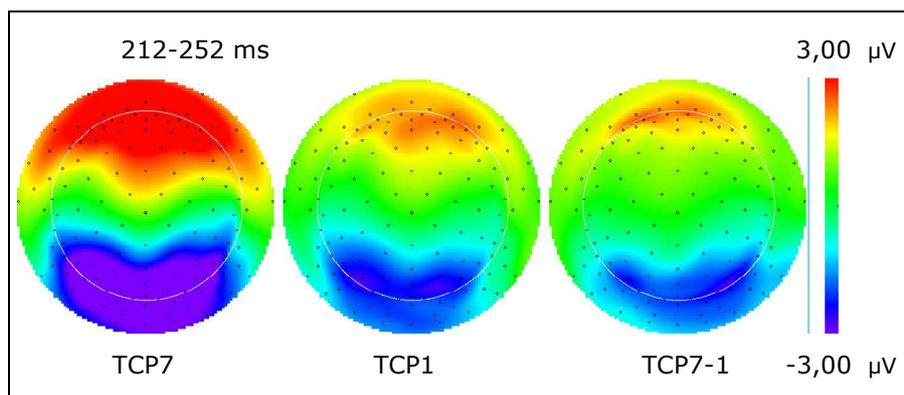


Figura 4.32. Mapas topográficos promedio de amplitud (μV) de la ventana utilizada para calcular la media adaptativa en el análisis de los componentes N2/P2, para TCP 7, TCP 1, y la diferencia entre ambas, TCP 7-1.

A medida que aumenta el TCP, la amplitud es más negativa en zonas posteriores, y más positiva en zonas anteriores. La diferencia mantiene la negatividad posterior, y la positividad anterior.

En la estimación de dipolos, la ventana temporal para TCP7-1 (Figura 4.33) fue de 212 a 252 ms (promedio 232 ms).

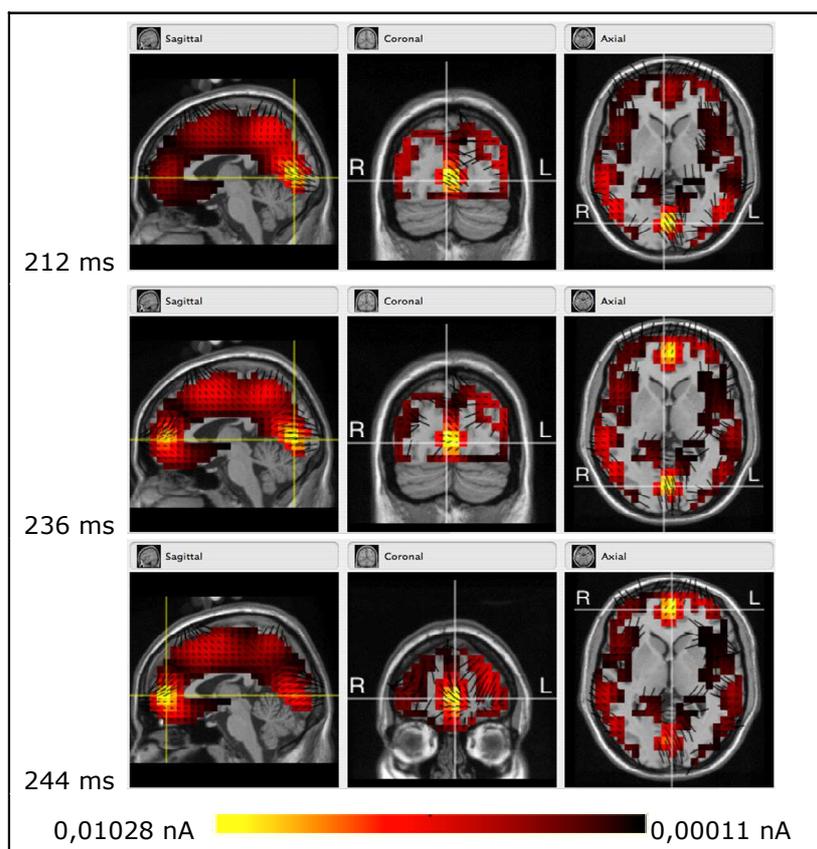


Figura 4.33. Distribución de dipolos modelados para la diferencia entre TCP 7 y TCP 1 en la ventana temporal de análisis de los componentes N2/P2 de la fase de búsqueda. El punto de unión de las dos guías blancas indica la posición del dipolo de mayor intensidad. En las vistas coronal y axial, R significa derecha, y L significa izquierda.

Desde el inicio de la ventana, y hasta los 236 ms, la mayoría de los dipolos aparecieron en áreas occipitales, en concreto en el giro lingual izquierdo y derecho, (AB 18 y 17) y cuneus (AB 17 y 23). El resto de dipolos aparecieron en el giro temporal medio derecho (AB 37) y giro fusiforme derecho (AB 37). A partir de los 236 ms, los dipolos occipitales tienden a desaparecer, y así ocurre a los 244 ms. En lugar de estos dipolos occipitales, aparecieron dipolos en el giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 10) y dipolos en el cíngulo anterior izquierdo (AB 10 y 32), y derecho (AB 10). Estos dipolos frontales se mantuvieron hasta el final de la ventana, así como los dipolos temporales.

3. DISCUSIÓN

Como en los Experimentos 2 y 3, en los resultados comportamentales de precisión y tiempo de reacción encontramos efecto principal de TCM y de TCP. A medida que aumentó el número de posiciones a memorizar o sobre las que responder, disminuyó la precisión, independientemente de la otra variable. En el caso del tiempo de reacción, este aumentó al incrementar el tamaño del conjunto de una y otra variable. También encontramos interacción, pero como en los Experimentos 2 y 3, no es el tipo de interacción esperada si los procesos implicados fueran los mismos, de acuerdo con la lógica de los factores aditivos: en TCM 3 aparece una tendencia cuadrática negativa entre los niveles de TCP que no aparece ni en TCM 1 ni TCM 2. De este modo, igual que concluíamos en los Experimentos 2 y 3, y de acuerdo con la lógica de factores aditivos, los resultados comportamentales nos llevan a pensar que las variables independientes manipuladas afectan a procesos diferentes.

Datos Electrofisiológicos: Análisis de Componentes

Fase de Estudio

En la fase de estudio tanto la latencia como la amplitud se vieron afectadas por las manipulaciones experimentales, en concreto TCM. Respecto a la latencia, en la ventana comprendida entre los 180 y los 300 ms, la única variable manipulada experimentalmente que produjo un efecto fue TCM. Tanto en N2 posterior como en P2 anterior, cuyos picos máximos se localizaron en torno a los 241 y 242 ms, respectivamente, la latencia del componente disminuyó al aumentar TCM.

Por lo que respecta a la amplitud, el efecto fundamental se localiza en la misma ventana, en concreto en el componente N2. La amplitud del componente se incrementó a medida que TCM aumentó. Ni en latencia ni en amplitud de produjo efecto de TCP ni interacción entre ambas variables. Además, en amplitud encontramos un efecto significativo relacionado con la posición de los electrodos, tanto en N2 posterior como en P2 anterior. La amplitud de los componentes fue mayor en electrodos centrales respecto a electrodos lateralizados a la izquierda y a la derecha.

A pesar de que en la fase de estudio de este experimento se replican en parte los resultados del experimento anterior, sobre todo en la especificidad del efecto de la variable TCM cuando aparecen efectos significativos y en la falta de efecto de la variable TCP, existen algunas diferencias que es conveniente resaltar.

En primer lugar se produjo un efecto de TCM en la latencia de los componentes N2 y P2 que no apareció en el Experimento 3. La latencia de los picos de estos componentes disminuyó a medida que aumentó TCM. Aparentemente, la incertidumbre respecto al número de posiciones a memorizar permitió la manifestación de un efecto asociado precisamente a ese número de posiciones. La dirección del efecto fue semejante a la asociada al efecto de TCP en la fase de recuperación en el experimento anterior. En este caso, sin embargo, no existía incertidumbre respecto al número de posiciones a examinar y a pesar de ello se producía un efecto de TCP en la latencia de los componentes, por lo que no parece que la incertidumbre per se sea una razón suficiente para explicar el efecto encontrado en esta fase de estudio. Es posible que este efecto se deba también al número mismo de posiciones presentadas. En ambos experimentos el número de posiciones a memorizar es pequeño, con un máximo de tres y siempre dentro de los límites de la memoria de trabajo (Cowan, 2001). Es posible que en el experimento anterior el conocimiento del número de posiciones anulase el efecto asociado a un número pequeño pero no de un número mayor de posiciones como fueron las presentadas en la fase de recuperación. En este experimento la falta de una expectativa sobre el número habría permitido hacer su aparición al efecto producido por el número pequeño de estímulos a memorizar.

En segundo lugar, en la fase de estudio de este experimento el efecto producido por TCM en la amplitud de los potenciales evocados está restringido

al componente N2 posterior. Ni P2 anterior, ni los componentes de la ventana temporal entre 400 y 600 ms presentaron efecto significativo alguno, cosa que no ocurrió en el experimento anterior en el que tanto N2 como N3 y P3 exhibieron un claro efecto de TCM. Lo mismo ocurre con el efecto relacionado con la posición de los electrodos que, aunque volvió a localizarse en zonas centrales del registro como en el experimento anterior, se redujo también al componente N2 posterior. Parece, por tanto, que una consecuencia importante de la aleatorización de las condiciones experimentales a través de los ensayos ha resultado en una considerable amortiguación de los efectos en amplitud y posición encontrados en el experimento anterior, aunque la naturaleza del efecto no haya cambiado de un experimento a otro.

Intervalo de Retención

La fase de mantenimiento, durante el intervalo de retención, es la fase en la que las diferencias entre los experimentos 3 y 4 son mayores. En el Experimento 3 la amplitud de las ondas lentas, tanto positiva como negativa, aumentó en función del tamaño del conjunto de memoria y este incremento se mantuvo constante a lo largo de todo el intervalo de retención. En este experimento solamente se encontró efecto de TCM al comienzo del intervalo de retención, en una ventana temporal comprendida entre los 1150 a los 1275 ms tras la aparición de los estímulos de la fase de estudio. Este efecto, que denominamos N1100 posterior, y P1100 anterior, mostró una latencia aproximada de 1216 ms. La onda lenta negativa posterior y la onda lenta positiva anterior se observaron durante todo el intervalo, pero no mostraron efecto de ninguna variable. En la ventana temporal mencionada la latencia sólo mostró efecto de la posición de electrodos. En N1100 posterior la latencia fue mayor en electrodos derechos; en P1100 anterior, la latencia fue mayor en electrodos centrales.

En amplitud, tanto N1100 anterior como P1100 posterior mostraron un claro efecto de TCM. La amplitud de los componentes aumentó en función del tamaño del conjunto de memoria pero no hubo ningún efecto de TCP ni interacción entre las dos variables. Además, encontramos efecto de la posición de los electrodos, de modo que la amplitud en ambos componentes fue mayor en electrodos centrales que en electrodos izquierdos y derechos. En general, la aleatorización de las condiciones experimentales redujo extraordinariamente el efecto encontrado en el experimento anterior aunque, cuando apareció,

presentó las mismas características que en aquel. Parece como si en la nueva forma que la tarea adquirió en este experimento, los participantes, probablemente debido a la incertidumbre respecto al tamaño del conjunto de presentación a esperar, fueran incapaces de mantener una expectativa coherente durante todo el intervalo de retención y se limitaran a repasar las posiciones una vez, poco después de la desaparición de los estímulos.

Fase de Búsqueda

En la fase de búsqueda o recuperación los resultados fueron más parecidos a los obtenidos en el Experimento 3 y, al igual que en ese experimento, presentaron un patrón diferente al encontrado en las dos fases anteriores. Aún así, también en esta fase se produjo una reducción de los efectos encontrados anteriormente.

Aparecieron efectos significativos en latencia, que no habían aparecido en la fase de estudio, en la ventana temporal comprendida entre los 100 y los 180 ms, en los componentes P1 posterior y N1 anterior. Estos componentes presentaron un pico máximo promedio de 142 y 139 ms, respectivamente. Tanto estos componentes tempranos como los componentes P2 y N2 de la ventana temporal 180 a 300 ms, con una latencia promedio de 227 y 230 ms cada uno de ellos, mostraron efectos de TCP en latencia, en la misma dirección: a medida que aumentó TCP disminuyó la latencia. En ningún caso encontramos efecto de TCM ni de la interacción entre esas variables. En particular, no se replicó el efecto producido por TCM en la latencia de P1 que había aparecido en el Experimento 3.

En el caso de la amplitud, sólo N2 posterior y P2 anterior mostraron efecto de TCP de modo que, al aumentar TCP, la amplitud de estos componentes disminuyó. No aparecieron efectos de TCM ni de interacción entre TCM y TCP. Los efectos encontrados en P1 y N1 en el experimento anterior no se replicaron.

El efecto de posición de los electrodos quedó restringido a electrodos anteriores, de modo que en P2 anterior, tanto la latencia como la amplitud del componente en electrodos centrales fue mayor que en electrodos lateralizados a izquierda y a derecha. El efecto de posición en la amplitud del componente N2 posterior encontrado en el Experimento 3 no se replicó.

En la ventana comprendida entre los 450 y los 750 ms, volvió a aparecer efecto significativo de TCP en P3 posterior y N3 anterior, de modo que la amplitud disminuyó en ambos componentes a medida que aumentó TCP. Ninguno de estos componentes mostró efecto de TCM ni de la interacción entre las variables. En esta ventana temporal el efecto principal de la posición de los electrodos también mostró una clara tendencia a aumentar la amplitud de P3 posterior en electrodos centrales comparados con los situados a la derecha o la izquierda.

En resumen, el análisis de los componentes de los potenciales corticales evocados en este experimento mostró una reducción general de los efectos encontrados en el experimento anterior. No obstante, cuando los efectos fueron significativos, lo fueron en la misma dirección que en ese experimento. Las fases de estudio y mantenimiento se vieron afectadas únicamente por el tamaño del conjunto de memoria, mientras que en la fase de búsqueda sólo el tamaño del conjunto de presentación fue relevante. En cuanto al efecto asociado a la posición de los electrodos de registro, también en este experimento predominó una localización de los efectos en zonas centrales de la cabeza.

Datos Electrofisiológicos: Estimación de Dipolos

Los mapas topográficos de las tres fases son similares para las variables que afectan a cada una de ellas (TCM en fase de estudio e intervalo de retención; TCP en fase de búsqueda), mostrando una negatividad posterior y una positividad anterior que son más intensas y están más distribuidas a medida que tanto TCM como TCP aumentan. Estos mapas son similares en los dos experimentos.

Por lo que respecta la estimación de dipolos, en la fase de estudio analizamos una ventana de 224 a 264 ms. Los dipolos más activos entre los 224 y los 236 ms para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 se situaron en áreas temporales, los giros temporales medio izquierdo e inferior (AB 21 y 37), así como en áreas frontales, los giros medio frontal derecho, orbital izquierdo y derecho, superior frontal derecho, y medial izquierdo y derecho (AB 10 y 11). A partir de los 236 ms, los dipolos más intensos se situaron en las áreas frontales descritas. Respecto al Experimento 3, los dipolos en áreas frontales son

similares, mientras que los dipolos temporales aparecieron en el hemisferio izquierdo, y fueron previos a los dipolos frontales.

En el intervalo de retención, los dipolos más activos durante toda la ventana analizada de 1204 a 1228 ms para la diferencia entre TCM 3 y TCM 1 se situaron en áreas frontales, en concreto los giros medio derecho, superior derecho, medial izquierdo y derecho, inferior derecho y orbital derecho e izquierdo (AB 10 y 11). Si lo comparamos con el experimento anterior, durante todo el intervalo de retención, en aquel experimento los dipolos más intensos se situaron en áreas temporales, en concreto el giro temporal medio, fusiforme y temporal inferior, todos derechos (AB 21 y 37), así como en áreas frontales, giro orbital izquierdo y derecho y giro frontal medial izquierdo y derecho (AB 11). Estos dipolos frontales son parte de los dipolos frontales que aparecen en el cuarto experimento, en el que han predominado exclusivamente las áreas frontales. Resulta interesante observar que en este experimento se mostraron activas también otras áreas frontales laterales, preferentemente del hemisferio derecho, áreas que han sido relacionadas con procesos de recuperación en memoria (Nyberg, Cabeza y Tulving, 1996; Rugg, 2004) lo que hace pensar que, cuando las condiciones experimentales no estuvieron bloqueadas, los participantes tuvieron que recurrir también a mecanismos relacionados con el recuerdo para llevar a cabo la tarea.

En la fase de búsqueda, en la ventana de 212 a 252 ms tras la aparición de los estímulos los dipolos más activos para la diferencia entre TCP 7 y TCP 1 se situaron principalmente en áreas occipitales hasta los 236 ms, en concreto giro lingual izquierdo y derecho y cuneus (AB 17, 18 y 23). También aparecieron en áreas temporales, los giros medio y fusiforme, ambos en el hemisferio derecho (AB 37). Desde ese momento hasta el final de la ventana analizada, los occipitales tienden a desaparecer, y en su lugar aparecen dipolos en giro frontal medial izquierdo y derecho y cíngulo anterior (AB 10 y 32). Respecto al experimento anterior, los dipolos se sitúan en áreas similares, primero en el giro lingual y cuneus, y posteriormente estos dipolos son sustituidos por dipolos en áreas temporales y áreas frontales. Estas áreas frontales presentan una localización más dorsal que en el experimento anterior y algo más posterior, incorporando zonas del cíngulo anterior.

En general, los resultados de este experimento fueron muy parecidos a los del experimento anterior aunque el efecto de las variables experimentales

en los componentes de los potenciales evocados se redujo considerablemente, sobre todo en las fases de estudio y de mantenimiento. No obstante, para el objetivo principal de esta investigación los resultados replicaron los principales hallazgos del Experimento 3. El tamaño del conjunto de memoria afectó a las fases de estudio y de mantenimiento pero estas fases nunca se vieron afectadas por el tamaño del conjunto de presentación, mientras que esta variable fue la principal responsable de los efectos encontrados en la fase de búsqueda, que no se vio afectada por el tamaño del conjunto de memoria. En ninguna fase hubo interacción de las dos variables. En cuanto a los mecanismos neuronales, resultantes de la estimación de los dipolos, los resultados de este experimento fueron semejantes a los del Experimento 3.

DISCUSIÓN GENERAL

Dentro del marco de la teoría atencional de Posner y del modelo de Baddeley sobre memoria de trabajo, esta investigación ha explorado las relaciones entre atención espacial y memoria de trabajo espacial. Estas relaciones se han investigado en el nivel de tarea, de procesos comprendidos en la tarea y de mecanismos neuronales involucrados en esos procesos. La investigación se ha basado en la utilización conjunta de experimentos comportamentales y técnicas de electroencefalografía de alta densidad.

El punto de partida de esta investigación fue la hipótesis propuesta por Awh y colaboradores (2000) según la cual la atención espacial es el mecanismo implicado en el repaso en la memoria de trabajo espacial. En el Experimento 1 replicamos parcialmente los resultados de Awh et al. (2000) y Jha (2002). Encontramos que los potenciales evocados relacionados con estímulos irrelevantes que se presentaban durante el intervalo de retención de una tarea de memoria de trabajo espacial presentaban una modulación de tipo atencional, similar a la modulación de esos mismos estímulos en una tarea de atención espacial. En concreto, el componente P1 presentó mayor amplitud ante tableros irrelevantes que se presentaban en el mismo hemisferio en el que aparecían las posiciones a memorizar, o en el mismo hemisferio al que había que prestar atención, que ante tableros que se presentaban en el otro hemisferio. Además, en los electrodos de registro con posición contralateral respecto al hemisferio de presentación de los tableros este componente también presentó mayor amplitud que en electrodos ipsilaterales. Estos dos resultados son típicos en la literatura de orientación de la atención. Esta modulación de tipo atencional en la memoria de trabajo espacial implica que durante el intervalo de retención la atención está dirigida a las posiciones memorizadas, lo que mantiene las representaciones de esas posiciones.

Los resultados de nuestro primer experimento mostraron también, al contrario que en los experimentos anteriormente citados, un claro efecto de la tarea y una interacción entre el efecto de la señal y el de la tarea. En general, el efecto atencional que comparó las amplitudes de los componentes entre las condiciones señaladas y no señaladas, fue mayor en la tarea de atención que en la de memoria de trabajo. Por otra parte el efecto de la tarea dependió de los componentes analizados; mientras que en los componentes positivos la tarea de atención mostró mayores amplitudes, en los negativos lo hizo la tarea de memoria.

El análisis de los dipolos asociados a los componentes de los potenciales evocados mostraron por lo general una localización posterior, preferentemente occipital y parietal. Esto fue así durante la ventana temporal entre los 80 y los 140 ms para los efectos atencionales en ambas tareas y, cuando se analizó por separado el efecto de la tarea, para la de atención. En el caso de la tarea de memoria hicieron su aparición, junto a dipolos situados en las zonas anteriormente mencionadas, zonas frontales con una localización rostral y ventral (AB 10 y 11). En la ventana entre los 150 y los 220 ms los dipolos predominantes en la tarea de memoria fueron los frontales que acabamos de mencionar. En la tarea de atención predominaron las activaciones posteriores de la ventana anterior, aunque al final del intervalo analizado, hicieron su aparición las mismas zonas frontales que en la tarea de memoria.

Nuestra conclusión principal respecto a los resultados del primer experimento se concentra en la inadecuación del paradigma introducido por Awh y colaboradores (2000) para responder a la pregunta sobre la relación entre los procesos de mantenimiento en memoria de trabajo espacial y los de atención espacial. Al limitarse a comparar la respuesta a tableros irrelevantes en dos tareas diferentes, una de memoria de trabajo y otra de atención espacial, solamente cabe constatar si los efectos son iguales o diferentes. En el caso de ser iguales cabe asumir que los procesos involucrados son los mismos; esto es lo que Awh y colaboradores asumieron sobre la base de sus resultados. En nuestro caso los resultados fueron parcialmente semejantes con lo que las conclusiones son más difíciles de hacer. Nuestra tarea de memoria resultó ser más difícil de llevar a cabo que la de atención, en consecuencia los efectos atencionales, cuando aparecieron, fueron mayores en la tarea de atención que en la de memoria. Además la tarea de memoria y la de atención afectaron a componentes distintos de los potenciales evocados y, como se deduce del análisis de dipolos, a zonas del cerebro que pudieron o no coincidir en ambas tareas dependiendo del momento temporal en cada una de ellas. Nuestros resultados no permiten afirmar la igualdad de procesos ni aclarar el grado posible de solapamiento entre ellos. El paradigma tampoco permite determinar en qué medida los resultados que puede proporcionar nos informan sobre los mecanismos o procesos implicados en la tarea o sobre los efectos que esos mecanismos de atención o de mantenimiento producen en las áreas visuales implicadas. Por todo ello decidimos cambiar de paradigma experimental.

EL CAMBIO DE PARADIGMA

Una de las aportaciones de esta tesis ha consistido en proponer una nueva forma de analizar la relación entre los mecanismos de mantenimiento en memoria de trabajo espacial, y los de atención espacial. En la medida de nuestros conocimientos, el paradigma es nuevo en su conjunto pero capitaliza la información recogida en numerosas investigaciones anteriores tanto en el área de la memoria de trabajo como en la de la atención espacial en la búsqueda visual. Consiste en fusionar una tarea de memoria tipo Sternberg, con su correspondiente manipulación del tamaño del conjunto de memoria (TCM), con una tarea de búsqueda visual, de modo que en la fase de prueba de la tarea de memoria, en lugar de presentar la diferencia entre ensayos positivos y negativos en un conjunto de presentación de tamaño constante, se manipula expresamente el tamaño del conjunto de presentación (TCP). Este paradigma nos ha permitido poner en relación los resultados comportamentales obtenidos en la tarea con los procesos involucrados en la misma claramente definidos en términos de su implicación en las distintas fases de procesamiento: **codificación** en la fase de estudio, **mantenimiento** durante el intervalo de retención y **búsqueda visual** en la fase de prueba. Mediante la utilización del análisis de dipolos asociados a los componentes de los potenciales corticales evocados durante las diferentes fases de procesamiento, hemos podido hacer inferencias acerca de los mecanismos neuronales implicados en cada uno de los procesos característicos de cada fase. Somos conscientes de las dificultades asociadas al "problema inverso" a la hora de determinar en términos absolutos las zonas cerebrales involucradas en cada proceso, pero consideramos que este tipo de análisis encierra un alto valor a la hora de responder al juicio comparativo sobre el grado de semejanza entre las áreas implicadas en los distintos procesos. Aunque la precisión respecto a la localización exacta de las zonas cerebrales implicadas en los procesos no sea muy exacta, la técnica utilizada para estimar los dipolos puede indicarnos si los mecanismos involucrados en cada fase son los mismos o no.

Por otra parte, nuestro paradigma experimental nos proporcionó la oportunidad de relacionar los datos obtenidos en cada uno de los niveles de análisis explorados: el nivel de la tarea, de los procesos y de los mecanismos, así como la posibilidad de estudiar las relaciones entre ellos. Resumiremos ahora los principales resultados.

EL NIVEL COMPORTAMENTAL

En primer lugar nuestro paradigma nos permitió manipular el proceso de repaso que era el objetivo prioritario de esta investigación. En la tarea utilizada en el Experimento 1, e introducida por Ahw y colaboradores (2000), la carga a codificar y mantener en memoria fue constante en todos los ensayos de la tarea de memoria lo que hacía difícil igualar el nivel de dificultad de las tareas de memoria y de atención. Nelli Lavie ha demostrado que la capacidad de procesar los distractores en una tarea de atención selectiva varía con el tipo de carga tanto perceptiva como de memoria de trabajo (ver Lavie, 2005). En la tarea utilizada en el Experimento 1 tanto la carga de memoria como la perceptiva fue diferente en las dos tareas lo que contribuyó a imposibilitar la igualdad de las tareas en dificultad. En nuestro paradigma este problema se resolvió mediante la manipulación expresa de la carga de memoria en todas las fases del experimento, teniendo buen cuidado de que la carga máxima no excediera la amplitud de la memoria de trabajo. De hecho la carga de memoria máxima utilizada fue de tres posiciones, la misma carga que se utilizó de forma constante en el Experimento 1.

En segundo lugar, al manipular también el tamaño del conjunto de presentación en la fase de búsqueda pudimos cruzar las dos variables, manipuladas a tres niveles cada una, en un diseño factorial que nos permitió aplicar la lógica de los factores aditivos propuesta por Sternberg (1969). De acuerdo con esta lógica, la presencia de efectos principales de cada una de las variables en ausencia de interacción es indicativo de que esas variables afectan a procesos psicológicos distintos, mientras que la presencia de una interacción en la que la pendiente de la función que relaciona la variable dependiente con los niveles de una de las variables manipuladas varíe en incrementos cada vez mayores para los niveles de la otra variable, es indicativo de que ambas variables afectan al mismo proceso.

Los resultados de los tres últimos experimentos mostraron una estructura semejante. En el caso de la precisión, medida por medio d' , encontramos que, tanto al aumentar el número de posiciones a memorizar como el número de posiciones sobre las que responder, la precisión en la tarea disminuyó. La interacción entre las variables nunca fue significativa. En cuanto al tiempo de reacción, siempre obtuvimos efecto principal de las dos variables mostrando un aumento del mismo a medida que aumentaba tanto la carga de

memoria como el número de posiciones en el conjunto de presentación. Cuando apareció interacción significativa entre las variables, el sentido de la interacción fue contrario al que hubiera indicado un efecto conjunto de las dos variables sobre un mismo proceso. En nuestros datos, cuando alguna tendencia cuadrática fue significativa, siempre resultó ser negativa y no positiva. El incremento en tiempo de reacción entre la carga media y la máxima, o no varió, o fue menor que el incremento entre la carga mínima y la media tanto en lo referente al conjunto de memoria como al conjunto de presentación. En conjunto, por tanto, los resultados comportamentales apuntan claramente en la dirección de que las dos variables manipuladas afectan a procesos diferentes.

ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE LOS POTENCIALES CORTICALES

Tanto en el Experimento 3 como en el Experimento 4, los resultados fueron muy parecidos aunque en general los efectos encontrados en el primero de ellos tendieron a reducirse considerablemente al aleatorizar las condiciones experimentales entre ensayos en el Experimento 4. No obstante, la alta semejanza entre los resultados de ambos experimentos nos permite comentar a ambos conjuntamente al repasar lo ocurrido en cada fase del experimento.

Fase de estudio: Codificación

En la fase de estudio de los dos experimentos se encontró un marcado efecto debido a la manipulación de la carga en memoria en el componente N2 que presentó su pico máximo en torno a los 233 ms en el primer experimento y los 241 ms en el segundo. A medida que la carga aumentó, la amplitud del N2 también aumentó. En ninguno de los dos experimentos se registró en este componente efecto del tamaño del conjunto de presentación ni interacción entre las variables manipuladas. En el primer experimento, en el que las condiciones experimentales estaban bloqueadas, el efecto de la carga en memoria se manifestó también en el componente anterior P2 asociado al N2 posterior, cuya amplitud también aumentó de forma lineal con el incremento de la carga. Además en ese experimento el mismo efecto de la carga de memoria se registró también en una amplia ventana situada entre los 400 y los 600 ms, en la que la amplitud de los componentes N3 y P3 disminuyó con el incremento de la carga. Por otra parte, la utilización de una red de alta densidad nos permitió constatar que este amplio efecto de la carga de memoria en la amplitud de los componentes se localizó preferentemente en los electrodos

situados en la zona central del registro. Finalmente, y esto ocurrió exclusivamente en el segundo experimento, la latencia de N2 también varió en función de la carga de memoria, siendo menor cuando esta aumentaba. Las posibles razones de este efecto han sido ya comentadas anteriormente.

Los resultados de esta investigación muestran, por tanto, un efecto claro de la carga de memoria en N2 asociado al proceso de codificación de las posiciones espaciales a recordar. En la literatura experimental el componente N2 se ha visto asociado a la codificación (Ruchkin et al., 1992) aunque no se encontró efecto de la carga. Por otra parte, cuando se ha encontrado efecto de la carga (McEvoy et al., 1998) no ha sido en un componente tan temprano. Como ya se comentó en la discusión del Experimento 3, estas diferencias en resultados pueden estar relacionadas con diferencias en el tipo de tarea y en el grado en que cada tarea obliga al participante a focalizarse en cada una de las localizaciones espaciales a memorizar. En nuestros experimentos, en los que se puso énfasis en esa focalización, el efecto de la carga en N2 ha sido patente en el Experimento 3 y se ha replicado en el Experimento 4. La claridad de esta implicación del componente N2 en la codificación en una tarea de memoria de trabajo constituye una interesante aportación de esta investigación.

En general N2 es un componente ampliamente asociado con la asignación de recursos atencionales en tareas de búsqueda visual (Luck y Hillyard, 1994; Hopfinger, Luck y Hillyard, 2004). También ha sido asociado con la asignación de recursos atencionales a la selección de características estímulares tales como color, tamaño o forma (Hillyard, Mangun, Woldorff y Luck, 1995). Nuestros resultados sugieren que también está asociado con la asignación de recursos atencionales a la selección y codificación de la localización de los estímulos durante la fase de estudio. En nuestros experimentos la codificación de la localización espacial no estuvo asociada a componentes atencionales tempranos. De hecho, en ninguno de los dos experimentos la amplitud de P1 o de N1 se vio afectada por el aumento de localizaciones a memorizar, sin embargo el efecto en N2 fue evidente. Parece por tanto que, a la hora de ser codificada en una tarea de memoria de trabajo, la localización espacial de los estímulos no goza de prioridad respecto a otras características, como podría haberse esperado desde el punto de vista de algunas teorías de la atención espacial (Treisman y Gelade, 1980) sino que se comporta como cualquier otra característica (Duncan, 1985). En general, la

interpretación de nuestros resultados sugiere con fuerza que el proceso de codificación en la fase de estudio es de naturaleza atencional.

Intervalo de retención: Mantenimiento

Los resultados encontrados durante la fase de mantenimiento difieren considerablemente del Experimento 3 al Experimento 4. En el primero de los dos, tanto la amplitud de la onda lenta positiva como la de la onda lenta negativa, mostraron un claro efecto de la carga de memoria durante todo el intervalo de retención. El tamaño del conjunto de presentación no produjo efecto alguno ni se encontró interacción entre las variables. En el segundo experimento de nuevo se encontró únicamente efecto de TCM aunque este efecto estuvo restringido a un corto periodo de tiempo durante el primer segundo del intervalo de retención. En ese intervalo, la amplitud de los componentes negativo posterior y positivo anterior aumentó en función del tamaño del conjunto de presentación. La restricción del efecto a un determinado periodo del intervalo de retención pone de manifiesto que la aleatorización de las condiciones llevada a cabo en este experimento redujo considerablemente la capacidad de los participantes para mantener una expectativa consistente y continuada a lo largo de todo el intervalo de retención, como ocurrió en el Experimento 3, aunque no por ello la ejecución en el reconocimiento, tanto en términos de precisión como en tiempo de reacción, sufrió un cambio significativo.

El hecho de que la única variable independiente que produjo efecto en el intervalo de retención fuera la misma que sólo lo produjo en la fase de estudio sugiere la posibilidad de que los mecanismos responsables del mantenimiento de la información en esta fase sea el mismo o tenga un fuerte solapamiento con el mecanismo, probablemente atencional, responsable de los efectos encontrados en la fase de estudio. Como comentaremos más adelante, el análisis de los dipolos preferentemente activados en ambas fases apunta en esa dirección.

Fase de prueba: Búsqueda Visual

Una aportación del paradigma experimental utilizado en esta investigación fue introducir la manipulación del tamaño del conjunto de presentación durante la fase de prueba, haciéndola semejante a una tarea de búsqueda visual. En la práctica totalidad de investigaciones relacionadas con el

efecto de la carga en la memoria de trabajo, sólo se ha tomado en consideración la carga de memoria y el número de ítems en la fase de prueba se ha limitado a uno. En esta investigación, al introducir la manipulación del tamaño del conjunto de presentación, quisimos comprobar si los procesos implicados en esta fase eran fundamentalmente los mismos que intervenían en las fases anteriores o no. La tarea de búsqueda visual ha sido siempre considerada como una de las principales tareas para estudiar la atención (Duncan, 1980; Treisman y Gelade, 1980; Wolfe, 2003). Pensamos que la semejanza entre los mecanismos involucrados en esta fase y los que intervienen en las fases anteriores, proporcionaría importante evidencia a favor de la naturaleza atencional de los mismos.

En la fase de recuperación del Experimento 4 también se produjo una reducción de los efectos encontrados en el Experimento 3, aunque no resultó tan amplia como en las fases anteriores. En ambos experimentos los resultados fueron en la misma dirección. El más llamativo de ellos fue que, en esta fase, la variable que produjo los principales resultados fue el tamaño del conjunto de presentación, con muy escasa influencia del tamaño del conjunto de memoria y nunca se produjo interacción entre las dos variables. Parece claro, por tanto, que en este paradigma cada una de las variables manipuladas afecta a una fase diferente de procesamiento; el tamaño del conjunto de memoria afecta de forma preferente a los resultados de las fases de estudio y de mantenimiento, mientras que el tamaño del conjunto de presentación produce su efecto en el momento de la búsqueda y recuperación. Resulta particularmente interesante que TCM prácticamente no influyera durante esta fase. Solamente en el Experimento 3, TCM afectó a la latencia de P1, que se incrementó con el aumento de la carga, y a la amplitud del componente tardío N3, que disminuyó en función del tamaño del conjunto de memoria. En este componente también se encontró un efecto semejante de TCP pero no se encontró interacción entre las dos variables. El escaso efecto de TCM en las fases de prueba de nuestra investigación se ciñó al experimento en que las condiciones experimentales estuvieron bloqueadas y desapareció tan pronto como éstas se aleatorizaron.

Por lo que respecta al tamaño del conjunto de presentación, en esta fase encontramos efecto de esta variable en los tres componentes analizados. En el componente temprano N1-P1, afectó a la latencia TCP en los dos experimentos; en ambos disminuyó a medida que aumentaba la carga. De acuerdo con

resultados previos (Taylor 2002) el proceso de búsqueda se puso en marcha más rápidamente cuanto mayor era el conjunto a explorar. En cuanto a la amplitud de este componente, únicamente apareció en el Experimento 3, disminuyendo en función de la carga. Esta disminución en amplitud, no ha aparecido en investigaciones previas y tiene las mismas características que el efecto encontrado en los componentes más tardíos. Con todo resulta muy difícil pensar que el ambos efectos se deben a los mismos mecanismos. Es probable que en nuestro Experimento 3 haya que interpretar esta disminución en amplitud como un efecto de intercambio entre velocidad y amplitud; la mayor velocidad en la búsqueda de un conjunto de presentación de numerosas posiciones, impide que cada una de ellas atraiga un grado de atención comparable al que produce una única posición. En cualquier caso, merece la pena resaltar que en esta fase la localización espacial del objetivo sí se vio afectada por el tamaño del conjunto de presentación en el componente temprano N1-P1, cosa que no encontramos que ocurriera en la fase de estudio con el tamaño del conjunto de memoria.

Sin duda el mayor efecto producido por TCP en esta fase tuvo lugar en los componentes N2-P2 con unas características topográficas parecidas al efecto producido por TCM en la fase de estudio. A medida que aumentó el número de posiciones entre las que buscar el objetivo, la latencia de los componentes disminuyó y la amplitud aumentó. Este efecto apareció tanto en el Experimento 3 como en el Experimento 4, y en ambos experimentos en las dos fases los picos máximos aparecieron en momentos semejantes, aunque ligeramente antes en la fase de búsqueda que en la fase de estudio.

Como ya se comentó anteriormente, N2 es un componente asociado con la asignación de recursos atencionales en tareas de búsqueda visual (Luck y Hillyard, 1994; Hopfinger, Luck y Hillyard, 2004) y con la asignación de recursos atencionales a la selección de características estímulares tales como color, tamaño o forma (Hillyard, Mangun, Woldorff y Luck, 1995). Como en la fase de estudio, en nuestra investigación ha aparecido relacionado con la selección de la localización espacial. También en nuestro caso, en donde la presentación de los estímulos no ha estado lateralizada, el efecto ha presentado una localización muy centrada en el registro y significativamente mayor en amplitud que en posiciones lateralizadas. En aquellas investigaciones en las que la presentación se ha lateralizado, este efecto suele localizarse en el hemisferio

contralateral, es denominado N2pc, y suele visualizarse comparando el efecto contralateral con el ipsilateral y no tomando en consideración los electrodos centrales. Hopfinger, et al. (2004) consideran que el efecto N2pc puede ser el equivalente en el ERP humano al efecto atencional que se ha obtenido mediante electrodos unicelulares en las áreas V4 y corteza inferotemporal en monos mientras realizaban tareas de búsqueda visual (Chelazzi, Duncan, Miller y Desimone, 1998; Chelazzi, Miller, Duncan y Desimone, 1993; Chelazzi et al., 2001). Al menos un experimento que ha utilizado MEG, ha encontrado que el componente N2pc se genera en la corteza occipito-temporal con una ligera contribución de la corteza parietal posterior (Hopf, Luck, Girelli, Hagner, Mangun, Scheich y Heinze, 2000).

El N2pc aparece preferentemente asociado al componente top-down del sistema atencional propuesto por Posner (Posner y Petersen, 1990) y ampliamente investigado por Corbetta y Shulman (2002). Este componente aumenta en tareas de búsqueda visual en las que el objetivo está definido por conjunción de características (Luck y Hillyard, 1995; Luck y Ford, 1998), varía de forma secuencial entre estímulos cuando el proceso de búsqueda es serial (Woodman y Luck, 1999, 2003) y es sensible al tamaño del conjunto de presentación (Luck, Girelli, McDermott y Ford, 1997). El efecto de nuestro N2-P2 central presenta unas características muy parecidas al N2pc y representa una de las primeras demostraciones de su participación en una tarea de búsqueda visual en la que los estímulos no han sido lateralizados. Además, nuestro paradigma sugiere que este componente N2-P2 es probablemente el mismo que aparece en la fase de estudio de una tarea de memoria de trabajo y, como comentaremos más adelante, probablemente está relacionado con el mecanismo responsable del mantenimiento durante el intervalo de retención.

Finalmente en la fase de búsqueda de nuestro Experimento 3, encontramos también efecto de TCP en un componente tardío N3-P3 cuya amplitud disminuyó en función del tamaño del conjunto de presentación. Este resultado es semejante al encontrado por otros autores en el P300 (Brookhuis et al., 1981; Lorist et al., 1996) y, de nuevo es semejante al encontrado en nuestra investigación en la fase de estudio. Una vez más nuestros resultados apuntan en la dirección de que los mecanismos implicados en la fase de estudio y en la fase de prueba de nuestra tarea son los mismos.

LOS MECANISMOS NEURONALES: ESTIMACIÓN DE DIPOLOS

La utilización de un montaje de registro de alta densidad nos permitió utilizar procedimientos para estimar las áreas cerebrales responsables de los efectos encontrados. Nuestro análisis se centró en el componente N2 para las fases de estudio y de búsqueda, y en las ventanas temporales en las que la manipulación de la carga en memoria produjo efectos significativos, en el caso del intervalo de retención. En esos intervalos temporales consideramos de especial interés indagar las estructuras relacionadas con la diferencia máxima en amplitud tanto entre los niveles de TCM como entre los de TCP. En concreto nos focalizamos en la diferencia entre las condiciones en que el tamaño del conjunto de memoria fue de tres y de un ítem, y entre las condiciones en que el tamaño del conjunto de presentación fue de siete y de un ítem. A pesar de que las técnicas de estimación de dipolos carecen por el momento de la precisión que otras técnicas poseen para establecer en términos absolutos la localización de las áreas implicadas en las distintas fases de nuestra tarea, sí son capaces de determinar si las áreas involucradas son o no las mismas en cada fase.

Los resultados del análisis arrojaron información valiosa para el objetivo de esta investigación. En primer lugar, tanto en el Experimento 3 como en el cuatro, aparecieron áreas frontales que estuvieron implicadas en las tres fases de la tarea. En concreto, zonas del giro frontal medial de ambos hemisferios (AB 10 y 11) emergieron entre las más activas tanto en la fase de estudio como en la de mantenimiento y en la de búsqueda visual. Estos resultados sugieren la existencia de mecanismos neuronales comunes a las tres fases, mecanismos relacionados con los momentos en que las diferencias en los efectos producidos por la carga, tanto de memoria como de búsqueda, fueron máximas. Por otra parte, el hecho de que estos mecanismos estén asociados tanto en la fase de estudio como en la fase de búsqueda con el componente N2, de clara naturaleza atencional, permite inferir que también durante el intervalo de retención el mecanismo responsable del mantenimiento de la información en memoria es atencional. En conclusión nuestros resultados sugieren con fuerza que tanto la codificación asociada a la fase de estudio, como el mantenimiento de la información asociado al intervalo de retención y la búsqueda visual asociada a la fase de prueba están mediados por los mismos mecanismos atencionales.

En segundo lugar, en la fase de estudio y en el intervalo de retención, las áreas frontales anteriormente mencionadas participaron conjuntamente con áreas del lóbulo temporal medial e inferior sobre todo en el Experimento 3. Estos resultados por una parte acentúan el solapamiento entre los mecanismos neuronales de estas dos fases y, por otra, dada la relación de las zonas temporales con los mecanismos de memoria, apuntan a una interacción preferencial entre áreas atencionales y de memoria durante los procesos de codificación y de mantenimiento. Esta interpretación es coherente con el hecho de que en estas dos fases de procesamiento la única variable que produjo efectos significativos fue el tamaño del conjunto de memoria.

En tercer lugar, durante la fase de prueba, las áreas que aparecieron más claramente activadas, junto a las frontales antes indicadas, fueron áreas de la corteza occipital visual. Aunque también hubo indicios de participación de áreas temporales, el predominio de las occipitales fue manifiesto. Estos resultados sugieren que durante esta fase, los mecanismos de control atencional interaccionan preferentemente con las áreas visuales en que se trata de encontrar las localizaciones buscadas. Esta interpretación resulta acorde con el hecho de que en esta fase la única variable que produjo efectos significativos fue el tamaño del conjunto de presentación. También merece la pena resaltar que en el Experimento 1, al llevar a cabo la estimación de dipolos, las áreas que aparecieron más activas, tanto durante la tarea de atención, como al tratar de estimar los dipolos relacionados con el efecto atencional en ambas tareas, fueron áreas occipitales semejantes a las que aparecieron en la fase de búsqueda de los experimentos tres y cuatro. En el Experimento 1, las áreas frontales sólo aparecieron asociadas a la tarea de memoria. Los resultados obtenidos con la tarea introducida en la segunda parte de esta investigación apoyan la interpretación, expuesta en la discusión del Experimento 1, de que los componentes positivos que resultaron significativos en ese experimento debían asociarse al efecto atencional producido en áreas occipitales y no al mecanismo atencional responsable de ese efecto. A la luz de los resultados obtenidos en los últimos experimentos, los mecanismos atencionales parecen estar localizados predominantemente en la zona frontal del cerebro.

LA ESTIMACIÓN DE DIPOLOS Y LA LOCALIZACIÓN ANATÓMICA

Las localizaciones obtenidas por medio de la estimación de dipolos están de acuerdo de forma general con numerosos resultados de investigación en neurociencia cognitiva que provienen de técnicas más precisas en resolución espacial. En efecto, son numerosos los investigadores que han relacionado los mecanismos de control atencional con estructuras frontales (Desimone y Duncan, 1995; Fuster, 2001; Miller, 2000; Shallice, 2004), así como los de atención espacial (Corbetta y Shulman, 2002; Corbetta, Patel y Shulman, 2008). También han sido relacionados con el mantenimiento de la información en memoria de trabajo (Miller y Desimone, 1994). De forma parecida, la implicación de zonas del giro temporal medio en procesos de memoria está ampliamente aceptada (v.gr. Squire, Clarck y Bayley, 2004). Con todo, en lo referente a los mecanismos frontales que han surgido en nuestra investigación como resultado de la estimación de dipolos, conviene hacer algunas puntualizaciones.

En los resultados de los Experimentos 3 y 4, la posición de los electrodos fue una variable que de forma consistente presentó amplitudes significativamente mayores en la zona central de la cabeza. Por lo general esto fue así en todos los casos para el componente N2 y también para la ventana temporal entre 400 y 600 ms del Experimento 3. En consonancia con estos resultados, la estimación de dipolos mostró una tendencia predominante a situar las fuentes de activación en zonas frontales mediales. No obstante, en algunos casos, también aparecieron zonas frontales laterales de las áreas de Brodmann 10 y 11. En general estas regiones presentan unas localizaciones más ventrales y rostrales que las generalmente asociadas a los mecanismos de atención y de mantenimiento en memoria de trabajo. Las áreas frontales más frecuentemente asociadas al control atencional han sido la corteza dorsolateral (AB 46) y la corteza del cíngulo anterior (AB 24) (Miller, 2000; Pessoa y Ungerleider, 2004; Bush, Luu, y Posner, 2000). En cuanto a las estructuras frontales relacionadas con la atención espacial se han encontrado el campo del ojo frontal (frontal eye field, AB 8) y el giro frontal medial (AB 9) (Corbetta y Shulman, 2002; Corbetta, Patel y Shulman, 2008). En nuestro caso los dipolos tendieron a situarse en las áreas de Brodmann 10 y 11, la primera situada rostralmente respecto a la corteza dorsolateral y la segunda en zona ventral; solamente en el Experimento 4, durante la fase de mantenimiento hizo

aparición la corteza del cíngulo anterior (AB 32) aunque en una posición también rostral respecto al área de Brodmann 24 que hemos mencionado anteriormente. En general, por tanto, la aproximación anatómica de nuestros resultados no concuerda en detalle con las localizaciones obtenidas con técnicas de mayor resolución espacial. No obstante no debe perderse de vista que para el objetivo principal de nuestra investigación, la estimación de dipolos nos ha permitido llegar a la importante conclusión de que los mecanismos atencionales que intervienen en las tres fases de nuestra tarea son los mismos.

LA HIPÓTESIS A INVESTIGAR

Esta investigación ha tratado de estudiar las relaciones de la atención espacial con el proceso de mantenimiento de la información en memoria de trabajo. En concreto hemos querido comprobar si la atención espacial es el mecanismo de mantenimiento en la memoria de trabajo espacial. En el primer experimento hemos visto que, el mero hecho de que en una tarea de atención espacial aparezcan los mismos efectos sobre la potenciación de estímulos irrelevantes que en una tarea de mantenimiento de la información espacial en memoria de trabajo, no ofrece base suficiente para inferir la identidad de mecanismos. En la segunda parte de esta investigación propusimos una tarea alternativa que ha permitido aportar evidencia convergente desde el punto de vista comportamental y electrofisiológico. Los resultados de esta investigación muestran que existen mecanismos frontales de atención espacial que son comunes a la codificación, mantenimiento y búsqueda de la información espacial en una tarea de memoria de trabajo espacial. La inclusión de una tarea de búsqueda en la fase de prueba de la tarea de memoria ha resultado altamente informativa para determinar la naturaleza de los mecanismos atencionales que las tres fases comparten. En consecuencia podemos provisionalmente concluir que los mecanismos de atención espacial son los responsables del mantenimiento de la información espacial en memoria de trabajo.

En el proceso para llegar a la conclusión anterior hemos tenido ocasión de comprobar la relación que puede existir entre analizar una tarea en el nivel comportamental y relacionarla con los niveles de procesos implicados en la tarea y de mecanismos responsables de esos procesos. En el análisis de los datos comportamentales nos inspiramos en la lógica de los factores aditivos propuesta por Sternberg (1969). De acuerdo con esta lógica nuestras dos

variables afectaban a procesos diferentes. Los datos electrofisiológicos confirmaron claramente este supuesto, mostrando que la manipulación del tamaño del conjunto de memoria afectaba a las fases de estudio y de mantenimiento pero no a la de búsqueda, mientras que la manipulación del tamaño del conjunto de presentación afectaba a la fase de búsqueda y no a las de codificación y mantenimiento. No obstante en la investigación psicológica la utilización del término *proceso* no siempre ha tenido un significado claro y a veces se ha utilizado como sinónimo de *mecanismo*. En esta investigación hemos querido definir claramente *proceso* como aquel o aquellos implicados en una determinada fase de la tarea, y hemos reservado el término *mecanismo* para referirnos a las estructuras neuronales que intervienen en estos procesos. De esta forma hemos podido aclarar que, si bien es verdad que nuestras variables afectan a procesos diferentes, también es verdad que ambas afectan a los mismos mecanismos atencionales aunque en momentos diferentes. De esta forma podemos considerar que nuestros resultados también ofrecen una aportación a la clarificación de la terminología psicológica y en particular a la comprensión de la lógica de los factores aditivos y de las relaciones entre los niveles de análisis correspondientes a la tarea, los procesos y los mecanismos.

REFERENCIAS

- Atkinson, R. C., y Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. En K. W. Spence (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 2, pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Awh, E., Anllo-Vento, L., y Hillyard, S. A. (2000). The role of spatial selective attention in working memory for locations: Evidence from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 840-847.
- Awh, E., y Jonides, J. (1998). Spatial selective attention and spatial working memory. En R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 353-380). Cambridge, MA: MIT Press.
- Awh, E., y Jonides, J. J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Science*, 5(3), 119-126.
- Awh, E., Jonides, J. J., y Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 780-790.
- Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Buxton, R. B., Frank, L. R., Love, T., Wong, E. C., y Gmeind, L. (1999). Rehearsal in spatial working memory: Evidence from neuroimaging. *Psychological Science*, 10(5), 433-437.
- Awh, E., Smith, E. E., y Jonides, J. J. (1995). Human rehearsal processes and the frontal lobes: PET evidence. En J. Grafman, K. Holyoak, y F. Beller (Eds.), *Annals of the New York Academy of Sciences: Vol. 769. Structure and functions of the human prefrontal cortex* (pp. 97-117). New York: New York Academy of Sciences.
- Awh, E., Vogel, E. K., y Oh, S. H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, 139, 201-208.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996a). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 49, 5-28.
- Baddeley, A. D. (1996b). The fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 93, 13468-13472.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D., y Hitch, G. (1974). Working memory. En G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., y Wilson, B. (1988). Frontal amnesia and the dysexecutive syndrome. *Brain and Cognition*, 7(2), 212-230

REFERENCIAS

- Baker, S. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., y Dolan, R. J. (1996). Active representation of shape and spatial location in man. *Cerebral Cortex*, *6*, 612-619.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Oxford University Press.
- Brookhuis, K. A., Mulder, G., Mulder, L. J. M., Gloerich, A. B. M., van Dellen, H. J., van der Meere, J. J., y Ellerman, H. (1981). Late positive components and stimulus evaluation time. *Biological Psychology*, *13*, 107-123.
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *10*, 12-21.
- Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*, *36*, 96-107.
- Bush, G., Luu, P., & Posner, M.I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 215-222.
- Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E.K., and Desimone, R. (1998). Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, *80*, 2918-2940.
- Chelazzi, L., Miller, E.K., Duncan, J., y Desimone, R.C. (1993). A neural basis for visual search in inferior temporal cortex. *Nature*, *363*, 345-347.
- Chelazzi, L., Miller, E. K., Duncan, J., y Desimone, R. (2001). Responses of neurons in macaque area V4 during memory-guided visual search. *Cerebral Cortex*, *11*, 761-772
- Clark, V., y Hillyard, S. A. (1996). Spatial selective attention affects early extrastriate but not striate components of the visual evoked potential. *Journal of Cognitive Neurosciences*, *8*, 387- 402.
- Constantinidis, C., y Steinmetz, M. A. (1996). Neuronal activity in posterior parietal area 7a during the delay periods of a spatial memory task. *Journal of Neurophysiology*, *76*: 1352-1355.
- Corbetta, M., Patel, G.H., y Shulman, G.L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, *58*, 306-324.
- Corbetta, M. y Shulman, G.L. (2002) Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, 215-229

- Courtney, S.M., Ungerleider, L.G., Keil, L.G., y Haxby, J.V. (1996). Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex*, 6, 39-49.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, 24, 87-114.
- Craik, F. I. M., y Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A frame work for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11, 671-684.
- Darling, S., Della Sala, S., y Logie, R. (2007). Behavioural evidence for separating components within visuo-spatial working memory. *Cognitive Processing*, 8(3), 175-181.
- Darling, S., Della Sala, S., Logie, R., y Cantagallo, A. (2006). Neuropsychological evidence for separating components of visuo-spatial working memory. *Journal of Neurology*, 253, 176-180.
- de Jong, H. L., Kok, A., y van Rooy, J. C (1988). Early and late selection in young and old adults: An ERP study. *Psychophysiology*, 25, 657-671.
- De Renzi, E., y Nichelli, P. (1975). Verbal and non-verbal short term memory impairment following hemispheric change. *Cortex*, 11, 341-354.
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., y Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37, 1189-1199.
- Desimone, R., y Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- Douglas, R. J. (1967). The hippocampus and behavior. *Psychological Bulletin*, 67, 416-442.
- Drew, T. W., McCollough, A. W., y Vogel, E. K. (2006). Event-related potential measures of visual working memory. *Clinical Electroencephalography and Neuroscience*, 37, 286-291.
- Duncan J. (1980). The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychological Review*, 87, 272-300
- Duncan J. (1985). Visual search and visual attention. En M. I. Posner (Ed.), *Attention and performance XI* (pp. 85-104). Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Duncan, J., y Owen, A.M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, 23, 475-483.

REFERENCIAS

- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 225-234.
- Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., y Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 29, 312-316.
- Funahashi, S., Bruce, C., y Goldman-Rakic, P. (1989). Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 61, 331-339.
- Fuster, J. M. (2001). The Prefrontal Cortex—An Update: Time Is of the Essence. *Neuron*, 30, 319-333.
- Fuster, J. M., y Alexander, G. E. (1971). Neuron activity related to short term memory. *Science*, 173, 652-654.
- Gomez-Gonzalez, 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.
- Gottlieb, J., Kusunoki, M., y Goldberg, M. E. (1998). The representation of visual salience in monkey parietal cortex. *Nature*, 391, 481-484.
- Han, S. H., y Kim, M. S. (2004). Visual search does not remain efficient when executive working memory is working. *Psychological Science*, 15, 623-628.
- Hecker, R. y Mapperson, B. (1997). Dissociation of visual and spatial processing in working memory. *Neuropsychologia*, 35(5), 599-603.
- Heinze, H.J., Luck, S.J., Mangun, G.R., y Hillyard, S.A. (1990). Visual event related potentials index focussed 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.
- Hillyard, S. A., y Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 95, 781-787.
- Hillyard, S. A., Mangun, G. R., Woldorff, M. G., & Luck, S. J. (1995). Neural systems mediating selective attention. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 665-681). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hopfinger, J. B., Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (2004). Selective attention: Electrophysiological and neuromagnetic studies. En M.S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (3rd Ed, pp. 561-574). Cambridge, MA: MIT Press.

- Jha, A. (2002). Tracking the time-course of attentional involvement in spatial working memory: an event-related potential investigation. *Cognitive Brain Research*, *15*, 61–69.
- Kessels, R. P. C., Van Zandvoort, M. J. E., Kapelle, L. J., Postma, A., y de Haan, E. H. F. (2000). The Corsi block-tapping task: standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, *7*, 252-258.
- Kiss, M., Van Velzen, J., y Eimer, M. (2008). The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology*, *45*(2), 240-249.
- Klauer, K.C, y Zhao, Z. (2004). Double dissociations in visual and spatial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(3), 355-381.
- Kotchoubey, B. I., Jordan, J. S., Grözing, B., y Westphal, K. P. (1996). Event-related brain potentials in a varied-set memory search task: A reconsideration. *Psychophysiology*, *33*, 530–540.
- Kramer, A. F., Schneider, W., Fisk, A. D., y Donchin, E. (1986). The effects of practice and task structure on components of the event-related brain potential. *Psychophysiology*, *23*, 33–47.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused? Selective attention under load. *Trends in Cognitive Science*, *9*, 75–82.
- Lavie H., y de Fockert, J. (2005). The role of working memory in attentional capture. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*, 669–674.
- Logie, R. H. (1986). Visuo-spatial processing in working memory. *Quarterly Journal of Psychology*, *38A*, 229-247.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Logie, R. H. (2003). Spatial and Visual Working Memory: A Mental Workspace. En D. Irwin y B. Ross (Eds.), *Cognitive vision: the psychology of learning and motivation* (Vol. 42, pp. 37–78). USA: Elsevier Science.
- Logie, R. H., y Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? En R. H. Logie y M. Denis (Eds.), *mental images in human cognition* (pp.105-115). Amsterdam: North Holland Press.
- Lorist, M. M., Snel, J., Kok, A., y Mulder, G. (1994). The influence of caffeine on selective attention in well rested and fatigued subjects. *Psychophysiology*, *31*, 525–534.

REFERENCIAS

- Lorist, M. M., Snel, J., Kok, A., y Mulder G. (1996). Acute effects of caffeine on selective attention and visual search processes. *Psychophysiology*, *33*, 354-361.
- Luck, S. J., y Ford, M. A. (1998). On the role of selective attention in visual perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, *95*, 825-830.
- Luck, S.J., Girelli, M., McDermott, M.T., & Ford, M.A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, *33*, 64-87.
- Luck, S. J., y Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception & Psychophysics*, *90*, 48(6), 603-617.
- Luck, S.J. y Hillyard, S.A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, *31*, 291-308.
- Luck, S. J., y Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychological: Human Perception and Performance*, *5*, 1000-1014.
- 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., y Mangun, G. R. (2009). Attention: Introduction. En M. Gazzaniga (Ed.) *The Cognitive Neurosciences* (4th Ed., pp. 185-187). Cambridge, MA: MIT Press.
- Mangun, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology*, *32*, 4 -18.
- Mangun, G.R., Hillyard S.A., y Luck, S.J. (1993). Electrocortical substrates of visual selective attention. En S. Kornbloum, y D. E. Meyer (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. XIV, pp. 219-243). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCollough, A. W., Machizawa, M. G., y Vogel, E. K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, *43*, 77-94.
- McEvoy, L. K., Smith, M. E., y Gevins, A. (2001). Neurophysiological signals of working memory in normal aging. *Cognitive Brain Research*, *11*, 363-376.
- McEvoy, L.K., Smith, M.E., Gevins, A., (1998). Dynamic cortical networks of verbal and spatial working memory: effects of memory load and task practice. *Cerebral Cortex*, *8*, 563-574.

- Mecklinger, A. y Müller, N. (1996). Dissociations in the processing of "What" and "Where" information in working memory: An event-related potential analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(5), 453-473.
- Mecklinger, A. y Pfeifer, E. (1996). Event-related potentials reveal topographical and temporal distinct neuronal activation patterns for spatial and object working memory. *Cognitive Brain Research*, 4, 211-224.
- Michel, C. M., Murray, M. M., Lantz, G., Gonzalez, S., Spinelli, L., y Grave de Peralta, R. (2004). EEG source imaging. *Clinical Neurophysiology*, 115(10), 2195-2222.
- Miller, E. K. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience*, 1, 59-65.
- Miller, E. K., y Desimone, R. (1994). Parallel neuronal mechanisms for short-term memory. *Science*, 263, 520-522.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Miller, G.A., Galanter, E. y Pribram, K.H. (1960). *Plans and the structure of the behavior*. New York: Holt, Reinhart y Winston.
- Morris, N. (1989). Spatial monitoring in visual working memory. *British Journal of Psychology*, 80, 333-349.
- Moruzzi, G., y Magoun, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1(4), 455-73.
- Munk, M. H. J., Linden, D. E. J., Muckli, L., Lanfermann, H., Zanella, F. E., Singer, W., y Goebel, R. (2002). Distributed cortical systems in visual short-term memory revealed by event-related functional magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, 12, 866-876.
- Norman, D. A., y Shallice, T. (1986). Attention to action. En R.J. Davidson, G. E. Schwartz, y D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in theory and research* (pp. 1-18). New-York: Plenum Press.
- Nyberg, L., Cabeza, R., y Tulving, E. (1996). PET studies of encoding and retrieval: The HERA model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 135-148.
- Oh, S. H., y Kim, M. S. (2004). The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 275-281.
- Parasuraman R. (1998). The attentive brain: issues and prospects. En R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 3-15). Cambridge, MA: MIT Press

REFERENCIAS

- Pessoa, L. y Ungerleider, L.G. (2004). Top-down mechanisms for working memory and attentional processes. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences*, (3rd Ed., pp. 919-930). Cambridge, MA: MIT Press.
- Peterson, L. R., y Peterson, M. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, *58*, 193-198.
- Posner, M. I. (1978). *Chronometric Explorations of Mind*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3-25.
- Posner, M. I., y Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, *78*(5), 391-408
- Posner, M.I., y DiGirolamo, G. (1998). Executive attention: Conflict, target detection and cognitive control. En R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 401-423). Cambridge, MA: MIT Press.
- Posner, M. I., y Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*, 25- 42.
- Posner, M. I.; Snyder, C. R. R., y Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*(2), 160-174
- Postle, B. R., Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., y D'Esposito, M. (2004). The where and how of attention-based rehearsal in spatial working memory. *Cognitive Brain Research*, *20*, 194-205.
- Potts, G. F., y Tucker, D. M. (2001). Frontal evaluation and posterior representation in target detection. *Cognitive Brain Research*, *11*, 147-156.
- Ranganath, C., y D'Esposito, M. (2001). Medial temporal lobe activity associated with active maintenance of novel information. *Neuron*, *31*, 865-873.
- Rao, S. C., Rainer, G., y Miller, E. K. (1997). Integration of what and where in the primate prefrontal cortex. *Science*, *276*: 821-824.
- Repovš, G., y Baddeley., A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, *139*, 5-21.
- Robertson, I. H., y Garavan, H. (2004). Vigilant attention. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (3rd Ed., pp. 631-640). Cambridge, MA: MIT Press.

- Ruchkin, D. S., Canoune, H. L., Johnson, R., y Ritter, W. (1995). Working memory and preparation elicit different patterns of slow wave event-related brain potentials. *Psychophysiology*, *32*, 399-410.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R. J., Canoune, H., y Ritter W. (1990) Short-term memory storage and retention: an event-related brain potential study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *76*, 419-439.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R. J., Grafman, J., Canoune, H., y Ritter W (1992). Distinctions and similarities among working memory processes: an event-related potential study. *Cognitive Brain Research*, *1*, 53-66.
- Ruchkin, D. S., Johnson Jr., R., Grafman, J., Canoune, H. y Ritter, W. (1997). Multiple visuospatial working memory buffers: Evidence from spatiotemporal patterns of brain activity. *Neuropsychologia*, *35*(2), 195-209.
- Rugg, M. D. (2004). Retrieval processes in human memory: Electrophysiological and fMRI evidence. En M. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (3rd Ed., pp. 727-738). Cambridge, MA: MIT Press.
- Sakai, K., Rowe, J. B., y Passingham, R. E. (2002). Active maintenance in prefrontal area 46 creates distractor-resistant memory. *Nature Neuroscience*, *5*, 479-484.
- Schneider, W., Eschman, A., Zuccolotto, A., (2002). *E-Prime user's guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Schneider, W., y Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing, I: Detection, search and attention. *Psychological Review*, *84*, 1-66.
- Shallice, T. (2004). The fractionation of supervisory control. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (3rd Ed., pp. 943-956). Cambridge, MA: MIT Press.
- Shrager, Y. y Squire, L. R. (2009). Medial temporal lobe function and human memory. En M. Gazzaniga (Ed). *The cognitive neurosciences* (4th Ed., pp. 89-195). Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, E. E., Jonides, J. J., Koeppe, R. A., Awh, E., Schumacher, E. H., y Minoshima, S. (1995). Spatial versus object working memory: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *7*(3), 337-356.
- Smyth, M. M. (1996). Interference with rehearsal in spatial working memory in the absence of eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *49A*, 940-949.
- Smyth, M. M., y Scholey, K. A. (1994). Interference in immediate spatial memory. *Memory and Cognition*, *22*(1), 1-13.

REFERENCIAS

- Squire, L. R., Clark, R. E., y Bayley, P. J. (2004). Medial temporal lobe function and memory. En M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (3rd., Ed., pp. 691-708). Cambridge, MA: MIT Press.
- Stern, C. E., Sherman, S. J., Kirchoff, B.A., y Hasselmo, M. E. (2001). Medial temporal and prefrontal contributions to working memory tasks with novel and familiar stimuli. *Hippocampus*, *11*, 337-346.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, *153*, 652-654.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, *30*, 276-315.
- Sugita Y. (1999). Grouping of image fragments in primary visual cortex. *Nature*, *401*, 269-273.
- Sun, M. (1997). An efficient algorithm for computing multishell spherical volume conductor models in EEG dipole source localization. *IEEE Transactionson Biomedical Engineering*, *44*(12), 1243-1252.
- Taylor, M. J. (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clinical Neurophysiology* *113*, 1903-1908.
- Tresch, M. C., Sinnamon, H. M. y Seamon, J. G. (1993). Double Dissociation of spatial and object visual memory: Evidence from selective interference in intact human subjects. *Neuropsychologia*, *31*(3), 211-219.
- Treisman, A. M., y Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97-136
- Tsal, Y., y Lavie, N. (1993). Location dominante in attending to color shape. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*(1), 131-139.
- Tucker, D. M. (1993). Spatial sampling of head electrical fields: The geodesic sensor net. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *87*, 154-163.
- Wallis, J. D., Anderson, K. C., y Miller, E. K. (2001). Single neurons in the prefrontal cortex encode abstract rules. *Nature*, *41*, 953-956.
- Wilson, F. A. W., Ó Scalaidhe, S. P., y Goldman-Rakic, P. S. (1993). Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. *Science*, *260*, 1955-1958.
- Woodman, G.F., y Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, *40*, 867-869.

- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 121–138.
- Woodman, G. F., y Luck, S. J. (2004). Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 269-274.
- Wolfe, J. M. (1998). Visual search. En H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 13-74). London, UK: University College London Press.
- Wolfe, J. M. (2003). Moving towards solutions to some enduring controversies in visual search. *Trends in Cognitive Science*, 7(2), 70-76.

APÉNDICES

APÉNDICE I: Experimento 1-Tablas

Tabla I.1. Media de los valores de amplitud (μV) para cada para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P1 posterior en Experimento 1.

TAREA	SEÑAL	CVISUAL IZQUIERDO		CVISUAL DERECHO	
		IPSIL	CONTRAL	IPSIL	CONTRAL
ATENCIÓN	SEÑALADO	0,733	2,237	1,008	2,002
	NOSEÑALADO	0,426	1,459	0,579	1,231
MTRABAJO	SEÑALADO	0,151	1,292	0,38	0,731
	NOSEÑALADO	-0,338	0,867	0,204	0,488

Tabla I.2. Media de los valores de amplitud (μV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en N1 posterior en Experimento 1.

TAREA	SEÑAL	CVISUAL IZQUIERDO		CVISUAL DERECHO	
		IPSIL	CONTRAL	IPSIL	CONTRAL
ATENCIÓN	SEÑALADO	-0,157	-0,878	-0,465	-0,719
	NOSEÑALADO	0,02	-1,186	-0,148	-0,7
MTRABAJO	SEÑALADO	-0,796	-1,399	-1,198	-1,417
	NOSEÑALADO	-0,646	-1,751	-0,527	-1,471

Tabla I.3. Media de los valores de amplitud (μV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P2 posterior en Experimento 1.

TAREA	SEÑAL	CVISUAL IZQUIERDO		CVISUAL DERECHO	
		IPSIL	CONTRAL	IPSIL	CONTRAL
ATENCIÓN	SEÑALADO	0,929	0,859	0,958	0,760
	NOSEÑALADO	1,051	0,571	1,015	0,441
MTRABAJO	SEÑALADO	0,256	0,488	0,433	0,016
	NOSEÑALADO	0,257	0,098	0,591	-0,130

Tabla I.4. Media de los valores de amplitud (μV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en N1 anterior en Experimento 1.

TAREA	SEÑAL	CVISUAL IZQUIERDO		CVISUAL DERECHO	
		IPSIL	CONTRAL	IPSIL	CONTRAL
ATENCIÓN	SEÑALADO	-0,737	-0,276	-0,8	-0,324
	NOSEÑALADO	-0,707	-0,523	-0,778	-0,434
MTRABAJO	SEÑALADO	-0,593	-0,502	-0,565	-0,285
	NOSEÑALADO	-0,661	-0,408	-0,582	-0,467

Tabla I.5. Media de los valores de amplitud (μV) para las condiciones experimentales en N1 central en Experimento 1.

TAREA	SEÑAL	CVIZQUIERDO	CVDERECHO
ATENCIÓN	SEÑALADO	-1,116	-0,843
	NOSEÑALADO	-1,501	-1,199
MTRABAJO	SEÑALADO	-1,966	-1,995
	NOSEÑALADO	-2,313	-1,873

Tabla I.6. Media de los valores de amplitud (μV) para las condiciones experimentales en P1 central en Experimento 1.

TAREA	SEÑAL	CVIZQUIERDO	CVDERECHO
ATENCIÓN	SEÑALADO	1,594	1,534
	NOSEÑALADO	1,397	1,316
MTRABAJO	SEÑALADO	0,888	0,761
	NOSEÑALADO	0,617	0,691

APÉNDICE II: Experimento 3- Resultados comportamentales, figuras y tablas

Resultados Comportamentales

Como en los experimentos anteriores, se analizó tanto la precisión como el tiempo de reacción (TR) de los participantes mediante sendos análisis de varianza con las variables TCM (tamaño del conjunto de memoria: 1, 2 ó 3 posiciones), y TCP (tamaño del conjunto de presentación: 1, 4 ó 7 posiciones), con los valores de d' como índice de precisión y las medianas de los tiempos de respuesta en el TR. Sólo se incluyeron en los análisis las respuestas cuyo TR fue mayor de 250 ms, y únicamente respuestas correctas en el análisis del TR. En caso necesario los grados de libertad se ajustaron con la corrección Greenhouse-Geisser. Los valores medio de d' y TR en ms para cada condición experimental aparecen en la Tabla III.1.

Tabla III.1. Media de los valores de d' y TR (ms) de las respuestas correctas en las condiciones experimentales en Experimento 3.

TCM		1	2	3
TCP	1	6,308	3,471	2,987
d'	4	5,445	1,584	1,059
	7	4,555	1,539	0,786
TCP	1	587,278	687,111	693,556
TR	4	658,639	867,333	938,194
	7	715,361	856,611	978,111

Análisis de la precisión. En los análisis de d' encontramos efecto principal significativo tanto de TCM (MCE= 5,85; $F(1,35;22,87)= 39,21$; $p < ,001$) como de TCP (MCE= 2,61; $F(1,91;32,41)= 22,21$; $p < 0,001$). A medida que aumentaron TCM y TCP, la discriminación disminuía. La interacción no resultó significativa ($p > ,1$).

Realizamos comparaciones entre los distintos niveles de cada variable. En TCM, la tendencia lineal fue significativa (MCE= 7,23; $F(1,17)= 54,62$; $p < ,001$), así como la cuadrática (MCE= 4,46; $F(1,17)= 14,20$; $p = ,002$). Al comparar los distintos niveles encontramos que la discriminación en TCM 1 fue mayor que en TCM 2 (MCE= 8,47; $F(1,17)= 33,43$; $p < ,001$). La discriminación en TCM 2 fue mayor que en TCM 3 (MCE= 1,83; $F(1,17)= 5,07$; $p = ,040$).

En TCP la tendencia lineal fue significativa (MCE= 2,14; $F(1,17)= 48,65$; $p < ,001$). La tendencia cuadrática fue marginal (MCE= 3,09; $F(1,17)= 3,9$; $p = ,065$). Al comparar los distintos niveles encontramos que la discriminación en TCP 1 fue

mayor que en TCP 4 ($MCE= 2,56$; $F(1,17)= 25,61$; $p < ,001$). Entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($p > ,1$).

Análisis del tiempo de reacción. En el análisis de la latencia encontramos efecto principal de TCM ($MCE= 14073$; $F(1,92;32,65)= 47,08$; $p < ,001$) y de TCP ($MCE= 8296$; $F(1,62;27,50)= 71,42$; $p < ,001$). Tanto en TCM como en TCP la latencia aumentó a medida que lo hacía el número de elementos del conjunto.

Al analizar la tendencia en TCM encontramos que la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 14624$; $F(1,17)= 86,3$; $p < ,001$), así como la tendencia cuadrática ($MCE= 13522,10$; $F(1,17)= 4,66$; $p = ,046$). Las comparaciones entre niveles mostraron que en TCM 1 la latencia fue menor que en TCM 2 ($MCE= 11368,8$; $F(1,17)= 53,38$; $p < 0,001$). La latencia en TCM 2 fue menor que en TCM 3 ($MCE= 16226,1$; $F(1,17)= 7,31$; $p = 0,015$).

En TCP la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 12309$; $F(1,17)= 82,6$; $p < ,001$), así como la cuadrática ($MCE= 4284,3$; $F(1,17)= 39,3$; $p < ,001$). En cuanto a las comparaciones entre niveles, la latencia en TCP 1 fue menor que en TCP 4 ($MCE= 6655,3$; $F(1,17)= 111,0$; $p < ,001$). La diferencia entre TCP 4 y TCP 7 fue marginalmente significativa ($MCE= 5925,33$; $F(1,17)= 3,74$; $p = 0,07$).

La interacción TCM x TCP, resultó significativa ($MCE= 7183$; $F(2,98;50,71)= 6,46$; $p < ,001$). Analizamos la tendencia entre niveles de TCP en cada uno de los niveles de TCM. Encontramos que en TCM 1 la tendencia lineal entre los distintos niveles de TCP fue significativa ($MCE= 5627,6$; $F(1,17)= 26,24$; $p < ,001$), pero no la cuadrática ($p > ,1$). En TCM 2 la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 12454,4$; $F(1,17)= 20,762$; $p < 0,001$), así como la cuadrática ($MCE= 4504,0$; $F(1,17)= 24,285$; $p < ,001$). Igual ocurrió en TCM 3 ($MCE= 15096,3$; $F(1,17)= 48,27$; $p < 0,001$ para lineal; y $MCE= 5526,5$; $F(1,17)= 22,75$; $p < ,001$ para cuadrática). Al hacer comparaciones entre niveles de TCP para cada nivel de TCM, encontramos que cuando TCM fue 1 la latencia fue menor en TCP 1 que en TCP 4 ($MCE= 2824,19$; $F(1,17)= 16,228$; $p < 0,001$). En TCP 4 fue menor que en TCP 7 ($MCE= 3161,64$; $F(1,17)= 9,159$; $p = 0,008$). En TCM 2, y TCM 3, en TCP 1 la latencia fue menor que en TCP 4 ($MCE= 5225,9$; $F(1,17)= 55,937$; $p < ,001$ para TCM 2; y $MCE= 8527,8$; $F(1,17)= 63,162$; $p < ,001$ para TCM 3); y entre TCP 4 y TCP 7 no hubo diferencias ($F < 1$).

Figuras

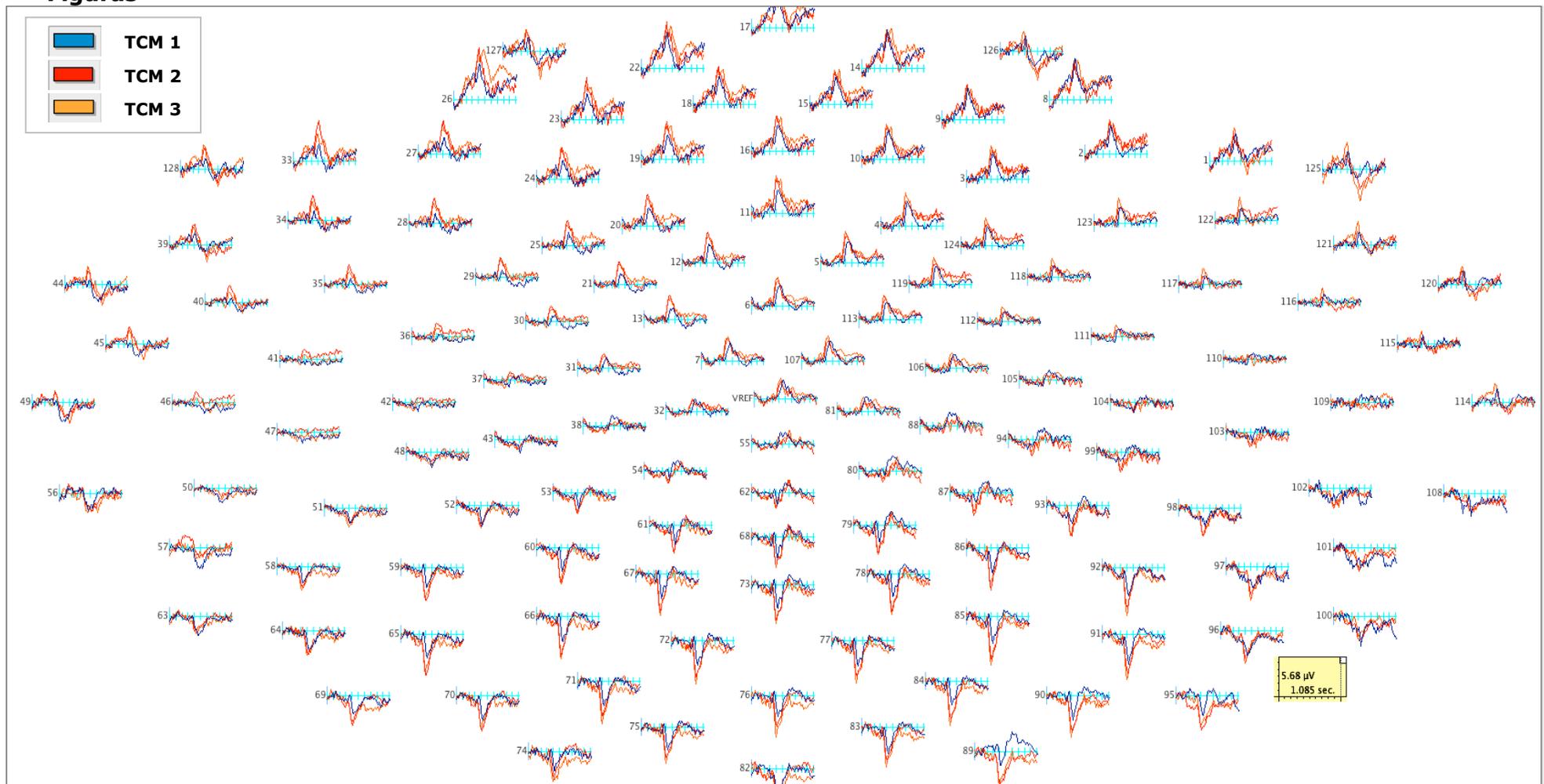


Figura III.1. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio en Experimento 3 en todos los electrodos para TCM. El intervalo temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCM 1; en rojo, TCM 2 y en amarillo, TCM 3.

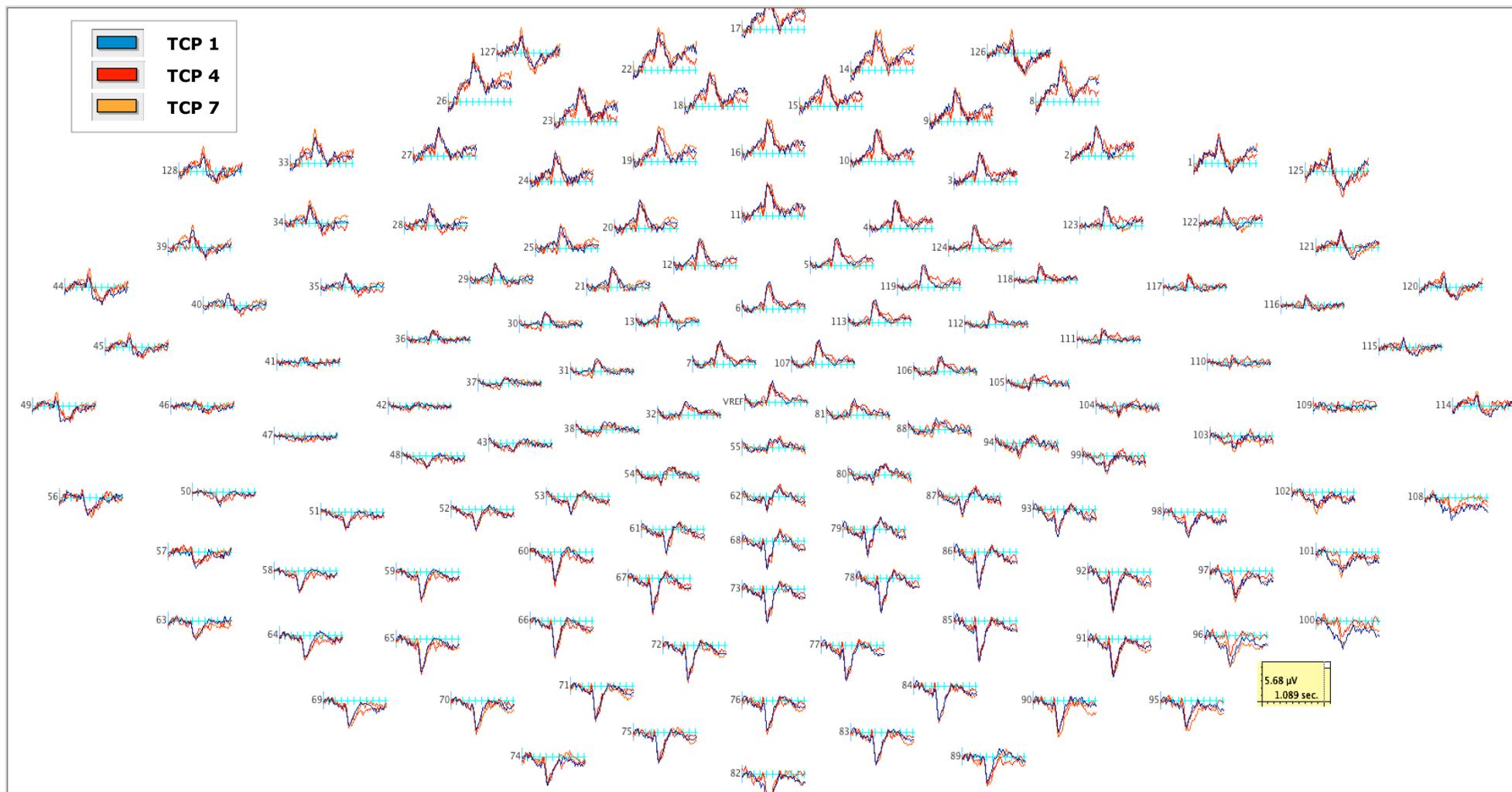


Figura III.2. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio en Experimento 3 en todos los electrodos para TCP. El intervalo temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCP 1; en rojo, TCP 4 y en amarillo, TCP 7.

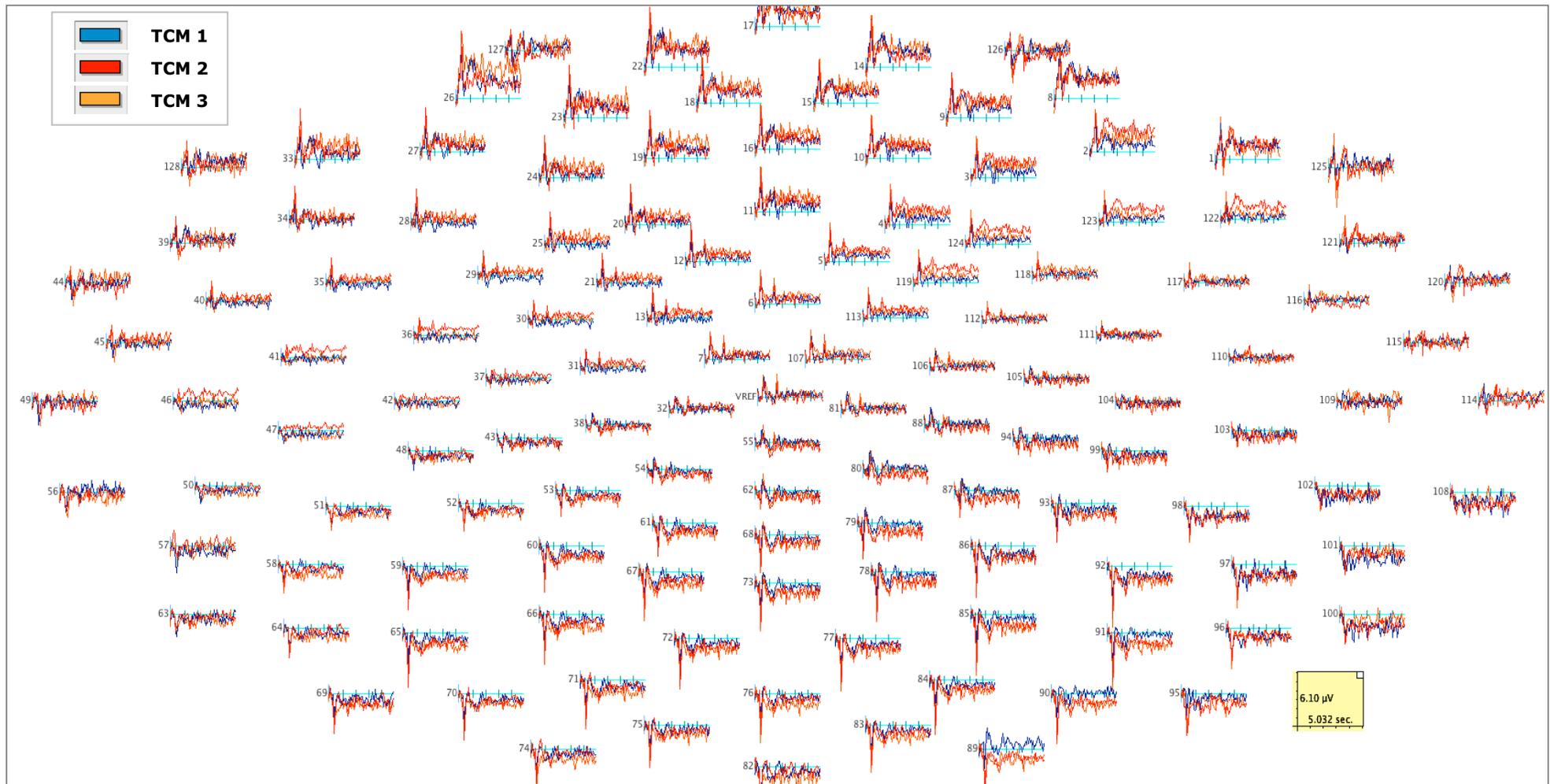


Figura III.3. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio e intervalo de retención en Experimento 3 en todos los electrodos para TCM. El intervalo temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 5000 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCM 1; en rojo, TCM 2 y en amarillo, TCM 3.

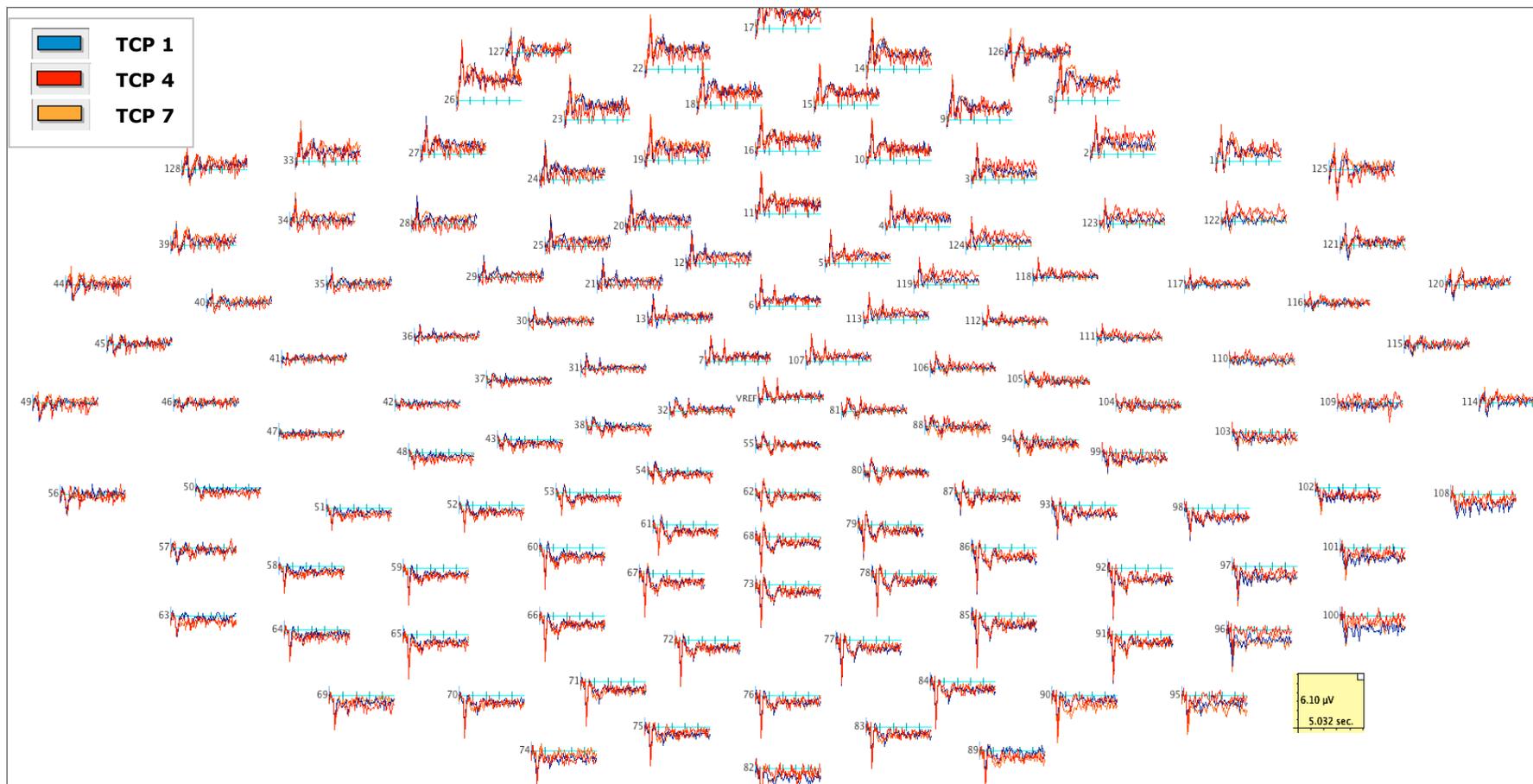


Figura III.4. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio e intervalo de retención en Experimento 3 en todos los electrodos para TCP. El intervalo temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 5000 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCP 1; en rojo, TCP 4 y en amarillo, TCP 7.

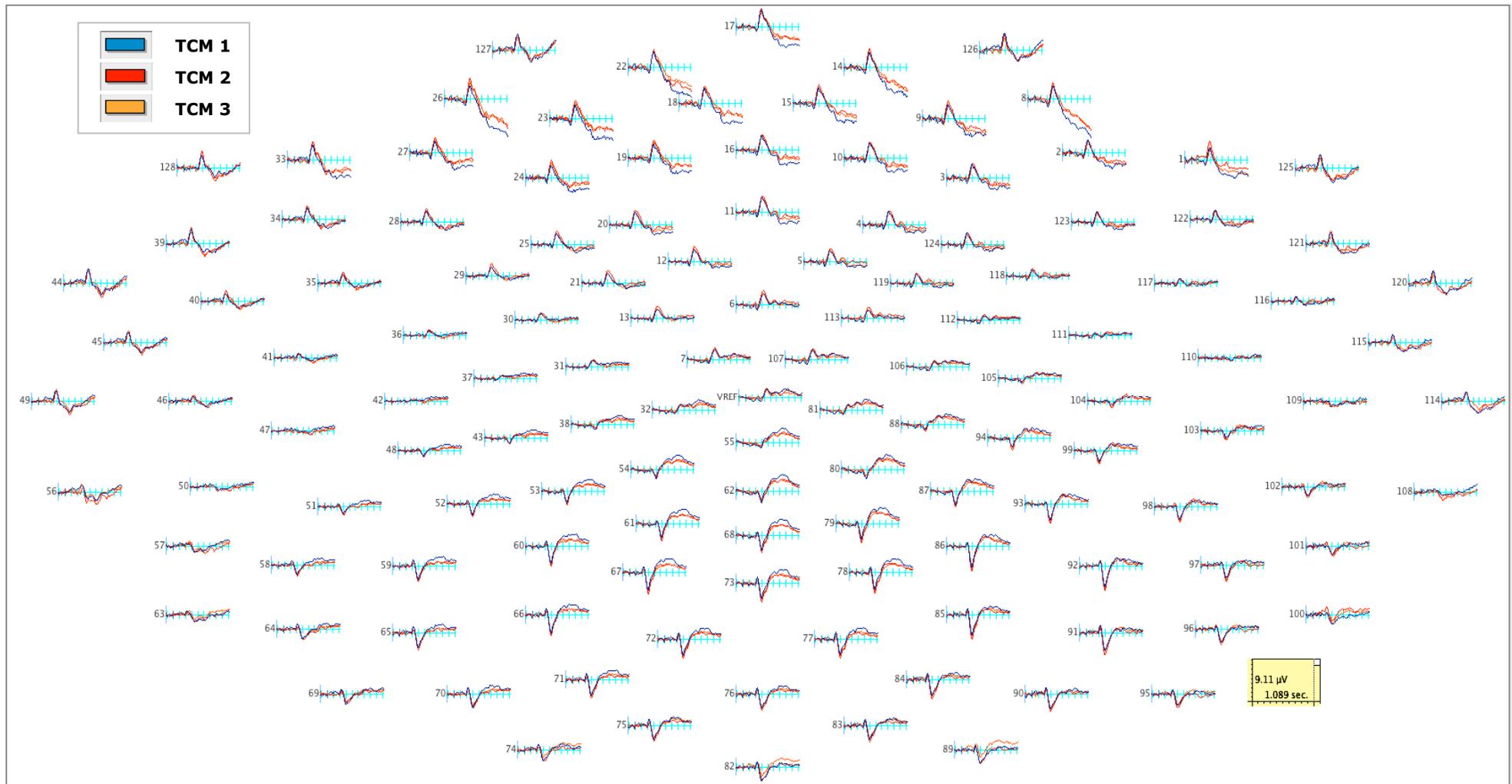


Figura III.5. Promedio de la amplitud durante la fase de búsqueda en Experimento 3 en todos los electrodos para TCM. El intervalo temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCM 1; en rojo, TCM 2 y en amarillo, TCM 3.

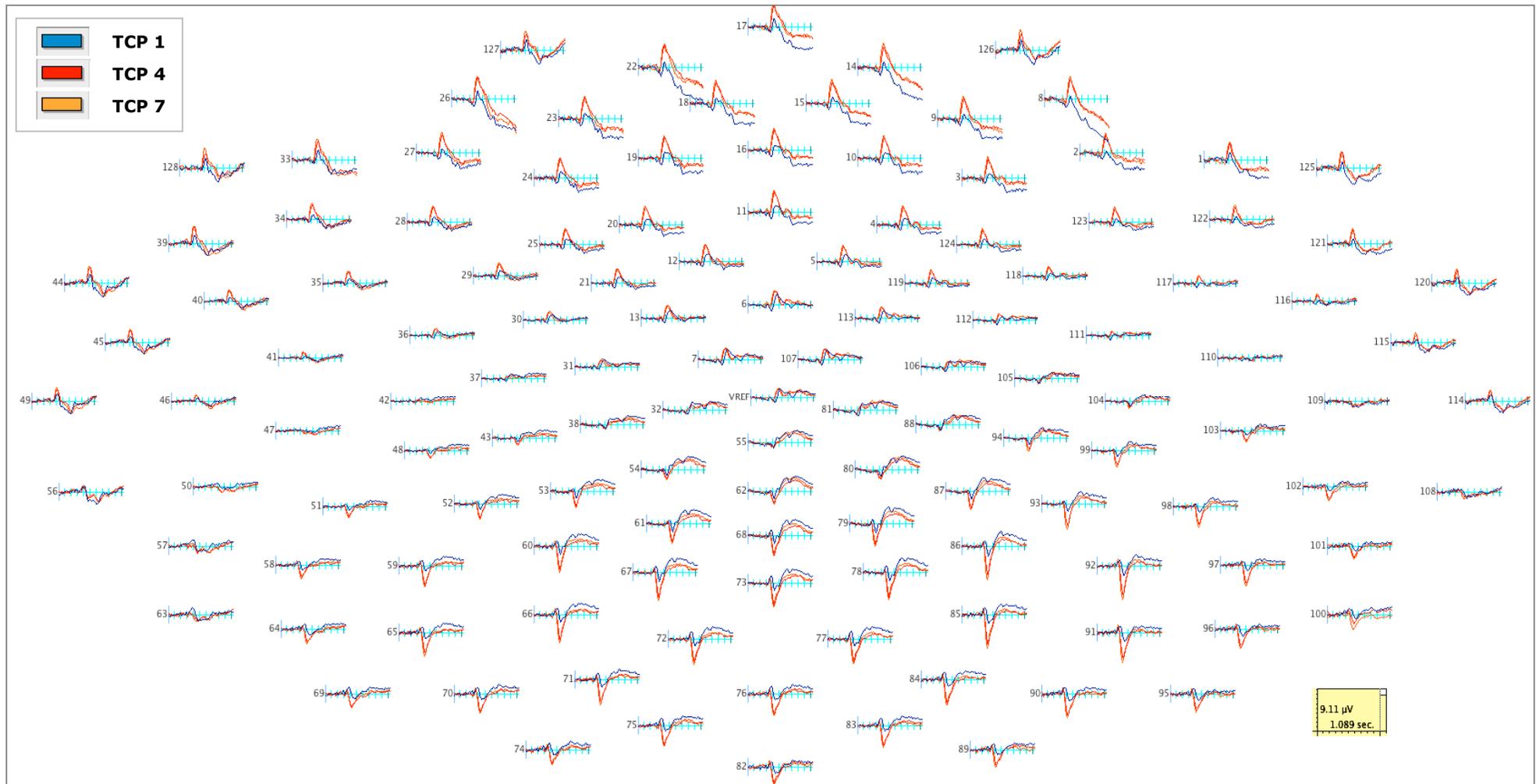


Figura III.6. Promedio de la amplitud durante la fase de búsqueda en Experimento 3 en todos los electrodos para TCP. El intervalo temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCP 1; en rojo, TCP 4 y en amarillo, TCP 7.

Tablas

Tabla III.2. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en N2 posterior de la fase de estudio en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	234,778	227,75	228,111	235	226,115	225,937	245,05	231,15	222,575
		4	234,574	231,569	236,083	229,193	236,885	238,542	233,187	233,325	231,575
		7	232,292	233,847	229,542	233,396	231,687	229,010	243,35	232,962	219,512
AMPLITUD	TCP	1	-2,446	-2,958	-4,511	-2,457	-2,842	-5,092	-2,684	-3,329	-5,557
		4	-2,531	-3,470	-3,690	-2,241	-3,652	-3,757	-2,452	-4,083	-3,879
		7	-2,105	-3,041	-3,359	-2,121	-3,023	-3,386	-2,593	-3,662	-4,121

Tabla III.3. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en P2 anterior de la fase de estudio en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	236,521	227,177	233,812	239,237	232,762	233,15	235,562	237,417	223,833
		4	233,010	233,146	245,292	231,927	234,5	238,625	234,609	234,583	230,833
		7	245,187	229,656	230,354	243,675	229,375	237,912	231,771	239,104	233,698
AMPLITUD	TCP	1	1,999	3,265	4,541	3,643	3,810	6,169	2,658	2,301	4,132
		4	1,9867	3,922	3,339	3,523	4,450	4,356	2,609	3,337	3,164
		7	2,771	2,906	3,1233	3,507	3,822	4,579	1,969	2,739	3,374

Tabla III.4. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en P3 posterior y N3 anterior de la fase de estudio en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
P3 POS	TCP	1	-0,223	0,158	-0,669	0,197	0,473	-0,459	-0,066	0,003	-0,685
		4	-0,372	-0,507	-0,659	0,367	-0,039	-0,242	0,131	-0,570	-0,462
		7	0,481	0,224	-1,261	0,978	0,301	-0,473	0,554	-0,561	-1,362
N3 ANT	TCP	1	-0,382	0,0466	0,621	0,299	0,121	1,241	0,328	-0,305	0,248
		4	-0,472	-0,182	0,222	0,0477	0,503	0,823	0,359	0,7120	-0,102
		7	-0,288	0,229	0,385	-0,399	0,315	1,791	-0,703	-0,220	0,686

Tabla III.5. Valores de amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en la onda lenta negativa posterior y la onda lenta positiva anterior del intervalo de retención en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
ONDA LENTA NEG	TCP	1	-0,696	-0,521	-0,950	-0,603	-0,582	-1,290	-0,491	-0,659	-1,37
		4	-0,594	-0,845	-1,015	-0,342	-0,844	-0,809	-0,332	-0,875	-0,746
		7	-0,135	-0,543	-1,095	-0,236	-0,589	-0,971	-0,371	-0,984	-1,317
ONDA LENTA POS	TCP	1	0,020	0,700	1,138	0,988	0,820	1,456	0,641	0,168	0,774
		4	0,128	0,407	0,546	0,623	1,066	1,032	0,484	1,201	0,603
		7	0,596	0,557	0,809	0,488	0,815	1,421	-0,072	0,517	0,613

Tabla III.6. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en P1 posterior de la fase de búsqueda en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	138,025	151,160	153,506	148,907	151,5	156,056	144,511	147,489	152,911
		4	131,086	135,259	135,753	130,333	138,685	134,278	132,311	134,622	132,889
		7	130,506	133,852	135,753	131,694	133,991	138,463	128,878	131,578	136,6
AMPLITUD	TCP	1	1,322	0,500	0,954	1,233	0,858	0,713	1,102	1,271	1,063
		4	0,003	0,108	0,291	-0,026	-0,0450	0,480	-0,024	0,130	0,387
		7	0,804	-0,045	-0,043	0,489	-0,321	0,101	0,769	-0,085	0,253

Tabla III.7. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en N1 anterior de la fase de búsqueda en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	144,092	144,963	145,352	146,533	153,311	154,044	145,407	151,926	156,111
		4	131,444	137,963	128,037	135,333	135,467	133,778	131,815	136,574	139,093
		7	131,694	131,991	132,954	132,278	133,078	134,444	130,759	134,111	131,444
AMPLITUD	TCP	1	-0,742	-1,037	-0,328	-1,391	-0,845	-0,984	-0,843	-0,230	-0,917
		4	0,317	0,097	-0,039	-0,042	-0,019	-0,089	-0,018	0,169	-0,293
		7	0,137	0,227	-0,042	-0,370	0,309	0,194	-0,579	0,176	-0,263

Tabla III.8. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en N2 posterior de la fase de búsqueda en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	233,901	245,309	236,617	228,944	241,056	241,407	233,756	243,489	240,089
		4	223,951	221,235	221,975	222,222	222,074	222,889	220,2	217,2	219,8
		7	211,667	220,741	220,494	209,213	216,796	216,213	209,967	212,344	213,022
AMPLITUD	TCP	1	-0,980	-1,728	-0,849	-0,638	-1,833	-1,159	-1,193	-2,064	-1,099
		4	-3,668	-3,524	-2,899	-3,907	-4,134	-3,323	-3,885	-4,530	-3,919
		7	-2,762	-3,388	-3,215	-3,308	-3,917	-3,118	-3,923	-4,272	-3,873

Tabla III.9. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en P2 anterior de la fase de búsqueda en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	229,667	238,241	235,556	237,533	246,289	250,333	229,593	238,204	234,722
		4	215,352	221,907	217,296	225,111	223,2	225,933	217,741	220,167	220,333
		7	209,204	214,102	211,028	218,667	222,278	219,244	210,537	215,194	216,194
AMPLITUD	TCP	1	0,668	1,591	1,209	1,092	2,053	1,366	0,459	1,216	0,340
		4	2,830	3,151	2,721	3,672	3,971	3,533	2,549	2,736	2,014
		7	2,529	3,077	2,504	3,341	3,766	3,507	2,269	2,541	2,314

Tabla III.10. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) en las condiciones experimentales y POSICIÓN en P3 posterior y N3 anterior de la fase de búsqueda en Experimento 3.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
P3 POS	TCP	1	1,924	0,991	1,941	2,723	1,667	2,312	1,806	0,506	1,648
		4	1,069	0,481	0,213	1,720	0,738	0,841	0,895	0,018	0,426
		7	0,996	0,675	0,293	1,186	1,312	0,901	-0,006	0,655	0,474
N3 ANT	TCP	1	-2,179	-1,046	-1,455	-3,421	-1,561	-2,446	-2,113	-0,999	-2,065
		4	-1,375	-0,541	-0,855	-1,891	-0,677	-0,747	-1,202	-0,493	-0,457
		7	-1,248	-1,457	-0,886	-1,289	-1,035	-0,810	-0,732	-0,577	-0,678

APÉNDICE III: Experimento 4- Resultados comportamentales, figuras y tablas

Resultados comportamentales

Como en los experimentos anteriores, se analizó tanto la precisión como el tiempo de reacción (TR) de los participantes mediante sendos análisis de varianza de medidas repetidas con las variables TCM (tamaño del conjunto de memoria: 1, 2 ó 3 posiciones), y TCP (tamaño del conjunto de presentación: 1, 4 ó 7 posiciones), con los valores de d' como índice de precisión y las medianas de los tiempos de respuesta en el TR. Sólo se incluyeron en los análisis las respuestas cuyo TR fue mayor de 250 ms, y únicamente respuestas correctas en el análisis del TR. Los grados de libertad se ajustaron con la corrección Greenhouse-Geisser en caso necesario. Los valores medios de d' y TR para cada condición experimental aparecen en la Tabla IV.1.

Tabla IV.1. Media de los valores de d' y TR (ms) de las respuestas correctas en las condiciones experimentales en Experimento 4.

TCM	1	2	3	
TCP 1	6,689	3,211	2,245	
d'	4	4,285	1,695	0,983
	7	3,666	1,246	0,855
TCP 1	614,000	700,583	758,028	
TR	4	683,778	818,472	900,694
	7	728,889	884,444	947,694

Análisis de la precisión. Encontramos un efecto principal significativo de TCM (MCE= 3,96; $F(1,28;21,74)= 47,39$; $p < ,001$) y de TCP (MCE= 2,67; $F(1,96;33,40)= 25,81$; $p < ,001$), que aparecen respectivamente en las Figuras 4.1 y 4.2. La discriminación disminuyó al aumentar el número de elementos del conjunto. La interacción no resultó significativa ($p > ,1$).

Para TCM realizamos análisis de tendencia y comparaciones entre los distintos niveles. La tendencia lineal resultó significativa (MCE= 6,16; $F(1,17)= 54,23$; $p < ,001$), así como la tendencia cuadrática (MCE= 1,75; $F(1,17)= 23,42$; $p < ,001$). En cuanto a las comparaciones, en TCM 1 la discriminación fue mayor que en TCM 2 (MCE= 4,59; $F(1,17)= 47,06$; $p < ,001$). En TCM 2 la discriminación fue mayor que en TCM 3 (MCE= 1,12; $F(1,17)= 11,37$; $p = ,0036$).

En TCP la tendencia lineal fue significativa (MCE= 2,38; $F(1,17)= 51,1$; $p < ,001$), así como la tendencia cuadrática (MCE= 2,95; $F(1,17)= 5,37$; $p = ,033$). Al

comparar los distintos niveles, encontramos que en TCP 1 la discriminación fue mayor que en TCP 4 ($MCE= 2,99$; $F(1,17)= 26,83$; $p < ,001$). La comparación entre TCP 4 y TCP 7 no fue significativa ($p > ,1$).

Análisis del tiempo de reacción. Encontramos efecto principal de TCM ($MCE= 5488$; $F(1,34; 22,85)= 94,62$; $p < ,001$) y de TCP ($MCE= 2834$; $F(1,74 ;29,51)= 131,49$; $p < ,001$). Tanto en TCM como en TCP el TR aumentó a medida que lo hacía el tamaño del conjunto. Realizamos análisis de tendencia en TCM. La tendencia lineal fue significativa ($MCE= 8772$; $F(1,17)= 114,95$; $p < ,001$), así como la tendencia cuadrática ($MCE= 2204,44$; $F(1,17)= 13,72$; $p = ,0017$). Al hacer comparaciones entre los niveles encontramos que en TCM 1 el TR fue menor que en TCM 2 ($MCE= 5558,8$; $F(1,17)= 76,63$; $p < ,001$). El TR en TCM 2 fue menor que en TCM 3 ($MCE= 2133,8$; $F(1,17)= 57,88$; $p < ,001$).

En TCP la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 3940,17$; $F(1,17)= 181,63$; $p < ,001$), así como la cuadrática ($MCE= 1728,09$; $F(1,17)= 17,16$; $p < ,001$). Al comparar entre niveles encontramos que el TR en TCP 1 fue menor que en TCP 4 ($MCE= 2279,9$; $F(1,17)= 143,58$; $p < ,001$), y en TCP 4 fue menor que en TCP 7 ($MCE= 2282,28$; $F(1,17)= 32,84$; $p < ,001$).

La interacción TCM x TCP resultó significativa ($MCE= 3769$; $F(3,36;57,09)= 5,59$; $p = ,007$). Analizamos la tendencia de TCP en cada uno de los niveles de TCM. En TCM 1 la tendencia lineal entre los niveles de TCP fue significativa ($MCE= 620,6$; $F(1,17)= 191,43$; $p < ,001$), pero no la cuadrática ($p > ,1$). En TCM 2 la tendencia lineal fue significativa ($MCE= 3768,4$; $F(1,17)= 80,73$; $p < ,001$), y la cuadrática fue marginalmente significativa ($MCE= 2216,19$; $F(1,17)= 3,64$; $p = ,073$). En TCM 3, tanto la tendencia lineal como la cuadrática resultaron significativa ($MCE= 4647,2$; $F(1,17)= 69,66$; $p < ,001$; y $MCE= 2987,60$; $F(1,17)= 9,19$; $p = ,008$, respectivamente). Al hacer comparaciones entre niveles de TCP en cada uno de los niveles de TCM encontramos que en todos los niveles de TCM el tiempo de reacción en TCP 1 fue menor que en TCP 4 ($MCE= 664,55$; $F_{(1,17)}= 65,940$; $p < ,001$ para TCM 1; $MCE= 2234,8$; $F_{(1,17)}= 55,970$; $p < ,001$ para TCM 2; y $MCE= 4095,9$; $F_{(1,17)}= 44,724$; $p < ,001$ para TCM 3). El tiempo de reacción en TCP 4 fue menor que en TCP 7 ($MCE= 585,05$; $F_{(1,17)}= 31,305$; $p < ,001$ para TCM 1; $MCE= 2973,73$; $F_{(1,17)}= 13,172$; $p = ,002$ para TCM 2; y $MCE= 2709,13$; $F_{(1,17)}= 7,339$; $p = ,015$ para TCM 3).

Figuras

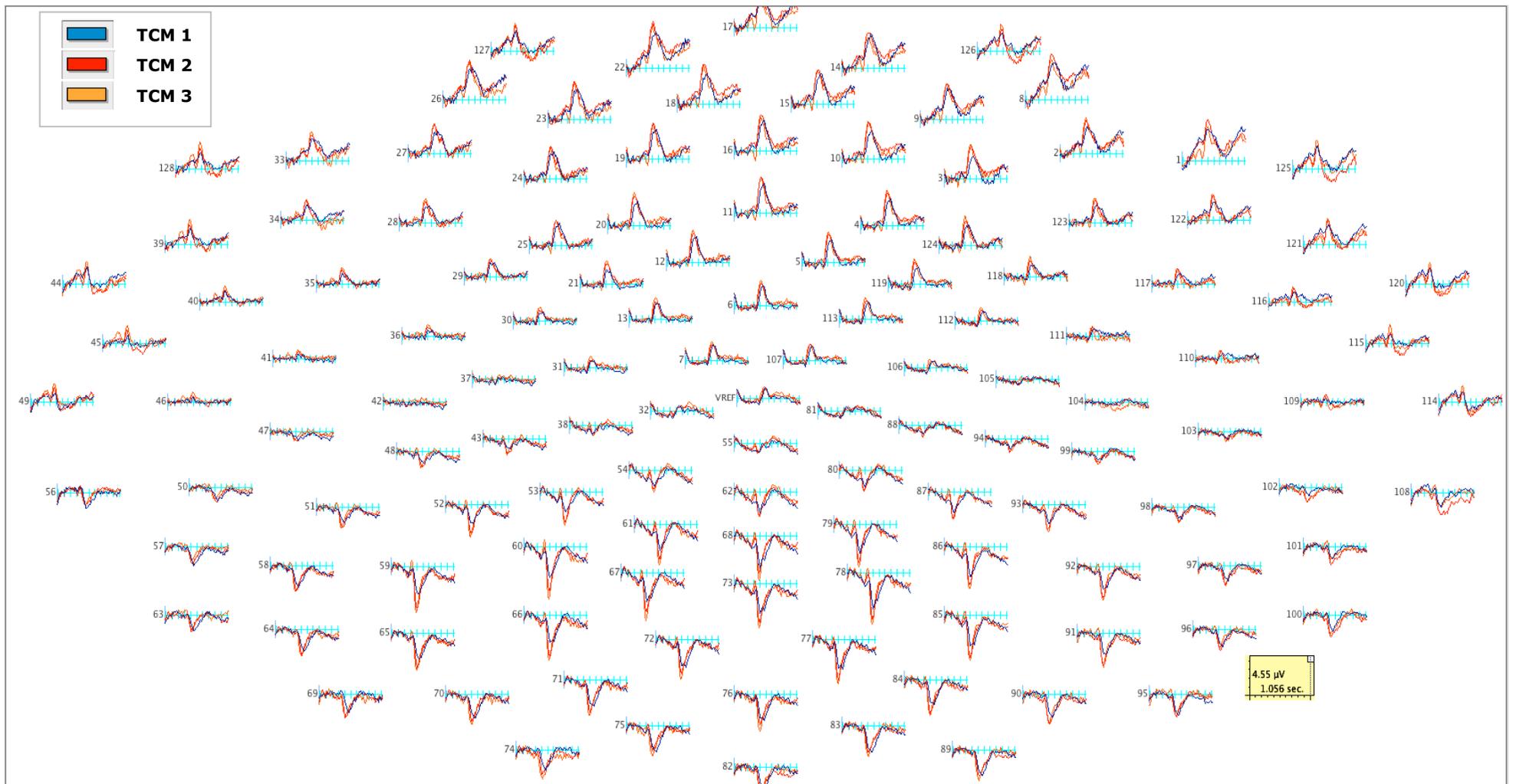


Figura IV.1. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio en Experimento 4 en todos los electrodos para TCM. La ventana temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCM 1; en rojo, TCM 2 y en amarillo, TCM 3.

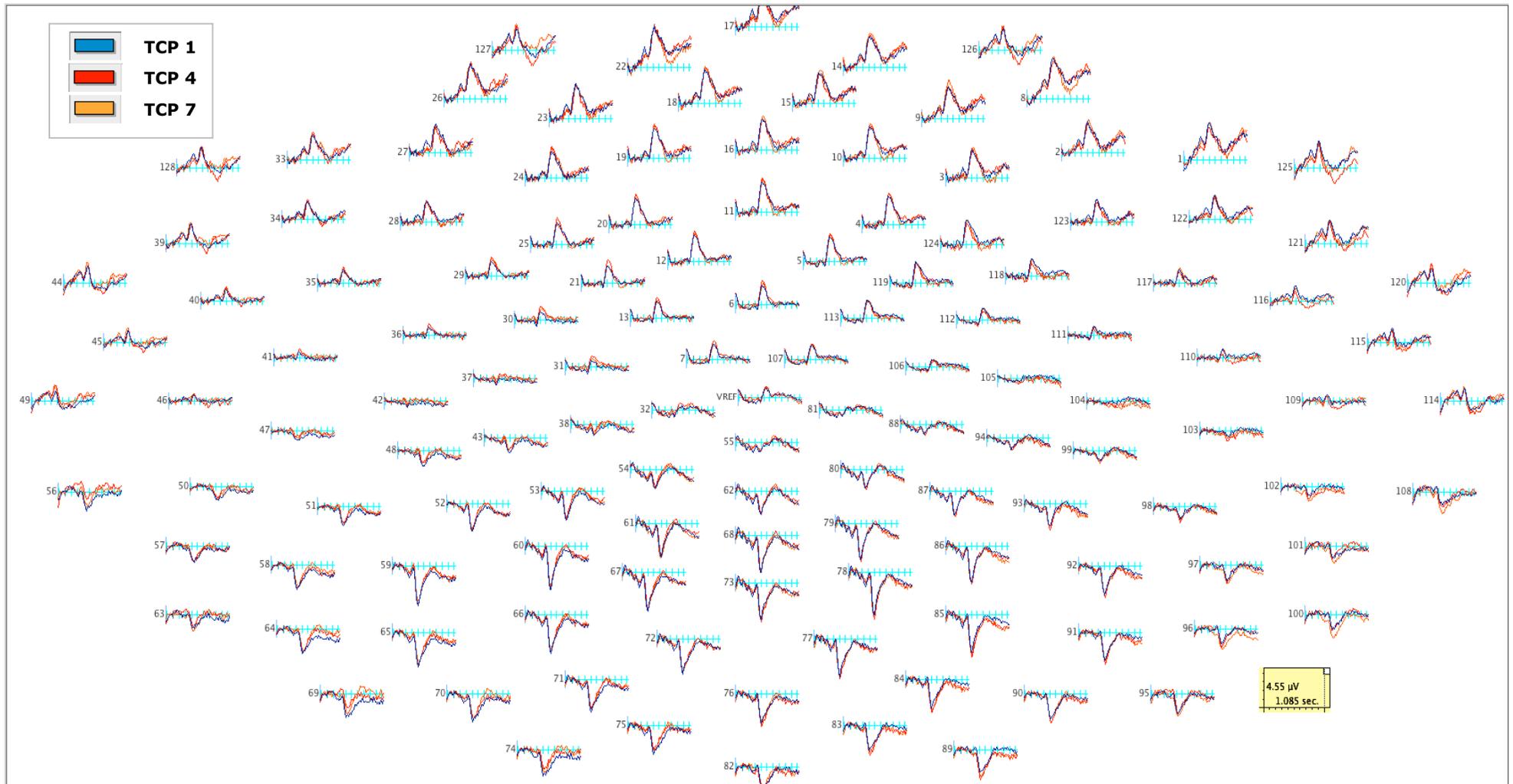


Figura IV.2. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio en Experimento 4 en todos los electrodos para TCP. La ventana temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCP 1; en rojo, TCP 4 y en amarillo, TCP 7.

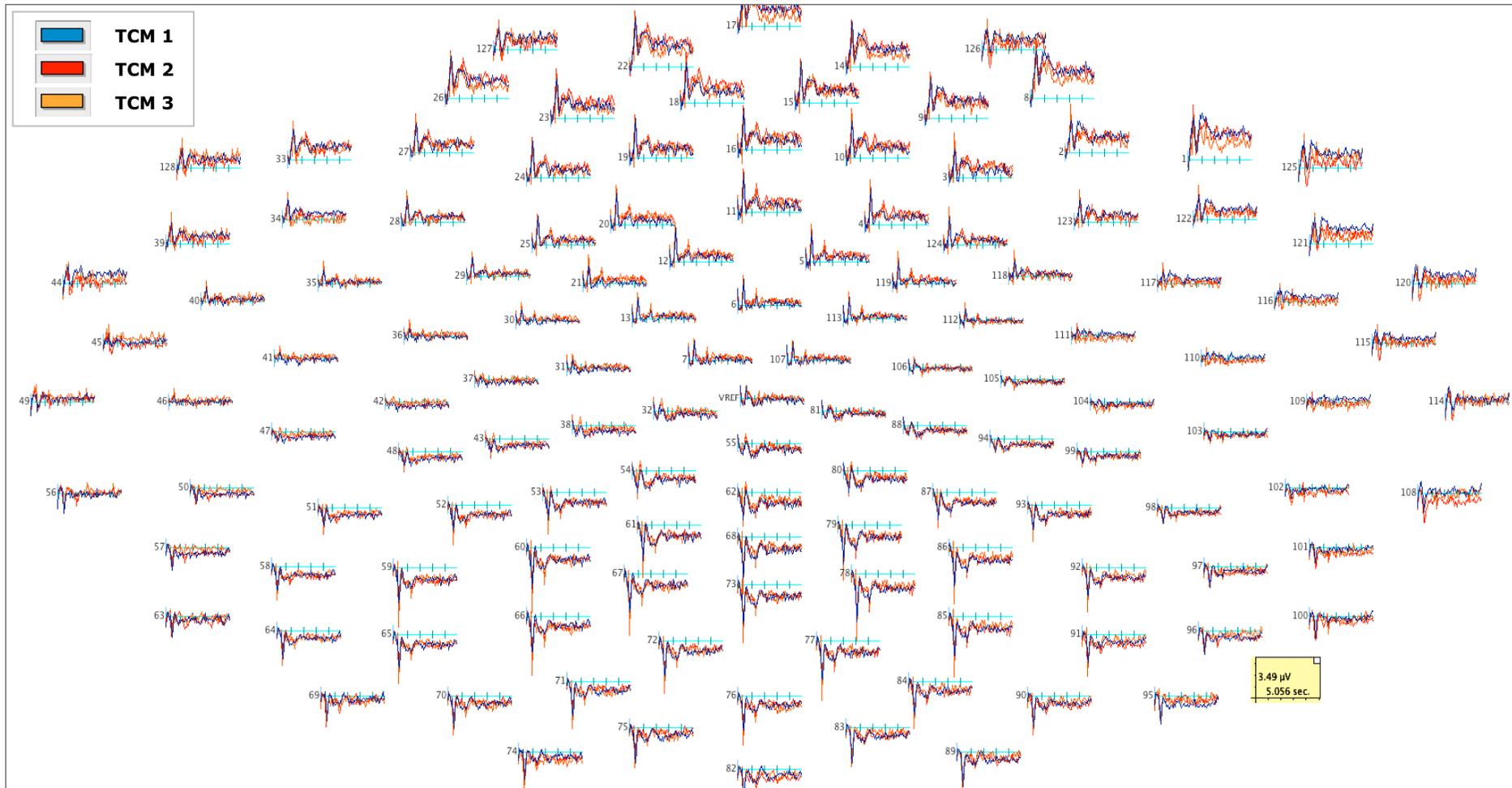


Figura IV.3. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio e intervalo de retención en Experimento 4 en todos los electrodos para TCM. La ventana temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 5000 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCM 1; en rojo, TCM 2 y en amarillo, TCM 3.

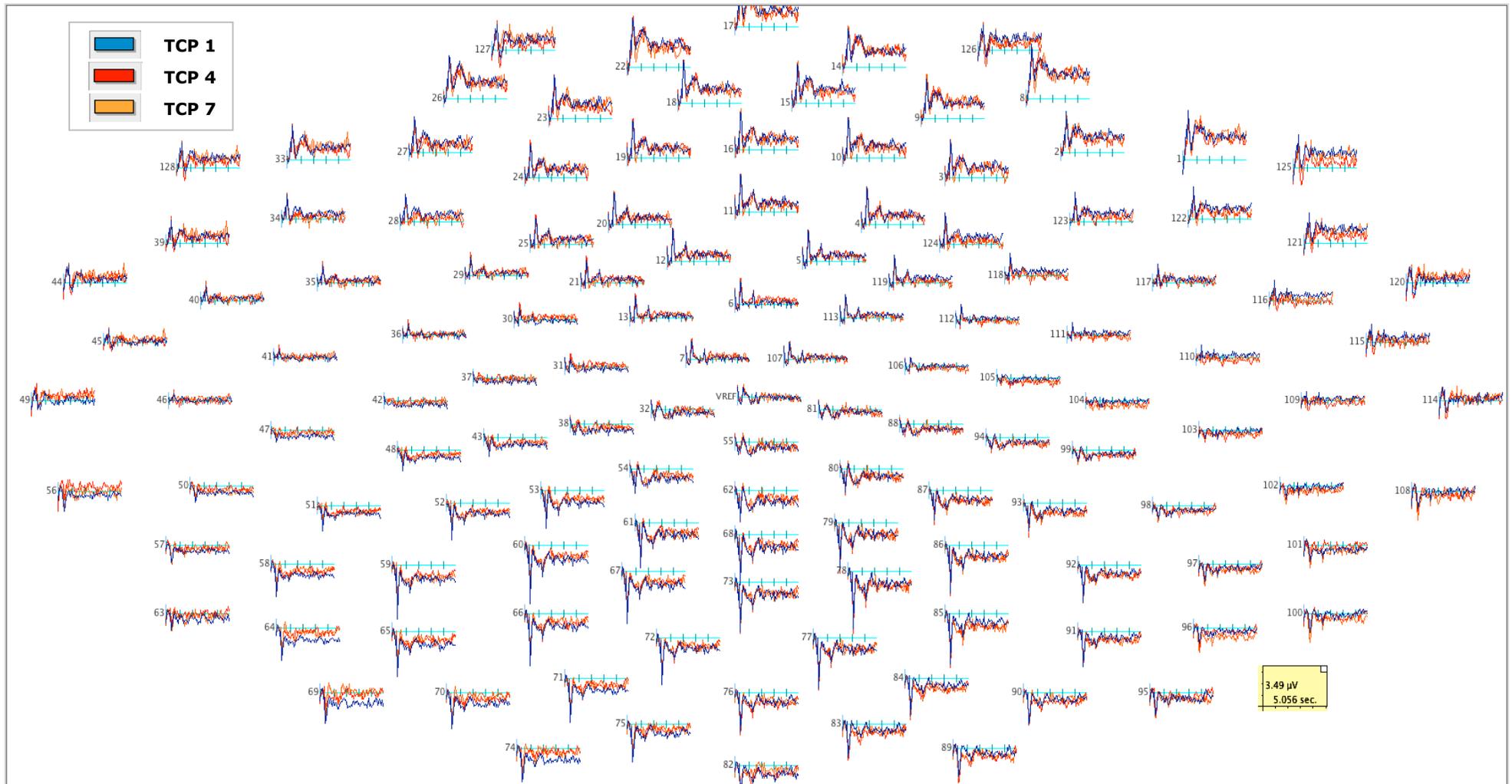


Figura IV.4. Promedio de la amplitud durante la fase de estudio e intervalo de retención en Experimento 4 en todos los electrodos para TCP. La ventana temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 5000 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCP 1; en rojo, TCP 4 y en amarillo, TCP 4.

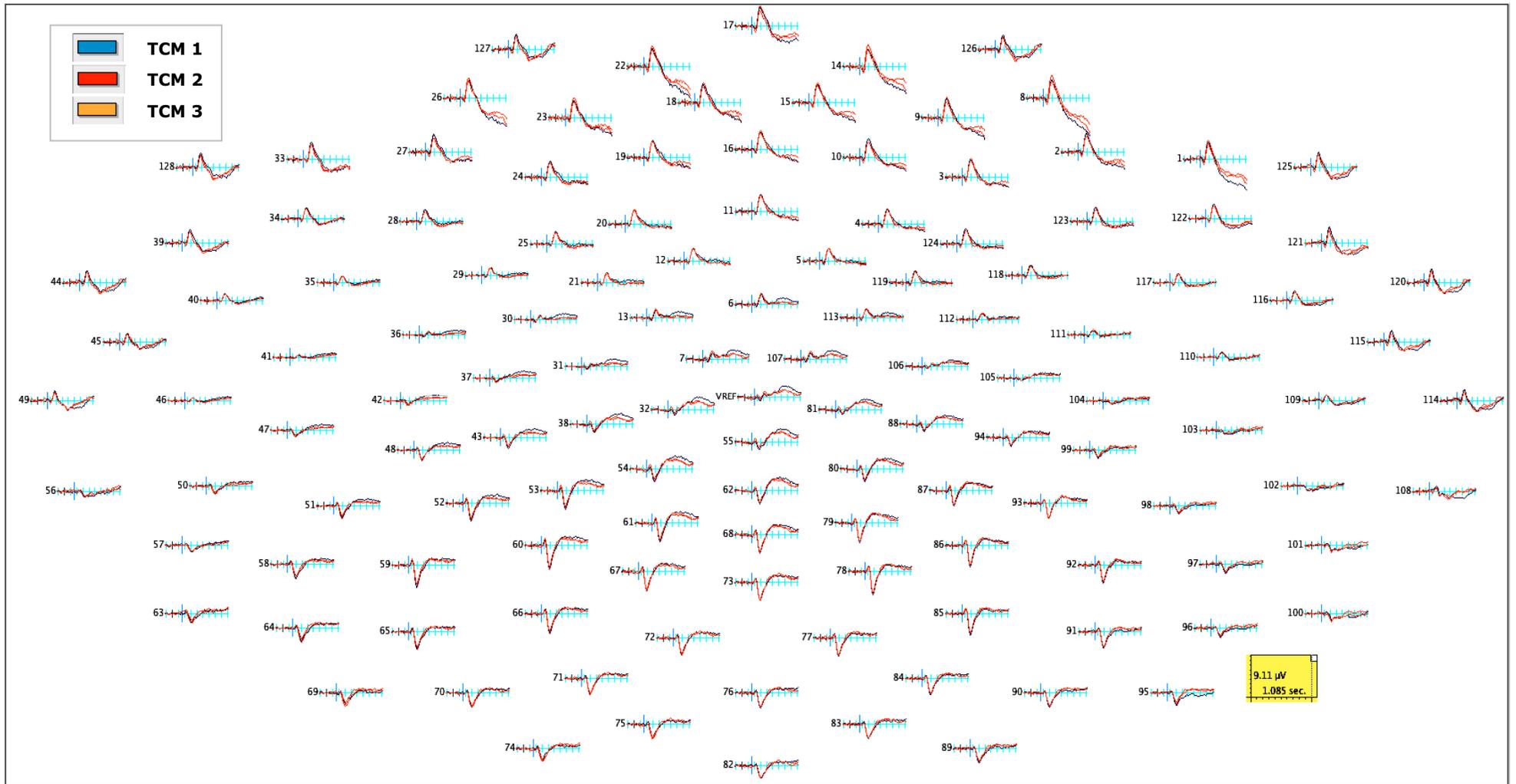


Figura IV.5. Promedio de la amplitud durante la fase de búsqueda en Experimento 4 en todos los electrodos para TCM. La ventana temporal incluye los 200 ms previos de línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCM 1; en rojo, TCM 2 y en amarillo, TCM 3.

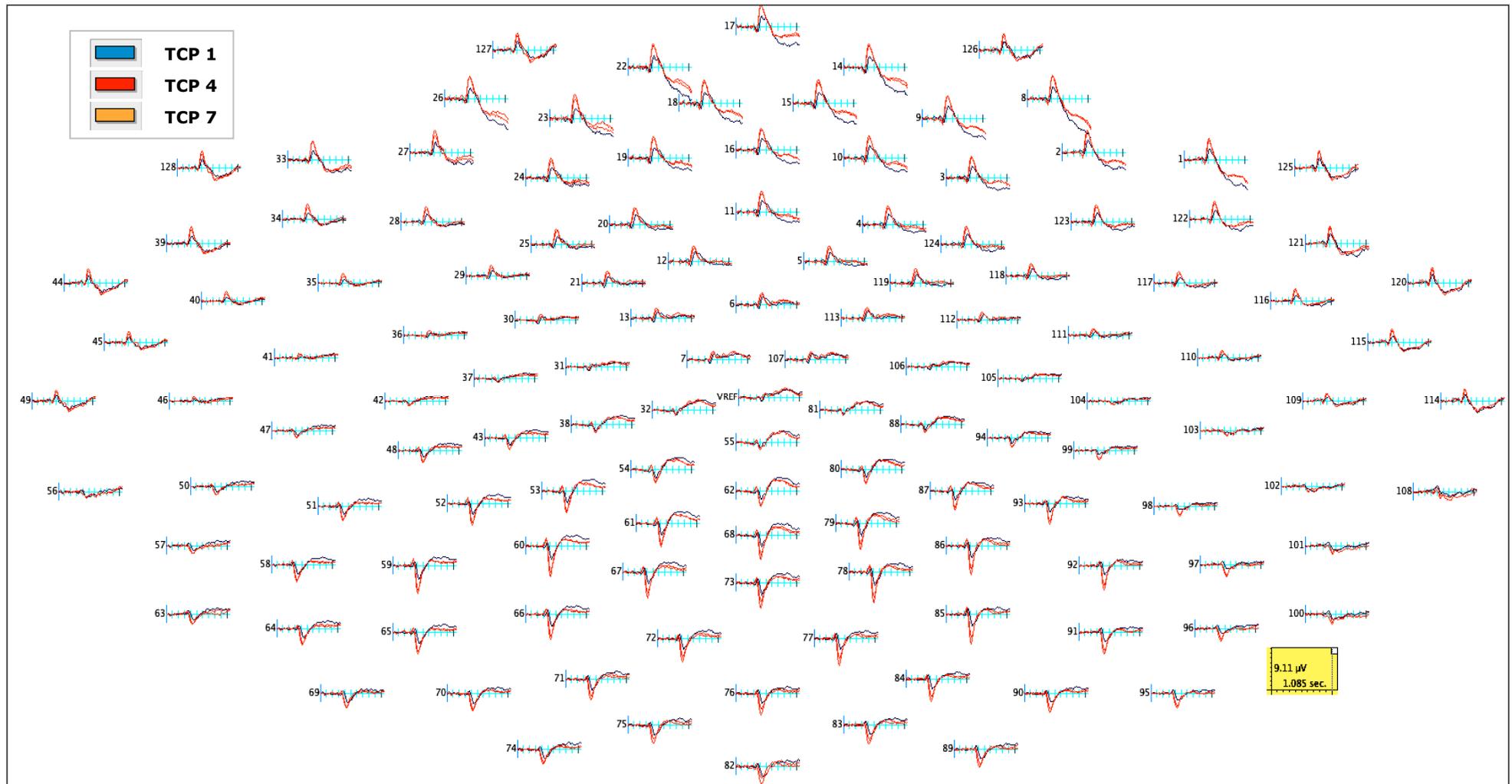


Figura IV.6. Promedio de la amplitud durante la fase de búsqueda en Experimento 4 en todos los electrodos para TCP. La ventana temporal incluye los 200 ms previos a línea de base y 800 ms después de la presentación de los estímulos. Leyenda: en azul, TCP 1; en rojo, TCP 4 y en amarillo, TCP 7.

Tablas

Tabla IV.2. Valores de latencia (ms) y amplitud (μ V) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en N2 posterior de la fase de estudio en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	241,659	240,859	228,119	240,022	231,756	220,489	250,773	238,453	229,307
		4	252,593	239,822	228,948	254,489	238,422	226,533	258,907	247,333	238,773
		7	260,000	246,281	233,867	257,333	238,000	225,111	258,693	243,120	234,933
AMPLITUD	TCP	1	-2,580	-3,403	-3,764	-2,898	-3,391	-3,870	-2,539	-2,716	-2,782
		4	-2,654	-3,079	-3,483	-3,099	-3,587	-4,228	-2,308	-3,613	-3,213
		7	-2,705	-3,265	-3,627	-3,208	-3,653	-4,171	-2,790	-3,238	-3,370

Tabla IV.3. Valores de latencia (ms) y amplitud (μ V) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P2 anterior de la fase de estudio en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	258,133	232,200	224,689	256,240	239,920	231,547	240,489	234,711	220,178
		4	250,956	244,533	233,111	265,547	245,947	235,227	255,200	237,467	224,400
		7	247,889	229,289	231,111	270,133	248,587	236,320	258,711	243,600	226,644
AMPLITUD	TCP	1	2,188	2,357	2,539	3,183	3,279	3,361	2,476	2,671	2,840
		4	1,896	2,851	2,853	2,797	4,008	3,942	2,173	2,723	2,424
		7	2,525	2,313	2,641	3,099	3,822	3,764	2,407	2,973	3,134

Tabla IV.4. Valores de latencia (ms) y amplitud (μ V) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P3 posterior y N3 anterior de la fase de estudio en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
P3 POS	TCP	1	-0,792	-0,941	-1,009	-0,648	-0,571	-0,492	-0,528	-0,268	-0,206
		4	-0,315	-0,249	-0,764	-0,361	-0,390	-0,672	-0,216	-0,894	-0,368
		7	-0,153	-0,149	-0,243	-0,486	-0,614	-0,392	-0,624	-0,668	-0,397
N3 ANT	TCP	1	0,349	0,296	0,157	0,735	0,724	0,654	0,683	0,471	0,638
		4	0,187	0,248	0,082	0,061	1,204	1,007	0,227	0,456	0,311
		7	0,428	0,204	0,058	0,277	0,560	0,266	0,088	0,465	0,136

Tabla IV.5. Valores de latencia (ms) y amplitud (µV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en N1100 posterior del intervalo de retención en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	1219,348	1211,822	1203,644	1221,711	1212,311	1199,133	1230,320	1229,787	1223,093
		4	1212,681	1213,422	1212,000	1211,444	1197,600	1213,600	1212,720	1204,853	1221,387
		7	1210,104	1223,585	1217,837	1203,622	1216,844	1219,111	1212,933	1222,560	1222,587
AMPLITUD	TCP	1	-1,885	-2,607	-2,767	-2,222	-2,626	-2,513	-2,046	-1,667	-1,740
		4	-1,591	-1,908	-2,487	-2,085	-2,562	-2,858	-1,351	-2,720	-1,973
		7	-1,750	-2,198	-2,334	-2,270	-2,717	-2,582	-1,949	-2,269	-2,316

Tabla IV.6. Valores de latencia (ms) y amplitud (µV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P1100 anterior del intervalo de retención en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	1227,178	1226,400	1213,844	1229,520	1224,907	1213,307	1212,311	1210,422	1211,911
		4	1209,600	1213,489	1210,578	1212,533	1217,733	1226,107	1212,933	1213,778	1219,756
		7	1209,444	1222,711	1225,133	1214,240	1220,613	1219,867	1201,578	1208,156	1212,111
AMPLITUD	TCP	1	1,467	1,841	2,095	2,254	2,520	2,889	2,312	2,168	2,117
		4	1,210	2,034	1,918	1,668	3,207	3,102	1,985	2,147	2,071
		7	1,611	1,983	1,814	1,845	2,845	2,552	1,878	2,421	2,231

Tabla IV.7. Valores de latencia (ms) y amplitud (µV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P1 posterior de la fase de búsqueda en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	147,704	151,556	146,741	146,296	150,722	144,444	146,533	151,422	148,689
		4	141,654	138,272	143,309	139,833	136,759	141,611	139,867	140,578	142,978
		7	137,012	134,370	135,827	137,593	133,611	137,074	136,111	134,956	136,111
AMPLITUD	TCP	1	0,454	0,190	0,583	0,591	0,403	0,257	0,604	0,735	0,310
		4	0,502	-0,128	0,447	0,353	0,319	0,725	0,154	0,636	0,594
		7	0,012	0,356	0,406	0,015	0,283	-0,073	0,229	0,329	0,193

Tabla IV.8. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en N1 anterior de la fase de búsqueda en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	145,519	148,963	140,944	148,800	151,556	146,956	144,093	143,944	144,241
		4	140,444	136,944	140,315	138,311	131,156	142,489	135,333	133,870	138,185
		7	134,833	133,019	134,074	134,556	136,178	134,000	133,333	134,148	131,556
AMPLITUD	TCP	1	-0,370	-0,361	-0,370	-0,517	-0,618	-0,296	-0,137	-0,234	-0,287
		4	-0,086	-0,029	-0,437	-0,345	-0,228	-0,454	-0,320	-0,165	-0,554
		7	-0,082	-0,082	-0,071	-0,075	-0,246	-0,440	0,038	-0,372	-0,363

Tabla IV.9. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en N2 posterior de la fase de búsqueda en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	231,062	246,370	247,531	235,704	242,148	238,407	242,733	244,844	236,600
		4	220,296	225,457	230,617	220,593	222,389	226,759	221,733	226,067	225,800
		7	221,432	213,086	215,235	215,556	214,685	215,130	221,511	219,978	219,178
AMPLITUD	TCP	1	-2,580	-3,403	-3,764	-2,898	-3,391	-3,870	-2,539	-2,716	-2,782
		4	-2,654	-3,079	-3,483	-3,099	-3,587	-4,228	-2,308	-3,613	-3,213
		7	-2,705	-3,265	-3,627	-3,208	-3,653	-4,171	-2,790	-3,238	-3,370

Tabla IV.10. Valores de latencia (ms) y amplitud (μV) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P2 anterior de la fase de búsqueda en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
TCM		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
LATENCIA	TCP	1	245,944	250,074	239,907	250,667	250,800	248,022	233,667	237,556	239,963
		4	224,222	226,611	217,944	228,956	230,778	226,000	219,500	228,130	224,852
		7	221,426	216,667	222,481	230,267	220,711	227,400	222,000	217,463	213,944
AMPLITUD	TCP	1	1,653	1,287	1,527	2,340	2,066	2,198	1,720	1,716	1,629
		4	2,750	2,637	1,910	3,631	3,772	3,024	2,991	3,090	2,485
		7	2,899	3,071	2,684	3,885	4,069	3,537	3,302	3,264	2,924

Tabla IV.11. Valores de latencia (ms) y amplitud (μv) para las condiciones experimentales y POSICIÓN en P3 posterior y N3 anterior de la fase de búsqueda en Experimento 4.

POSICIÓN		IZQUIERDA			CENTRAL			DERECHA			
	TCM	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
P3 POS	TCP	1	1,222	1,439	1,559	1,569	1,780	1,570	0,651	1,368	0,934
		4	1,014	0,560	0,557	1,088	0,831	1,157	0,199	0,639	0,696
		7	0,609	0,577	0,520	1,005	0,675	0,538	0,216	0,324	0,282
N3 ANT	TCP	1	-1,033	-1,161	-0,977	-1,784	-2,115	-1,782	-1,842	-1,937	-1,994
		4	-0,917	-0,718	-0,971	-1,186	-0,792	-0,772	-1,454	-0,820	-0,869
		7	-0,336	-0,802	-0,456	-0,638	-0,988	-0,689	-1,347	-0,766	-0,870