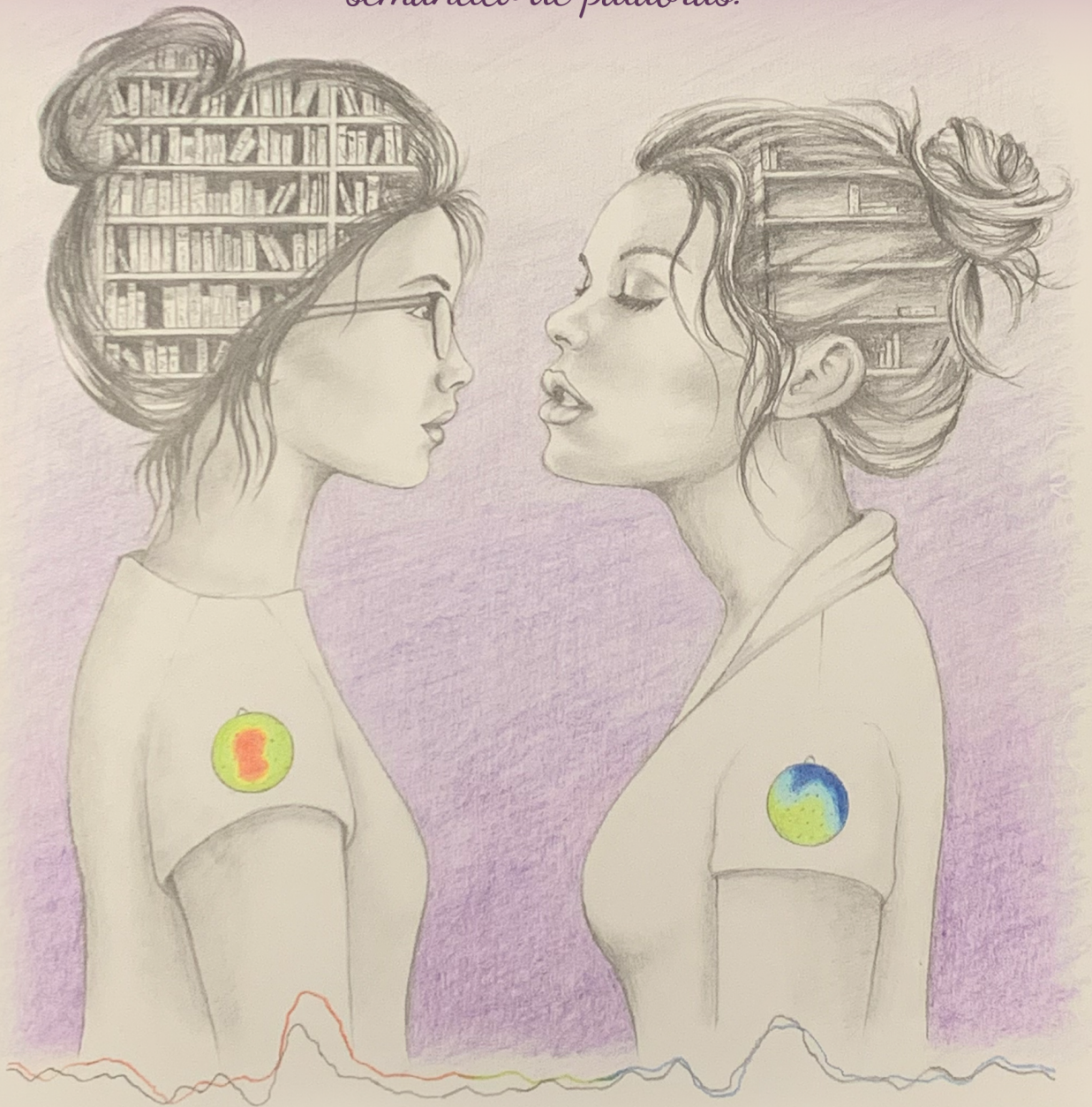




FACULTAD DE PSICOLOGÍA
Universidad de Almería

*Influencia de la relación semántico - asociativa,
tipo de enmascaramiento y capacidad de memoria de trabajo
en los correlatos conductuales y electrofisiológicos del priming
semántico de palabras.*



MONTSERRAT MEGÍAS PERALTA
TESIS DOCTORAL
ALMERÍA, FEBRERO 2022

TESIS DOCTORAL

INFLUENCIA DE LA RELACIÓN SEMÁNTICO-ASOCIATIVA, TIPO DE ENMASCARAMIENTO, Y CAPACIDAD DE MEMORIA DE TRABAJO EN LOS CORRELATOS CONDUCTUALES Y ELECTROFISIOLÓGICOS DEL PRIMING SEMÁNTICO DE PALABRAS

INFLUENCE OF SEMANTIC-ASSOCIATIVE RELATIONSHIP, MASKING TYPE, AND WORKING MEMORY CAPACITY ON BEHAVIORAL AND ELECTROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF SEMANTIC PRIMING FROM WORDS

Montserrat Megías Peralta

Director:

Juan José Ortells Rodríguez

DOCTORADO EN SALUD, PSICOLOGÍA Y PSIQUIATRÍA



Universidad de Almería

Almería, Febrero de 2022

Reconocimientos

Los diferentes estudios que componen la presente tesis doctoral han sido financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación y el Ministerio de Economía y Competitividad (Gobierno de España), cofinanciados con fondos FEDER (PSI2008-00565, PSI2014-53856-P y PSI2017-83135-P), así como por la Fundación alemana de Investigación (DFG Ki804/3-2). Ninguna de las fuentes de financiación ha intervenido en el diseño de los estudios, en la recogida, análisis o interpretación de los datos, en la redacción de los informes de investigación o en la decisión de enviar los manuscritos para su publicación.



Acknowledgments

The different studies that are included in this doctoral thesis have been funded by the Ministry of Science and Innovation and the Ministry of Economy and Competitiveness (Government of Spain), co-funded with ERDF (FEDER) funds (PSI2008-00565, PSI2014-53856-P and PSI2017-83135 -P), as well as by the German Research Foundation (DFG Ki804 / 3-2). None of the funding sources were directly involved in the design, data collection, analysis or interpretation of data, neither in the writing of the reports nor in the decision to submit the manuscripts for publication.

A Antonio, por creer en mí.

A mi familia, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Hace ya ocho años desde el inicio de mis primeros pasos en el doctorado. Ha sido un camino extenso, repleto de valles y colinas, que parecían difuminar de una manera lejana la silueta inalcanzable de la cumbre. Pero hoy ha llegado ese día, y cuando miro hacia atrás, me percaté que este sueño no hubiese sido posible sin la colaboración de todas aquellas personas a las que quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

En primer lugar, al Profesor Juan José Ortells, director de esta Tesis, por ofrecerme la oportunidad de formar parte de su grupo de investigación, así como por enseñarme la gran importancia que la autocrítica, la perseverancia y la meticulosidad desempeñan en la labor científica. Gracias también por haberme abierto tantas veces la puerta de su despacho, y por obsequiarme horas preciosas de conversación y experiencia, además de sabiduría. Aunque muchas veces he sentido desaliento y frustración, he vivido todas y cada una de nuestras reuniones como auténticas experiencias de aprendizaje.

Al Profesor Markus Kiefer que, gracias a su amplitud de criterio intelectual, permitió que hallase el aliento necesario para perseguir mis propias intuiciones, y hacerlo con la confianza de que sus amplios conocimientos garantizarían finalmente, el rigor en el desarrollo del trabajo.

A la Profesora Isabel Carmona, por tantas horas compartidas en el laboratorio y por su inestimable colaboración, paciencia y generosidad al poner a mi disposición sus conocimientos que, sin ninguna duda, constituyeron el abono para que germinara el fruto de esta investigación. Con toda certeza, las horas más felices y más fecundas en la elaboración de esta Tesis las he pasado junto a ella. He vivido cada uno de nuestros encuentros como un privilegio de una maestra que enseña a su alumna. También debo agradecerle su apoyo emocional, empuje y confianza en mí, pues me

ayudaron a que la última fase fuese más llevadera. Gracias por ser la luz que me ha mostrado el camino.

A la Profesora Carmen Noguera, por su apoyo desinteresado y su gran implicación profesional y personal en el desarrollo de la investigación.

A todos ellos debo valiosas orientaciones y enriquecedores comentarios, así como una enorme gratitud tanto por haberme dedicado gran parte de su tiempo como por constituir auténticos modelos de dedicación al estudio, logrando así que madurasen mis ideas para la elaboración de esta Tesis Doctoral.

No quiero dejar de expresar en estas páginas mi reconocimiento hacia todos aquellos (estudiantes y profesionales) que de un modo activo participaron en esta investigación, con el objetivo desinteresado de contribuir al avance de la ciencia.

A mi familia, en especial a mis padres, quienes me enseñaron que sólo con esfuerzo, dedicación y sacrificio, es posible perseguir y hacer realidad lo que te propongas en la vida. Quisiera hacer una mención especial a mi abuela, María Cinta Monserrat Subirats, de quien aprendí que sólo con entusiasmo, positivismo y pasión, es posible alcanzar tus sueños.

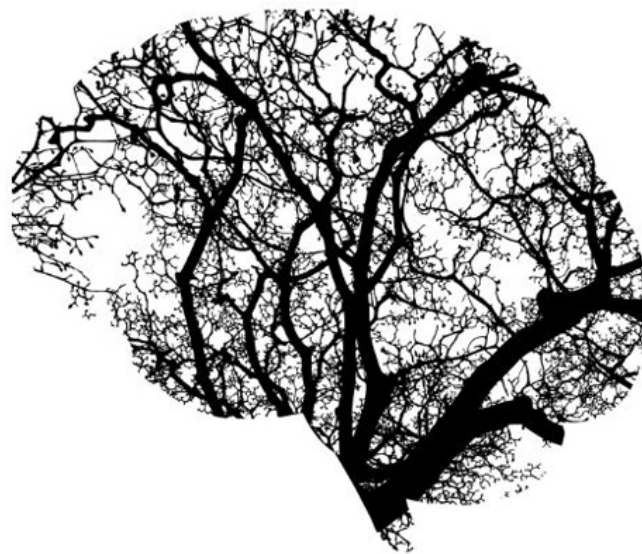
A mis amigas, Isabel Carmona, Carmen Noguera, Raquel García, Laura Tascón e Irene León, por su confianza, apoyo, comprensión y paciencia en los momentos de intemperancia vividos a lo largo de estos años.

A mi amiga, Odu Carmona, por reproducir con tanta creatividad y arte mis ideas sobre el diseño de la portada.

Al profesor Diego Alonso Cánovas, por haber contribuido a mi formación y por su buena disposición para elaborar el epílogo de esta Tesis.

Por último, a mi marido Antonio Galera, por su ánimo y por no ver nada imposible. Hubiese sido muy difícil perseverar en este trabajo sin sus consejos y ayuda en los momentos difíciles.

Ahora, tomando perspectiva de todo el camino recorrido, me doy cuenta que ante mí son múltiples los senderos que quedan por explorar. No sé por cuál de ellos me decantaré, pero lo que sí es seguro es que no es un final, sino un nuevo comienzo.



“La corteza cerebral semeja un jardín poblado de innumerables árboles, [...] que gracias a un cultivo inteligente pueden multiplicar sus ramas, hundir más lejos sus raíces y producir flores y frutos cada vez más exquisitos”.

Santiago Ramón y Cajal

**INFLUENCIA DE LA RELACIÓN SEMÁNTICO-ASOCIATIVA, TIPO DE
ENMASCARAMIENTO, Y CAPACIDAD DE MEMORIA DE TRABAJO
EN LOS CORRELATOS CONDUCTUALES Y ELECTROFISIOLÓGICOS
DEL PRIMING SEMÁNTICO DE PALABRAS**

Montserrat Megías Peralta

Departamento de Psicología Básica

Línea de investigación: Neurociencia Cognitiva

TESIS DOCTORAL

Director: D. Juan José Ortells Rodríguez

Universidad de Almería

Febrero 2022

ÍNDICE DE CONTENIDOS



<u>Índice de contenidos</u>	Pág.
Índice de figuras y tablas	24
Lista de abreviaturas	33
Resumen	39
Preámbulo	47
Introducción	54
1. Iniciando el camino: Procesamiento semántico de palabras subliminales e ignoradas	61
1.1. Procesamiento semántico de palabras en ausencia de consciencia	64
1.2. Procesamiento semántico de palabras ignoradas	73
1.3. Memoria de Trabajo y Control Atencional	79
2. Brújula que guía el camino: La técnica de potenciales evocados (ERPs) como herramienta metodológica en el estudio de procesos cognitivos	86
3. Tras las huellas conductuales y electrofisiológicas: Planteamiento y objetivos de la investigación	97
3.1. Estudio Experimental 1: Influencia de la relación semántico-asociativa en los correlatos conductuales y electrofisiológicos del priming semántico no-consciente	98
3.2. Estudios Experimentales 2 y 3: Influencia de la capacidad de memoria de trabajo (MT) y de las condiciones de enmascaramiento en los correlatos conductuales y electrofisiológicos del priming negativo (PN) semántico	105

3.2.1. Estudio Experimental 2	107
3.2.2. Capacidad diferencial de MT y de control atencional	110
3.2.3. Estudio Experimental 3	117
Experimental Studies	123
Abbreviations	126
Experimental Study 1	
The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and Event-Related Potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words	132
Experimental Study 2	
Semantic negative priming from an ignored single-prime depends critically on prime-mask inter-stimulus interval and working memory capacity	191
Experimental Study 3	
Individual differences in working memory capacity modulate electrophysiological correlates of semantic negative priming from single words	228
Discusión General	295
Limitaciones y futuras líneas de investigación	333
Conclusiones	338
Referencias Bibliográficas	342
Epílogo	372

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS



Figuras y Tablas	Pág.
Figura 1. Secuencia de eventos en la condición de máscara inmediata del estudio de Ortells, Daza y Fox, 2003.	67
Figura 2. Secuencia de eventos en la condición de máscara demorada del estudio de Ortells, Daza y Fox, 2003.	67
Figura 3. Objetos superpuestos inspirados en la Figura 1 de Tipper (1985). Los participantes deben atender y recordar el estímulo rojo, e ignorar el verde.	75
Figura 4. Modelo de Houghton y Tipper, 1994. Imagen adaptada al castellano de https://es.qaz.wiki/wiki/Negative_priming#Houghton-Tipper_model .	77
Figura 5. Corteza prefrontal dorsolateral en púrpura. Imagen adaptada de Nelson, 2016.	80
Figura 6. Secuencia de eventos en el estudio de Ortells, Noguera, Álvarez, Carmona, y Houghton, 2016.	82
Figura 7. Principales herramientas metodológicas en Neurociencia Cognitiva.	86
Tabla 1. Imagen basada en Zani y Proverbio (2003) sobre las ventajas e inconvenientes de las principales técnicas metodológicas.	87
Figura 8. Detección de activación sincrónica de neuronas en electrodos del cuero cabelludo.	89
Figura 9. Diagrama de representación del sistema internacional de posicionamiento 10-20. Imagen adaptada de Novo Olivas, Chacón Gutiérrez, y Barradas Bribiesca, 2010.	90

Figura 10. (A) Diferencia de potencial (derivación) entre electrodo activo (en verde) y de referencia, FCz, en azul. (B) Re-Referenciado (A ₁ , A ₂).	91
Figura 11. Adquisición y registro de potenciales evocados (ERPs).	92
Figura 12. Tipos de artefactos que pueden interferir con la señal eléctrica del cerebro.	93
Figura 13. Participante familiarizándose con botones del mando.	93
Figura 14. Fuentes externas de interferencia con la señal eléctrica cerebral.	94
Figura 15. Hoja de ruta para la adquisición de un trazado EEG limpio en un paradigma de Priming Negativo (PN) Semántico.	95
Figura 16. Ejemplo de regiones de análisis de los potenciales evocados. En azul, regiones fronto-centrales y centrales separadas por hemisferio y línea media. En naranja, regiones parietales.	96
Figura 17. Secuencia de eventos del paradigma de priming semántico (PS) empleado en la presente investigación. Las palabras estímulo que se muestran para ensayos relacionados (fuertemente y débilmente) y no-relacionados no están representadas a escala.	102
Figura 18. Secuencia de eventos en la tarea de PN semántico ante un único estímulo prime (R, Relacionado; NR, No-Relacionado).	108
Figura 19. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea AOSPAN. Las primeras tres diapositivas muestran una secuencia de procesamiento y almacenamiento, y las dos últimas corresponden respectivamente a las pantallas de recuperación y retroalimentación.	112

Figura 20. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea ASYMSPAN. Las primeras tres diapositivas muestran una secuencia de procesamiento y almacenamiento, y las dos últimas corresponden respectivamente a las pantallas de recuperación y retroalimentación.	114
Figura 21. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea Antisacada, constituida por dos bloques experimentales: (1) Bloque Prosacada, en el que los participantes deben mirar hacia el mismo lado en el que aparece el asterisco, a fin de reconocer el target lo más rápidamente posible, y (2) Bloque Antisacada, en el que deben apartar su mirada del asterisco para poder identificar el target en el campo visual opuesto antes de que éste desaparezca.	116
Figura 22. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea Stroop, en la que un 70% de ensayos congruentes (v.g., la palabra azul presentada en azul) se combinó de forma aleatoria con un 30% de ensayos incongruentes (v.g., se muestra en verde la palabra azul).	117
Figura 23. Adaptación de la Tarea de PN semántico para ser administrada mediante la técnica de potenciales evocados (i.e., sustitución del teclado del ordenador por una gamepad).	121
Figura 24. Tiempos de reacción medios para pares prime-target fuertemente relacionados (FR), débilmente relacionados (DR) y no-relacionados (NR) del Experimento 1 (SOA = 200 ms) y el Experimento 2 (SOA = 67 ms). Las líneas verticales representan el error estándar de las medias para cada condición experimental. Los efectos de priming en ambos experimentos sólo fueron estadísticamente significativos para los pares prime-target FR (** = $p < .01$), pero no para los DR.	299
Figura 25. Magnitud de los efectos de priming ERP N400 en cada condición de relación para los Experimentos 1 y 2. Se muestran los	301

voltajes de los cluster de electrodos fronto-centrales y centro-parietales seleccionados en el estudio. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (* = $p < .05$; ** = $p < .01$). NR-FR, condición no-relacionada menos fuertemente relacionada; NR-DR, condición no-relacionada menos débilmente relacionada; DR-FR, condición débilmente relacionada menos fuertemente relacionada.

Figura 26. Tiempos de reacción medios (en ms) como una función de la capacidad de MT (Baja vs. Alta), Relación Prime-Target (Relacionado vs. No-Relacionado) y Tipo de Enmascaramiento (Demorado vs. Inmediato). Las líneas verticales representan el error estándar de las medias para cada condición experimental. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (** = $p < .01$). 310

Figura 27. A) Diferencias en TRs (ms) y B) Diferencias en ACs (%) entre bloques prosacada y antisacada en Tarea Antisacada, y entre ensayos congruentes e incongruentes en Tarea Stroop, en ambos grupos de capacidad de MT (Alta vs. Baja). 311

Figura 28. Tiempos de reacción medios (en ms) como una función de la capacidad de MT (Baja vs. Alta), Relación Prime-Target (Relacionado vs. No-Relacionado) y Tipo de Enmascaramiento (Demorado vs. Inmediato). Las líneas verticales representan el error estándar de las medias para cada condición experimental. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (* = $p < .05$; ** = $p < .01$). 317

Figura 29. Efectos de priming conductual (DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos relacionada) en milisegundos (ms) como una función de las puntuaciones z-compuestas en tareas de 318

amplitud de MT para grupos de alta (en azul) y baja (en rojo) capacidad de MT.

Figura 30. A) Diferencias en TRs (ms) y B) Diferencias en ACs (%) entre bloques prosacada y antisacada en Tarea Antisacada, y entre ensayos congruentes e incongruentes en Tarea Stroop, en ambos grupos de capacidad de MT (Alta vs. Baja). 319

Figura 31. Magnitud de los efectos de priming ERP N400 en cada condición de enmascaramiento según el grupo de capacidad de MT (alta vs. baja). Se muestran los voltajes de los cluster de electrodos fronto-centrales y centro-parietales seleccionados en el estudio. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (* = $p < .05$; ** = $p < .01$). INR-IR, condición inmediata no-relacionada menos inmediata relacionada; DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos demorada relacionada. 322

Figura 32. Magnitud de los efectos de priming ERP LPC en cada condición de enmascaramiento según el grupo de capacidad de MT (alta vs. baja). Se muestran los voltajes de los cluster de electrodos fronto-centrales y centro-parietales seleccionados en el estudio. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (** = $p < .01$). INR-IR, condición inmediata no-relacionada menos inmediata relacionada; DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos demorada relacionada. 324

Figura 33. Datos de voltaje promediados (en μV) en la condición de enmascaramiento demorado en función de la magnitud de los efectos ERPs de priming (DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos relacionada) según el grupo de capacidad de MT (Alta, línea 329

azul, vs. Baja, línea roja). Se muestra el pooling del cluster de electrodos parietales izquierdos (P3, P7) que fueron significativos en el estudio. Se analizó la ventana temporal comprendida entre los 150 y 250 ms después del inicio del prime. La sombra gris vertical sobre el eje de la X indica la ventana temporal (N200) utilizada para el análisis estadístico.

Figura 34. Correlación entre voltajes medios (en μV) del correlato ERP N200 tras estímulo prime y el tamaño del PN semántico conductual para participantes con alta vs. baja capacidad de MT. 330

Figura 35. Efectos ERPs de priming N200 (en μV) como una función de las puntuaciones z-compuestas en tareas de amplitud de MT para grupos de alta (en azul) y baja (en rojo) capacidad de MT. 331

LISTA DE ABREVIATURAS



ACs	Aciertos
ANOVAs	Análisis de Varianza
AOSPAN	Amplitud de Memoria de Trabajo Verbal
ASYMSPAN	Amplitud de Memoria de Trabajo Visuo-Espacial
C	Central
cm	centímetros
cols.	colaboradores
CPF	Corteza Prefrontal
dB	decibelios
DNR	Demorada No Relacionada
DR	Débilmente Relacionado
DR	Demorada Relacionada
EEG	Electroencefalografía
EP	Estímulo Prime
E-R	Estímulo-Respuesta
ERPs	Electrofisiológicos
ERPs	Potenciales Evocados Relacionados a Eventos
ET	Estímulo Target
Exp.	Experimento
F	Frontal
fMRI	Resonancia Magnética Funcional
Fp	Prefrontal

FR	Fuertemente Relacionado
GL	Grado de Libertad
Heog	Movimiento ocular horizontal
Hz	Hercio
ICA	Análisis de componentes independientes
ID	Índice Directo
i.e.	Id est (esto es)
II	Índice Indirecto
INR	Inmediata No Relacionada
IR	Inmediata Relacionada
kΩ.	kiloohmios
LPC	Componente Tardío Positivo
MEG	Magnetoencefalografía
min	minutos
mov.	movimiento
MRI	Resonancia Magnética
ms	milisegundos
MT	Memoria de Trabajo
μV	microvoltios
N	Negativo
Nº	número
NR	No Relacionado

NT	Neurotransmisores
O	Occipital
P	Parietal
P	Positivo
p. ej.	por ejemplo
PET	Tomografía por emisión de positrones
PN	Priming Negativo
PS	Priming Semántico
R1	Respuesta correcta
R2	Respuesta incorrecta
Rx	Rayos X
s	segundos
SOA	Asincronía de Inicio de Estímulo
T	Temporal
TAC	Tomografía Axial Computerizada
TMS	Estimulación Magnética Transcraneal
TRs	Tiempos de Reacción
Veog	Movimiento ocular vertical
v.g.	verbi gratia
vs.	versus
Z	Impedancia

RESUMEN



Las cuestiones relativas al nivel al que pueden ser procesados estímulos familiares, como las palabras, en ausencia de consciencia y/o de atención, se encuentran entre los tópicos más investigados y a la vez más controvertidos de la psicología experimental y la neurociencia cognitiva. A pesar de la amplia variedad de investigaciones que han tratado de determinar en qué medida es necesario atender y ser consciente de estímulos familiares, para que éstos puedan ser reconocidos y analizados al más alto nivel de representación (semántico), ha resultado muy difícil encontrar respuestas claras y consensuadas respecto a estas cuestiones.

El desarrollo de nuevos paradigmas experimentales, junto a formulaciones teóricas de carácter más amplio e integrador, ha permitido disociar entre el procesamiento que tiene lugar en ausencia de consciencia y/o de atención (automático) y aquél que refleja un control atencional (consciente). Asimismo, la utilización de la técnica de potenciales relacionados a eventos (ERPs) ha contribuido también a esclarecer cuáles son las diferencias que, a nivel de procesos cognitivos, subyacen entre el procesamiento con y sin consciencia.

Otra contribución destacable durante las últimas décadas ha sido el desarrollo de líneas de investigación que demuestran la existencia de una estrecha interrelación entre memoria de trabajo (MT) y control atencional.

En este contexto se desarrolla la presente Tesis Doctoral, cuyo *principal objetivo* ha sido explorar cuáles son las condiciones críticas que determinan la obtención de efectos conductuales y electrofisiológicos de priming semántico ante estímulos familiares como las palabras, incluso cuando éstas se presentan por debajo del nivel de consciencia objetiva (Estudio Experimental 1), o como distractores que deben ser activamente ignorados (Estudios Experimentales 2 y 3).

Este *objetivo principal* se desarrolla en los siguientes *objetivos específicos*, a lo largo de tres estudios experimentales:

- Explorar si el grado de relación semántico-asociativa entre las palabras prime y target en una tarea de congruencia categorial, modula tanto los correlatos conductuales (tiempos de reacción - TRs), como electrofisiológicos (v.g., componente N400) del priming semántico no-consciente. Si es así, ¿podría observarse dicho patrón diferencial de efectos de priming inconsciente cuando ambos tipos de pares prime-target (fuertemente y débilmente relacionados) varían de forma aleatoria de ensayo a ensayo? ¿Es posible que dicho patrón diferencial de efectos de priming con altos y bajos asociados semánticos se observase tanto con intervalos de SOA largos (200 ms) como con intervalos mucho más cortos (< 100 ms)?
- Investigar si la obtención de un efecto conductual de priming negativo (PN) semántico ante una única palabra prime ignorada, requiere presentar dicho estímulo bajo determinadas condiciones de estimulación (que supuestamente afectan al nivel de consciencia del prime), y si tal efecto de PN requiere también cierta disponibilidad de recursos de MT: ¿Existen algunas condiciones de estimulación (enmascaramiento) que permitan una implementación más eficaz de mecanismos de control atencional inhibitorio? ¿Podría la capacidad diferencial de MT modular dicho efecto comportamental en una tarea de PN semántico en la que la palabra prime fuese ignorada activamente en todos los ensayos?
- Explorar si existen posibles correlatos electrofisiológicos (ERPs) vinculados funcionalmente a medidas comportamentales del PN

semántico ante palabras ignoradas. ¿Dichos correlatos ERPs del efecto de PN podrían resultar también modulados por las condiciones de estimulación en que se presenta el prime ignorado y/o por una capacidad diferencial de MT?

Los resultados de los Tres Estudios Experimentales mostraron que:

- ☞ El efecto de priming subliminal sólo es significativo con pares prime-target fuertemente relacionados (FR), pero no con débiles asociados de la misma categoría semántica.

La relación semántico-asociativa (fuerte vs. débil) entre las palabras prime (subliminales) y targets (visibles) modulaba también de forma significativa el componente ERP N400. Cuando las palabras prime enmascaradas fueron seguidas por targets FR semánticamente, se observó un voltaje ERP N400 más positivo. Por el contrario, la respuesta ERP para targets débilmente asociados fue muy similar a la observada en ausencia de relación entre el prime y el target. Por tanto, se demuestra por primera vez la existencia de efectos ERPs diferenciales de priming (N400) subliminal entre fuertes y débiles asociados semánticos.

- ☞ Cuando el prime ignorado fue inmediatamente seguido por una máscara que impedía su identificación consciente, se observó un patrón conductual similar (i.e., ausencia de PN) en todos los participantes, con independencia de su capacidad de MT. Por el contrario, cuando se demora el inicio de la máscara siguiendo al prime (permitiendo así su identificación consciente), se observaron efectos significativos de PN semántico, pero únicamente en el grupo con mayor capacidad de MT (Estudios Experimentales 2 y 3). Estos resultados sugieren que la presencia

de una máscara demorada permitiría la implementación eficaz de mecanismos de control atencional inducidos por la instrucción de ignorar, lo que no ocurriría con una máscara inmediata.

La capacidad diferencial de MT modulaba el efecto conductual de priming incluso en una tarea de PN semántico que no requería un cambio continuo respecto a cómo procesar la palabra prime (atender vs. ignorar), sino que ésta debía ser ignorada en todos los ensayos.

☞ Tanto el tipo de enmascaramiento como la capacidad diferencial de MT, modulaban también de forma significativa ciertos correlatos ERPs del priming semántico.

Cuando el prime ignorado fue seguido por una máscara inmediata y persistente, que impedía (o dificultaba) su identificación consciente, se observó una modulación N400 significativa y muy similar en ambos grupos de capacidad de MT.

Existía un patrón muy diferente de efectos ERPs cuando el prime ignorado fue seguido por una máscara demorada. En este caso, se observó una modulación ERP LPC con una topografía ampliamente distribuida (electrodos fronto-centrales y parietales), pero únicamente en participantes con mayor capacidad de MT. Y lo que es aún más importante, se encontró una correlación significativa entre la magnitud del PN conductual y la reducción en el componente LPC en regiones fronto-centrales en este grupo de participantes, lo que demuestra que este correlato LPC se halla funcionalmente vinculado a medidas comportamentales del PN semántico ante palabras ignoradas. Éste es un hallazgo novedoso de la presente Tesis Doctoral, al

demostrarse por primera vez que la habilidad para inhibir de forma eficaz representaciones semánticas de palabras ignoradas es modulada de forma significativa por la capacidad diferencial de MT, no sólo a nivel conductual, sino también electrofisiológico.

PREÁMBULO



Los enigmas del cerebro

Mientras ustedes leen este preámbulo, ¿están atentos a su lectura siguiendo cada línea del texto mientras ignoran el hecho de que sus manos sostienen el libro y sienten el tacto del papel entre sus dedos? O por el contrario, y quizás de forma inconsciente, ¿se sienten atraídos por aquello que sucede en su entorno más inmediato, como el silbido de la cafetera alertando de que ya está el café o el intenso olor a tostadas que proviene de la cocina?

De la amplia variedad y modalidades (visual, auditiva, olfativa, ...) de estímulos (v.g., imágenes, palabras, olores, ...) que captan nuestros sentidos, ¿cuáles son relevantes y cuáles no? ¿Por qué seleccionamos unos, mientras ignoramos otros? Y, ¿puede que el significado de estos últimos sea procesado inconscientemente? ¿Cuáles adquieren el control de nuestras acciones y por qué?

En las páginas que siguen trataremos de arrojar luz a algunas de estas preguntas, pero no sólo a través de experimentos en los que evaluamos efectos conductuales (v.g., tiempos de reacción) en respuesta a una determinada tarea, sino también empleando medidas más objetivas (potenciales evocados relacionados a eventos) que nos permiten obtener pruebas consistentes sobre la dinámica temporal de determinados *procesos* cognitivos a nivel cerebral.

¿Por qué ante una misma tarea diferimos unas personas de otras en su ejecución? ¿Qué hace que algunos adoptemos unos mecanismos y otros no? ¿Acaso unas personas los poseen y otras sencillamente son incapaces de ponerlos en marcha o necesitan más tiempo para implementarlos? Pero no olvidemos que son precisamente esas diferencias individuales y el trabajo en equipo (aprendiendo los unos de los otros), lo que hace que nos retroalimentemos, superando cualquier obstáculo que se presenta en este

largo camino que constituye la vida. Ahora bien, ¿qué procesos cognitivos estarían a la base de todos estos interrogantes? ¿Qué papel juegan la inhibición atencional y la memoria?

Permítanme invitarles a ver esta imagen:



¿Qué les sugiere? Quisiera compartir con ustedes el hecho de que para mí ha sido muy relevante. De hecho, esconde tres incógnitas que sólo podrán resolver tras la lectura de este manuscrito. ¿Quieren que les dé una pista? Esta imagen ha formado parte de mi proceso como doctoranda, dejando una impronta en mi memoria que difícilmente el tiempo podrá borrar.

Aunque todavía queda mucho camino por delante, trataremos de dar respuesta a algunos de estos enigmas. Y lo que es más importante, la ciencia, y en particular la psicología, me ha enseñado que es posible entrenar habilidades que son necesarias para llevar a cabo una tarea de forma exitosa.

Para terminar, considero crucial (es más, es casi una obligación como profesionales) establecer puentes de unión entre el fruto de nuestras investigaciones y lo que realmente sucede en otros ámbitos, porque sólo de este modo, podremos diseñar programas de intervención que permitan mejorar la calidad de vida de muchas personas.

*Ciencia es tratar de interpretar y dar respuesta a lo que hallamos,
sólo así descifraremos algunos de los enigmas del cerebro.*



Caminante, son tus huellas

el camino y nada más.

Caminante, no hay camino,

se hace camino al andar.

Al andar se hace el camino,

y al volver la vista atrás

se ve la senda que nunca

se ha de volver a pisar.

Caminante, no hay camino

sino estelas en la mar.

Antonio Machado

INTRODUCCIÓN



¿Podemos procesar el significado de estímulos familiares, como las palabras, incluso cuando no les prestamos atención o no somos conscientes de los mismos?

A pesar de la amplia variedad de investigaciones desarrolladas por la Psicología y la Neurociencia Cognitiva en torno a esta problemática, ha resultado muy difícil encontrar respuestas claras y ampliamente consensuadas a estas cuestiones.

Los intentos por determinar si el procesamiento semántico puede tener lugar en ausencia de atención y/o de consciencia, han generado con frecuencia resultados dispares y hasta contradictorios, incluso con tareas y condiciones experimentales muy similares. También ha sido usual emplear procedimientos experimentales cuyos resultados permiten interpretaciones teóricas radicalmente diferentes (o incluso opuestas). Por ejemplo, el hecho de que un participante no recordara el contenido de un mensaje ignorado, un resultado habitual en los trabajos pioneros sobre atención selectiva en la modalidad auditiva de escucha dicótica, era interpretado por algunos investigadores como una prueba de que no es posible *percibir* en ausencia de atención. Sin embargo, el mismo resultado era interpretado por otros investigadores como una demostración de que la información ignorada, aún habiendo sido inicialmente percibida al más alto nivel, había sido inmediatamente *olvidada* por el participante, al tener que focalizar su atención en el mensaje relevante presentado simultáneamente. Así, lo que para unos reflejaba un problema de índole perceptual, otros lo consideraban un problema de memoria.

El progreso conceptual en el área también resultó obstaculizado por formulaciones teóricas planteadas en términos dicotómicos, las cuales mostraron ser excesivamente simplistas e incapaces de incorporar la variedad de datos empíricos acumulados. Durante varias décadas, las teorías de

atención selectiva tendían a ser clasificadas en dos categorías: teorías de filtro inicial o temprano, y teorías de filtro tardío, dependiendo de la posición que supuestamente ocuparía el filtro de selección atencional en el flujo de procesamiento de la información (Johnston y Heinz, 1978). Las teorías de filtro temprano (o pre-perceptual) consideran la atención como una condición necesaria para procesar el significado de estímulos familiares, por lo que *nunca* sería posible la percepción sin atención (v.g., Broadbent, 1958; 1971; Treisman, 1960). Por el contrario, para las teorías de filtro tardío (o post-perceptual), la mera presentación de un estímulo familiar activaría su representación semántica correspondiente de forma automática y sin atención (ni consciencia). La atención sería condición necesaria para responder al estímulo (y/o ser consciente y mantenerlo activo en memoria), pero no para percibir su significado (v.g., Deutsch y Deutsch, 1963; Norman, 1968).

Un argumento similar podría aplicarse a la distinción entre procesamiento automático y controlado, que sin duda ha constituido una de las aportaciones más valiosas e influyentes en el estudio de la cognición humana (v.g., Posner y Snyder, 1975; Schneider y Shiffrin, 1977; Shiffrin y Schneider, 1977). Pero plantear tal distinción en términos “dicotómicos”, como han hecho con frecuencia muchos investigadores, asumiendo que los procesos automáticos (o no-conscientes) y los procesos controlados no comparten ningún tipo de característica o propiedad, ha resultado ser una propuesta excesivamente rígida y simplista.

En cualquier caso, durante las últimas décadas los psicólogos cognitivos han desarrollado una serie de nuevas aproximaciones teóricas y de paradigmas experimentales que, junto al rápido desarrollo de las técnicas de neuroimagen en Neurociencia Cognitiva, han propiciado un avance conceptual y metodológico sin precedentes respecto al papel de la atención

(y la consciencia) en el procesamiento de la información. La utilización cada vez más frecuente de técnicas de neuroimagen de gran resolución espacial (v.g., resonancia magnética funcional) y temporal (v.g., potenciales relacionados a eventos, ERPs-Event Related Potentials), han permitido obtener tantas y tan variadas pruebas de activaciones cerebrales en ausencia de consciencia, que más que plantear si existe o no la cognición inconsciente, parece más acertado preguntarse por las diferencias entre el procesamiento que tiene lugar con y sin consciencia (v.g., Dehaene y Changeux, 2011).

Otra contribución destacable ha sido el diseño de procedimientos experimentales cuyos resultados son más inmunes a objeciones metodológicas y a interpretaciones alternativas. Éste es el caso, por ejemplo, de la aproximación de las diferencias cualitativas desarrollada por Merikle y colaboradores como alternativa al paradigma tradicional de disociación en el estudio de la percepción sin consciencia (v.g., Merikle y Joordens, 1997; ver también Daza, Ortells, y Fox, 2002). O las diferentes variantes del paradigma de priming negativo desarrollado inicialmente por Tipper, MacQueen, y Brehaut (1988) para explorar las consecuencias comportamentales de ignorar un estímulo en una tarea de atención selectiva.

La principal ventaja de este tipo de paradigmas es que permiten observar efectos conductuales (y/o electrofisiológicos) cualitativamente diferentes (v.g., de signo opuesto) inducidos por la información ignorada o no-consciente, en comparación a los producidos por estímulos atendidos o percibidos conscientemente. Este patrón de resultados ha llevado a los investigadores a cambiar el tipo de cuestión a plantear. Esto es, más que preguntarse si la atención (o la consciencia) resulta necesaria para percibir el significado de un estímulo familiar, lo importante es dilucidar *cuándo* o bajo qué *condiciones experimentales* podemos obtener pruebas consistentes e

inequívocas de procesamiento semántico de estímulos ignorados o de los que no somos conscientes.

Cabe destacar también el desarrollo de formulaciones teóricas de carácter más amplio e integrador que otras teorías tradicionales planteadas en términos dicotómicos. Éste es el caso, por ejemplo, de la teoría de carga perceptual de Lavie y colaboradores (v.g., Lavie, 1995; Lavie, Hirst, De Fockert, y Viding, 2004), que viene a sugerir que la cuestión sobre si la percepción (procesamiento semántico) de un estímulo requiere (v.g., Lachter, Forster, y Ruthruff, 2004) o no requiere atención (v.g., Eriksen y Eriksen, 1974), estaría mal planteada. Fundamentalmente porque ambas situaciones pueden tener lugar, ya que el tipo de selección atencional (temprana vs. tardía) dependería de las demandas de procesamiento perceptual que exige la tarea a realizar. Así, una tarea que demanda una *alta* carga perceptual (v.g., elevado número de estímulos relevantes a los que atender y/o responder) impediría o bloquearía el procesamiento de la información distractora (no atendida). Pero un distractor irrelevante podría ser procesado al más alto nivel en condiciones que demandan una *baja* carga perceptual (v.g., cuando existe un reducido número de estímulos relevantes a los que atender y responder, como en la tarea de interferencia de flancos).

Otra aproximación influyente ha sido la teoría de la modulación atencional de la cognición inconsciente desarrollada por Kiefer y colaboradores (para una revisión ver Kiefer, 2012), la cual demuestra la insuficiencia explicativa de la distinción entre automaticidad vs. control, cuando ésta se plantea en términos dicotómicos y excluyentes. Demostrar que un estímulo familiar presentado en condiciones “subliminales” es procesado a nivel semántico, no implica que dicho procesamiento supuestamente “automático” sea totalmente independiente de la atención. De hecho, Kiefer y colaboradores han aportado pruebas comportamentales y

electrofisiológicas de que el procesamiento semántico inconsciente puede ser objeto de diferentes clases de modulación atencional o estratégica (v.g., Kiefer, Adams, y Zovko, 2012; Kiefer y Brendel, 2006; Martens, Ansorge, y Kiefer, 2011; Martens y Kiefer, 2009).

El progreso conceptual alcanzado en las últimas décadas es también el resultado de diversas líneas de investigación que ponen en relación la problemática atencional con el constructo Memoria de Trabajo (MT). La MT hace referencia a la capacidad para retener temporalmente y manipular activamente una cantidad limitada de información (Baddeley, 1986; 2000; Baddeley y Hitch, 1974), lo que normalmente tiene lugar en presencia de información distractora potencialmente competitiva (Gazzaley y Nobre, 2012; Lavie y cols., 2004; Shipstead, Lindsey, Marshall, y Engle, 2014). La MT resulta fundamental para llevar a cabo tareas cognitivas de variada complejidad, y en general, para guiar el comportamiento intencional o estratégico (dirigido a metas).

Pues bien, aproximaciones como la de Jan De Fockert y colaboradores, en la que se manipula la carga de MT en tareas de atención selectiva (De Fockert, 2013; De Fockert, Rees, Frith, y Lavie, 2001; ver también Ortells, De Fockert, Romera, y Fernández, 2018), o la estrategia metodológica de “grupos extremos” (v.g., participantes con alta vs. baja capacidad de MT) de Engle y colaboradores (Engle y Kane, 2004; Kane, Conway, Hambrick, y Engle, 2007), demuestran que variaciones en la disponibilidad de recursos de MT afectan al rendimiento en tareas de atención selectiva, y en especial, a aquellas que requieren bloquear o inhibir activamente el procesamiento de distractores, para impedir que adquieran un control de la acción. Estos hallazgos son importantes en la medida en que permiten explicar por qué una misma tarea atencional puede generar efectos experimentales muy diferentes, dependiendo de la mayor o menor capacidad de MT de los participantes.

Algunas de estas aproximaciones y estrategias de investigación fundamentan el desarrollo de la presente Tesis Doctoral. Empleando diferentes procedimientos experimentales que permiten disociar con claridad entre el procesamiento que refleja un control atencional (o consciente) de aquél que tiene lugar en ausencia de consciencia y/o de atención (procesamiento automático), los resultados de los tres estudios experimentales que integran esta Tesis aportan pruebas consistentes, tanto a nivel comportamental (v.g., medidas de tiempos de reacción) como electrofisiológico (v.g., modulaciones en componentes ERPs), de que estímulos familiares como las palabras pueden ser procesados a nivel semántico, incluso cuando se presentan por debajo del nivel de consciencia objetiva (Experimento 1), o como distractores que deben ser activamente ignorados (Experimentos 2 y 3).

Nuestros resultados replican y extienden los de otros estudios recientes, al demostrar que existen diferentes variables y condiciones que resultan determinantes para observar procesamiento semántico en ausencia de atención y/o consciencia. Entre estas variables destacan el tipo de relación semántico-asociativa entre los estímulos presentados en tareas de priming semántico subliminal (Experimento 1), o las condiciones de enmascaramiento que afectan al nivel de consciencia de una palabra ignorada en tareas de priming semántico negativo (Experimentos 2 y 3). Pero a diferencia de trabajos anteriores, la presente Tesis Doctoral muestra que la influencia moduladora de dichas variables tiene lugar no sólo a nivel comportamental, sino también electrofisiológico.

Esta Tesis Doctoral (Experimentos 2 y 3) aporta también pruebas adicionales de la interrelación entre Atención y Memoria de Trabajo. En concreto, la habilidad para inhibir de forma eficaz las representaciones semánticas de palabras ignoradas resulta modulada de forma significativa por

la capacidad de MT de los participantes. Mientras que algunos trabajos previos habían observado esta modulación únicamente en medidas comportamentales del procesamiento, la presente Tesis (Experimento 3) demuestra por primera vez que las diferencias individuales en capacidad de MT modulan también los correlatos electrofisiológicos asociados al procesamiento semántico de un estímulo ignorado.

1. Iniciando el camino: Procesamiento semántico de palabras subliminales e ignoradas

Dos de los tópicos más investigados y a la vez más controvertidos de la psicología experimental durante las últimas décadas han sido el de la percepción inconsciente, y el de la percepción de estímulos no-atendidos o ignorados. El debate gira en torno a en qué medida es necesario atender y ser consciente de un estímulo familiar, para que éste pueda ser reconocido y analizado al más alto nivel de representación (semántico).

Para algunos investigadores, si bien la extracción inicial de los diferentes rasgos o atributos que componen un objeto perceptual tiene lugar en etapas “preatencionales” del procesamiento, la integración de dichos rasgos para constituir el objeto perceptual requeriría la participación de la atención (v.g., Broadbent, 1958; 1971; Treisman, 1960; Treisman y Gelade, 1980). Por el contrario, otros investigadores asumen que dicha integración perceptual puede ocurrir, al menos bajo determinadas circunstancias, de forma automática y no-consciente. Los principales argumentos a favor de esta segunda posición provienen de estudios que han investigado la activación semántica producida por estímulos no-atendidos, en los que el análisis de su significado presupondría la formación previa de un objeto perceptual integrado (v.g., palabras).

Tradicionalmente, la mayor parte de estos estudios emplearon el denominado paradigma de escucha dicótica en la modalidad auditiva (v.g., Ortells y Tudela, 1984; ver Ortells y Fuentes, 1992, para una revisión de estos estudios), o los paradigmas de priming semántico de estímulos presentados en localizaciones espaciales no-atendidas (parafoveales) y/o de estímulos enmascarados, en la modalidad visual (v.g., Fuentes y Ortells, 1993).

En un procedimiento convencional de priming semántico, los participantes deben emitir algún tipo de respuesta (v.g., decisión léxica,

categorización semántica) a un estímulo target (v.g, la palabra PERRO) que es precedido por un estímulo prime (EP) que puede estar relacionado semánticamente con el target (v.g., GATO), o pertenecer a una categoría semántica diferente (v.g., LIBRO). Se obtiene un efecto de “facilitación” o priming cuando las respuestas al estímulo target (ET) son más rápidas y/o precisas en los ensayos relacionados (v.g., GATO-PERRO), que en los ensayos no-relacionados en los que el EP y el ET pertenecen a categorías semánticas diferentes (v.g., LIBRO-PERRO).

Este efecto de priming “facilitatorio” puede ser el resultado tanto de procesos automáticos de preactivación en la memoria semántica, como de procesos de carácter controlado y estratégico (Neely, 1991; Posner y Snyder, 1975). Los efectos de priming “controlado” se observan cuando los participantes pueden atender e identificar conscientemente el EP, se emplean intervalos de asincronía (SOA -Stimulus Onset Asynchrony) entre los estímulos prime y target lo suficientemente largos como para permitir el desarrollo de estrategias de control atencional, o el porcentaje de ensayos relacionados es muy superior al de ensayos no-relacionados, con el fin de propiciar la generación estratégica de expectativas respecto a la identidad (o categoría semántica) del target (v.g., Hutchison, 2007; McNamara, 2005; para otros procesos controlados de carácter “retroactivo” implicados en el priming semántico, ver Neely, 1991).

Pero el priming semántico puede reflejar también procesos automáticos de activación de las representaciones semánticas correspondientes (u otras relacionadas) al EP. La observación de efectos de priming producidos por estímulos presentados en condiciones de “degradación perceptual” (v.g., en localizaciones espaciales parafoveales y/o enmascarados) que impiden su identificación consciente, o bajo condiciones que dificultan un procesamiento estratégico del EP (v.g., intervalos de SOA

muy cortos, inferiores a 200 ms), se interpretaría como una demostración de que el análisis del significado puede ocurrir de forma automática en ausencia de atención y/o de consciencia.

No obstante, muchas de las investigaciones sobre priming realizadas en el último tercio del siglo pasado, que parecían aportar pruebas de procesamiento semántico en ausencia de atención y/o consciencia, fueron objeto de diversos tipos de objeciones y críticas, la mayoría de carácter metodológico, que cuestionarían la supuesta “automaticidad” de dicho procesamiento (v.g. Broadbent y Gathercole, 1990; Holender, 1986; Lachter y cols., 2004). Por ejemplo, en muchos de los estudios tradicionales de priming semántico parafoveal, el EP ignorado suele presentarse simultáneamente con el ET al que el sujeto debe responder. En tales circunstancias, es posible que la supuesta codificación semántica del EP fuera parcial o totalmente el resultado del procesamiento intencional y controlado del ET.

Una argumentación similar se aplicaría a estudios en los que se pide a los participantes que recuerden o realicen algún tipo de respuesta a estímulos que inicialmente fueron instruidos a ignorar. Este tipo de instrucciones (también presentes en estudios de escucha dicótica, ver Ortells y Fuentes, 1992) resultan contradictorias e inadecuadas, en la medida en que inducirían un procesamiento “controlado” de estímulos supuestamente ignorados.

Por último, en muchas de las investigaciones tradicionales sobre priming semántico no-atendido (v.g., parafoveal), los efectos comportamentales producidos por la información ignorada o aquella supuestamente percibida sin consciencia, serían del mismo tipo (facilitatorios) que los que se esperan obtener ante los estímulos atendidos o de los que somos conscientes. En estas circunstancias, cabe la posibilidad de que los efectos atribuibles al procesamiento no-atendido o no-consciente

reflejen cierto grado de atención o conciencia de la estimulación, lo que nuevamente cuestionaría la supuesta automaticidad de dicho procesamiento (Daza y Ortells, 2002).

Sin embargo, en las últimas décadas se han diseñado nuevos procedimientos experimentales que resultarían más inmunes a este tipo de objeciones metodológicas y dificultades interpretativas, en la medida en que propician la obtención de efectos conductuales diferentes (v.g., de signo opuesto) promovidos por los estímulos atendidos e ignorados (o percibidos con y sin conciencia). Algunos de estos procedimientos “disociativos” serán discutidos a continuación.

1.1. Procesamiento semántico de palabras en ausencia de conciencia

Tradicionalmente, el estudio de la percepción sin conciencia ha tenido como principal objetivo hallar una medida satisfactoria de conciencia que delimite con claridad el procesamiento consciente de aquél que tiene lugar en ausencia de conciencia. Así, la mayoría de las investigaciones en torno a este tópico han utilizado alguna versión del denominado paradigma de *disociación* (Erdelyi, 1986), que discierne entre dos medidas alternativas de la percepción de un estímulo: una medida directa y otra indirecta. Cualquier respuesta discriminativa voluntaria sobre la identidad del estímulo (v.g., nombrarlo, categorizarlo), se considera un índice *directo* de la percepción del mismo, el cual reflejaría el acceso a conciencia de dicha representación. Pero la percepción de dicho estímulo se puede medir también de forma *indirecta*, como la reflejada en el “efecto de *priming* semántico” anteriormente descrito. Téngase en cuenta que dicho efecto nos permite evaluar de forma indirecta la percepción del EP, con independencia del grado de conciencia que el individuo posea del mismo, pues en un procedimiento convencional de *priming*, el participante debe responder únicamente al ET realizando algún

tipo de juicio discriminativo (v.g., categorización semántica), y no se suele pedir ningún tipo de respuesta al EP.

Según la lógica disociativa, la percepción sin conciencia quedaría demostrada en aquellos casos en los que mostrando el índice directo un valor nulo ($ID = 0$), la medida indirecta (efecto de priming) refleja un valor significativamente superior a 0 ($II > 0$). Esto implicaría que un estímulo podría ser analizado a nivel de significado (e influir en el procesamiento de otros estímulos relacionados) incluso cuando el sujeto es incapaz de identificarlo y responder al mismo, por resultar completamente inaccesible a la conciencia.

Las investigaciones que han tratado de aportar pruebas concluyentes de percepción sin conciencia siguiendo la lógica disociativa, presentan sin embargo diversas limitaciones que dificultan la interpretación de los resultados obtenidos. De hecho, los investigadores no se han puesto de acuerdo respecto a si es realmente posible encontrar una medida directa de conciencia que refleje de forma *exhaustiva* y *exclusiva* el procesamiento consciente de la información. Tampoco ha existido consenso sobre si la intervención de la conciencia debe evaluarse mediante índices *subjetivos* o fenomenológicos, o bien mediante medidas *objetivas* o comportamentales, lo que sin duda ha contribuido a fomentar la controversia en torno a la existencia de percepción no-consciente (para una discusión más detallada de esta problemática, ver Daza y Ortells, 2002).

Por otra parte, la mayoría de estudios disociativos tradicionales emplean procedimientos experimentales en los que la percepción no-consciente del estímulo crítico produce el mismo tipo de patrón o efecto conductual (v.g., priming facilitatorio) que la percepción consciente del mismo. En la medida en que ambos tipos de procesamiento contribuyen de una forma similar al rendimiento en una determinada tarea, resulta difícil o imposible dilucidar si las supuestas influencias no-conscientes pueden ser

parcial o totalmente atribuibles a algún tipo de procesamiento consciente residual (Debner y Jacoby, 1994).

Por ello, a pesar de la aparente sencillez de la lógica disociativa, ha resultado muy difícil diseñar tareas experimentales que aporten resultados concluyentes de percepción inconsciente.

Una aproximación alternativa mucho más fructífera al estudio de la percepción sin consciencia, trata de contrastar la percepción con y sin consciencia para averiguar si pueden dar lugar a consecuencias cualitativamente diferentes, como por ejemplo, efectos de priming de signo opuesto (v.g., Daza y cols., 2002; Merikle y Joordens, 1997; Merikle, Joordens, y Stolz, 1995; Ortells, Daza, y Fox, 2003; Ortells, Vellido, Daza, y Noguera, 2006).

Un ejemplo representativo de esta lógica disociativa basada en diferencias cualitativas es el procedimiento de priming de congruencia categorial empleado por Ortells y colaboradores (2003; Ortells y cols., 2006). Los participantes realizaban una tarea de categorización semántica (animal vs. parte del cuerpo) sobre una palabra target visible que era precedida por una palabra prime enmascarada que se presentaba muy brevemente (33 ms). Las palabras prime y target eran altos asociados de la misma categoría semántica (v.g., TORO-vaca) en un reducido número (20%) de ensayos (congruentes), mientras que pertenecían a diferentes categorías semánticas (v.g., TORO-dedo) en el resto (80%) de ensayos (incongruentes). En estas circunstancias los tiempos de reacción en los ensayos incongruentes o no relacionados deberían ser más rápidos (en vez de más lentos) que en los ensayos congruentes (relacionados), pues los primeros son mucho más frecuentes y esperados que los segundos.

Pero el desarrollo de dicha estrategia predictiva sólo tendría sentido cuando los participantes pudieran identificar conscientemente la palabra

prime. Con el fin de variar el nivel de consciencia perceptiva del prime, Ortells y cols. (2003) manipularon el momento temporal de presentación de una máscara visual que seguía al prime, de manera que ésta podía aparecer de manera inmediata (ver Figura 1), o después de una breve demora (ver Figura 2) siguiendo a la desaparición del prime (para una manipulación similar del tipo de enmascaramiento en una tarea Stroop, ver Daza y cols., 2002; Merikle y Joordens, 1997).

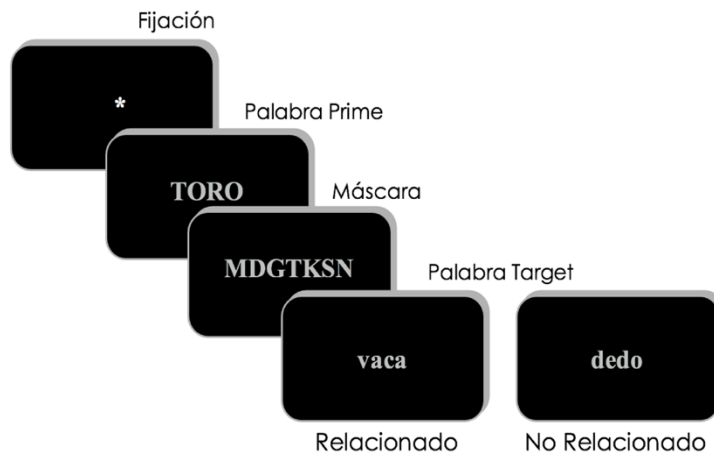


Figura 1. Secuencia de eventos en la condición de máscara inmediata del estudio de Ortells, Daza y Fox, 2003.

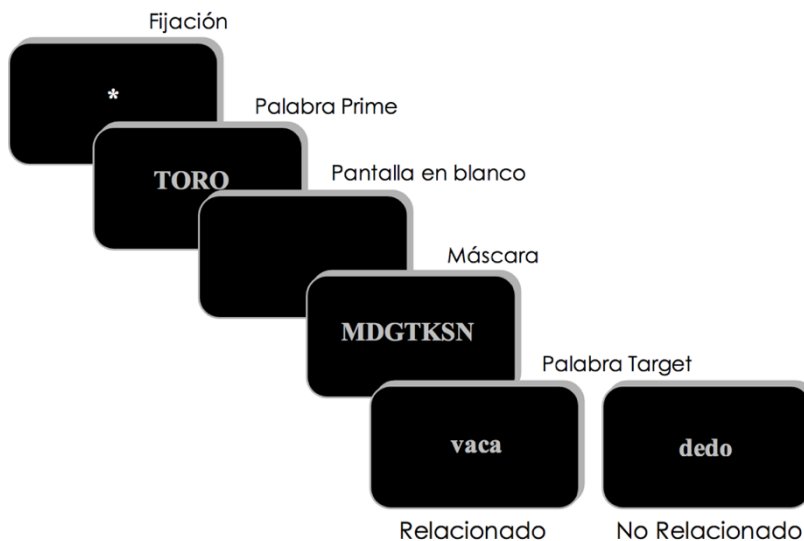


Figura 2. Secuencia de eventos en la condición de máscara demorada del estudio de Ortells, Daza y Fox, 2003.

Los resultados mostraron un patrón opuesto de efectos de priming en función del tipo de enmascaramiento. Con la máscara inmediata que impedía a los participantes identificar conscientemente la palabra prime, se observó un efecto de facilitación, siendo las respuestas a un target congruente más rápidas que a un target incongruente. Este priming facilitatorio no parece reflejar influencias de tipo estratégico, pues sólo alcanzaba significación en valores relativamente cortos de SOA (inferiores a 400 ms; ver también Daza y cols., 2002), y no resultaba afectado por la práctica con la tarea (Ortells y cols., 2003, Experimento 2; ver también Ortells y cols., 2006).

Efectos similares de priming de congruencia categorial han sido observados con diferentes tareas de categorización, tanto cuando los participantes informan no ser conscientes de las palabras enmascaradas, como cuando no son capaces de discriminarlas por encima del nivel de azar en una prueba posterior de visibilidad de los estímulos prime (v.g., Dehaene y cols., 1998; Greenwald y Abrams, 2002; Naccache y Dehaene, 2001; Van den Bussche y Reynvoet, 2007).

Por el contrario, con la máscara demorada se observaron respuestas más rápidas a un target incongruente (mucho más frecuente y esperado) que a un target congruente. Tal inversión estratégica del priming indica que los participantes identificaban conscientemente la palabra prime y aprendían a usar estratégicamente dicha información para anticipar la categoría del target (Daza y cols., 2002; Merikle y Joordens, 1997; Logan, Zbrodoff, y Williamson, 1984). Además, esta inversión del priming fue únicamente significativa en intervalos de SOA prime-target relativamente largos, pero no en valores cortos de SOA (< 300 ms). Estos resultados son consistentes con la literatura que demuestra que los procesos controlados se desarrollan de forma más lenta (y sostenida) que los procesos automáticos (v.g., Neely, 1977; Ortells,

Abad, Noguera, y Lupiáñez, 2001; Posner y Snyder, 1975; Shenaut y Ober, 1996).

No obstante, conviene señalar que la demostración de priming semántico subliminal ha estado tradicionalmente asociada al empleo de un conjunto relativamente reducido de estímulos diferentes, los cuales aparecen repetidamente a lo largo del experimento, de manera que los mismos estímulos que aparecen como targets visibles en algunos ensayos, lo hacen también como primes subliminales en otros ensayos. Por lo tanto, en tales circunstancias se podría argumentar que los efectos de priming observados, más que reflejar un análisis semántico de representación, podrían ser el resultado de un análisis perceptual relativamente superficial de la estimulación, basado por ejemplo en la detección de las primeras letras de las palabras presentadas (v.g., Abrams y Greenwald, 2000; Koudier y Dupoux, 2004; ver también Klauer, Eder, Greenwald, y Abrams, 2007).

Para superar este tipo de problemas, una posible solución sería diseñar experimentos de priming enmascarado que incluyeran un amplio y variado conjunto de palabras, lo que evitaría tanto la repetición estimular como la presentación de un mismo estímulo como prime subliminal y como target visible en diferentes ensayos. Sin embargo, muchas de las investigaciones con palabras prime enmascaradas “no-repetidas” (i.e., no presentadas como targets visibles) han generado resultados contradictorios. Mientras que algunos estudios muestran efectos significativos (aunque de baja magnitud) de priming semántico de palabras en ausencia de repetición (v.g., Kiesel, Kunde, Pohl, y Hoffmann, 2006; Klauer y cols., 2007; Van den Bussche y Reynvoet, 2007), otros no observan efectos de priming subliminal, incluso empleando tareas experimentales y condiciones de estimulación aparentemente similares (v.g., Abrams, 2008; Abrams y Greenwald, 2000; Damian, 2001; Forester, Mohan, y Hector, 2003).

Una posible explicación de esta discrepancia de resultados tendría que ver con la *fuerza asociativa* o grado de *similitud semántica* que existe entre las palabras prime y target que se presentan en los ensayos congruentes o relacionados (v.g., Van den Bussche, Van den Noortgate, y Reynvoet, 2009). En la tarea convencional de priming semántico, todos los pares de palabras prime-target que integran los ensayos relacionados, suelen ser fuertes asociados (v.g., gato-perro; muslo-pierna; pan-mantequilla) de la misma categoría semántica (Hutchison, Balota, Cortese, y Watson, 2008; McNamara, 2005). El mero hecho de pertenecer a una misma categoría semántica, puede ser condición necesaria, pero nunca suficiente para obtener efectos consistentes de priming semántico “automático” (v.g., Abad, Noguera, y Ortells, 2003; Hutchison, 2003).

Por el contrario, una práctica habitual en los estudios de priming subliminal que usan la tarea de congruencia categorial, es que los ensayos congruentes o relacionados incluyan tanto ejemplares fuertemente asociados (v.g., tigre-león), como débiles asociados de la misma categoría semántica (v.g., toro-mosca; tiburón-asno; ver por ejemplo Van den Bussche y Reynvoet, 2007, Apéndice B, pág. 235). Teniendo esto en cuenta, es posible que la presencia vs. ausencia de efectos significativos de priming subliminal en estas tareas, dependa de la mayor vs. menor proporción de pares prime-target con una alta relación semántica que son presentados en los ensayos congruentes (o relacionados).

Esa posibilidad ha sido confirmada en una serie de experimentos realizados por Ortells, Marí-Beffa, y Plaza-Ayllón (2013; ver también Van den Bussche, Smets, Sasanguie, y Reynvoet, 2012) con una tarea de priming de congruencia categorial en la que emplearon un amplio conjunto de las palabras prime enmascaradas “no-repetidas” (i.e., nunca exhibidas como targets visibles), que se presentaban por debajo de los umbrales subjetivo y

también objetivo de consciencia. Ortells y cols. (2013) demostraron que sólo cuando las palabras target eran fuertes asociados de la misma categoría semántica que las palabras prime enmascaradas, se encontraban efectos consistentes y significativos de priming inconsciente, lo que no sucedía cuando los pares prime-target presentados en los ensayos relacionados eran débiles asociados de la misma categoría semántica. En este último caso, los tiempos de respuesta de los participantes a una palabra target precedida por un prime de una categoría diferente (ensayo incongruente o no-relacionado), eran prácticamente idénticos a los observados cuando dicha palabra target era precedida por una palabra prime que era un débil asociado de la misma categoría (v.g., cabra-tigre; boca-pierna).

Sin embargo, es importante observar que, tanto en el estudio de Ortells y cols. (2013) como en otras investigaciones de priming subliminal que tuvieron en cuenta la relación semántico-asociativa entre los estímulos prime y target (v.g., Van den Bussche y cols., 2012), dicha variable fue manipulada en diferentes bloques de ensayos. Pero, ¿qué ocurriría si los pares fuertemente y débilmente relacionados variasen aleatoriamente de un ensayo a otro dentro de la sesión experimental? ¿Replicaríamos el patrón diferencial de efectos de priming de congruencia con fuertes vs. débiles asociados observado por Ortells y cols. (2013), de forma que sólo se encontraran efectos significativos de priming inconsciente ante pares prime-target fuertemente relacionados, pero no ante aquéllos débilmente asociados?

Por otra parte, en los experimentos de priming subliminal es habitual emplear intervalos de SOA prime-target mucho más cortos (v.g., < 100 ms; ver por ejemplo Abrams, 2008; Klauer y cols., 2007; Van den Bussche y Reynvoet, 2007), que el SOA de 200 ms empleado por Ortells y cols. (2013). En este sentido, cabe la posibilidad de que los efectos de priming automático

(inconsciente) producidos por débiles asociados pudieran tener una persistencia temporal mucho más breve que los inducidos por fuertes asociados. De ser así, uno podría observar efectos de priming subliminal con débiles asociados empleando valores de SOA inferiores a 200 ms.

Estas cuestiones serán abordadas directamente en la primera Serie Experimental de la presente Tesis Doctoral, en la que además trataremos de explorar si en una tarea de priming de congruencia con palabras subliminales la relación semántico-asociativa prime-target podría modular no sólo los correlatos conductuales del priming (medidas de tiempos de reacción), sino también determinados correlatos electrofisiológicos del procesamiento no-consciente de la información.

El registro de la actividad cerebral mediante la técnica de potenciales evocados relacionados a eventos (ERPs – Event Related Potentials) permite, gracias a su alta resolución temporal (milisegundos), explorar (on-line) el curso temporal de los procesos cerebrales implicados en la realización de una tarea¹. Esto explica el frecuente uso de la técnica de ERPs para investigar diferentes funciones y procesos cognitivos, como los relacionados con el procesamiento semántico de la información.

Un componente electrofisiológico asociado al análisis del significado y que en consecuencia, podría resultar modulado por el grado (o fuerza) de la relación semántica entre los estímulos prime y target en tareas de priming, es el denominado N400. Esta onda negativa se manifiesta alrededor de los 300-500 ms después de la presentación del target, alcanzando su pico máximo en torno a los 400 ms en electrodos centroparietales (Kutas y Hillyard, 1980; para una revisión, ver Kutas y Federmeier, 2011). La amplitud de dicha onda muestra un voltaje más negativo (o menos positivo) en aquellas condiciones

¹ Para una revisión más detallada sobre la técnica de adquisición de potenciales evocados - ERPs-, véase capítulo 2.

en las que el ET se presenta en un contexto inesperado, o es precedido por un prime no-relacionado, en comparación con condiciones en las que el target es congruente con el contexto, o se relaciona semánticamente con el EP.

Actualmente se dispone de numerosas pruebas que demuestran que la modulación del componente N400 se observa incluso en condiciones experimentales que impiden un procesamiento estratégico del prime (v.g., con intervalos de SOA prime-target inferiores a 200 ms), y/o su identificación consciente, como sucede por ejemplo, cuando el prime se presenta de forma subliminal (por debajo del umbral objetivo de consciencia), lo que impide su discriminación por encima del nivel de azar (v.g., Deacon, Hewitt, Yang, y Nagata, 2000; Heil, Rolke, y Pecchinenda, 2004; Kiefer, 2002; Kiefer y Spitzer, 2000; Küper y Heil, 2009).

Teniendo en cuenta estos hallazgos, la presente Tesis Doctoral investiga también si la existencia de una fuerte relación asociativa entre las palabras prime (subliminales) y target (visibles) constituye una condición clave no sólo para obtener efectos fiables de priming de congruencia subliminal a nivel comportamental, sino también una modulación significativa en el componente ERP N400.

1.2. Procesamiento semántico de palabras ignoradas

Desde la década de los 70, uno de los paradigmas experimentales más empleados por los investigadores en la modalidad visual para demostrar que la información no-atendida puede ser procesada a nivel de significado, ha sido el priming semántico parafoveal. Los participantes deben atender y responder a un ET usualmente presentado en la fijación, e ignorar un EP que se presenta antes, o bien simultáneamente al target, pero en una localización parafoveal.

Empleando tareas tan diferentes como identificación del color en tareas tipo Stroop (v.g., Fuentes y Ortells, 1993; Gatti y Egeth, 1978), nombrar dibujos o palabras (v.g., Dallas y Merikle, 1976; Underwood, 1976; 1977), categorización semántica (v.g., Lambert, Beard, y Thompson, 1988; Shaffer y LaBerge, 1979; Underwood, 1981), o decisión léxica (v.g., Fuentes y Tudela, 1992; Underwood, Rusted, y Thwaites, 1983; Underwood y Thwaites, 1982), han sido numerosas las demostraciones de que las respuestas al target se ven afectadas (i.e., facilitadas) por el significado del prime parafoveal.

Aunque en principio estos resultados confirmarían que la información no-atendida puede ser procesada a nivel semántico, tal interpretación ha sido objeto de diferentes tipos de críticas. Al igual que sucede en investigaciones sobre percepción sin consciencia, muchos estudios de priming parafoveal emplean un conjunto muy reducido de estímulos diferentes (v.g., palabras de color en tareas tipo Stroop), de manera que los mismos estímulos aparecen repetidamente a lo largo del experimento (v.g., Gatti y Egeth, 1978; Shaffer y LaBerge, 1979). Esto puede inducir un alto grado de “pre-activación” de determinadas representaciones semánticas (v.g., los colores), por lo que el acceso a las mismas no requeriría un procesamiento perceptual exhaustivo que demande atención.

Por otro lado, la mayor parte de las pruebas de priming parafoveal se observan en condiciones en las que el prime se presenta simultáneamente al target al que los participantes atienden y responden. Como se comentó anteriormente, en tales circunstancias el procesamiento semántico del prime podría ser el resultado de un procesamiento controlado del target, cuestionándose así la supuesta automaticidad de los efectos de priming parafoveal observados (Broadbent y Gathercole, 1990). Este argumento no sería aplicable a condiciones de presentación “sucesiva”, en las que el prime parafoveal cuyo procesamiento se pretende evaluar, precede en algunos

milisegundos al target al que responden los participantes. Pero han sido escasas las demostraciones de priming semántico parafoveal bajo estas condiciones de presentación.

No obstante, la ausencia de efectos significativos de *priming* de palabras parafoveales que han sido ignoradas, no constituye necesariamente una prueba concluyente de que dichos estímulos no hayan sido procesados. El descubrimiento, hace algunas décadas, del fenómeno experimental del *priming negativo* (v.g., Allport, Tipper, y Chmiel, 1985; Tipper, 1985), ponía de manifiesto que ignorar un estímulo irrelevante suele *interferir* (en vez de facilitar) con las respuestas posteriores a dicho estímulo (u otro relacionado).

En un experimento típico de *priming negativo*, cada ensayo experimental está constituido por dos ensayos consecutivos denominados *previo* y *de prueba*, respectivamente (ver Figura 3). En ambos ensayos se suelen presentar dos estímulos simultáneos y se instruye a los participantes a atender y responder a uno de ellos (relevante o target) y a ignorar activamente el otro estímulo irrelevante, considerándolo como distractor. El *efecto de priming negativo* (PN) consiste en que las respuestas al ET de prueba son más lentas y/o menos precisas cuando éste apareció como distractor en el ensayo previo, en comparación con una condición control en la que los ensayos previo y de prueba contienen estímulos diferentes.

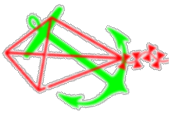
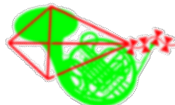


	CONDICIÓN CONTROL	CONDICIÓN PRIMING NEGATIVO
Previo		
Prueba		

Figura 3. Objetos superpuestos inspirados en la Figura 1 de Tipper (1985). Los participantes deben atender y recordar el estímulo rojo, e ignorar el verde.

Dicho efecto se ha obtenido tanto con estímulos (física o conceptualmente) idénticos, como con estímulos semánticamente relacionados, y se ha observado con una amplia variedad de materiales estimuladores y tareas (para revisiones del priming negativo, ver Fox, 1995; Frings, Schneider, y Fox, 2015; Tipper, 2001). Aunque el efecto de PN suele observarse en condiciones en las que el prime ignorado del ensayo previo se presenta junto a un target simultáneo al que los participantes deben atender y responder, es posible obtener también efectos consistentes de PN incluso cuando el ensayo previo contiene un *único* prime ignorado en ausencia de otros estímulos (v.g., Chao y Yeh, 2008; Frings y Wentura, 2005; Milliken, Joordens, Merikle, y Seiffert, 1998; Noguera, Ortells, Abad, Carmona, y Daza, 2007; Ortells, Fox, Noguera, y Abad, 2003; Ortells, Noguera, Álvarez, Carmona, y Houghton, 2016).

Una de las interpretaciones teóricas más influyentes y aceptadas del PN es la de inhibición atencional desarrollada por Tipper y colaboradores (v.g., Tipper, 1985; Houghton y Tipper, 1994). Frente a otros planteamientos tradicionales que conceptualizan la selección atencional exclusivamente en términos excitatorios (v.g., Broadbent, 1970; Van der Heijden, 1981), se plantea un *modelo dual* de atención (ver Figura 4) que asume que una conducta selectiva eficaz requeriría no sólo la facilitación de la información atendida, sino también la intervención de procesos inhibitorios que operarían suprimiendo o bloqueando las representaciones activadas de la información ignorada, con el fin de impedir que ésta pueda adquirir un control de la acción (para otras teorías no-inhibitorias del PN, ver Milliken y cols., 1998; Neill, Valdes, Terry, y Gorfein, 1992; Tipper, 2001).

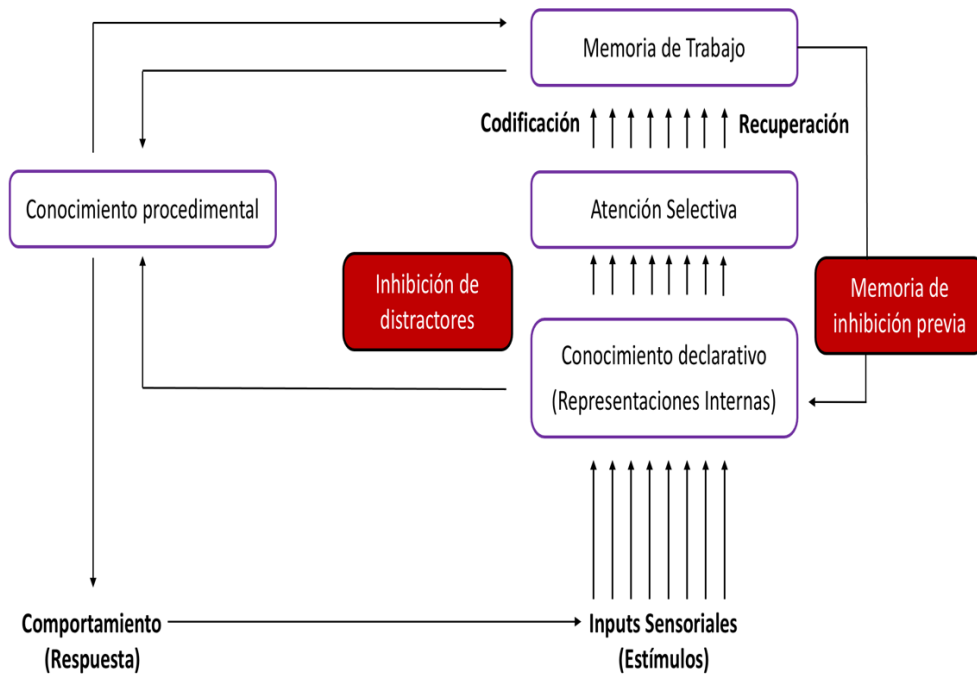


Figura 4. Modelo de Houghton y Tipper, 1994. Imagen adaptada al castellano de https://es.qaz.wiki/wiki/Negative_priming#Houghton–Tipper_model.

La teoría inhibitoria del PN fue desarrollada inicialmente para explicar dicho efecto en procedimientos convencionales en los que existe una situación *selectiva* en el ensayo previo que incluye tanto estímulos irrelevantes como relevantes. Pero de acuerdo con Tipper (2001), el modelo inhibitorio puede también explicar el PN ante un único prime ignorado, si se asume que la inhibición atencional que supuestamente actúa sobre las representaciones preactivadas de la información ignorada, puede operar no sólo bajo coordenadas de selección *espacial* (dónde atender vs. ignorar), sino también de selección *temporal* (cuándo atender vs. ignorar).

Una de las razones por las que el efecto de PN generó tanto interés entre los investigadores, es que permitía observar efectos comportamentales *cualitativamente* diferentes (de signo opuesto) generados por la información atendida y la que es activamente ignorada. Además, para muchos investigadores, el hecho de que un estímulo no-atendido produjera un efecto

significativo de PN, constituía una demostración convincente de que la información ignorada se había procesado al más alto nivel de representación (semántico).

No obstante, aunque el PN de *repetición* o identidad (en el que el prime ignorado del ensayo previo y el target del ensayo de prueba son el mismo estímulo) constituye un efecto experimental bien establecido en la literatura científica, no ha ocurrido así con el efecto del PN *semántico*. En este caso, la investigación ha generado con frecuencia resultados dispares e incluso contradictorios, en especial cuando se emplean palabras como material estimular. Ante este panorama, no es de extrañar que algunos autores llegaran a cuestionar la propia existencia del efecto de PN semántico (v.g., Chiappe y MacLeod, 1995; MacLeod, Chiappe, y Fox, 2002), y que apenas se haga mención de tal efecto en algunas revisiones recientes, como la de Frings y cols. (2015; p. 1578).

Sin embargo, es preciso señalar que diversas investigaciones sobre PN semántico, muchas de ellas realizadas en nuestros laboratorios, han puesto de manifiesto que es posible obtener efectos consistentes de PN semántico ante palabras ignoradas, independientemente de si éstas se presentan o no con otros estímulos concurrentes en el ensayo previo, siempre y cuando se cumplan una serie de condiciones o prerrequisitos, entre los que cabe destacar:

- (i) Requerir a los participantes una tarea de tipo “binario” (v.g., decisión léxica, categorización semántica) de cierta complejidad ante el target del ensayo de prueba (v.g., Fuentes y Tudela, 1992; Noguera y cols., 2007; Ortells y Tudela, 1996; Richards, 1999; Yee, 1991).

- (ii) Instruir de forma explícita a los participantes a ignorar activamente los estímulos prime del ensayo previo (v.g., Milliken y cols., 1998; Ortells y Tudela, 1996).
- (iii) Emplear intervalos de SOA prime-target lo suficientemente largos (v.g., > 500-600 ms) como para permitir el desarrollo adecuado de procesos de control (inhibitorio) atencional (v.g., Noguera y cols., 2007; Ortells y cols., 2001).
- (iv) Presentar en los ensayos prime-target relacionados palabras fuertemente asociadas de la misma categoría semántica (v.g., LEÓN-tigre; MUSLO-pierna; Abad y cols., 2003).
- (v) Finalmente, en la actualidad son muchos los investigadores que consideran que obtener efectos consistentes de PN (tanto semántico como de identidad) ante estímulos ignorados, requiere también de la disponibilidad de recursos de Memoria de Trabajo (MT; para una revisión, ver De Fockert, 2013).

1.3. Memoria de Trabajo y Control Atencional

Como mencionamos en la Introducción, el constructo Memoria de Trabajo (MT) hace referencia a la capacidad para retener y manipular activamente información relevante para realizar una tarea con el fin de guiar la selección de la respuesta adecuada (Baddeley, 2000). Aunque tradicionalmente la MT y la Atención Selectiva se han considerado dominios cognitivos distintos, disponemos actualmente de numerosas pruebas conductuales, neuropsicológicas y de neuroimagen (v.g., ERP, fMRI), que demuestran la existencia de una estrecha interrelación entre MT y Control Atencional (v.g., De Fockert, 2013; Gazzaley y Nobre, 2012). Un primer tipo de evidencia proviene de los estudios sobre envejecimiento. Las personas mayores, que suelen mostrar un rendimiento inferior al de los jóvenes en

tareas de MT (v.g., Gazzaley, Cooney, McEvoy, Knight, y D’Esposito, 2005; Gazzaley, Clapp, Kelley, McEvoy, Knight, y D’Esposito, 2008), son también más vulnerables a la interferencia de distractores en diferentes tareas de atención selectiva (v.g., Stroop; Mayas, Fuentes, y Ballesteros, 2012; De Fockert, Ramchurn, Van Velzen, Bergström, y Bunce, 2009).

Un segundo tipo de pruebas procede de estudios neuropsicológicos y con técnicas de neuroimagen, que revelan el papel crítico que determinadas estructuras de la corteza prefrontal (v.g., dorsolateral, ver Figura 5) juegan en tareas de MT y en tareas de atención selectiva que requieren un control inhibitorio de los distractores (D’Esposito, Aguirre, Zarahn, Ballard, Shin, y Lease, 1998).

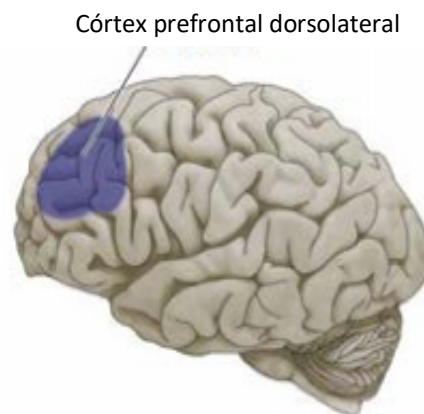


Figura 5. Corteza prefrontal dorsolateral en púrpura. Imagen adaptada de Nelson, 2016.

En las dos últimas décadas, se han desarrollado diferentes líneas de investigación que aportan pruebas mucho más directas de la interrelación entre MT y Control Atencional. Una de ellas emplea una metodología de tarea dual, en la que los participantes realizan alguna tarea de atención selectiva a la vez que ejecutan simultáneamente una tarea de MT que demanda una mayor o menor carga mental (para una revisión, ver De Fockert, 2013). Los resultados muestran que una alta carga de MT se asocia a una mayor dificultad para focalizar la atención en la información relevante e inhibir el

procesamiento de la ignorada (De Fockert, 2013; Chao y Yeh, 2008; De Fockert y cols., 2001; De Fockert, Mizon, y D'Ubaldo, 2010; Pratt, Willoughby, y Swick, 2011).

Otra línea de investigación relevante utiliza una estrategia metodológica de “grupos extremos” (v.g., Conway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, y Engle, 2005; Kane y cols., 2007), en la que se contrasta el rendimiento de grupos de participantes con mayor y menor capacidad de MT en alguna tarea de atención selectiva que requiere ignorar e inhibir información irrelevante (v.g., tarea tipo Stroop; tarea de Priming Negativo). El empleo de esta estrategia de investigación (que aplicaremos en los Estudios Experimentales 2 y 3 de la presente Tesis), requiere una fase previa (de “screening”) en la que una amplia muestra de participantes (> 200) realiza una batería de pruebas que incluye diferentes tareas de MT (v.g., amplitud compleja de operaciones matemáticas, simetría de figuras geométricas), y de Control Atencional (v.g., tarea Antisacada, tarea Stroop). En una segunda fase, se selecciona a los participantes con puntuaciones más altas (y más bajas) en dicha batería de pruebas (v.g., primer y cuarto cuartil) para que realicen la tarea de atención selectiva cuyo rendimiento diferencial se quiere explorar. El resultado más frecuentemente observado es que los participantes con mayor capacidad de MT suelen ser también más eficaces para ignorar e inhibir el procesamiento de distractores competitivos en la tarea atencional (Ahmed y De Fockert, 2012; Hutchison, 2011; Kane y Engle, 2003; Kane, Brown, McVay, Silvia, Myin-Germeys, y Kwapil, 2007; Meier y Kane, 2013; Redick y Engle, 2006).

En lo que respecta a la dependencia del efecto de PN de la capacidad de MT, la mayoría de los estudios realizados emplean procedimientos de PN de identidad (v.g., Chao y Yeh, 2008; Conway, Tuholski, Shisler, y Engle, 1999; De Fockert y cols., 2010; Mayas y cols., 2012; Redick, Heinz, y Engle, 2007). No obstante, en una investigación reciente Ortells y cols. (2016a) demuestran que la mayor o menor disponibilidad de recursos de MT puede también modular la obtención de PN a nivel semántico.

En el estudio de Ortells y cols. (2016a), dos grupos de participantes con alta y baja capacidad de MT (de acuerdo a su rendimiento previo en una batería de pruebas de MT verbal y visuo-espacial) realizaban una tarea de decisión léxica ante un ET central, el cual era precedido por una única palabra prime presentada brevemente (50 ms) en ausencia de distractores (ver Figura 6).

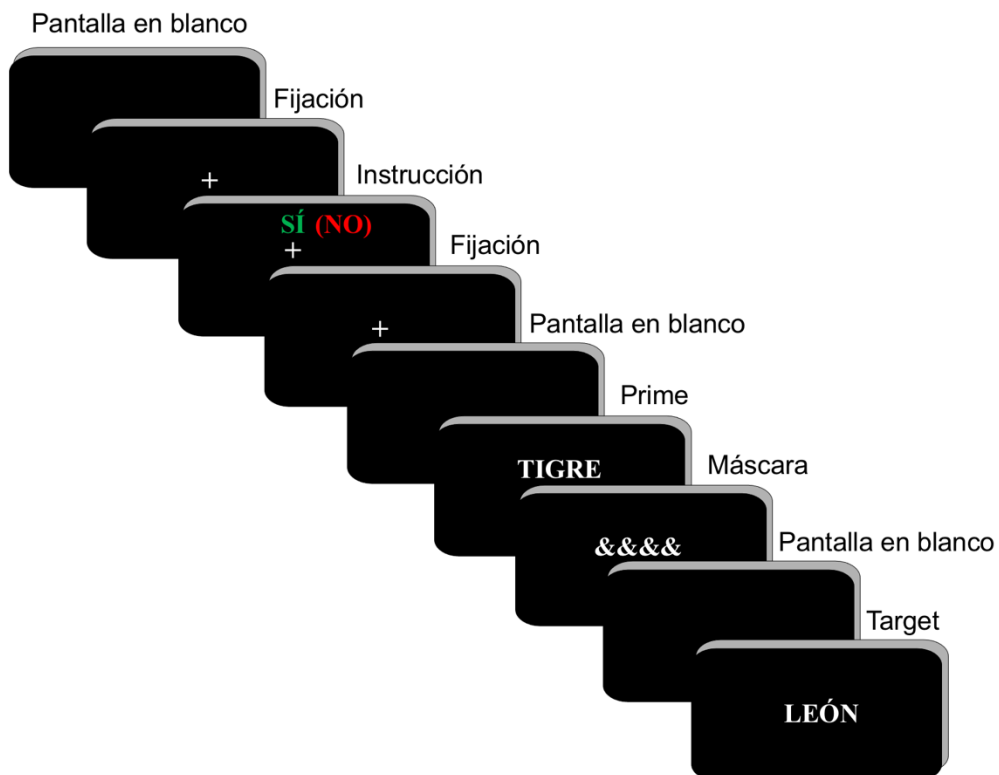


Figura 6. Secuencia de eventos en el estudio de Ortells, Noguera, Álvarez, Carmona, y Houghton, 2016.

Las palabras prime y target eran fuertes asociados de la misma categoría semántica (v.g., TIGRE-LEÓN) en el 50% de los ensayos (relacionados), mientras que pertenecían a categorías diferentes (v.g., TIGRE-CARA) en el 50% restante (no-relacionados). Se instruyó a los participantes o bien a atender (y tratar de memorizar) la palabra prime, o bien a ignorarla activamente considerándola un distractor, con ambos tipos de instrucciones variando aleatoriamente de ensayo a ensayo (ver también Noguera y cols., 2007).

Los resultados mostraron que las diferencias individuales en la capacidad de MT afectaban fundamentalmente al procesamiento de las palabras prime ignoradas, pero no al de las que eran atendidas. Estas últimas produjeron un efecto de priming facilitatorio (positivo) que era similar en ambos grupos de participantes, con independencia de su capacidad de MT. Por el contrario, la instrucción de ignorar generaba un efecto significativo de PN semántico, pero únicamente en los individuos con una alta capacidad de MT, no en aquéllos con menor capacidad de MT.

Según Ortells y cols. (2016a), la demostración de que el PN semántico ante un único estímulo ignorado requiere una alta capacidad de MT, sería consistente con los modelos inhibitorios del PN, los cuales asumen que la inhibición atencional es un proceso que demanda recursos de control cognitivo. De acuerdo a este planteamiento, una baja capacidad de MT podría asociarse con una capacidad reducida de los procesos de control para inhibir de forma eficaz el procesamiento de la información ignorada, lo que explicaría la ausencia de efectos de PN en el grupo de baja capacidad de MT.

Un aspecto importante a destacar del procedimiento de PN semántico empleado por Ortells y cols. (2016a), es que los participantes deben cambiar continuamente (y de forma aleatoria) su predisposición o “set” de tarea acerca de cómo procesar la palabra prime en función de las instrucciones

recibidas. Así, mientras que en la mitad de los ensayos deben esforzarse por atender y tratar de memorizar dicha palabra, en los restantes ensayos deben hacer lo contrario, ignorarla activamente y tratarla como un distractor (ver también Noguera y cols., 2007; Ortells y cols., 2003).

Por otra parte, las tareas de amplitud compleja de memoria que suelen emplearse para evaluar la capacidad de MT también requieren cambios continuos de tarea (v.g., Unsworth, Heitz, Schrock, y Engle, 2005; Unsworth, Redick, Heitz, Broadway, y Engle, 2009). Esto es, los participantes deben alternar y cambiar su atención entre retener en la memoria una serie de elementos (v.g., letras, localizaciones espaciales) de longitud variable, y realizar otro tipo de procesamiento de información en una tarea simultánea (v.g., cálculos numéricos, juicios de simetría de figuras visuales).

Teniendo en cuenta estos argumentos, no está claro si la dependencia del PN semántico de la capacidad de MT que observan Ortells y cols. (2016a), demuestra que los recursos de MT afectan directamente a los procesos de inhibición atencional, o influyen más bien en la capacidad de los participantes para mantener activos diferentes objetivos de tarea.

Esta cuestión fue abordada directamente en las Series Experimentales II y III de la presente Tesis Doctoral, en la que tratamos de determinar si es posible observar una dependencia similar del PN semántico de la capacidad diferencial de MT en una tarea de PN que, a diferencia de la empleada por Ortells y cols. (2016a), no requiera un cambio continuo de tarea. En la versión del PN semántico que empleamos en la presente Tesis (más similar a la usada previamente por Daza y cols., 2007), el ensayo previo incluía una única palabra prime enmascarada que los participantes debían ignorar activamente en todos los ensayos, con independencia de si les resultaba más o menos visible (dependiendo de las condiciones de enmascaramiento).

Empleando esta nueva tarea de PN semántico ante un único prime en la Serie Experimental III, nos planteamos además averiguar si la capacidad diferencial de MT de los participantes podría modular no sólo el PN semántico a nivel conductual, sino también en determinados correlatos electrofisiológicos (ERPs). Éste es un aspecto realmente novedoso de la presente Tesis Doctoral, pues hasta el momento sólo se ha publicado un estudio que examina correlatos ERPs del PN semántico con palabras (Wagner, Baving, Berg, Cohen, y Rockstroh, 2006), con resultados contradictorios.

2. Brújula que guía el camino: La técnica de potenciales evocados (ERPs) como herramienta metodológica en el estudio de procesos cognitivos

Se dispone actualmente de diferentes herramientas metodológicas para estudiar el sistema cognitivo humano (ver Figura 7), y la técnica de potenciales evocados relacionados a eventos (ERPs), englobada dentro de las técnicas fisiológicas de registro de la actividad cerebral (Handy, 2005), permite estudiar las fluctuaciones de voltaje que tienen lugar en el trazado electroencefalográfico (EEG) ante la ocurrencia de un evento cognitivo, perceptivo o motor (Coles y Rugg, 1995).

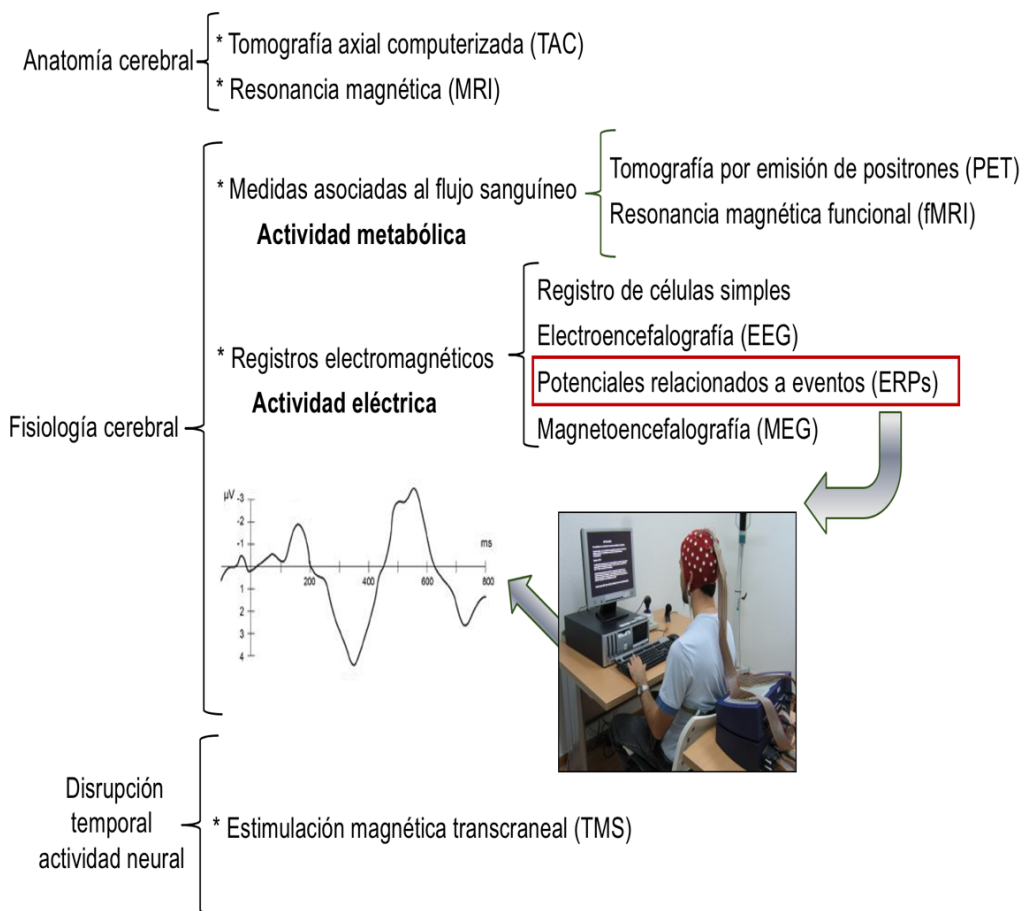


Figura 7. Principales herramientas metodológicas en Neurociencia Cognitiva.

Cabe señalar que cada una de estas herramientas metodológicas posee una serie de ventajas e inconvenientes (ver Tabla 1). Pero tener la posibilidad de examinar los datos desde diversas perspectivas es altamente beneficioso, ya que no sólo permite observar las restricciones que los distintos resultados imponen en los diferentes niveles de análisis, sino también obtener una visión más integrada y coherente de cómo el cerebro humano procesa la información (Zani y Proverbio, 2003).

Tabla 1. Imagen basada en Zani y Proverbio (2003) sobre las ventajas e inconvenientes de las principales técnicas metodológicas.

TÉCNICA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
TAC	No invasiva, económica y accesible a nivel hospitalario	Exposición a Rx, escasa resolución espacial, y ninguna temporal
MRI	No requiere Rx y posee una mayor resolución espacial que la Tomografía Axial Computerizada (TAC)	No usar en personas con marcapasos u objetos metálicos insertados en su cuerpo; tiene un elevado coste y es compleja de utilizar
PET	Buena resolución espacial; es la única técnica que permite examinar el procesamiento de ciertas sustancias (NT) en el cerebro	Utiliza radiación; tiempo excesivo para tomar una imagen (1'5 a 40 min), y es muy cara (requiere de una sustancia radioactiva)
fMRI	No invasiva; no utiliza radiación y posee una elevada resolución espacial	Elevado coste y difícil uso; no puede utilizarse en personas con metal en el cuerpo, y posee una baja resolución temporal
EEG	Barata y fácil de usar; no invasiva y con gran resolución temporal (ms)	Baja resolución espacial; refleja actividad eléctrica global (no informa sobre procesos cognitivos)
ERPs	Medida continua de procesamiento E-R; no invasiva; excelente resolución temporal; datos más estables que TRs, y permiten obtener una medida de procesamiento aún cuando no hay cambio conductual	Muy baja resolución espacial, aunque con el software Loreta o método Curry se consigue mejorar
MEG	Muy buena resolución temporal y mejor resolución espacial que el EEG	Elevado coste y sólo detecta el flujo de corrientes paralelas a la superficie del cráneo
TMS	Es el único método neurocognitivo causal (no correlacional); técnica segura y no invasiva	Efectos muy breves; estimulación de zonas superficiales del cerebro, y se utiliza únicamente en tareas estimulares o de movimiento

En líneas generales, los potenciales evocados (ERPs) permiten:

- (a) Establecer la dinámica temporal de activación de procesos cognitivos implicados en tareas psicológicas, tanto en personas

con un funcionamiento cerebral “normal”, como en diferentes poblaciones clínicas.

- (b) Someter a evaluación las teorías psicológicas y las tareas diseñadas para su estudio.
- (c) Obtener información sobre ciertos aspectos del procesamiento de la información cerebral que se producen en cuestión de milisegundos.
- (d) Visualizar, registrar y analizar aspectos y rasgos de las ondas EEG desencadenadas por un evento cognitivo (tarea experimental).
- (e) Estudiar diferencias individuales en diferentes componentes electrofisiológicos.
- (f) Establecer asociaciones entre procesos cognitivos y áreas o redes cerebrales.

La actividad eléctrica cerebral susceptible de registro EEG es consecuencia de las corrientes iónicas generadas por diversos procesos bioquímicos en las neuronas, principalmente piramidales, de la corteza cerebral. Por su importancia desde el punto de vista electroencefalográfico, las neuronas piramidales o también denominadas de proyección, son la clave del procesamiento de la información, configurando el origen de las señales EEG (Luck, 2005; 2014). Su orientación perpendicular a la superficie de la corteza, así como su distribución en paralelo, hace que sea posible registrar los campos eléctricos producidos por la activación sincrónica de miles de estas neuronas, derivada de fuentes generadoras. Así, para que pueda detectarse la actividad eléctrica en los electrodos situados en el cuero cabelludo (ver Figura 8), son requisitos indispensables tanto la sincronización como la simultaneidad en la activación de miles de neuronas que, en el caso

de los ERPs, es desencadenada por un evento cognitivo (Luck, 2014; 2005; Coles y Rugg, 1995).

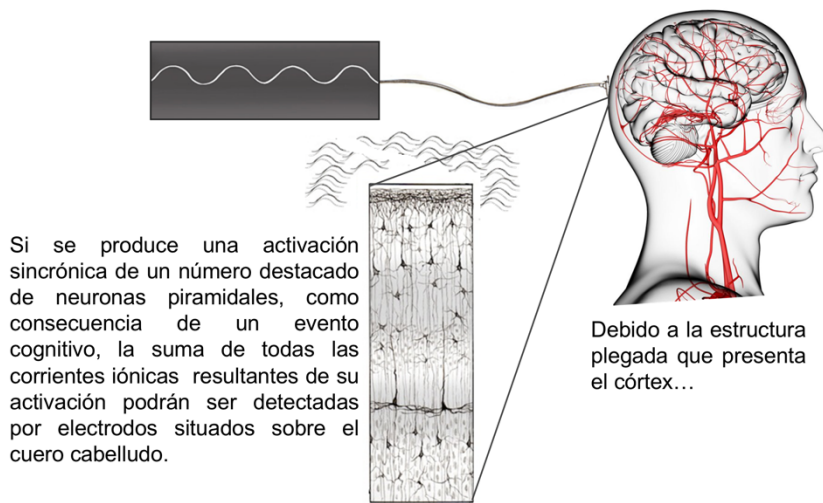


Figura 8. Detección de activación sincrónica de neuronas en electrodos del cuero cabelludo.

Para visualizar la actividad eléctrica cerebral, se requiere:

Electrodos, puntos de registro dispuestos sobre la superficie del cuero cabelludo que permiten la conducción de la actividad eléctrica gracias a la aplicación de un gel conductor y abrasivo (elimina restos de piel muerta, grasa, ...).

En los experimentos de Neurociencia Cognitiva se utilizan electrodos superficiales o extracraneales, indoloros, de fácil y rápida colocación, y con una impedancia no superior a 5 k Ω . Esto es, para que un electrodo sea sensible a los cambios eléctricos producidos por la actividad cerebral, es necesario reducir la resistencia de paso de esa electricidad, lo que comúnmente conocemos como impedancia (Z).

La nomenclatura y disposición de los electrodos en el cuero cabelludo se realiza según el sistema internacional 10-20, catalogado como el método de posicionamiento estándar (Rugg y Coles, 2008). Este sistema se basa en la relación entre la ubicación de un electrodo y la zona subyacente de la corteza

cerebral, de manera que el 10 hace referencia a que las distancias reales entre electrodos adyacentes son el 10%, y el 20 se refiere al 20% de la distancia total de delante hacia atrás o de izquierda a derecha. Esto permite que el área que registra cada electrodo pueda ser comparable entre los registros realizados a diferentes individuos (Sanei y Chambers, 2013).

Así, cada localización es definida a partir de dos ejes de coordenadas: (i) un eje que une el nasion con el inion, identificándose las diferentes regiones cerebrales (Fp, prefrontal; F, frontal; C, central; P, parietal; T, temporal y O, occipital) y, (ii) el otro eje es trazado desde el punto preauricular de un pabellón auricular a su homólogo, definiéndose el plano lateral con números impares a la izquierda, números pares a la derecha y la letra z para las localizaciones centrales. En la intersección de los ejes se encuentra el electrodo Cz (14), que marca el centro del cráneo (ver Figura 9).

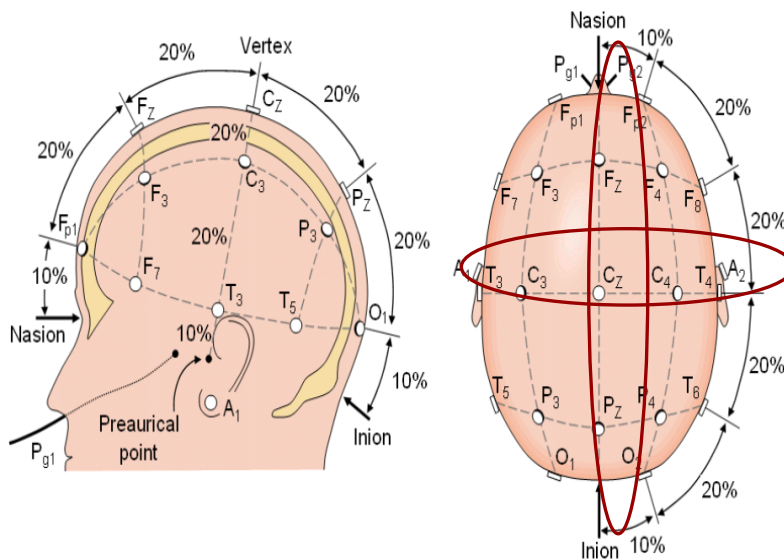


Figura 9. Diagrama de representación del sistema internacional de posicionamiento 10-20. Imagen adaptada de Novo Olivas, Chacón Gutiérrez, y Barradas Bribiesca, 2010.

La señal registrada en cada electrodo es una diferencia de potencial (derivación) entre ese electrodo y el de referencia, cuya localización más

habitual es FCz. También es usual colocar un electrodo en cada uno de los lóbulos auriculares (A_1 y A_2) o mastoides (ver Figura 10), información que puede utilizarse para realizar posteriormente un nuevo “re-referenciado” de las señales EEG registradas en el resto de electrodos.



Figura 10. (A) Diferencia de potencial (derivación) entre electrodo activo (en verde) y de referencia, FCz, en azul. (B) Re-Referenciado (A_1 , A_2).

Amplificador. Para que el registro sea posible es necesario amplificar la señal eléctrica cerebral, que oscila entre 0.1 y 300 μV (Coles y Rugg, 1995; Luck, 2005; 2014). El sistema capaz de manejar diferencias de potencial tan pequeñas y emitir una señal que puede ser traducida en un registro gráfico, es el amplificador (Picton y cols., 2000). Los ERPs presentan una amplitud 10 veces menor que las ondas EEG, por lo que han de obtenerse mediante el promediado de un cierto número de ensayos. Dado que las oscilaciones no relacionadas con el evento pueden considerarse aleatorias a éste, el promediado tiene como objetivo eliminarlas.

Por el contrario, aquéllas provocadas por el evento, marcado mediante “triggers” definidos por un valor numérico, son sistemáticas. Es decir, estos marcadores se utilizan para señalar tanto el momento temporal exacto en el que se presenta el estímulo como el momento en el que el participante emite la respuesta, y si ésta es o no correcta (v.g., R1, respuesta correcta; R2, respuesta incorrecta). Esta señal quedará grabada en el registro

electrofisiológico con una precisión de milisegundos, reduciendo el ruido EEG de fondo, y permitiendo que el del potencial evocado se manifieste (ver Figura 11).

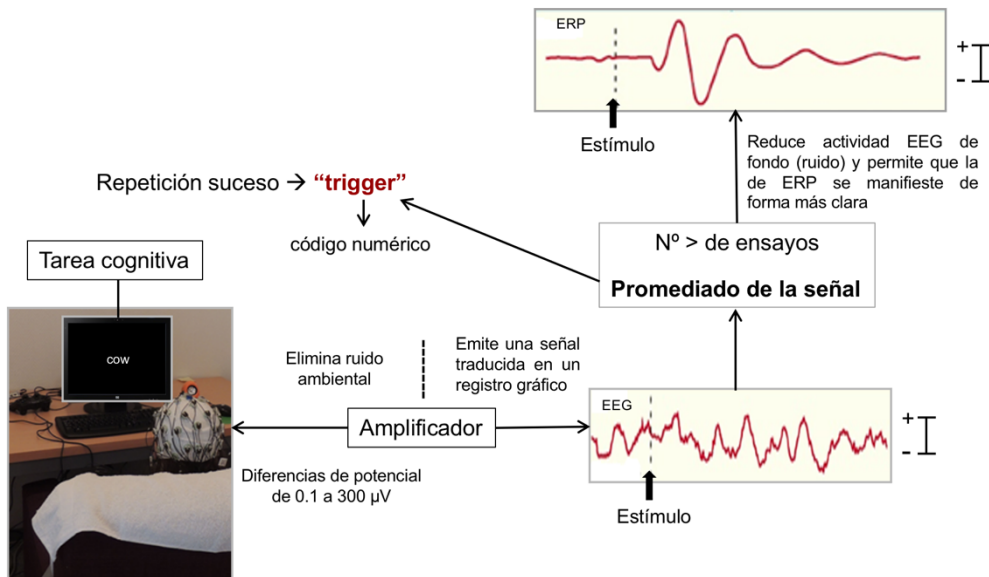


Figura 11. Adquisición y registro de potenciales evocados (ERPs).

Dispositivo conversor analógico-digital. El amplificador capta diferencias de potencial entre dos electrodos, que son detectados por la placa conversora analógico-digital de los equipos informáticos.

Tras registrar la señal eléctrica cerebral, es necesario corregir alteraciones debidas a ruidos e interferencias de diferentes artefactos (ver Figura 12), tanto artificiales (electrodos, cables, fuente de alimentación de la máquina de ERPs, ...) como fisiológicos (movimientos de cuello o cabeza, cambios de postura, parpadeos, latido cardiaco, ...), a fin de obtener una señal lo más depurada y limpia posible (Boutros, Galderisi, Pogarell, y Riggio, 2011). En el caso concreto del efecto que sobre el electroencefalograma producen los parpadeos, éste es bastante superior al que generan los procesos cognitivos, por lo que habitualmente se suelen corregir mediante un proceso denominado Ocular Correction ICA. Así, una posible solución es situar un

electrodo cerca de cada uno de los ojos: (i) Veog, para monitorizar movimientos oculares verticales, y (ii) Heog, para los horizontales.

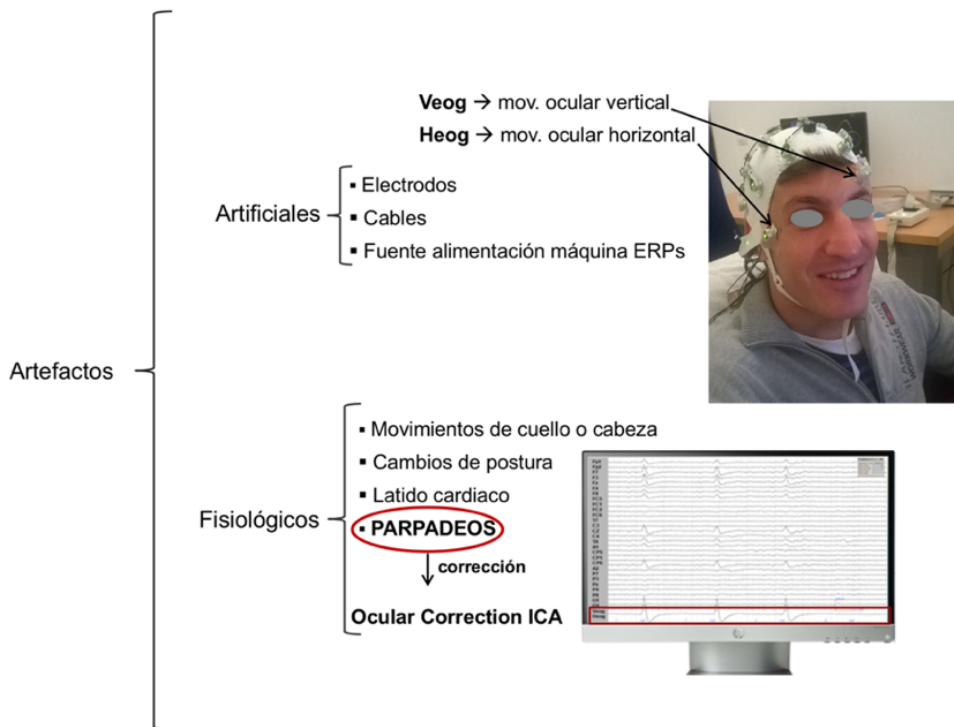


Figura 12. Tipos de artefactos que pueden interferir con la señal eléctrica del cerebro.

Para registrar la respuesta del sujeto, lo ideal es utilizar un mando para videojuegos (ver Figura 13). De este modo, se minimiza el ruido en el trazado EEG.



Figura 13. Participante familiarizándose con botones del mando.

Para mitigar que otras fuentes externas de energía (instalaciones insuficientemente aisladas de la red eléctrica) o cualquier otra fuente electromagnética (*teléfonos móviles, aires acondicionados,...*) puedan interferir con la señal eléctrica registrada, la sala de electrofisiología se protege con jaulas de Faraday (ver Figura 14) y una conexión funcional a tierra (AFz), consiguiendo así corregir la interferencia provocada por estas señales espurias mediante un óptimo aislamiento acústico y eléctrico (Nidal y Malik, 2014).

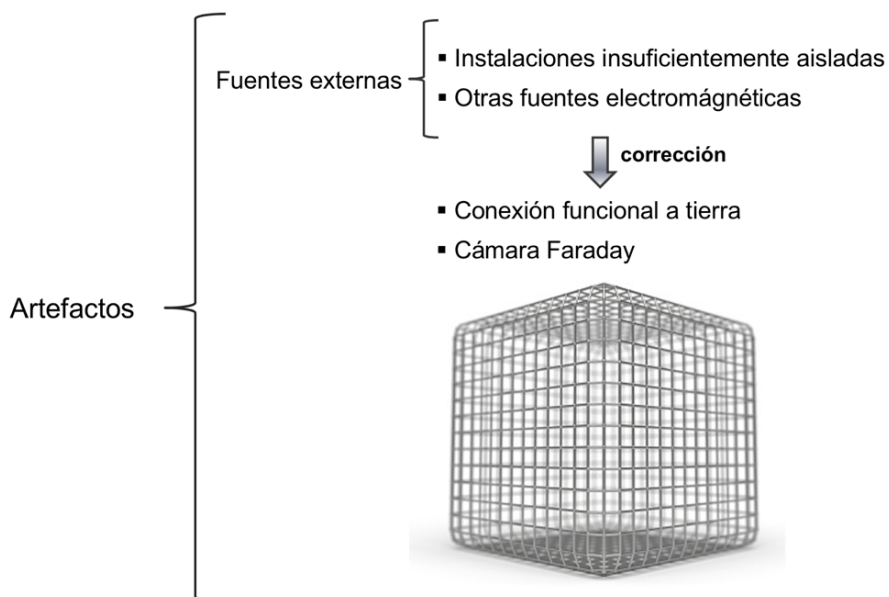


Figura 14. Fuentes externas de interferencia con la señal eléctrica cerebral.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la mayoría de los ruidos detectados cursan con frecuencias distintas a la señal en estudio, resulta crucial el uso de filtros para minimizarlos y/o suprimirlos. Dado que el espectro de frecuencias con mayor interés para la investigación se sitúa entre 0.01 y 30 Hz, sería recomendable eliminar aquellas frecuencias que están por encima y por debajo de ese umbral (Fabiani, Gratton, y Federmeier, 2009).

Así, para obtener unos datos significativos es importante que las señales EEG atraviesen por varias etapas para su depuración, ya que se hallan contaminadas por ruidos e interferencias de los diferentes artefactos.

A continuación, según el paradigma objeto de estudio, se exponen de manera gráfica cuáles son los pasos a seguir para adquirir un trazado EEG lo más limpio posible mediante el software BrainVision Analyzer (ver Figura 15).

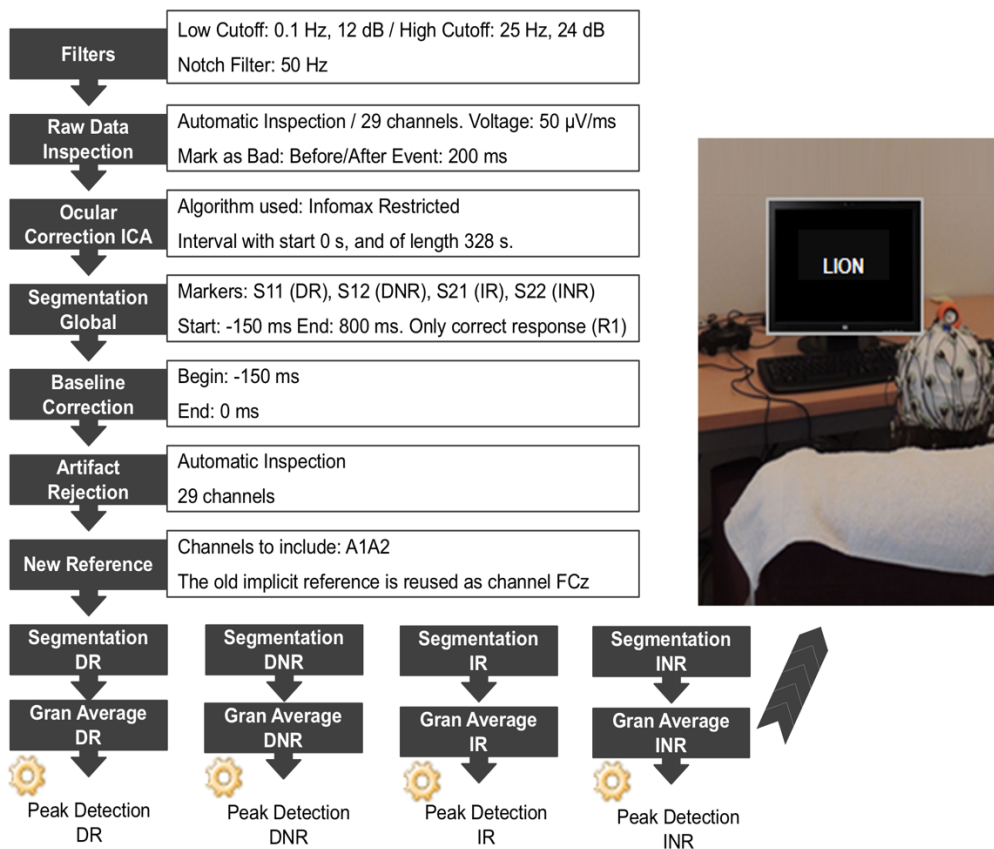


Figura 15. Hoja de ruta para la adquisición de un trazado EEG limpio en un paradigma de Priming Negativo (PN) Semántico.

Por tanto, los potenciales evocados (ERPs) pueden definirse como los cambios de voltaje que se producen en el registro EEG (respecto a la línea base establecida) tras la presentación de un estímulo, mostrando dichas oscilaciones una sucesión de picos y valles a los que se denomina componentes (Sanei y Chambers, 2013).

La evaluación de tales componentes se realiza en base a los siguientes parámetros (Coles y Rugg, 1995):

- a. Polaridad, la cual puede ser positiva (P) o negativa (N).
- b. Distribución topográfica (Fp, prefrontal; F, frontal; C, central; P, parietal; T, temporal y O, occipital).
- c. Latencia, que hace referencia al tiempo en milisegundos que transcurre desde la presentación del estímulo hasta la aparición del pico o valle.
- d. Tipo de manipulación experimental, la cual define no sólo la morfología y nomenclatura de los ERPs, sino especialmente las implicaciones funcionales de las ondas obtenidas.

Finalmente, dependiendo del paradigma de investigación utilizado, y tras analizar la señal en cada electrodo, pueden efectuarse promediados de la señal de varios electrodos adyacentes, según regiones de interés (ver Figura 16).

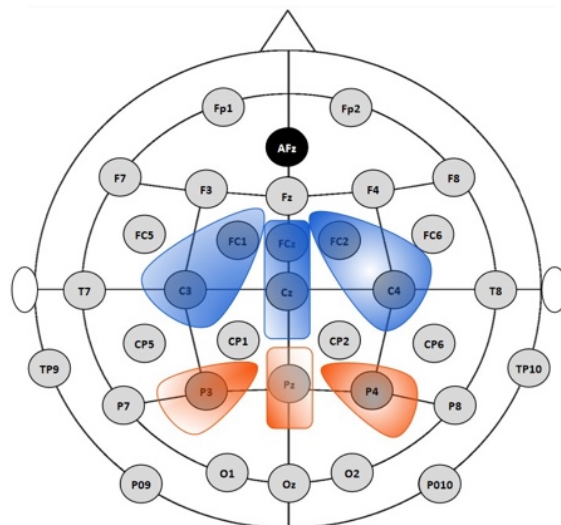


Figura 16. Ejemplo de regiones de análisis de los potenciales evocados. En azul, regiones fronto-centrales y centrales separadas por hemisferio y línea media. En naranja, regiones parietales.

3. Tras las huellas conductuales y electrofisiológicas: Planteamiento y objetivos de la investigación

Empleando procedimientos de priming que permiten observar efectos conductuales (y/o electrofisiológicos) cualitativamente diferentes (v.g., de signo opuesto) ante estímulos atendidos/conscientes vs. ignorados/ no-conscientes (v.g., tarea de priming negativo), la presente Tesis Doctoral explora cuáles son las condiciones críticas que determinan la obtención de priming semántico en ausencia de consciencia y/o de atención. Este *objetivo general* se concreta en una serie de *objetivos específicos*, que han sido desarrollados en tres estudios experimentales conformando los tres artículos científicos que integran esta Tesis.

En el primer Estudio Experimental (Ortells, Kiefer, Castillo, Megías, y Morillas, *Cognition*, 2016), investigamos si el grado de relación semántico-asociativa entre las palabras prime y target en una tarea de congruencia categorial, modula tanto los correlatos conductuales (tiempos de reacción - TRs), como electrofisiológicos (v.g., N400) del priming semántico no-consciente.

En el Estudio Experimental 2 (Megías, Ortells, Noguera, Carmona, y Marí-Beffa, *Frontiers in Psychology*, 2020) exploramos (i) si el efecto conductual de priming negativo (PN) semántico ante una única palabra prime ignorada, requiere presentar dicho estímulo bajo determinadas condiciones de estimulación (tipos de enmascaramiento) que favorezcan la implementación de procesos de control atencional, y (ii) si la capacidad diferencial de memoria de trabajo (MT) puede modular dicho efecto comportamental en una tarea de PN semántico que no requiere un cambio continuo respecto a cómo procesar la palabra prime (atender vs. ignorar), sino que ésta debe ser ignorada activamente en todos los ensayos.

En el Estudio Experimental 3 (Megías, Ortells, Carmona, Noguera, y Kiefer, *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2021), investigamos (i) posibles correlatos electrofisiológicos (ERPs) del PN semántico ante palabras ignoradas, correlatos que estuvieran además funcionalmente asociados a medidas comportamentales de dicho efecto, y (ii) si las diferencias individuales en la capacidad de MT y/o el tipo de enmascaramiento podrían modular no sólo las medidas conductuales (v.g., TRs), sino también los correlatos ERPs del PN semántico.

3.1. Estudio Experimental 1: Influencia de la relación semántico-asociativa en los correlatos conductuales y electrofisiológicos del priming semántico no-consciente

A pesar de los numerosos estudios comportamentales y con técnicas de neuroimagen que muestran la utilidad del paradigma de priming de congruencia subliminal para investigar el impacto de las palabras procesadas inconscientemente en decisiones y respuestas abiertas (v.g., Dehaene y cols., 1998; Greenwald, Klinger, y Schuh, 1995; Kiefer, 2002; Klauer y cols., 2007; para revisiones, véase Kouider y Dehaene, 2007; Van den Bussche y cols., 2009), aún son muchos los interrogantes que quedan por resolver. Entre ellos, los mecanismos neurocognitivos que subyacen al priming de congruencia inconsciente (Kang, Blake, y Woodman, 2011; Kouider y Dehaene, 2007; Van den Bussche y cols., 2009).

Mientras que para algunos investigadores, los efectos de priming enmascarado reflejarían el acceso inconsciente al significado del prime y la preactivación automática de la representación semántica del target (v.g., Kiefer, 2002; Kiefer y Martens, 2010; Masson, 1995; Naccache y cols., 2005), para otros, dichos efectos de priming de congruencia podrían ser causados más bien por procesos no-semánticos, tales como asociaciones directas de

estímulo-respuesta (v.g., Klinger, Burton, y Pitts, 2000; ver también De Houwer, Hermans, Rothermund, y Wentura, 2002).

De hecho, en los estudios de priming semántico subliminal ha sido usual emplear un reducido número de estímulos que se repiten continuamente a lo largo del experimento, de manera que los mismos estímulos que aparecen como primes subliminales en algunos ensayos, también lo hacen como targets visibles en otros ensayos. En tales circunstancias, los efectos de priming observados podrían reflejar un procesamiento relativamente superficial (no-semántico) de la información, basado por ejemplo en la identificación de algunos de los caracteres que forman los estímulos enmascarados (v.g., las primeras letras de una palabra; v.g., Abrams y Greenwald, 2000; Koudier y Dupoux, 2004).

Pues bien, una forma de decidir entre interpretaciones semánticas y no-semánticas, sería explorar si es posible observar efectos de priming de congruencia ante estímulos subliminales que nunca se presentan como targets visibles (i.e., primes nuevos o no practicados). Pero las investigaciones con primes no practicados, en especial con palabras, han generado con frecuencia efectos de priming poco consistentes y de baja magnitud, o incluso datos contradictorios empleando procedimientos experimentales aparentemente similares (v.g., Abrams y Greenwald, 2000; Damian, 2001; Forester y cols., 2003).

En muchos de los estudios de priming de congruencia inconsciente, los ensayos relacionados (congruentes) incluyen tanto fuertes asociados (v.g., perro-gato), como débiles asociados de la misma categoría semántica (v.g., asno-tortuga; véase Van den Bussche y Reynvoet, 2007). En condiciones en las que se emplea un amplio conjunto de palabras que no se repiten a lo largo de la sesión experimental, es posible que la proporción relativa de fuertes

asociados semánticos presentados como ensayos relacionados, determine la obtención y/o magnitud de efectos de priming subliminal.

Esto ha sido demostrado en algunas investigaciones recientes con palabras prime no-repetidas (v.g., Ortells y cols., 2013; Van den Bussche y cols., 2012), cuyos resultados muestran efectos consistentes y significativos de priming inconsciente, únicamente cuando las palabras prime enmascaradas fueron seguidas por targets fuertemente relacionados, pero no por targets débilmente relacionados. Estos hallazgos constituirían una prueba clara de procesamiento semántico en ausencia de consciencia, pues si los efectos observados reflejaran algún tipo de priming visuo-motor o de respuesta resultante de asociaciones adquiridas estímulo-respuesta (v.g., responder “animal” a cualquier ejemplar de esta categoría), entonces se esperarían resultados similares para fuertes y débiles asociados semánticos, pues las respuestas a un target de una determinada categoría (v.g, gato) deberían ser similares cuando el prime es un fuerte asociado de la misma categoría (v.g., perro), que cuando es un débil asociado (v.g., delfín).

En estos estudios, sin embargo, la relación semántico-asociativa entre los estímulos prime y target fue manipulada en diferentes bloques de ensayos. Además, en la investigación de Ortells y cols. (2013) el SOA prime-target se mantuvo constante a 200 ms. En este sentido, cabe la posibilidad de que los débiles asociados produjeran también efectos “automáticos” (no-conscientes) de priming, pero con una persistencia temporal mucho más breve que los inducidos por fuertes asociados semánticos.

En el Estudio Experimental 1 de la presente Tesis, nos propusimos explorar (i) si el patrón diferencial de efectos de priming inconsciente con palabras fuertes vs. débilmente asociadas, podría observarse también cuando ambos tipos de pares prime-target varían de forma aleatoria de ensayo a ensayo; y (ii) si dicho patrón diferencial de efectos de priming con altos y bajos

asociados se observa tanto con intervalos de SOA prime-target largos (200 ms) como con intervalos mucho más cortos (< 100 ms).

Por otra parte, es preciso observar que todas las investigaciones previas que exploran la influencia del tipo de relación semántico-asociativa en el priming inconsciente, emplearon exclusivamente medidas comportamentales del procesamiento (tiempos de reacción -TRs). Por ello, otro objetivo relevante del Estudio Experimental 1 fue explorar por primera vez, si el empleo de fuertes vs. débiles asociados semánticos en este tipo de tareas, podrían modular también determinados correlatos electrofisiológicos (ERPs) del priming de congruencia subliminal. En concreto, el componente N400, que tradicionalmente ha sido asociado al procesamiento semántico de la información (Kutas y Federmeier, 2011), con independencia de si ésta es procesada con o sin consciencia (v.g., Deacon y cols., 2000; Heil y cols., 2004; Kiefer, 2002; Kiefer y Spitzer, 2000; Küper y Heil, 2009).

Para abordar estos objetivos administramos dos experimentos en los que los participantes realizaron una tarea de priming de congruencia subliminal, mientras se registraba su actividad EEG. En cada ensayo, los participantes debían decidir la categoría semántica (animal vs. parte del cuerpo) de una palabra target visible, la cual era precedida por un periodo de tiempo variable (Experimento; Exp. 1 = 166.5 ms; Exp. 2 = 33.5 ms) por una palabra prime presentada muy brevemente (33.5 ms), la cual era siempre precedida y seguida por una máscara visual (conjunto aleatorio de consonantes). Las palabras prime enmascaradas (que nunca se presentaban como targets visibles) pertenecían a una categoría semántica diferente a la del target (v.g., VACA-ojos; MANO-tigre) en el 50% de los ensayos (incongruentes o no-relacionados), mientras que en un 25% de los ensayos (congruentes o relacionados) eran miembros fuertemente relacionados de la misma categoría que el target (v.g., VACA-toro; MANO-dedos), y en el 25%

restante eran co-ejemplares débilmente relacionados (v.g., VACA-rana; MANO-cabeza). Pero a diferencia del estudio de Ortells y cols. (2013), los tres tipos de pares prime-target variaban aleatoriamente de ensayo a ensayo (ver Figura 17).

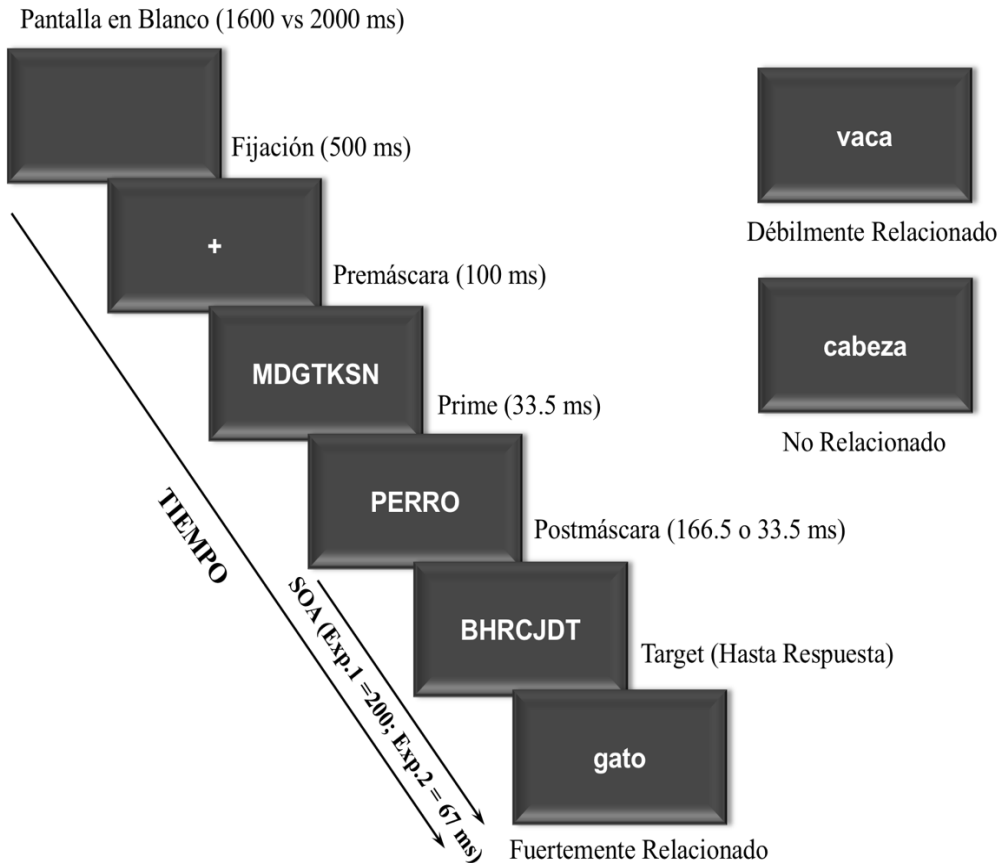


Figura 17. Secuencia de eventos del paradigma de priming semántico (PS) empleado en la presente investigación. Las palabras estímulo que se muestran para ensayos relacionados (fuertemente y débilmente) y no-relacionados no están representadas a escala.

Tras finalizar la tarea de priming, todos los participantes realizaban una tarea de visibilidad de las palabras prime enmascaradas, lo que nos permitía obtener una *medida objetiva* del nivel de consciencia de dichos estímulos (el índice d' de la Teoría de Detección de Señales). Aunque en todos los experimentos de Ortells y cols. (2013) los participantes reconocían ser incapaces de identificar conscientemente las palabras prime enmascaradas,

su rendimiento en la prueba de visibilidad del prime se situaba siempre por encima del nivel de azar ($d' > 0$). Por ello, y a diferencia del estudio de Ortells y cols. (2013), en nuestros experimentos la palabra prime era también precedida (además de seguida) en cada ensayo por una máscara de patrón. Con ello intentamos hacer más efectivo el procedimiento de enmascaramiento y propiciar que las palabras prime estuvieran también por debajo del umbral objetivo de consciencia.

En la medida en que el priming de congruencia subliminal con palabras prime no-repetidas refleja un procesamiento automático del significado, procesamiento que resulta modulado por la relación semántico-asociativa existente entre los estímulos prime y target, nuestras hipótesis de partida respecto a los datos conductuales son las siguientes:

- (i) En primer lugar, esperamos replicar y extender los resultados de Ortells y cols. (2013), de modo que el efecto de priming subliminal sólo debería ser significativo con pares prime-target fuertemente relacionados, pero no con débiles asociados semánticos.
- (ii) El patrón diferencial de efectos de priming con fuertes vs. débiles asociados debería observarse incluso con valores muy cortos de SOA prime-target.
- (iii) Si es realmente el umbral subjetivo (índice fenomenológico), más que el umbral objetivo (respuesta comportamental discriminativa), el que mejor define la presencia vs. ausencia de consciencia perceptiva, entonces cabría esperar que los efectos de priming producidos por primes FR de los que los participantes informan no ser conscientes (umbral subjetivo), sean de una magnitud similar con independencia de si son capaces o no de discriminar los primes enmascarados por encima del nivel de azar.

Con respecto a los resultados electrofisiológicos (ERPs), en la medida en que el componente N400 es un índice del procesamiento semántico de un estímulo, nuestra hipótesis de partida es que la relación semántico-asociativa (fuerte vs. débil) entre las palabras prime (subliminales) y target (visibles), produzca también una modulación significativa en dicho correlato. Además, la amplitud del N400 debería mostrar un voltaje más negativo (o menos positivo) cuando el target es precedido por un prime subliminal de una categoría semántica diferente (no-relacionado), que cuando el prime subliminal es un fuerte asociado de la misma categoría. Sin embargo, la respuesta ERP cuando se presenta un débil asociado semántico como prime subliminal, debería ser muy similar (o idéntica) a la observada en ausencia de relación semántica entre el prime y el target.

Asimismo, el uso de potenciales evocados relacionados a eventos (ERPs) nos permitirá también investigar si los efectos de priming de congruencia subliminal en nuestros experimentos podrían reflejar, al menos parcialmente, procesos no-semánticos de activación visuo-motora (priming de respuesta). El procesamiento de la relación de congruencia de respuesta entre el prime y el target se ha asociado frecuentemente con el componente ERP N200, una desviación negativa que aparece en electrodos fronto-centrales entre los 200 y 350 ms después de la presentación del target (v.g., Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, y Nieuwenhuis, 2004). En este sentido, diversos estudios han encontrado que la amplitud del componente N200 es más negativa en ensayos incongruentes, en comparación con aquellos congruentes (v.g., Clayson y Larson, 2011; Folstein y Van Petten, 2008; Wendt y Luna-Rodríguez, 2009; ver también Panadero, Castellanos, y Tudela, 2015). A su vez, se ha demostrado que el priming de respuesta generado por estímulos subliminales modula los ERPs occipito-parietales en la ventana temporal N200, lo que estaría en consonancia con una activación de la

representación visuo-motora en este tipo de tareas (v.g., Jáskowski, Skalska, y Verleger, 2003; Martens y cols., 2011; Zovko y Kiefer, 2013).

Tomando estos datos en cuenta, si los efectos de congruencia inconscientes de nuestra investigación reflejan también procesos no-semánticos como los implicados en el priming visuo-motor (o de respuesta), esperaríamos encontrar una modulación similar en el componente N200 (mayor negatividad en un ensayo incongruente o no-relacionado, que en un ensayo congruente), con independencia de si el prime relacionado que precede al target es un fuerte o un débil asociado de la misma categoría semántica. Ambos tipos de ensayos relacionados (congruentes) deberían inducir un mismo tipo de respuesta en los participantes, en comparación con la inducida en los ensayos no-relacionados (incongruentes). Por el contrario, si nuestros efectos de priming de congruencia reflejan fundamentalmente procesos de activación automática en redes semánticas, entonces la presentación de fuertes vs. débiles asociados semánticos debería producir modulaciones ERPs diferenciales únicamente en el rango temporal asociado al componente N400.

3.2. Estudios Experimentales 2 y 3: Influencia de la capacidad de memoria de trabajo (MT) y de las condiciones de enmascaramiento en los correlatos conductuales y electrofisiológicos del priming negativo (PN) semántico

Son numerosas las demostraciones de que los estímulos familiares ignorados pueden generar efectos comportamentales de priming de signo opuesto (negativo) a los observados ante los estímulos que son atendidos (priming positivo o facilitatorio). El efecto de *priming negativo* (PN) se observa tanto en procedimientos más convencionales en los que el distractor ignorado se presenta junto a otros estímulos relevantes a los que el participante debe atender y responder (v.g., Tipper, 1985), como en otros

procedimientos en los que el prime ignorado es el único estímulo que se presenta en el ensayo previo (Milliken y cols., 1998; Noguera y cols., 2007).

Para muchos investigadores, la obtención de un efecto de PN ante un estímulo previamente ignorado demostraría que éste fue procesado al más alto nivel de significado. Sin embargo, mientras que el PN de *identidad* (o repetición), en el que el mismo estímulo ignorado en el ensayo previo aparece posteriormente como target en el ensayo de prueba, constituye un efecto experimental bien establecido en una amplia variedad de tareas y condiciones estimulatorias (v.g., Fox, 1995; Frings y cols., 2015), el PN *semántico* ha resultado más difícil de demostrar, especialmente cuando se emplean palabras como primes (y no se presentan otros estímulos en el ensayo previo).

No obstante, y como indicamos en el capítulo 1 (ver apartado 1.2. procesamiento semántico de palabras ignoradas), diversas investigaciones realizadas durante las dos últimas décadas han demostrado que es posible obtener efectos significativos y consistentes de PN semántico, si se cumplen determinadas condiciones o prerrequisitos, como por ejemplo, que las palabras prime sean activamente ignoradas por los participantes, o que los estímulos prime y target de los ensayos relacionados sean fuertes asociados de la misma categoría semántica (v.g., Abad y cols., 2003; Noguera y cols., 2007; Wang, Wang, Liu, Wang, Gong, Di, y Li, 2018; Wang, Zhao, Liu, Wei, y Di, 2014).

En un estudio reciente en nuestros laboratorios, Ortells y cols. (2016a) demostraron que el PN *semántico* ante un único prime ignorado resulta también ser modulado por la capacidad de MT. Así, mientras que una palabra prime atendida producía efectos de facilitación semántica de una magnitud similar en los participantes con alta y baja capacidad de MT, cuando la palabra prime era ignorada, daba lugar a efectos opuestos de PN semántico

únicamente en el grupo con mayor capacidad de MT. Estos resultados replican y extienden los observados por otros estudios previos con procedimientos más convencionales de PN de identidad (v.g., Chao y Yeh, 2008; Conway y cols., 1999; De Fockert y cols., 2010; Mayas y cols., 2012).

3.2.1. Estudio Experimental 2

En la tarea de PN semántico empleada por Ortells y cols. (2016a; ver también Noguera y cols., 2007), en cada ensayo los participantes tenían que, o bien atender (y memorizar) la palabra prime, o bien ignorarla activamente, con ambos tipos de instrucciones variando aleatoriamente de ensayo a ensayo. Así, a lo largo de la sesión experimental los participantes debían cambiar continuamente su disposición o “set-mental” respecto a cómo procesar la palabra prime. Teniendo en cuenta que en dicho estudio se demostraba por primera vez una dependencia del PN semántico de la disponibilidad de recursos de MT, consideramos importante explorar si las diferencias individuales en la capacidad de MT podían modular dicho efecto conductual en una tarea de PN semántico en la que la palabra prime debe ser ignorada activamente en todos los ensayos. De hecho, éste fue el principal objetivo del Estudio Experimental 2 de la presente Tesis (Megías y cols., 2020).

Para ello, empleamos una tarea de PN semántico similar a la usada previamente por Daza, Ortells, y Noguera, (2007; ver también Wang y cols., 2014; 2018). En cada ensayo, los participantes realizaban una tarea binaria de categorización semántica (animal vs. parte del cuerpo) ante una palabra target central, la cual era precedida por una única palabra prime, que en el 50% de los ensayos (relacionados) era un fuerte asociado de la misma categoría semántica que el target, mientras que en el 50% restante (ensayos no-relacionados) ambas palabras pertenecían a diferentes categorías.

Aunque empleamos el mismo valor de SOA prime-target que Ortells y cols. (600 ms), una segunda diferencia con este estudio, es que en nuestro experimento la palabra prime (que se presentaba siempre durante 33 ms) era seguida, o bien inmediatamente, o tras una demora de 314 ms, por una máscara de patrón (un conjunto aleatorio de consonantes), la cual permanecía en la pantalla hasta la presentación del target, con ambos tipos de enmascaramiento variando de forma aleatoria de ensayo a ensayo (ver Figura 18).

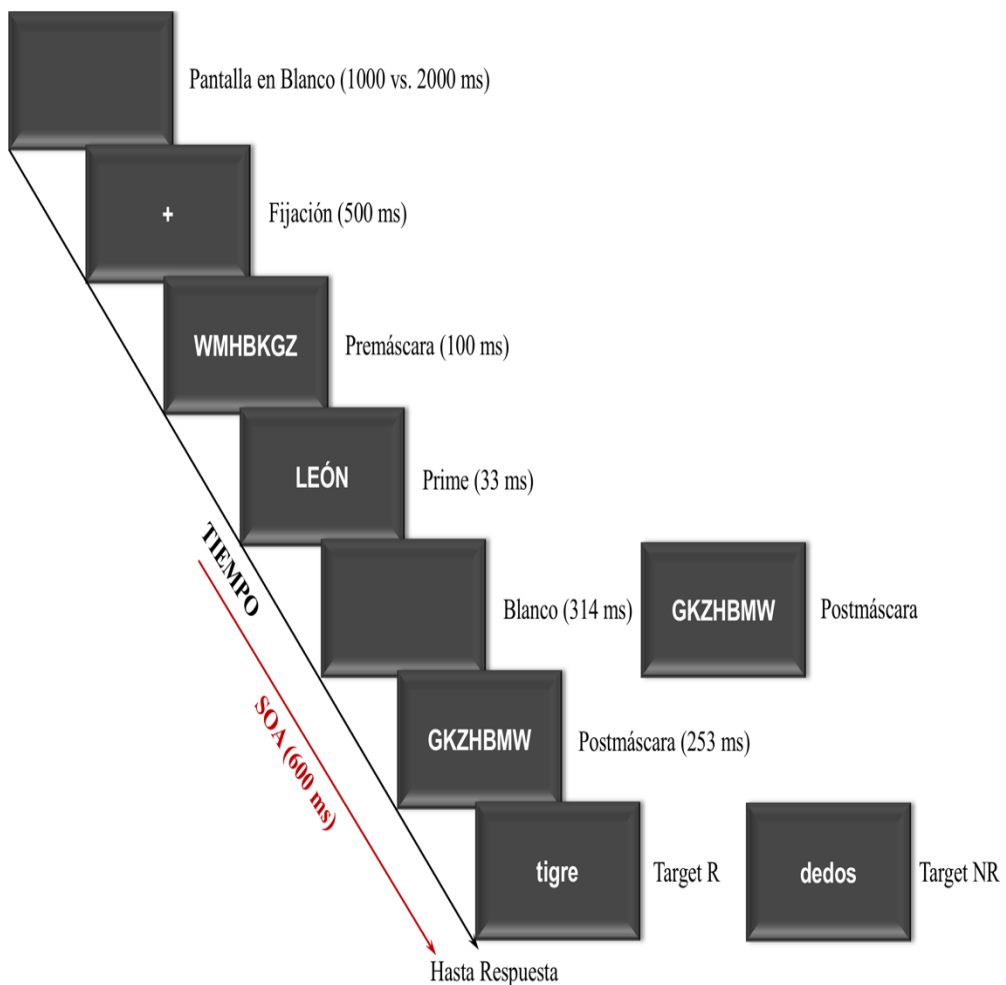


Figura 18. Secuencia de eventos en la tarea de PN semántico ante un único estímulo prime (R, Relacionado; NR, No-Relacionado).

Bajo condiciones similares de enmascaramiento, varios estudios previos han demostrado que una única palabra prime ignorada produce PN semántico sólo cuando se demora la presentación de la máscara (o la máscara inmediata no permanece continuamente en pantalla hasta la aparición del target). Por el contrario, el efecto de PN desaparece completamente (o se invierte en efecto facilitatorio), cuando la palabra prime ignorada es seguida inmediatamente por una máscara que permanece en la misma localización hasta la presentación del target (v.g., Daza y cols., 2007; Wang y cols., 2014; 2018; ver también Noguera y cols., 2007).

Cabe argumentar que la eliminación del efecto de PN reflejaría la ausencia de consciencia de la palabra prime, como consecuencia de la presentación de una máscara inmediata y persistente. Sin embargo, no está claro si la consciencia del prime constituye una condición necesaria para observar PN, pues algunos estudios recientes muestran efectos significativos de PN incluso cuando el prime ignorado se presenta por debajo del umbral objetivo de consciencia (v.g., Wang y cols., 2018; ver también Frings y Wentura, 2005; Milliken y cols., 1998; Neill y Kahan, 1999).

Una explicación más plausible de la eliminación del PN con una máscara inmediata, que además sería consistente con los modelos de inhibición atencional, ha sido propuesta recientemente por Wang y cols. (2014; 2018). Basándose en una idea originalmente desarrollada por Houghton, Tipper, Weaver, y Shore (1996), estos autores sugieren que la presencia de una máscara visual que persiste en la misma localización espacial en la que aparecerá el estímulo target, generaría un input perceptual continuo que interferiría con la implementación de la inhibición atencional inducida por la instrucción de ignorar, lo que explicaría la ausencia de PN bajo esta condición de enmascaramiento. Por el contrario, cuando se retrasa el inicio de dicha máscara visual, como ocurre en la condición de

enmascaramiento demorado, aquélla no impediría la puesta en marcha de mecanismos inhibitorios, por lo que una instrucción de ignorar podría generar un efecto significativo de PN (v.g., Houghton y cols., 1996; Wang y cols., 2014; 2018).

En base a estas consideraciones y en la medida en que la presencia de una máscara inmediata (y persistente) impide el desarrollo de procesos de inhibición atencional, lo que no ocurriría con una máscara demorada, la hipótesis de partida en nuestro experimento es que las diferencias individuales en la capacidad de MT deberían modular el PN bajo condiciones de enmascaramiento demorado, no así los efectos de priming que se observarían con la máscara inmediata. En esta última condición, la palabra prime ignorada debería producir un patrón conductual similar (ausencia de PN, o incluso un efecto opuesto de facilitación) en todos los participantes, con independencia de su capacidad de MT. Por el contrario, cuando el prime ignorado fuese seguido por una máscara demorada, sólo los individuos con elevada capacidad de MT mostrarían un efecto fiable de PN semántico, tal y como observaron Ortells y cols. (2016a).

3.2.2. Capacidad diferencial de MT y de control atencional

Para evaluar la capacidad de MT (y de control atencional) de los participantes en los Estudios Experimentales 2 y 3 de la presente Tesis, seguimos un procedimiento similar al de Ortells y cols. (2016a). Previamente a la tarea de PN semántico, una amplia muestra de participantes ($n > 200$) realizó una batería de pruebas computerizadas que incluía: (i) tareas complejas de amplitud de MT, que evalúan la capacidad de MT (a) verbal (AOSPAN; Unsworth y cols., 2005; Unsworth y cols., 2009) y (b) visuo-espacial (ASYMSPAN; Shah y Miyake, 1996; Unsworth y cols., 2009); y (ii) tareas que evalúan capacidad de control atencional inhibitorio, como (c) tarea Antisacada (Hutchison, 2007; Kane, Bleckley, Conway, y Engle, 2001;

Unsworth, Schrock, y Engle, 2004), y (d) una variante de la tarea Stroop (Hutchison, 2007; Kane y Engle, 2003), que requiere de monitorización y control atencional continuado (v.g., reducido número de estímulos-colores diferentes; menor proporción de ensayos incongruentes que congruentes).

(a) Tarea AOSPAN

La tarea compleja de amplitud de MT verbal (AOSPAN; Unsworth y cols., 2005; Unsworth y cols., 2009) requiere que los participantes resuelvan una serie de operaciones aritméticas sencillas mientras intentan recordar un conjunto variable de letras.

Esta tarea consta de tres fases, en cada una de las cuales se proporciona retroalimentación:

En la primera fase se presenta un conjunto aleatorio de letras consonantes (rango 2-7) en la pantalla del ordenador, y posteriormente, los participantes deben seleccionar con el ratón en una matriz de letras de 4 x 3 el orden correcto en el que fueron presentadas.

La segunda fase es precedida por una operación matemática simple [v.g., $(3 \times 1) - 1 = ?$], que permanece durante un tiempo en la pantalla, y tras ésta, se muestra un dígito (v.g., 2), y los participantes deben decidir si es la respuesta correcta o incorrecta a la operación aritmética presionando el recuadro correspondiente con el ratón (i.e., “V” si es correcta, y “F” si es incorrecta).

La tercera fase combina las dos anteriores, de modo que los participantes resuelven una operación matemática decidiendo si el dígito presentado es o no correcto, y a continuación, deben memorizar una letra. El número de combinaciones operación matemática-letra varía de tres a siete, realizándose tres series de cada longitud y aleatorizando el orden de presentación, a fin de impedir que pueda predecirse la longitud de la serie. Al

final, los participantes deben seleccionar sobre una matriz de 4 x 3 (F, H , J, K, L, N, P, Q, R, S, T, Y), todas las letras en el mismo orden en que fueron presentadas (ver Figura 19).

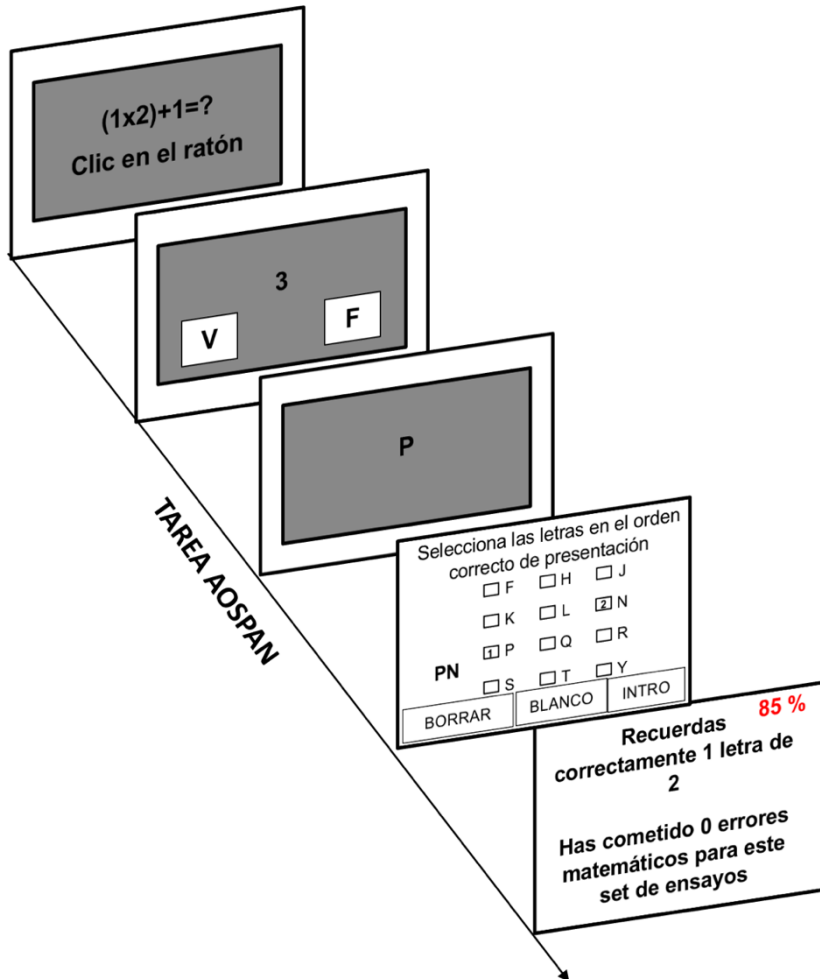


Figura 19. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea AOSPAN. Las primeras tres diapositivas muestran una secuencia de procesamiento y almacenamiento, y las dos últimas corresponden respectivamente a las pantallas de recuperación y retroalimentación.

Se animó a los participantes a poner el mismo énfasis tanto en el rendimiento matemático como en el recuerdo de las letras. No obstante, en la fase de operaciones aritméticas era preciso obtener al menos un 85% de verificaciones correctas en el total de ensayos.

La medida dependiente, o puntuación global de AOSPAN, es la suma de todas las letras recordadas en la fase 3 en su orden correcto de presentación (sin intrusiones). Por tanto, la puntuación total posible oscila entre 0 y 75, de manera que los participantes de nuestra muestra que obtuvieron una puntuación mayor o igual a 44 se clasificaron como individuos con alta capacidad de MT, mientras que aquéllos con una puntuación igual o inferior a 24, fueron considerados como individuos con baja capacidad de MT. Estos puntos de corte representan respectivamente los cuartiles superior e inferior (grupos extremos) de nuestra base de datos.

(b) Tarea ASYMSPAN

La tarea compleja de amplitud de MT visuo-espacial (ASYMSPAN; Shah y Miyake, 1996; Unsworth y cols., 2009) sigue un patrón similar al descrito para la tarea AOSPAN. Los participantes deben realizar juicios de simetría vertical sobre determinadas figuras geométricas mientras intentan recordar la ubicación exacta de algunos cuadrados que se iluminan en rojo en una matriz de 4 x 4 de cuadrados en blanco.

También consta de tres fases, en las que se proporciona retroalimentación:

En la primera fase un número aleatorio de cuadrados (rango 2-5) se ilumina en rojo, y posteriormente, los participantes deben seleccionar con el ratón los cuadrados rojos en el mismo orden en que se iluminaron en una matriz de 4 x 4 de cuadrados blancos.

La segunda fase es precedida por una figura geométrica que permanece durante un tiempo en pantalla, y tras ésta, se formula la siguiente pregunta “¿Es simétrica?”, y los participantes deben decidir sobre un eje vertical si es o no simétrica presionando el recuadro correspondiente con el ratón.

La tercera y última fase combina las dos anteriores, de modo que los participantes realizan un juicio de simetría vertical sobre una figura geométrica decidiendo si es o no simétrica, y a continuación, deben memorizar el cuadrado que se ilumina en rojo. El número de combinaciones juicio de simetría-cuadrado rojo varía de dos a cinco, realizándose tres series de cada longitud y aleatorizando el orden de presentación, para evitar que pueda predecirse la longitud de la serie. Al final, los participantes deben seleccionar en una matriz de 4 x 4, todos los cuadrados rojos en el mismo orden en que se iluminaron (ver Figura 20).

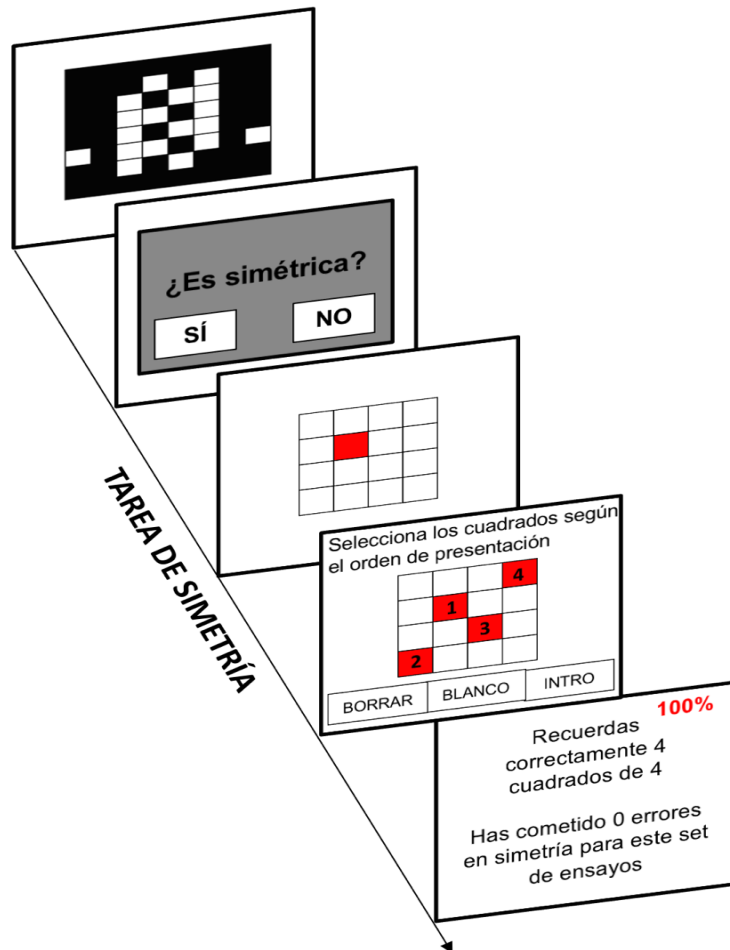


Figura 20. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea ASYMSPAN. Las primeras tres diapositivas muestran una secuencia de procesamiento y almacenamiento, y las dos últimas corresponden respectivamente a las pantallas de recuperación y retroalimentación.

Se animó a los participantes a poner el mismo énfasis tanto en el rendimiento en simetría como en el recuerdo de los cuadrados rojos. No obstante, en la fase de simetría era preciso obtener al menos un 85% de verificaciones correctas en el total de ensayos.

La puntuación global máxima en la tarea ASYMSPAN es de 42, lo que refleja el número total de cuadrados rojos recordados en la fase 3 en su orden correcto de presentación (sin intrusiones).

(c) Tarea Antisacada

En la tarea Antisacada (Hutchison, 2007; Kane y cols., 2001; Unsworth y cols., 2004), cada ensayo comienza con una pantalla en blanco (400 ms), seguida por una fijación (+) con una duración variable (1000 vs. 2000 ms). Posteriormente, aparece un asterisco (*) 3º a la izquierda o derecha de la fijación durante 300 ms (su ubicación varía aleatoriamente de ensayo a ensayo), seguido por el estímulo target (O o Q) que los participantes deben identificar, y por una máscara visual (###), que permanece en pantalla hasta respuesta. La tarea incluye dos bloques de ensayos diferentes (cuyo orden se contrabalancea a través de los participantes): en un bloque (prosacada) el target aparece durante 100 ms en el mismo campo visual que el asterisco, mientras que en otro bloque de ensayos (antisacada), los participantes deben apartar su mirada del asterisco para poder identificar el target en el campo visual opuesto antes de que éste desaparezca (ver Figura 21).

La orientación de la atención hacia el asterisco en el bloque de prosacada es más automática y menos dependiente del control ejecutivo que en el de antisacada. Por esta razón, el rendimiento diferencial entre los bloques de prosacada y antisacada puede proporcionar un índice adicional de control atencional. Si los participantes con menor capacidad de MT presentan también una capacidad reducida de control atencional, su desempeño podría ser mucho peor (en comparación con los de mayor capacidad de MT) en el

bloque antisacada que en el bloque prosacada (v.g., Noguera, Fernández, Álvarez, Carmona, Marí-Beffa, y Ortells, 2019; Ortells y cols., 2016a).

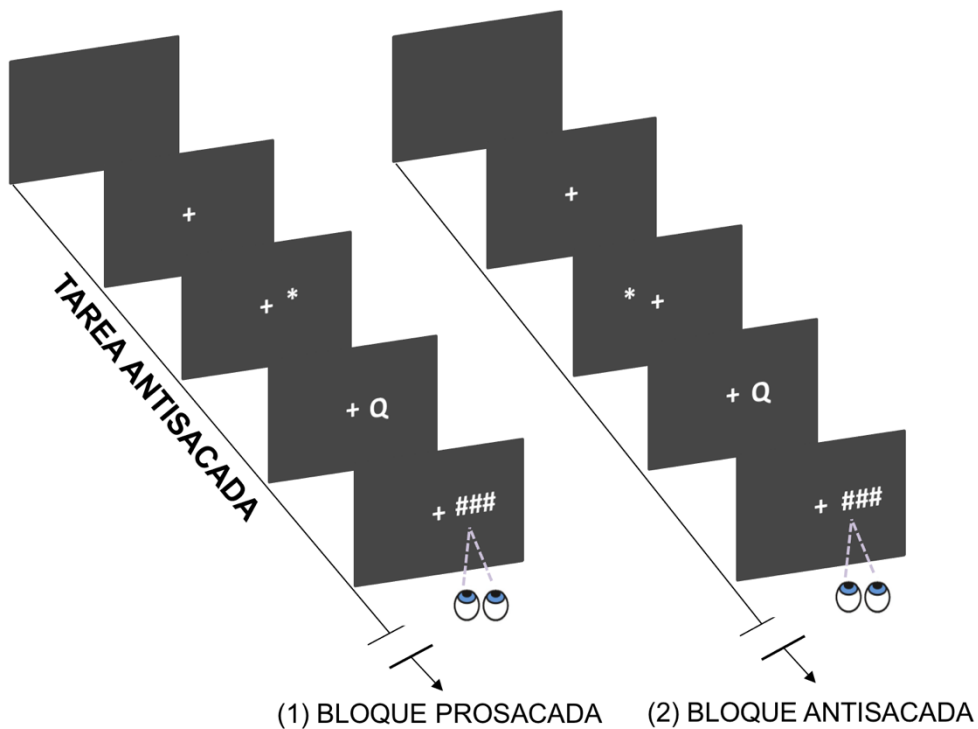


Figura 21. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea Antisacada, constituida por dos bloques experimentales: (1) Bloque Prosacada, en el que los participantes deben mirar hacia el mismo lado en el que aparece el asterisco, a fin de reconocer el target lo más rápidamente posible, y (2) Bloque Antisacada, en el que deben apartar su mirada del asterisco para poder identificar el target en el campo visual opuesto antes de que éste desaparezca.

(d) Tarea Stroop

Cada ensayo comienza con una pantalla en blanco de duración variable (400 vs. 1600 ms), seguida por un punto de fijación (+) durante 500 ms, y a continuación por la palabra target de color (v.g., AZUL, VERDE o ROJO), que permanece en pantalla hasta respuesta (ver Figura 22). Los participantes deben seleccionar con la mayor rapidez y precisión posible la tecla del ordenador que designa el color de la tinta en que está escrita una palabra central (v.g., AZUL, VERDE o ROJO), e ignorar su significado, el cual puede

hacer referencia al mismo color (congruente; **AZUL** en tinta azul), o a un color diferente (incongruente; **AZUL** en tinta verde). La versión de la tarea Stroop que empleamos en nuestra investigación incluía un mayor número de ensayos congruentes (42) que de incongruentes (18), con el fin de optimizar una monitorización y control atencional continuados que minimizara la comisión de errores. De hecho, las mayores diferencias en el rendimiento en la tarea Stroop entre individuos con alta vs. baja capacidad de MT se observan cuando existe un menor número de ensayos incongruentes (v.g., Hutchison, 2007; Kane y Engle, 2003).

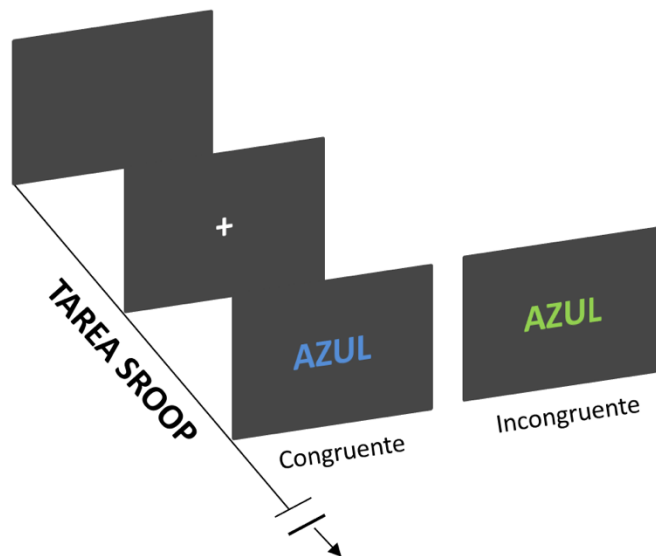


Figura 22. Ejemplo de captura de pantalla en Tarea Stroop, en la que un 70% de ensayos congruentes (v.g., la palabra azul presentada en azul) se combinó de forma aleatoria con un 30% de ensayos incongruentes (v.g., se muestra en verde la palabra azul).

3.2.3. Estudio Experimental 3

Junto a las convencionales medidas comportamentales (v.g., tiempos de reacción -TRs), la técnica de ERPs constituye una herramienta de investigación de gran utilidad, pues permite explorar los procesos neurocognitivos implicados en el PN (v.g., Hinojosa, Pozo, Méndez-Bértolo, y Luna, 2009). A pesar de ello, los intentos por examinar los correlatos

electrofisiológicos (ERPs) del PN han sido relativamente escasos, y con frecuencia han generado resultados difíciles de interpretar, o incluso contradictorios.

Distintos componentes ERPs han sido hasta la fecha asociados al efecto de PN. Por ejemplo, empleando diferentes variantes del paradigma de PN de identidad (o repetición), diversos estudios previos encuentran que el componente N200, que muchos interpretan como una manifestación de operaciones de control atencional inhibitorio (v.g., Kaiser, Weiss, Hill, Markela-Lerenc, Kiefer, y Weisbrod, 2006; Kiefer, Marzinzik, Weisbrod, Scherg, y Spitzer, 1998), suele mostrar un voltaje más negativo (o menos positivo) en la condición experimental de PN, en comparación a una condición control (v.g., Daurignac, Houdé, y Jouvent, 2006; Frings y Groh-Bordin, 2007; Hinojosa y cols., 2009). Sin embargo, la topografía del efecto N200 asociado al PN ha mostrado una elevada variabilidad. Mientras algunos estudios encuentran modulaciones principalmente en regiones frontales (v.g., Frings y Groh-Bordin, 2007; Gibbons, 2006), otros observan modulaciones en áreas más posteriores (v.g., Ruge y Naumann, 2006), o incluso una modulación N200 mucho más generalizada y distribuida (v.g., Daurignac y cols., 2006; Hinojosa y cols., 2009).

El efecto de PN también se ha asociado a modulaciones del componente tardío positivo (LPC), especialmente en regiones de electrodos parietales (v.g., Mayr, Niedeggen, Buchner, y Orgs, 2006; Mayr, Niedeggen, Buchner, y Pietrowsky, 2003; ver también Behrendt, Gibbons, Schrobsdorff, Ihrke, Herrmann, y Hasselhorn, 2010). No obstante, diferentes investigaciones encuentran modulaciones de signo opuesto en el componente LPC relacionado con el PN. Si bien algunos estudios observan una positividad reducida en el LPC asociada a la condición de PN, lo que se suele interpretar como favorable a modelos no-inhibitorios de recuperación

episódica de la memoria (v.g., Mayr y cols., 2003; 2006), otros encuentran que el componente LPC presenta un voltaje más positivo en la condición de PN que en la condición control (v.g., Behrendt y cols., 2010).

Con independencia de estas inconsistencias entre los resultados de diferentes estudios, es importante observar que la práctica totalidad de investigaciones que exploran correlatos ERPs del PN, emplearon distintas versiones del paradigma de PN de identidad. Hasta la fecha, sólo se ha publicado un trabajo que examina correlatos ERPs asociados al PN semántico, pero con resultados muy poco consistentes.

Es el caso del experimento que realizan Wagner y cols. (2006), en el que examinan los efectos de priming semántico (y de repetición) producidos por palabras atendidas e ignoradas tanto en pacientes con esquizofrenia como en adultos sanos. Las palabras atendidas produjeron un patrón similar de efectos ERPs de priming semántico (N400) en ambos grupos de participantes. Sin embargo, las palabras ignoradas también se asociaron con una modulación en el componente N400, pero únicamente en los controles sanos, no en los esquizofrénicos. Pero dicha modulación en las medidas ERPs no se asoció a ninguna modulación similar en las medidas de tiempo de reacción. Esto es, las palabras ignoradas no generaron ningún efecto conductual significativo de PN semántico en ninguno de los dos grupos de participantes (Wagner y cols., 2006; Tablas 3-4). Así, el efecto ERP N400 que mostró el grupo control en la condición de PN semántico, y que supuestamente indica un procesamiento semántico automático de las palabras ignoradas (aunque sólo en los adultos sanos), no apareció asociado a ningún tipo de efecto comportamental de PN semántico en las medidas de tiempo de reacción.

Tomando en cuenta todos estos argumentos, el principal objetivo del Estudio Experimental 3 de esta Tesis (Megías y cols., *Frontiers in Behavioral*

Neuroscience, en prensa), fue explorar (i) posibles correlatos electrofisiológicos (ERPs) del PN semántico ante palabras ignoradas, correlatos que estuvieran además funcionalmente asociados a medidas comportamentales de dicho efecto, y (ii) si las diferencias individuales en la capacidad de MT y/o el tipo de enmascaramiento podrían modular no sólo las medidas conductuales (v.g., TRs), sino también los correlatos ERPs del PN semántico.

Para lograr estos objetivos, registramos la actividad ERP de participantes con alta y baja capacidad de MT (de acuerdo a su rendimiento en una batería de pruebas de MT y de control atencional que ejecutaron previamente), mientras realizaban la misma tarea de PN semántico ante palabras ignoradas enmascaradas que empleamos en nuestro Estudio Experimental 2 (Megías y cols., 2020). No obstante, y con el fin de evitar posibles artefactos debidos a movimientos corporales que pudieran influir en la actividad ERP registrada, los participantes respondían al ET (animal vs. parte del cuerpo) utilizando los botones traseros de un mando de videojuegos (gamepad), en vez del teclado del ordenador (ver Figura 23).

En relación a los resultados conductuales, esperamos que las palabras ignoradas presentadas bajo condiciones de enmascaramiento inmediato vs. demorado, produzcan un patrón diferencial de efectos de priming semántico muy similar al del Estudio Experimental 2 (Megías y cols., 2020). Es decir, con una máscara inmediata que persiste hasta la presentación del target, no esperamos observar PN en ninguno de los dos grupos de participantes. Por el contrario, cuando se demora la aparición de la máscara, la palabra prime ignorada debería dar lugar a efectos significativos de PN semántico, pero únicamente en el grupo con mayor capacidad de MT.



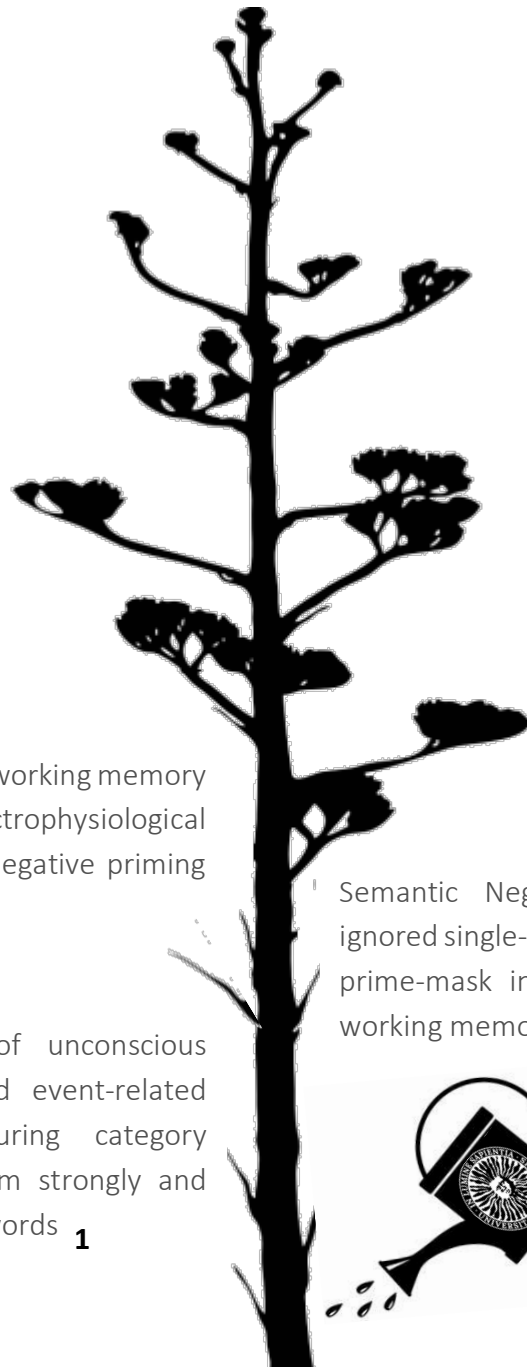
Figura 23. Adaptación de la Tarea de PN semántico para ser administrada mediante la técnica de potenciales evocados (i.e., sustitución del teclado del ordenador por una gamepad).

Respecto a los resultados electrofisiológicos, nuestras predicciones son menos claras, teniendo en cuenta que sólo existe un estudio previo que haya explorado correlatos ERPs del PN semántico. No obstante, esperamos que las diferencias individuales en la capacidad de MT produzcan también un patrón ERP diferencial de efectos de priming en función del tipo de enmascaramiento.

Aunque el efecto comportamental de PN ante un único prime ignorado suele estar ausente cuando se presenta una máscara inmediata (y

persistente), algunos trabajos previos han observado efectos de facilitación semántica bajo esta condición de enmascaramiento (v.g., Daza y cols., 2007). En consecuencia, es probable que en nuestro estudio la presencia de una máscara inmediata se asociara a una mayor negatividad en el componente ERP N400 ante una palabra target no-relacionada (en comparación con un target relacionado). En la medida en que esta modulación del N400 con una máscara inmediata refleja un procesamiento automático (más que controlado) del significado (v.g., Deacon y cols., 2000; Kiefer y Martens, 2010; Kiefer y Spitzer, 2000; Küper y Heil, 2009), entonces cabe esperar que dicho componente N400 sea muy similar para todos los participantes, con independencia de su capacidad de MT.

Sin embargo, esperamos encontrar un patrón muy diferente de resultados ERPs en la condición de enmascaramiento demorado. Asumiendo que la demora en la presentación de la máscara que sigue al prime no impide el desarrollo de procesos de control atencional inhibitorio inducidos por la instrucción de ignorar (v.g., Daza y cols., 2007; Wang y cols., 2014; 2018), entonces cabe esperar que las diferencias individuales en la capacidad de MT puedan modular algún componente ERP asociado al efecto de PN. No sería así implausible que en el grupo de participantes con mayor capacidad de MT, el efecto conductual de PN se asociara también a alguna modulación ERP, como por ejemplo, un voltaje menos positivo en el rango temporal del LPC en los ensayos relacionados (en comparación con los no-relacionados), como algunos estudios previos han observado empleando tareas de PN más convencionales (v.g., Mayr y cols., 2003; 2006).



Individual differences in working memory capacity modulate electrophysiological correlates of semantic negative priming from single words **3**

The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words **1**

Semantic Negative Priming from an ignored single-prime depends critically on prime-mask inter-stimulus interval and working memory capacity **2**

EXPERIMENTAL STUDIES

ABBREVIATIONS



ACC	Accuracy
ANCOVAS	Analysis of Covariance
ANOVAs	Analyses of Variance
AOSPAN	Automated Operation Span
AS	Associative Strength
ASYMSPAN	Automated Symmetry Span
cf	confer
cm	centimeters
dB	decibel
dfs	degrees of freedom
DR	Delayed Related
DUR	Delayed Unrelated
EEG	Electroencephalogram
e.g.	exempli gratia
ERP	Event-Related Potential
et al.	et alii (and others)
Exp.	Experiment
Exps	Experiments
Fam	Familiarity
fMRI	functional Magnetic Resonance Imaging
Hz	Hertz
ICA	Independent Component Analysis

i.e.	id est
IR	Immediate Related
ISI	Inter-Stimulus Interval
IUR	Immediate Unrelated
kΩ.	kilo ohms
LF	Lexical frequency
LPC	Late Positive Component
M	Mean
max.	maximum
min	minutes
min.	minimum
ms	milliseconds
NP	Negative Priming
ns	not significant
Ospan	Operation Span
PP	Positive Priming
R	Related
RT	Reaction Time
SD	Standard Deviation
SE	Standard Errors
SOA	Stimulus Onset Asynchrony
S-R	Stimulus-Response

SR	Strongly Related
ST	Strong
Typ	Typicality
UR	Unrelated
μV	microvolts
v.g.	verbi gratia
vs.	versus
WM	Working Memory
WMC	Working Memory Capacity
WE	Weak
WR	Weakly Related



EXPERIMENTAL STUDY 1



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Cognition

journal homepage: www.elsevier.com/locate/COGNIT



**THE SEMANTIC ORIGIN OF UNCONSCIOUS PRIMING:
BEHAVIORAL AND EVENT-RELATED POTENTIAL EVIDENCE
DURING CATEGORY CONGRUENCY PRIMING FROM STRONGLY
AND WEAKLY RELATED MASKED WORDS**

² Manuscript published as:

Ortells, J. J., Kiefer, M., Castillo, A., Megías, M., & Morillas, A. (2016). The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words. *Cognition*, *146*, 143–157. doi: 10.1016/j.cognition.2015.09.012

ABSTRACT

The mechanisms underlying masked congruency priming, semantic mechanisms such as semantic activation or non-semantic mechanisms, for example response activation, remain a matter of debate. In order to decide between these alternatives, reaction times (RTs) and event-related potentials (ERPs) were recorded in the present study, while participants performed a semantic categorization task on visible word targets that were preceded either 167 ms (Experiment 1) or 34 ms before (Experiment 2) by briefly presented (33 ms) novel (unpracticed) masked prime words. The primes and targets belonged to different categories (unrelated), or they were either strongly or weakly semantically related category co-exemplars. Behavioral (RT) and electrophysiological masked congruency priming effects were significantly greater for strongly related pairs than for weakly related pairs, indicating a semantic origin of effects. Priming in the latter condition was not statistically reliable. Furthermore, priming effects modulated the N400 event-related potential (ERP) component, an electrophysiological index of semantic processing, but not ERPs in the time range of the N200 component, associated with response conflict and visuo-motor response priming. The present results demonstrate that masked congruency priming from novel prime words also depends on semantic processing of the primes and is not exclusively driven by non-semantic mechanisms such as response activation.

Keywords: Unconscious category congruency priming, unconscious semantic processing, N400 priming effect, mechanisms of unconscious priming, prime-target semantic relatedness, visual masking.

1. Introduction

Masked congruency priming has become a well-established method to investigate the impact of unconsciously processed words on overt decisions and responses (e.g., Dehaene et al., 1998; Greenwald, Klinger, & Schuh, 1995; Kiefer, 2002; Klauer, Eder, Greenwald, & Abrams, 2007; for reviews, see Kouider & Dehaene, 2007; Van den Bussche, Van den Noortgate, & Reynvoet, 2009). In this paradigm, participants are asked to categorize visible targets words (for example, referring to an animal vs. a body part) that are preceded by briefly flashed, visually masked primes whose category (and/or response) is either congruent or incongruent with the target. The masks, typically visual patterns (e.g., random letter strings) presented before and/or after the prime word, prevent its conscious identification (e.g., Breitmeyer & Ögmen, 2006). A congruency priming effect occurs when target categorization on congruent trials (e.g., lion-dog) is faster and/or more accurate than on incongruent trials (hand-dog). Such priming has been described as unconscious in nature when subjects are phenomenally unaware of the masked primes and/or they cannot identify them in a separate test of prime visibility. Evidence for reproducible unconscious congruency priming has been accumulated across a variety of categorization tasks, such as positive vs. negative valence judgments (De Houwer, Hermans, Rothermund, & Wentura, 2002; Kiefer, Sim, & Wentura, 2015; Klauer et al., 2007; Naccache et al., 2005), number classification (Dehaene et al., 1998; Naccache & Dehaene, 2001a; 2001b), size discrimination (Kiesel, Kunde, Pohl, & Hoffmann, 2006), gender classification (Greenwald & Abrams, 2002; Klauer et al., 2007), and category classification (Forster, Mohan, & Hector, 2003; Ortells, Daza, & Fox, 2003; Ortells, Frings, & Plaza-Ayllón, 2012; Ortells, Vellido, Daza, & Noguera, 2006; Van den Bussche & Reynvoet, 2007).

Recently, however, the mechanisms underlying unconscious congruency priming from words have attracted considerable interest and debate (Kang, Blake, & Woodman, 2011; Kouider & Dehaene, 2007; Van den Bussche et al., 2009). One of the most straightforward ways to explain masked priming effects is that they reflect unconscious access to the meaning of the prime and automatic preactivation of the semantic target representation (e.g., Kiefer, 2002; Kiefer & Martens, 2010; Masson, 1995; Naccache et al., 2005). In addition to semantic preactivation, congruency priming might be based on the implicit application of task-control representations ('task sets') (Ansorge, Kunde, & Kiefer 2014; Kiefer et al., 2015; Klauer et al., 2007; Neumann, 1990) to the prime, whether consciously presented or subliminally, although it is not required by the task. According to this view, participants establish a task set on the grounds of the experimental instruction (e.g., "press left key in response to an animal, press right key in response to a body part"). If the prime matches this prepared task set, the task set is executed and the corresponding response is activated. Similar to the semantic activation account, the task set execution account of subliminal priming predicts priming also for unfamiliar, novel primes, which are not presented as targets. Unfamiliar primes can lead to task set execution, as long as they are sufficiently similar to the information specified in the task set. This includes at least a coarse semantic analysis of the prime stimulus, e.g. with regard to its category, in order to determine whether it is suited to execute the task set (Kiefer et al., 2015). Furthermore, the task set execution account of subliminal priming opens the room for attentional influences such as stimulus expectations or task sets, which determine whether an unfamiliar prime is able to elicit priming effects (Kiefer, Adams, & Zovko, 2012; Kiefer & Martens, 2010; Kiefer et al., 2015).

In contrast to these semantic accounts of priming, several findings have indicated that masked congruency priming effects could be caused rather by non-semantic processes such as direct stimulus-response associations (e.g., Klinger, Burton, & Pitts, 2000; see also De Houwer et al., 2002). Such non-semantic accounts, which have dominated research on category congruency priming for the last decade, are supported by several lines of evidence (for a discussion see Van den Bussche et al., 2009): On the one hand, many prior demonstrations of unconscious congruency priming have used a reduced stimulus-set with the undesirable consequence that the critical masked primes reappear as classified visible (conscious) targets in different trials (e.g., Dehaene et al., 1998; Draine & Greenwald, 1998; Greenwald, Draine, & Abrams, 1996). This repetition of items may allow the primes to be partially identified. Identification of isolated prime features (e.g., word fragments of one or more letters), could then aid the retrieval of its identity without accessing semantic information. Furthermore, the unconscious primes may activate the stimulus-response (S-R) links that were mapped and practiced with the conscious target stimuli (e.g., Damian, 2001; Neumann & Klotz, 1994), or even activate the practiced links between targets and a more abstract response-related representation, such as its response category (e.g., Abrams, Klinger, & Greenwald, 2002), curtailing the need for semantic processing of unconscious primes.

Another non-semantic account of unconscious congruency priming has been developed by Kunde, Kiesel, & Hoffmann (2003). These authors assume that following task instructions, participants intentionally prepare *action triggers* for the stimuli they expect to receive during the experiment. These action triggers create automatic associations between all expected stimuli and their appropriate responses. When a prime stimulus is included in the prepared action trigger set, it can automatically trigger the adequate

response and evoke priming without the need of undergoing semantic processing. Note that action triggers would be more readily applied when a small stimulus set and/or category (e.g., months; farm animals) is used. However, albeit that such a mechanism is reliant on the sustained expectancy of a number of individual instances, it seems unlikely (as acknowledged by Kunde et al., 2003) that subjects are able to form action triggers for all possible members of *large* task categories that usually include many perceptually dissimilar members (e.g., positive vs. negative words; animals vs. non-animals).

To decide between semantic and non-semantic interpretations, it should be considered whether subliminal stimuli that are never presented as targets (i.e., novel or unpracticed primes) induce reliable congruency priming. If unpracticed primes remain ineffective despite their fit to the current task instructions, congruency priming would be restricted to acquired S-R mappings. By using *pictures* as prime stimuli, several prior studies (e.g., Dell'Acqua & Grainger, 1999; Van den Bussche, Notebaert, & Reynvoet, 2009; see also Pohl, Kiesel, Kunde, & Hoffmann, 2010) have reported reliable semantic congruity effects from subliminal primes that were part of a large stimulus set and never appeared as targets during the experiment. These findings provide a clear-cut demonstration of unconscious congruency priming at the semantic level, as they cannot be explained in terms of prime-target orthographic overlap, action triggers or stimulus-response mappings. But as suggested by Kouider and Dehaene (2007; see also Kang et al., 2011), it remains possible that picture stimuli could have a more direct access to meaning representations, thus leading to stronger semantic effects under subliminal conditions as opposed to word stimuli.

Nevertheless, when prime stimuli consist of symbolic carriers instead, such as words, the evidence of unconscious congruency priming with novel

primes has been elusive thus far. An exception is the single category of number words, for which a convincing set of reports demonstrated unconscious semantic processing, including generalization to novel primes. For example, by using a number comparison task in which participants had to decide whether a visible target number (preceded by another invisible prime number) was larger or smaller than 5, Naccache and Dehaene (2001a) showed reliable response priming effects (i.e., faster responses when prime and target fell on the same side of 5 -congruent- than when they did not -incongruent trials-) even for *novel* prime stimuli that were never seen consciously, and for which no stimulus-response learning could conceivably occur. They also found an effect of semantic distance between prime and target, such that responses on congruent trials were gradually faster as the numerical distance between prime and target was smaller. In another study by Naccache and Dehaene (2001b), it was shown that subliminal number primes modulated fMRI activation in parietal areas known to be involved in semantic quantity processing, thus providing an even stronger empirical basis for unconscious semantic processing of numbers. It has been argued, however, that nonconscious access to quantity, the main semantic attribute of numbers, could be the single exception to a general principle stating that semantic representations are necessarily conscious (cf. Naccache et al., 2005, pp. 7713).

In clear contrast to the findings with number words, when unpracticed *nonnumeric words from large categories* are used as prime stimuli, unconscious congruency effects have often been weak and difficult to replicate (Abrams, 2008; Kiefer et al., 2015), with the observed priming effects being highly sensitive to minor procedural differences (e.g., target frequency, prime-target orthographic overlap, test power, type of masking or prime duration). Contradictory results have even been reported under very

similar task demands and stimulus presentation conditions (see, for example, the opposite pattern of results reported by Forster et al., 2003, and Van den Bussche & Reynvoet, 2007, both using animal targets).

A difference between masked congruency priming and the more conventional semantic priming paradigm within lexical decision or naming tasks (e.g., Neely, 1991), which could be relevant here, concerns semantic similarity or association strength between prime and target words. *Semantic similarity* (e.g., McRae & Boisvert, 1998) reflects the similarity in meaning or the overlap in feature descriptions of two words (e.g., *whale-dolphin*). *Association strength* is a normative description of the probability that one word will call to mind a second word (e.g., Postman & Keppel, 1970). Although the degree of semantic similarity and associative strength between two words do not necessarily covary together, highly associated items tend to share more or stronger semantic relations than weakly associated members (e.g., Hutchison, 2003; Hutchison, Balota, Cortese, & Watson, 2008; McNamara, 2005; but see Coane & Balota, 2011). Accordingly, the term *semantic relatedness* has frequently been used in a wide sense to refer to category co-exemplars that are both strongly associated and highly similar in semantic overlap.

This is the case in a standard semantic priming procedure, in which the semantically related trials usually consist of strongly associated and semantically similar word pairs. It is well documented that highly associated words from the same semantic category that also share a large semantic feature overlap (e.g., *cat-dog*; *bread-butter*) reliably prime each other in lexical decision, naming, and categorization tasks (Hutchison et al., 2008; McNamara, 2005). But the evidence for associative priming in the absence of semantic similarity is weaker by comparison (Lucas, 2000; but see Coane & Balota, 2011). Likewise, the evidence for “pure” semantic priming (i.e.,

defined only in terms of category co-membership) in the absence of associative relation is also weak (e.g., Abad, Noguera, & Ortells, 2003; Hutchison, 2003), and it is likely to mainly reflect task-dependent strategic processes such as the expectation of individual category members similar to the action triggers described earlier (Kunde et al., 2003). Consequently, *automatic* semantic priming (not modulated by strategies) seems to be due to both association strength and semantic feature overlap. But the very fact of being members of the same category does not seem to be enough to observe reliable automatic priming (Hutchison, 2003; see also McRae & Boisvert, 1998). It is quite possible that for pure category priming without semantic association, semantic distance between prime and target is too large (e.g., *trout-elephant*) despite shared category membership (e.g., animal).

In clear contrast to the semantic priming literature, congruency priming is normally manipulated by selecting primes and targets that share the same category, (congruent) or those that do not (incongruent), making it irrelevant whether these pairs are more or less associatively and/or semantically related. This practice implicitly assumes that a congruency priming effect mainly results from a competition between the prime and target categories, thus reflecting category or response congruity instead of semantic priming in the classic sense of spreading activation theories (e.g., Collins & Loftus, 1975). But in a vast majority of masked congruency priming studies, the pairs presented on congruent trials consist of a random mixture of more (e.g., *eagle-hawk*) and less related items in terms of associative norms and/or semantic feature overlap (e.g., *bull-fly*; *shark-donkey*; *ape-cat*; see, e.g., Van den Bussche & Reynvoet, 2007, Appendix B, p. 235).

Presenting either more or less closely related category members on congruent trials in a congruency priming experiment might not be an issue

when a *reduced stimulus set* is presented repeatedly, or even with unpracticed primes from *small* categories (e.g., months, numbers, or farm animals). Yet prime-target semantic relatedness could be *critical* when using a large set of unrepeated prime words from broader categories (e.g., animals).

Thus, it remains possible that prior congruency priming studies reporting null or inconsistent results with unpracticed prime words (i.e., not presented as targets), have used category exemplars that were not sufficiently strongly related (in terms of association strength and/or semantic similarity) to produce robust priming effects. In support of this argument, some recent studies have consistently demonstrated that stemming from the same semantic category as the target is not sufficient for a masked prime word to elicit reliable congruency priming effects (e.g., Ortells, Marí-Beffa, & Plaza-Ayllón, 2013; Van den Bussche, Smets, Sasanguie, & Reynvoet, 2012). For example, by using a masked congruency priming task Ortells et al. (2013) found reliable priming effects from unpracticed prime words, only when they were followed by strongly related, but not by weakly related targets. These findings are difficult to explain in terms other than a semantic processing of masked words, as both strongly and weakly related pairs did not differ in terms of either prime-target orthographic overlap, response congruency (e.g., Wentura, 2000), stimulus-response mappings, or action-triggers for semantic categories (Kiesel et al., 2006). In contrast, if priming were based on response activation bypassing semantic prime processing, equal priming for strongly and weakly related pairs would be expected.

It should be noted, however, that in the experiments by Ortells et al. (2013) prime-target semantic relatedness was manipulated across different block of trials. We consider it important to replicate the findings of Ortells et al. by using a congruency priming task in which strong and weakly related

pairs varied randomly from trial-to-trial within the experimental session. This was the first main goal of the present research.

A second main goal was to investigate whether semantic relatedness between prime and target words would significantly modulate not only behavioral effects (i.e., RTs) but also electrophysiological correlates (e.g., event-related potentials, ERPs) of nonconscious semantic processing. The major strength of the ERP method is the on-line analysis of brain processes during task performance with a temporal resolution in the range of milliseconds. ERPs have been applied to examine semantic processing in numerous studies.

The N400 ERP component, a negative potential deflection between 300 and 500 ms that peaks at about 400 ms after stimulus presentation at centroparietal electrode sites, has been widely used as an electrophysiological index of semantic processing at both the sentence and word level (Kutas & Hillyard, 1984; see Kutas & Federmeier, 2011 for a recent review). In semantic priming paradigms, N400 amplitude to targets is attenuated (i.e., less negative) for semantically related (congruent) prime-target combinations compared with unrelated or incongruent pairings. There is now compelling evidence that the N400 amplitude is modulated by both consciously and unconsciously perceived masked words (e.g., Deacon, Hewitt, Yang, & Nagata, 2000; Kiefer, 2002; Kiefer & Brendel, 2006; Kiefer & Martens, 2010; Kiefer & Spitzer, 2000; Küper & Heil, 2009; Rohaut et al., 2015). Although the negative deflection often temporally overlaps with a large positive component (late-positive complex) and does not necessarily appear as a negative potential in absolute terms, this phenomenon is known as the *N400 priming effect* (Bentin, McCarthy, & Wood, 1985; Kiefer, 2005; Kiefer, Weisbrod, Kern, Maier, & Spitzer, 1998). Intracranial ERP recordings (Nobre & McCarthy, 1995) and source analyses of scalp potentials (Kiefer,

Schuch, Schenck, & Fiedler, 2007) have implicated a region in the anterior-medial temporal lobe in generating the N400 ERP component.

The use of ERPs in the present experiments also allows us to investigate whether congruency priming effects could at least partly reflect response congruency (i.e., visuo-motor priming or action triggering). The processing of the response congruency relation between prime and target has been previously associated with the N200 ERP component, a negative deflection with a fronto-central distribution that peaks around 250-350 ms after stimulus presentation (e.g., Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, & Nieuwenhuis, 2004). The amplitude of the N200 component has been found to be more negative in incongruent (or incompatible) trials compared to congruent (or compatible) trials (e.g., Clayson & Larson, 2011; Wendt, & Luna-Rodríguez, 2009; see also Panadero, Castellanos, & Tudela, 2015). Furthermore, unconscious response priming has been shown to modulate occipito-parietal ERPs in the N200 time range, consistent with the notion of a rapid activation of visuo-motor representation within the dorsal visual pathway (e.g., Jaśkowski, Skalska, & Verleger, 2003; Martens, Ansorge, & Kiefer, 2011; Zovko, & Kiefer, 2013). To the extent that unconscious congruency effects in our research would depend on response priming bypassing semantic analysis, we expected to find a similar modulation of ERPs in the time range of the N200 for both strongly related and weakly related conditions (as compared to the unrelated trials), as both conditions would be response-congruent and hence, activate the same response type. By contrast, if the N400 priming effect can be an electrophysiological reflection of automatic activation in semantic networks, we then expected larger N400 priming effects to word targets preceded by strongly semantically related masked primes than to targets preceded by weakly related masked primes.

2. Experiment 1

Participants were asked to perform a semantic categorization task (animal vs. body part) on visible target words that were preceded by briefly presented (33 ms) prime words about which participants were not informed. The primes were preceded by a 100 ms pattern mask and also immediately followed by another 167 ms mask, thus resulting in a prime-target stimulus onset asynchrony (SOA) of 200 ms. The prime and target words belonged to different categories on 50% of trials (incongruent or unrelated trials), they were strongly semantically related members from the same category on 25% of trials (strongly related trials), and were weakly related co-exemplars on the remaining 25% (weakly related trials). This procedure is very similar to that used by Ortells et al. (2003, Experiment 3) but with two differences: First, prime-target semantic relatedness was manipulated in a within-participant design, such that strongly related, weakly related and unrelated prime-target pairs varied randomly from trial to trial. By adopting this procedure, we tried to prevent participants from using separate strategies for processing the strongly and weakly related word pairs. Second, whereas in the study by Ortells et al. (2013) only backward masking was used to render the prime words unidentifiable, in the present experiment the prime words were both preceded and followed by pattern masks, in an attempt to make prime masking more effective and to prevent all tested participants from consciously perceiving the primes. Note on this respect that the overall discrimination scores (i.e., d') for masked primes in a prime visibility test were clearly above chance performance in all the experiments by Ortells et al. (2013).

2.1. Method

2.1.1. Participants

Twenty-six healthy, right-handed, native Spanish speakers with normal or corrected-to-normal vision participated in the experiment. Data of four participants were excluded due to excessive EEG artifacts (> 60% of artifact trials; a minimum of 50% of artifact-free trials per condition was considered necessary for inclusion into the Grand Average), leaving 22 subjects for behavioral and ERP analysis (mean age 25.6; range 18-42; 15 females). All participants signed a written consent after the nature and the consequences of the experiment had been explained. The experiment was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

2.1.2. Materials

Stimulus delivery and response recordings were controlled by E-prime software (Psychology Software Tools Inc; www.pstnet.com/eprime). All stimuli were presented at the center of a cathode ray tube screen at a viewing distance of approximately 60 cm, and were displayed in white font against a black background on a computer monitor synchronous with the screen refresh rate (16.67 ms). Primes and targets words were, on average, five letters long (range 4-6) and subtended a visual angle of about 2.21° wide and 0.49° high. Random strings of seven white capital letters (e.g., MDGTKSN), subtending a visual angle of about 2.46° horizontally and 0.49° vertically, were used as forward and backward pattern-masks. Within each trial, different letter strings were used for the forward and backward masks.

The stimulus set was similar to that recently used by Ortells et al. (2013; Experiments 2-4). It consisted of 32 concrete and familiar Spanish nouns of 4-6 letters length (16 animals and 16 body-parts) selected from the intra-categorical associative norms published by Callejas, Correa, Lupiáñez, &

Tudela (2003). From that 32-word set, 16 were presented only as masked primes and the remaining 16 were presented only as visible targets (a different word set was presented during practice trials).

Primes and targets from each category were matched on *familiarity* (how often participants encountered instances or thought about a given concept; 1 = very unfamiliar; 5 = very familiar); *typicality* (how representative of its category participants thought an exemplar was; 1 = least typical; 5 = most typical), *lexical frequency* derived from Internet search hits (natural logarithm; min. = 2.83; max. = 17.31), *number of letters* and *syllables* in each word according to Spanish phonological rules. A summary of these variables for words from each semantic category (which were obtained from the Spanish norms published by Moreno-Martínez, Montoro, & Rodríguez-Rojo, 2014) is presented in Appendix A. Appendix B presents summary statistics (mean and standard deviation) for all the aforementioned variables for each animal and body part word.

The 16 prime-target pairs (8 from each category) presented on strongly-semantically related trials appeared as highly associated category members (i.e., the first ranked exemplar on forward direction) in the norms of Callejas et al. The 16 weakly related word pairs were created re-pairing the strongly related prime-target pairs within each category, such that the new pairs were semantically dissimilar members of the category (e.g., DOG-cow; HAND-head) and they did not appear as associatively related co-exemplars in the norms of Callejas et al. The 32 unrelated word pairs were created re-pairing the former prime and target words in a pseudorandom way, such that the 8 prime words from each semantic category were followed by two different target words belonging to the other semantic category. To minimize orthographic overlap between prime and target stimuli, neither related (strong or weak), nor unrelated trials contained any target word that shared

a first letter or a first (or last) syllable with their corresponding prime word (see Appendix C).

In the intra-categorical norms published by Callejas et al. (2003) participants received a set of words belonging to different semantic categories, being asked to generate the first word from the *same category* that came to mind after reading each of the items. Given these task instructions, it is very likely that associative strength in that study could also reflect semantic similarity in terms of feature overlap. In particular, category co-exemplars that were more strongly associated could also share a higher number of semantic features. To test this possibility and provide an additional objective dissociation between strong and weakly related items, both the related and unrelated word pairs were screened in a further similarity rating study. All the 64 prime-target pairs used in the experiment (16 strongly related and 16 weakly related co-exemplars, and 32 unrelated pairs from the different categories) were presented to a separate group of 100 participants, which rated the similarity of each prime-target pair (In terms of features in common, how similar are the things that these words refer to?) on a 7-point scale (1= not at all similar; 7 = highly similar). As predicted, strongly related pairs from each category showed much higher similarity ratings than weakly related pairs (see Appendix C). Overall mean ratings were reliably larger [$F(1,14) = 354.1$] for strongly related pairs ($M = 6.21$, $SD = 0.28$) than for weakly related ones ($M = 2.71$, $SD = 0.62$), and also reliably larger [$F(1,14) = 85.9$] for weakly related pairs than for unrelated word pairs belonging to different categories ($M = 1.48$, $SD = 0.23$). Planned comparisons showed a similar pattern of differential ratings for strongly and weakly related pairs of the two semantic categories: *Animals* (strong: $M = 6.12$, $SD = 0.22$; weak: $M = 2.46$, $SD = 0.61$; $F(1,7) = 232.8$); and *body-parts* (strong: $M = 6.30$, $SD = 0.32$; weak: $M = 2.96$, $SD = 0.55$; $F(1,7) = 778.4$).

2.1.3. Procedure

General task instructions were displayed on the monitor and also orally delivered. The timing of the events was as follows (see Figure 1): (1) blank screen presented for either 1600 ms or 2000 ms, with both durations varying randomly within the experiment; (2) Fixation display (+), presented for 500 ms; (3) forward mask (a random string of seven consonants) presented for 100 ms; (4) prime word, in uppercase, presented for 33.5 ms; (5) backward mask (a different random string of seven consonants), presented for 166.5 ms; (6) target word, in lowercase, presented until response.

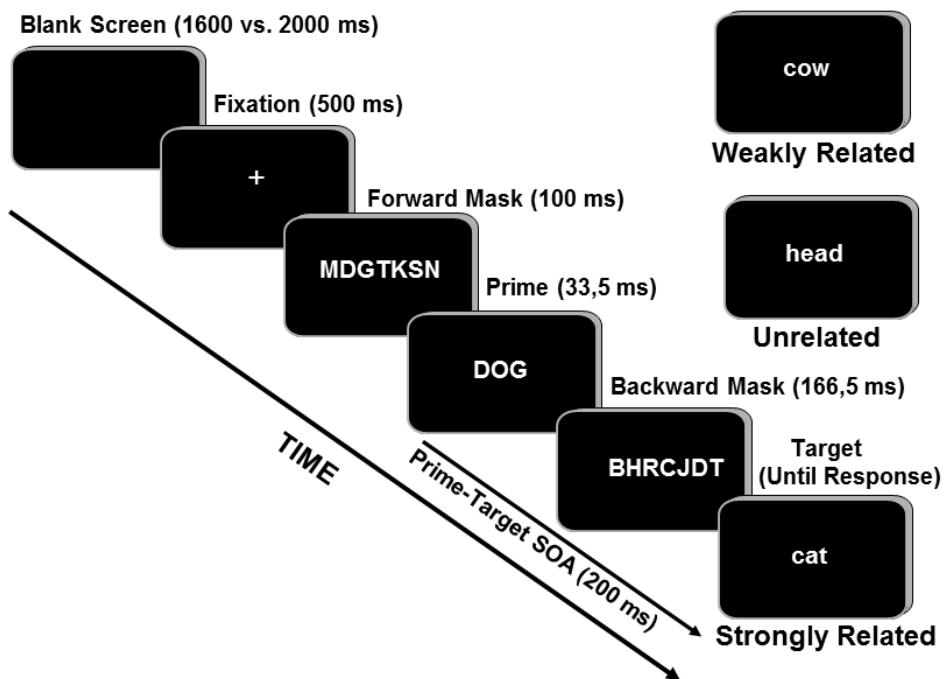


Figure 1. Sequence of events in Experiment 1. The word stimuli shown here for related and unrelated trials have been translated from Spanish to English. Stimuli are not drawn to scale.

Participants were told to decide as fast and as accurately as possible the semantic category (animal vs. body part) of the target word by pressing one of two backside buttons of a gamepad with their left and right index fingers, with the mapping between categories and response keys being counterbalanced across participants. Participants were not informed of the presence of the prime word between the masks.

Participants took part in a single session (lasting about 25 min) consisting of 32 practice trials followed by 256 experimental trials divided into 4 consecutive blocks of 64 trials each. Half of the trials within each block were unrelated (incongruent) trials, in which the prime and target words belonged to different semantic categories. The remaining trials were related (congruent) trials, in which the prime and target belonged to the same semantic category. Within the latter related trial-set, the prime-target pairs were strongly semantically related category members (e.g., COW-bull; HAND-finger) on 50% of trials, whereas they were weakly related co-exemplars (e.g., COW-frog; HAND-head) on the remaining 50% of trials. Within each block of 64 trials, each prime (and target) word from each category was thus presented four times: Once on strongly-semantically related trials, once on weakly related trials, and twice on unrelated trials. Trials of the different relatedness conditions (strongly related, weakly related, unrelated) within each block were presented in a randomized order. Prime words were never presented as visible targets.

After completing the priming task, participants were questioned about subjective awareness of the prime words between the masks. This was achieved by means of a Likert-style scale ranging from 1 (prime fully unconscious on all the priming trials) to 7 (prime fully conscious on all the trials; see Ruz, Madrid, Lupiáñez, & Tudela, 2003, for a similar procedure). None of 22 participants reported subjective awareness of the primes (mean

awareness rating = 1.32; range = 1-2). To obtain an objective measure of prime identification, participants performed thereafter a test on prime visibility that began with 16 practice trials followed by 128 experimental trials. Timing of events was identical to that of the priming task, with the only difference that participants were now instructed to categorize the masked prime (rather than the target). Instructions stressed accuracy over response speed. Participants were informed that the prime word could be either an animal or a body-part with an identical probability (.50). If they were unable to categorize the prime, they were forced to make the best guess (forced choice) without time limit.

2.1.4. EEG Recording and Analysis

Participants were seated in a comfortable chair in a dimly lit, electrically shielded room. Scalp voltages were continuously recorded from 29 active electrodes mounted in a cap (actiCAP, Brain Products, Munich, Germany) arranged according to the international 10-10 system. An electrode between Fpz and Fz was connected to the ground, and an electrode between Fz and Cz was used as recording reference. Vertical eye movements were monitored with supra and infraorbital electrodes. Two additional electrodes were attached over the left and right mastoids so that the ERP data could be off-line re-referenced to averaged mastoids. All EEG electrode impedances were maintained below 5 k Ω . Brain electrical signals were digitized with a sampling rate of 250 Hz (0.1-70 Hz band-pass, 50 Hz notch filter) by an AC-coupled amplifier (Brain Amp, Brain Products, Munich, Germany), digitally band-pass filtered (high cutoff: 25 Hz, 24 dB/octave attenuation; low cutoff: .2 Hz, 12 dB/octave attenuation), and segmented from 450 ms pretarget onset (150 ms before the forward mask onset) to 800 ms posttarget onset.

The EEG was corrected for ocular/blink artifacts using independent component analysis (ICA; Makeig, Bell, Jung, Ghahremani, & Sejnowski,

1997). Remaining ocular and muscular artifacts were rejected off-line in any EEG channel (maximum amplitude in the recording epoch $\pm 100 \mu\text{V}$; maximum difference between two consecutive sampling points $50 \mu\text{V}$; maximum difference of two values in the epoch $200 \mu\text{V}$; lowest allowed activity-change $0.5 \mu\text{V}$ in successive intervals of 100 ms) and were excluded from averaging. EEG data were corrected to a 150 ms baseline prior to the onset of the forward mask (i.e., the last 150 ms of the fixation screen). Finally, electrodes were re-referenced off-line to averaged mastoids. Artifact free EEG segments to trials with correct responses were averaged separately for the three prime-target relatedness conditions (with the mean percentage of EEG analyzable epochs per condition given in parentheses): strongly related (94.6%), weakly related (94.4%), and unrelated (94.3%). Fifteen electrodes of fronto-central and centro-parietal scalp regions, in which the N400 ERP component was usually largest (Kutas & Hillyard, 1984; see also Kiefer, 2002; Kiefer & Spitzer, 2000), were selected for statistical analyses (electrode sites: F3/F4, FC1/FC2, Fz, FCz, Cz, Pz, Oz, C3/C4, CP1/CP2, P3/P4).

Mean amplitudes in two-time windows, 250-350 ms posttarget onset for the N200, and 350-500 ms posttarget onset for the N400, were computed for each of those electrodes. Repeated measures $3 \times 3 \times 5$ ANOVAs were performed on each time window, treating Prime-Target Relatedness (strongly related, weakly related, unrelated), Laterality (left, mid, right) and Caudality (frontal, fronto-central, central, centro-parietal, parietal) as within-participant factors (p level of .05). The Geisser and Greenhouse (1959) correction was applied to all repeated measures with more than one degree of freedom, when appropriate. In order to quantify the time-course of priming effects for strongly and weakly related prime-target pairs in more detail, mean amplitudes in ten successive 50 ms epochs starting at target

onset (0 ms) and running through the end of the typical N400 window (500 ms) were also analyzed.

2.2. Results

2.2.1. Behavioral results

2.2.1.1. Priming task

Trials containing an incorrect response (2.4% of trials) or those with RTs falling more than 2.5 standard deviations from the overall mean RT (2.1% of trials) were removed from analyses. By-subject and by-item analyses of variance (ANOVAs) were performed on the trimmed data, with Trial Block (Blocks 1-4), and Prime-Target Relatedness (strongly related, weakly related, unrelated) as factors¹.

The analysis on RTs revealed a significant main effect of Trial Block ($F_s(3,63) = 7.98, p = 0.02, \eta^2 = 0.27$; $F_i(3,45) = 22.05, p < 0.001, \eta^2 = 0.59$), such that RTs were gradually faster across the block of trials (665, 633, 628, and 616 ms for Blocks 1 to 4, respectively). There was also a significant main effect of Prime-Target Semantic Relatedness ($F_s(2,42) = 5.89, p = 0.006, \eta^2 = 0.22$; $F_i(2,30) = 17.61, p < 0.001, \eta^2 = 0.54$), which did not interact with the Block factor. In fact, the main effect of Prime-Target Relatedness reached significance from the first Trial Block ($F_s(2,42) = 3.62, p = 0.036, \eta^2 = 0.15$; $F_i(2,30) = 6.79, p = 0.006, \eta^2 = 0.31$), thus suggesting that the observed priming effects were not compromised by stimulus repetition.

¹ In both Experiments 1 and 2, we also conducted a previous by-item ANOVA including Target Category (animal vs. body part) as a factor. Given this factor did not appear as a main effect or in a reliable interaction with any other variable in either Experiment 1 or Experiment 2, the data were averaged across the categories for further analyses.

Further contrasts indicated that the RTs to strongly related trials were significantly faster than RTs to unrelated trials (15 ms; $F_s(1,21) = 9.75, p = 0.005, \eta^2 = 0.30$; $F_i(1,15) = 33.96, p < 0.001, \eta^2 = 0.69$), and they were also faster than RTs to weakly related trials, with the difference between strong and weak associates being only marginally significant in the subject analysis ($F_s(1,21) = 4.14, p = 0.055, \eta^2 = 0.17$), but statistically significant in the item analysis ($F_i(1,15) = 16.30, p = 0.001, \eta^2 = 0.52$). By contrast, the RTs to weakly related trials were not statistically different from RTs to unrelated trials (7 ms; $F_s(1,21) = 2.5, p > 0.13$; $F_i < 1$) (see Figure 2, left panel).

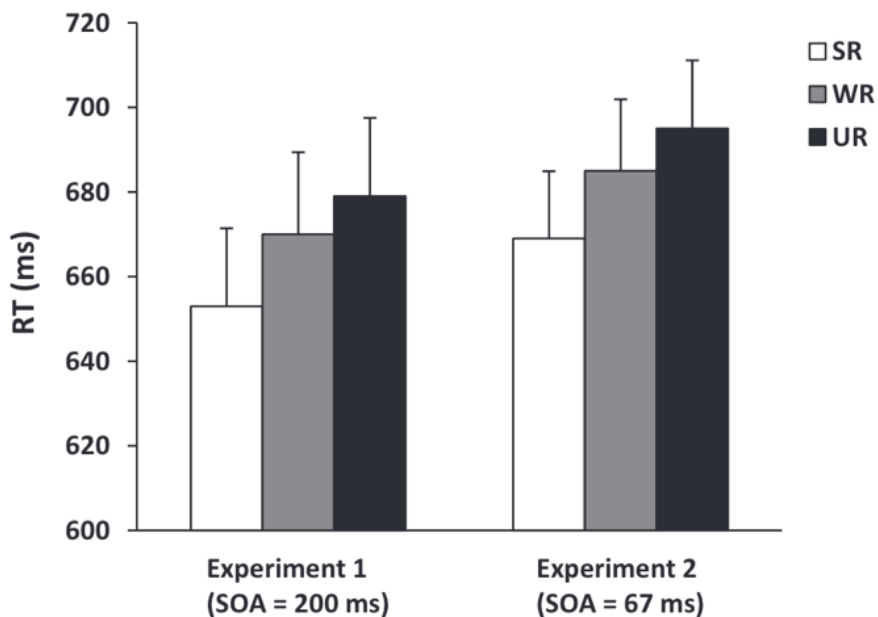


Figure 2. Mean reaction times to strongly related (SR), weakly related (WR) and unrelated (UR) prime-target pairs for Experiment 1 (prime-target SOA = 200 ms; $n = 22$) and Experiment 2 (prime-target SOA = 67 ms; $n = 22$). The vertical lines depict the standard error of means for each condition. Priming effects were statistically significant only for strongly, but not for weakly related prime-target pairs in the two Experiments.

There was also a reliable correlation across participants between priming effects produced by strongly related and weakly related prime-target pairs ($r = 0.59, p = 0.004$), thus indicating a high consistency in congruency

priming effects across participants. The same repeated-measures analysis performed on error rates revealed no significant effects (strongly related = 2.1%; weakly related = 2.7%; unrelated = 2.3%).

2.2.1.2. Prime Visibility test

Although all participants consistently claimed to be unaware of identity of the masked prime words in the priming task (i.e., a subjective measure of conscious awareness), we also obtained an objective measure of prime awareness (i.e., the observer's inability to discriminate between alternative stimulus states), by computing the signal detection measure d' for each participant in the prime visibility test. This was done treating one level of the prime category (e.g., animal) as signal and the other level (e.g., body part) as noise. Overall d' for discrimination for masked primes was .05 (mean hit rate = 50%, false alarm rate = 48%), which did not reliably deviate from zero ($t(21) = 1.6, p > 0.11$), thus suggesting that the masked primes were below both subjective and objective threshold for conscious awareness. In addition, the individual averaged d' values and the size of the priming effects did not correlate with each other (Strongly-related: $r = -.14, p = .52$; Weakly-related: $r = -.17, p = 0.43$), which suggests that the congruency priming effects observed in the priming task were not the result of participants' awareness of masked primes (this issue will be further discussed in Experiment 2).

2.2.2. Electrophysiological results

Plotted in Figure 3 are the averaged ERPs, time locked to the target onset for the strongly related, weakly related and unrelated conditions. As can be seen in the figure, through the early post-target time interval (0 to approximately 250 ms) the waveforms are remarkably similar for the related and unrelated conditions. In fact, no evidence of EEG priming effects (i.e., reliable differences in mean amplitudes between the unrelated and related

conditions) was found on the 50-250 posttarget epoch in neither this nor the next experiment.

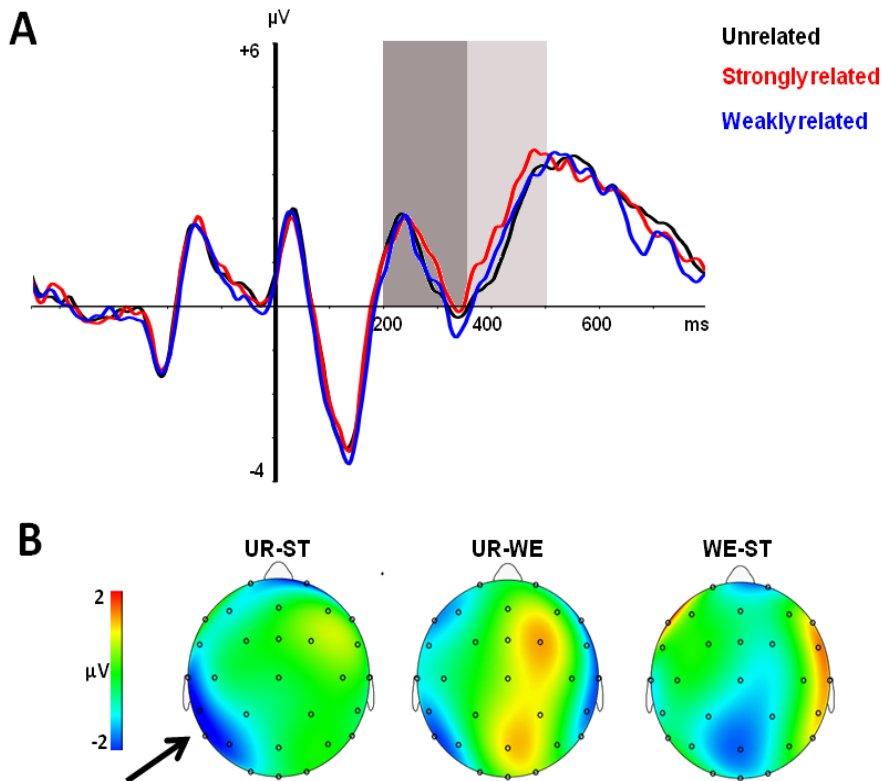


Figure 3. Experiment 1. (A) Grand-averaged voltage data as function of prime-target semantic relatedness (strongly related, weakly related, unrelated). As statistical analyses did not yield significant effects of the factors laterality and caudality, voltages were collapsed across fronto-central and centro-parietal electrode sites. In this and the upcoming figures, the analyzed epoch lasted from 450 before the onset of the target to 800 ms after target onset. Negative potentials are plotted downwards. Vertical gray shadings above the X-axes indicate the 200-350 ms (N200) and 350-500 ms (N400) time windows used for statistical analysis in this and the other ERP figures. (B) Topographic voltage maps across the 29 electrode sites, displaying the N400 priming effects, coded in color, averaged in the time window between 350 ms and 500 ms, in each relatedness condition. The small arrowhead towards the back of the voltage map highlights the posterior topography of the N400 effect. UR-ST, Unrelated minus strongly related conditions; UR-WE, Unrelated minus weakly related conditions; WE-ST, weakly related minus strongly related conditions.

2.2.2.1. 250-350 ms posttarget epoch (N200)

There were significant main effects for Laterality ($F(2,42) = 24.5, p < 0.001, \eta^2 = 0.54$), and Caudality ($F(4,84) = 4.66, p = 0.03, \eta^2 = 0.18$). The main effect of Prime-Target Semantic Relatedness did not reach statistical significance ($F(2,42) = 1.70, p > 0.20$) and this factor did not interact with any of the others.

2.2.2.2. 350-500 ms posttarget epoch (N400)

There were significant main effects for Laterality ($F(2,42) = 19.06, p < 0.001, \eta^2 = 0.48$), and Caudality ($F(4,84) = 7.76, p = 0.004, \eta^2 = 0.27$). The main effect of Prime-Target Semantic Relatedness was marginally significant ($F(2,42) = 2.96, p = 0.056, \eta^2 = 0.12$), while this latter factor did not interact with either Laterality or Caudality.

Further contrasts (see Figure 4) revealed a reliable N400 priming effect for strongly related targets ($F(1,21) = 5.37, p = 0.031, \eta^2 = 0.20$), which produced a larger positivity (mean = 2.184 μV , SD = ± 3.34) than unrelated targets (mean = 1.578 μV , SD = ± 2.78 ; see Figure 3), although the ERP differences between strongly and weakly related targets did not reach statistical significance ($F(1,21) = 2.74, p > 0.11, \eta^2 = 0.11$). By contrast, ERPs to unrelated targets did not statistically differ from those to weakly related targets (mean = 1.732 μV , SD = ± 3.33 ; $F < 1$; see Kutas, 1993, for a similar modulation by prime-target semantic relatedness on the N400 priming effects from consciously perceived prime words). Lastly, there was a significant correlation between N400 priming effects by strongly and weakly related pairs ($r = .568, p = .006$), again indicating a high consistency in ERP (N400) priming effects across participants.

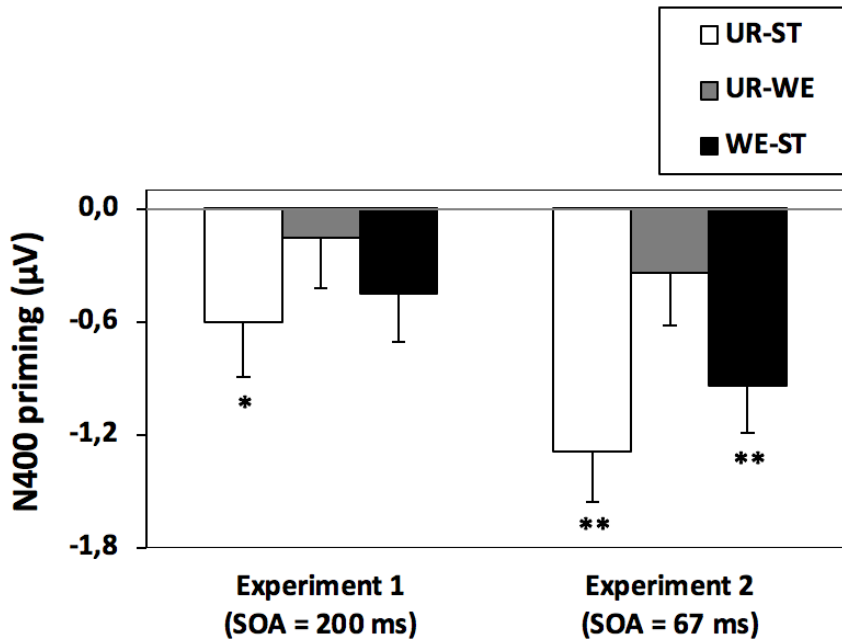


Figure 4. Magnitude of the N400 ERP priming effects in each relatedness condition for Experiments 1 and 2. Voltages were collapsed across fronto-central and centro-parietal electrode sites. Significant contrasts are highlighted by asterisks (* = $p < .05$; ** = $p < .01$). UR-ST, Unrelated minus strongly related conditions; UR-WE, Unrelated minus weakly related conditions; WE-ST, weakly related minus strongly related conditions.

2.2.2.3. Time-course analyses

To better characterize the temporal profile of the above effects, we also performed a series of time course analyses on the ERP data in ten consecutive latency bins starting at target onset and going until 500 ms for both strongly related and weakly related word pairs. Because statistical analyses yield that Prime-Target Relatedness did not interact with either Laterality or Caudality, voltages were collapsed across the fifteen fronto-central and centro-parietal electrode sites. As can be seen in Table 1, the effects of priming for strongly related pairs were significant at 350-400 ms and 400-450 ms epochs and marginally significant at 450-500 ms epoch, with weakly related words yielding no reliable ERP priming effect at any epoch. The

voltage differences between strongly related and weakly related words were only marginally significant at 350-400 ms and 400-450 ms epochs.

Table 1. Time-course analyses of the ERP priming (unrelated minus related) effects for consecutive 50 ms time windows in Experiments 1 (prime-target SOA = 200 ms) and 2 (prime-target SOA = 67 ms).

Experiment 1					
	0-50 ms	50-100 ms	100-150 ms	150-200 ms	200-250 ms
Weak-Unrelated	ns	ns	ns	ns	ns
Strong-Unrelated	ns	ns	ns	ns	ns
Strong-Weak	ns	ns	ns	ns	ns
	250-300 ms	300-350 ms	350-400 ms	400-450 ms	450-500 ms
Weak-Unrelated	ns	ns	ns	ns	ns
Strong-Unrelated	ns	ns	*	*	(*)
Strong-Weak	ns	ns	(*)	ns	(*)
Experiment 2					
	0-50 ms	50-100 ms	100-150 ms	150-200 ms	200-250 ms
Weak-Unrelated	ns	ns	ns	ns	ns
Strong-Unrelated	ns	ns	ns	ns	ns
Strong-Weak	ns	ns	ns	ns	ns
	250-300 ms	300-350 ms	350-400 ms	400-450 ms	450-500 ms
Weak-Unrelated	ns	ns	ns	ns	ns
Strong-Unrelated	ns	ns	*	**	**
Strong-Weak	ns	ns	*	**	**

ns = $p > .1$; (*) = $p < .1$; * = $p < .05$; ** = $p < .01$.

2.3. Discussion

There were two main findings in the present experiment. First, our behavioral results replicate those recently reported by Ortells et al. (2013) in showing reliable unconscious congruency priming for strongly, but not for weakly semantically related prime-target pairs. But unlike Ortells et al., the different relatedness conditions were randomly mixed within a session rather than blocked across sessions. Consequently, the different priming effects observed for strong and weakly related co-exemplars could not reflect different processing strategies for the different conditions. If congruency priming in our task would mainly arise from response congruency between prime and target words, as predicted by a response priming account of congruency priming (e.g., Forster, 2004; Wentura, 2000), then there should not be any difference between strongly related and weakly related pairs, as both conditions are identical in terms of S-R category congruency. But in contrast, priming for strongly related pairs was significantly greater than for weakly related pairs, a finding difficult to explain in terms other than a semantic processing of masked prime words.

We also found that behavioral priming effects did not reliably correlate with participants' performance in the prime visibility task. The lack of relation between both measures is common in the unconscious priming literature (e.g., Damian, 2001; Kiefer, 2002; Kiesel, Kunde, Pohl, & Hoffmann, 2006; Van den Bussche & Reynvoet, 2007). Such a finding could partly reflect small reliability in either task due to, for example, high individual differences in baseline RTs (e.g., Hutchison et al., 2008). Some researchers have even suggested that semantic priming effects under automatic conditions (e.g., prime masking; short prime-target SOA) could be noisy and variable, perhaps reflecting inherently uncoordinated, rather than coherent, activity in participants' semantic memory (e.g., Stolz, Besner, & Carr, 2005). But this

does not appear to be the case in our study, because there was a reliable correlation across participants between unconscious priming effects produced by strongly related and weakly related words ($r = 0.59$, $p = 0.004$). The latter result demonstrates that there was indeed some predictable variability in unconscious congruency priming within each individual even under conditions promoting automatic processing of primes.

A second relevant finding in this experiment is that unconscious semantic brain activation, as indexed by the N400 ERP component, was also modulated by prime-target semantic relatedness. The N400 priming effect was mainly observed when the masked prime words were followed by strongly related word targets, which produced the most positive-going ERPs, with ERPs to weakly related targets being not reliably different from those to the unrelated targets. As congruency modulated the N400 ERP component, an index for semantic processing, and not ERPs in the time range of the N200 component, an index for response conflict and visuo-motor response priming (e.g., Jaśkowski et al., 2003; Martens et al., 2011; Ridderinkhof et al., 2004; Zovko, & Kiefer, 2013), the present results indicate that congruency effects also depend on semantic processing and are not exclusively the result of response activation.

Nevertheless, the observed N400 priming effects with strongly related targets (i.e., unrelated minus strongly related targets = $-0.66 \mu\text{V}$) were of a smaller size than those reported by some prior masked priming studies (e.g., Kiefer & Spitzer, 2000; Kiefer, 2002; Kiefer & Martens, 2010). In fact, the overall main effect of Prime-Target Semantic Relatedness was only marginally significant, and that the ERPs to strongly related targets did not significantly differ from those to weakly related targets (see Figure 4). Some previous ERP studies have demonstrated that obtaining reliable N400 unconscious priming depends critically on the use of very short prime-target SOAs ($< 100 \text{ ms}$). For

example, by manipulating the prime-target SOA (67 ms vs. 200 ms) in a semantic priming task, Kiefer and Spitzer (2000) reported reliable behavioral priming effects from conscious and unconsciously perceived prime words at the two SOA intervals. Interestingly, a different time course of ERP effects was observed from conscious and unconscious priming: Visible primes produced a significant N400 priming effect that increased with the duration of SOA. By contrast, unconscious priming on the centro-parietal N400 ERP component decayed rapidly, with a significant N400 priming effect being observed at the shortest 67-ms SOA (see also Kiefer, 2002; Kiefer & Martens, 2010), but not at the longest 200-ms SOA. It remains thus possible that a prime-target SOA of 200 ms, which has traditionally been viewed as a relatively short interval in behavior priming research, could actually be a too long-time interval to observe reliable and robust N400 ERP priming from unconsciously perceived prime words, particularly in the weakly related condition.

Furthermore, prior behavioral research addressing unconscious congruency priming has generally used prime-target SOA intervals that were shorter (i.e., 100 ms or less; see for example, Abrams, 2008; Kiefer et al., 2015; Klauer et al., 2007; Van den Bussche & Reynvoet, 2007; Van den Bussche et al., 2012) than the 200-ms SOA used in our Experiment. One could argue that priming effects from weakly related pairs could be more short-lived than those observed with strongly related ones, thus explaining why the unconscious behavioral priming effects from the former pairs at 200-ms SOA were much smaller than those found with strongly related co-exemplars. In order to address these issues, we conducted a further experiment in which the prime-target SOA was reduced to 67 ms.

3. Experiment 2

In this experiment we used the same procedure as that in Experiment 1, the only difference being that the prime-target SOA was reduced from 200 ms to 67 ms.

3.1. Method

3.1.1. Participants

Twenty-eight healthy, right-handed, native Spanish speakers with normal or corrected-to-normal vision participated in the experiment. Data of one participant were excluded from analysis because their identification rate clearly exceeded the confidence interval of chance performance in the masked prime visibility test (accuracy greater than 65%). Data from five further participants had to also be discarded due to an excessive amount of ERP artifacts (> 60% of artifact trials), leaving 22 subjects for behavioral and ERP analysis (mean age 21.6; range 18-26; 12 females). All participants signed a written consent after the nature and the consequences of the experiment had been explained. The experiment was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

3.1.2. Materials and Procedure

These were the same as in Experiment 1 except that the backward mask immediately following the prime offset was presented for 33.5 ms (rather than for 166.5 ms, as in Experiment 1), thus resulting in a prime-target SOA of 67 ms.

3.1.3. EEG Recording and Analysis

These were similar to those in Experiment 1. The EEG was again corrected for ocular artifact/blink contributions using independent component analysis (ICA). Artifact free EEG segments to trials with correct

responses were averaged separately for the three prime-target relatedness conditions (with the mean percentage of valid trials per condition given in parentheses): strongly related (87.8%), weakly related (87.9%), and unrelated (88.3%). Mean voltages in the N200 and N400 time windows (250-350 ms and 350-500 ms posttarget onset, respectively) were computed for each of the same fifteen electrode sites as in Experiment 1 (i.e., F3/F4, FC1/FC2, Fz, FCz, Cz, Pz, Oz, C3/C4, CP1/CP2, P3/P4). Repeated measures 3 x 3 x 5 ANOVAs were performed on each time window with Prime-Target Relatedness (strongly related, weakly related, unrelated), Laterality (left, mid, right) and Caudality (frontal, fronto-central, central, centro-parietal, parietal) as within-participant factors (p level of .05).

3.2. Results

3.2.1. Behavioral results

3.2.1.1. Priming task

Trials containing an incorrect response (3.3% of trials) or those with RTs falling more than 2.5 standard deviations from the overall mean RT (3.1% of trials) were removed from analyses. By-subject and by-item ANOVAs were performed on the trimmed data, with Trial Block (Blocks 1-4), and Prime-Target Relatedness (strongly related, weakly related, unrelated) as factors. Mean RTs and mean error rates as a function of Prime-Target Relatedness are shown in Figure 2.

No reliable effects were found in the analysis of error rates (strongly related = 3.1%; weakly related = 3.9%; unrelated = 3.9%). In the analysis of RTs, there was a significant main effect of Trial Block ($F_s(3,63) = 3.42, p = 0.048, \eta^2 = 0.14; F_i(3,45) = 7.81, p < 0.001, \eta^2 = 0.34$), such that slower RTs were observed in the first Block (707 ms) as compared to RTs in Blocks 2 to 4 (670, 674 and 679 ms, respectively). There was also a significant main effect

of Prime-Target Relatedness ($F_s(2,42) = 15.53, p = 0.001, \eta^2 = 0.42; F_i(2,30) = 10.63, p = 0.001, \eta^2 = 0.41$), which did not interact with the Block factor. As in Experiment 1, the main effect of Prime-Target Relatedness was already significant in the first Trial Block ($F_s(2,42) = 4.93, p = 0.016, \eta^2 = 0.19; F_i(2,30) = 3.9, p = 0.043, \eta^2 = 0.20$), again suggesting that obtaining reliable congruency priming in our task did not depend on stimulus repetition.

Further contrasts indicated that RTs to strongly related trials were significantly faster than RTs to both unrelated trials (25 ms; $F_s(1,21) = 29.96, p = 0.001, \eta^2 = 0.59; F_i(1,15) = 27.37, p < 0.001, \eta^2 = 0.65$), and to weakly related trials ($F_s(1,21) = 14.26, p = 0.001, \eta^2 = 0.40; F_i(1,15) = 14.46, p = 0.002, \eta^2 = 0.49$; see Figure 2, right panel). By contrast, the RT differences between unrelated and weakly related trials were only marginally significant in the subject analysis (10 ms; $F_s(1,21) = 3.99, p = 0.06, \eta^2 = 0.16$), but not in the item analysis ($F_i < 1$). As in Experiment 1, there was a significant correlation between priming effects by strong and weakly related pairs ($r = .645, p = .001$), again indicating a high consistency in congruency priming effects across participants.

3.2.1.2. Prime Visibility test

Overall discrimination for primes was $d' = .35$ (mean hit rate = 57%, false alarm rate = 43%) that significantly deviated from zero ($t(21) = 3.11, p = .005$). Yet, this above-chance performance in the visibility test does not necessarily reveal conscious perception of the masked primes. As in Experiment 1, all participants reported subjective invisibility of the masked primes both within the main experiment and the visibility test. Additionally, the individual d' values and the magnitude of the priming effects from strong and weak associates did not reliably correlate with each other (strongly related: $r = .32, p = .14$; weakly related: $r = .02, p = 0.93$), indicating again that

the observed priming effects were unrelated to participants' identification measures of the masked primes.

Despite the lack of a relation between priming effects and prime visibility measures, priming effects have frequently been regressed on prime visibility indexes in order to test whether the regression y-intercept is significantly larger than zero (e.g., Greenwald et al., 1996; Kiefer, 2002; Klauer et al., 2007; Naccache & Dehaene, 2001a; Van den Bussche & Reynvoet, 2007). A regression y-intercept larger than zero provides an estimate of priming at zero prime visibility ($d' = 0$), i.e., when performance in the visibility test is at chance. The linear regression method has the advantage of not relying on the acceptance of the null hypothesis of *zero* prime visibility in testing for priming effects in the absence of prime awareness (e.g., Greenwald et al., 1996). Yet, the regression method is clearly valid when the direct (d') and indirect (priming) measures are related, but not when they are unrelated. In the absence of a reliable correlation between direct and indirect measures, the regression intercept index might simply reveal the overall mean sensitivity of the indirect measure (i.e., the mean priming effect; Doshier, 1998; Merikle & Reingold, 1998; Snodgrass & Shevrin, 2006). Despite these limitations due to a missing correlation between the magnitude of priming effects and visibility, we determined the regression intercepts and found an intercept significantly larger than zero only for strongly related primes².

² We also conducted regression analyses in which both behavioral (RT differences) and ERP (voltage differences) priming effects were regressed on the prime visibility index (d'). A similar result pattern was found for both RT and ERP priming measures, with the regression y-intercept being significantly greater than zero for strongly related, but not for weakly related primes in both Experiment 1 [RT priming: strong = 15 ms; $t(21) = 3.12$, $p = .005$; weak = 7 ms; $t(21) = 1.7$, $p > .10$; ERP priming: strong = $-.624 \mu\text{V}$; $t(21) = 2.33$, $p = .05$; weak = $-.197 \mu\text{V}$; $t(21) < 1$], and Experiment 2 [RT priming: strong = 20 ms; $t(21) = 3.80$, $p = .001$; weak = 9

ms; $t(21) = 1.5$, $p > .13$; ERP priming: strong = $-0.897 \mu\text{V}$; $t(21) = 2.74$, $p = .013$; weak = $-0.225 \mu\text{V}$; $t(21) < 1$]. But as the correlations between the indirect (priming) and direct (d') measures were not significant in either Experiment, we did not include these data in the Results sections.

In order to further test whether residual prime visibility affected the results, we applied an alternative strategy of splitting observers into two different groups based on their performance in the prime visibility test (see Ortells et al., 2013, for a similar strategy). Participants with an overall null or negative d' score in the prime visibility test ($n = 13$) were assigned to a “lower discrimination” group. The remaining participants ($n = 9$) were assigned to a second “higher discrimination” group. Whereas the latter showed a d' mean of .80 that was reliably above chance ($t(8) = 10.20$, $p = .04$), the former group showed a d' mean of .04 that did not reliably differ from zero ($t(12) = 1.54$, $p = .15$). It is crucially significant that both groups showed a similar priming pattern (i.e., the interaction between visibility group and priming was not significant, $F < 1$; see Figure 5), namely, reliable priming effects were found for participants that performed above chance in the visibility test [strong = +31 ms; $F_s(1,8) = 16.7$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.68$; $F_i(1,15) = 6.24$, $p = 0.025$, $\eta^2 = 0.29$; weak = +14 ms; $F_s(1,8) = 3.64$, $p = 0.09$, $\eta^2 = 0.13$; $F_i(1,15) = 1.15$, $p > 0.29$], and, more critical for our study, for those participants that did not discriminate the primes better than chance [strong = +21 ms; $F_s(1,12) = 13.96$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.54$; $F_i(1,15) = 8.59$, $p = 0.010$, $\eta^2 = 0.36$; weak = +7 ms; $F_s(1,12) = 1.05$, $p = 0.32$; $F_i < 1$]. These latter results provide strong evidence that masked priming effects in our experiment did not depend on potentially residual prime visibility.

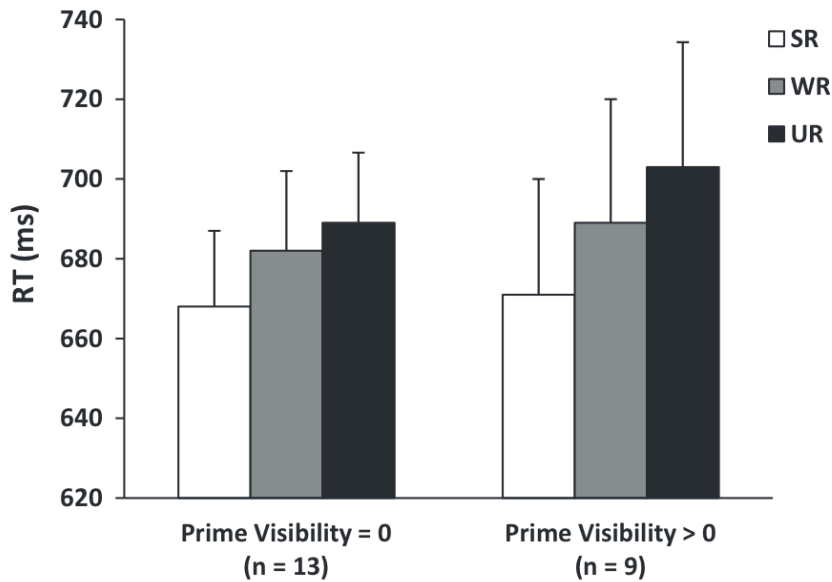


Figure 5. Mean reaction times to strongly related (SR), weakly related (WR) and unrelated (UR) prime-target pairs in Experiment 2, for both participants performing at chance ($n = 13$) and above chance ($n = 9$) in the prime visibility test. The vertical lines depict the standard error of means for each condition. Priming effects were significant only for strongly related prime-target pairs but not for weakly related prime-target pairs in both participants subgroups.

3.2.2. Electrophysiological results

Plotted in Figure 6 are the averaged ERPs (collapsed across the same fifteen fronto-central and centro-parietal electrodes sites as those in Experiment 1), time locked to the target onset for the strongly related, weakly related, and unrelated conditions.

As can be seen in the figure, through the early post-target time interval (0 to approximately 250 ms) the waveforms are remarkably similar for the related and unrelated conditions.

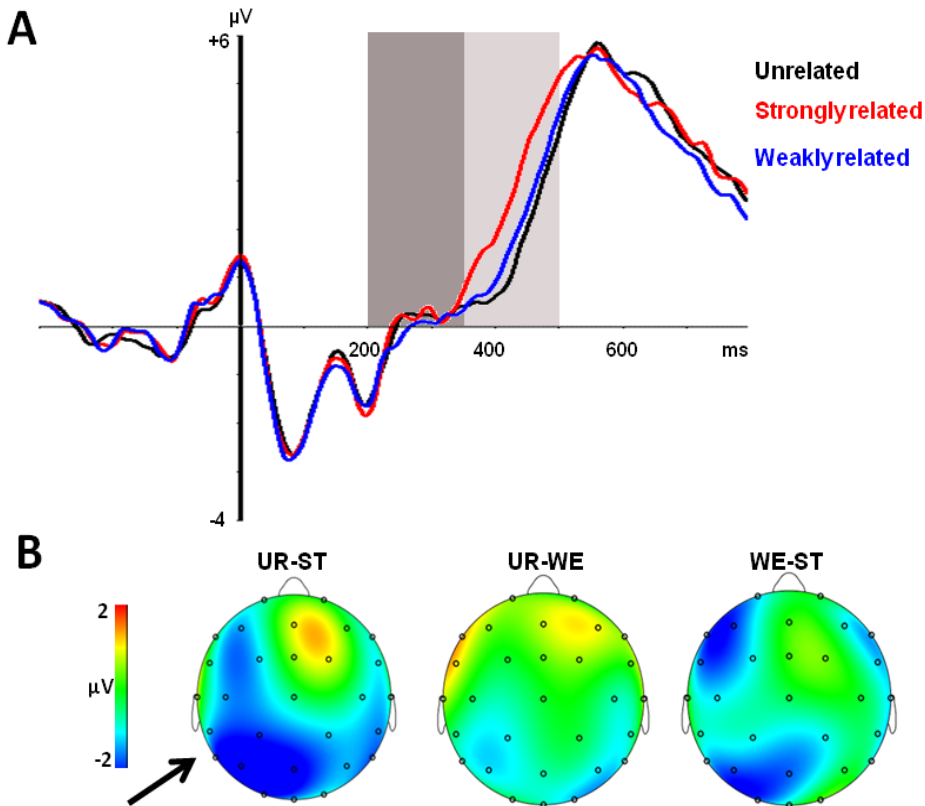


Figure 6. Experiment 2. (A) Grand-averaged voltage data as function of prime-target semantic relatedness (strongly related, weakly related, unrelated). As statistical analyses did not yield significant effects of the factors laterality and caudality, voltages were collapsed across selected electrode sites. (B) Topographic voltage maps across the 29 electrode sites, displaying the N400 priming effects, coded in color, averaged in the time window between 350 ms and 500 ms, in each relatedness condition. The small arrowhead towards the back of the voltage map highlights the posterior topography of the N400 effect. UR-ST, Unrelated minus strongly related conditions; UR-WE, Unrelated minus weakly related conditions; WE-ST, weakly related minus strongly related conditions.

3.2.2.1. 250-350 ms posttarget epoch (N200)

There was only a main effect for Laterality ($F(2,42) = 12.61, p < 0.001, \eta^2 = 0.38$), with mean amplitudes to related targets being very similar to those to the unrelated targets (Prime-Target Relatedness = $F < 1$).

3.2.2.2. 350-500 ms posttarget epoch (N400)

There was a significant main effect for Caudality ($F(4,84) = 13.8, p < 0.001, \eta^2 = 0.40$), and more relevant, for Prime-Target Semantic Relatedness ($F(2,42) = 11.76, p < 0.001, \eta^2 = 0.36$). Further contrasts revealed a reliable N400 priming effect for strongly related targets ($F(1,21) = 19.4, p < 0.001, \eta^2 = 0.48$), which elicited more positive ERPs (mean = 2.878 μV , SD = ± 3.67) than unrelated targets (mean = 1.586 μV , SD = ± 3.28 ; see Figure 6). The ERPs to strongly related targets were also significantly more positive ($F(1,21) = 14.03, p < 0.001, \eta^2 = 0.40$) than ERPs to weakly related targets (mean = 1.934 μV , SD = ± 3.70). In contrast, ERPs to weakly related targets did not reliably differ from ERPs to unrelated targets ($F(1,21) = 1.54, p > 0.23$). As in Experiment 1, there was a significant correlation between N400 priming effects by strong and weakly related pairs ($r = .615, p = .002$), again indicating a high consistency in ERP (N400) priming effects across participants.

In order to provide further evidence for the unconscious nature of the N400 priming effects from masked words in this experiment, a further ANOVA was conducted on ERP data from those participants showing a chance performance ($d' = 0$ or less) in the prime visibility test ($n = 13$). The main effect of Prime-Target Relatedness was again significant ($F(2,24) = 8.29, p = 0.002, \eta^2 = 0.41$), with ERPs to the unrelated targets (mean = 1.558 μV , SD = ± 3.05) being significantly different from those to strongly related targets (mean = 2.710 μV , SD = ± 2.74 ; $F(1,12) = 15.9, p = 0.002, \eta^2 = 0.57$), but not from ERPs to weakly related targets (mean = 1.826 μV , SD = ± 2.92 ; $F(1,12) = 1.08, p > 0.33$; see Figure 7). The ERPs to strongly related targets again significantly differed from those to weakly related targets ($F(1,12) = 7.14, p = 0.02, \eta^2 = 0.37$). These results clearly demonstrate that behavioral and ERP (N400) priming effects from masked words in this experiment were truly subliminal, as occurred in Experiment 1.

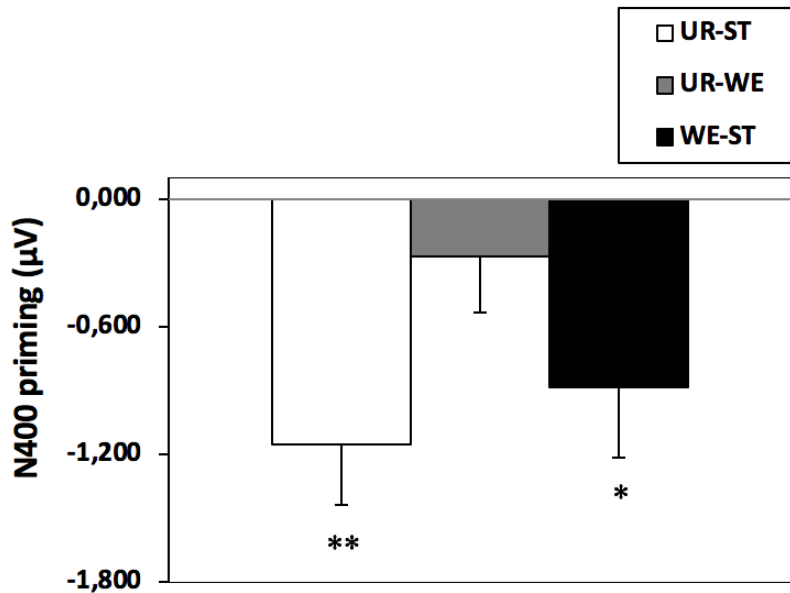


Figure 7. Experiment 2. Magnitude of the N400 ERP priming effects in each relatedness condition for participants performing at chance in the prime visibility test ($n = 13$). Significant contrasts are highlighted by asterisks ($* = p < .05$; $** = p < .01$). UR-ST, Unrelated minus strongly related conditions; UR-WE, unrelated minus weakly related conditions; WE-ST, weakly related minus strongly related conditions.

3.2.2.3. Time-course analyses

As in Experiment 1, we performed time course analyses on the ERP data for both strongly related and weakly related word pairs (voltages were collapsed across the fifteen fronto-central and centro-parietal electrode sites). The time-course of priming effects was similar to that observed in Experiment 1 (see Table 1), namely, strongly related pairs produced reliable ERP priming effects in the 350-400 ms, 400-450 ms and 450-500 ms epochs, whereas no reliable ERP priming was found for weakly related primes. In addition, the ERP differences between strongly related and weakly related primes were also significant at 350-400 ms, 400-450 ms and 450-500 ms epochs.

3.3. Discussion

By shortening the prime-target SOA from 200 ms to 67 ms in the present experiment, we found again that semantic relatedness between prime and target words significantly modulated both behavioral and electrophysiological indices (i.e., N400) of unconscious semantic processing. Masked primes followed by strongly related targets again produced reliable behavioral priming effects. By contrast, the behavioral priming effects from weakly related words were significantly smaller and did not reach statistical significance, thus suggesting that priming effects from weakly related primes are not necessarily more short-lived than those from strongly related primes. In a similar vein, the electrophysiological results showed that targets preceded by strongly related primes produced the most positive-going ERPs (i.e., N400 priming effect), with ERPs to targets preceded by weakly related primes being not reliably different from those preceded by unrelated primes. As for the behavioral data, ERP priming was significantly smaller for weakly than for strongly related pairs. We also found that the N400 priming effects for strongly related targets in the present experiment with a prime-target SOA of 67 ms were of a much larger magnitude (i.e., $-1.292 \mu\text{V}$) than those observed with an SOA of 200 ms in Experiment 1 (i.e., $-0.66 \mu\text{V}$; see Figure 4). These results are consistent with those reported by some previous studies (e.g., Kiefer and Spitzer, 2000), which suggest that the use of very short prime-target SOA intervals (i.e., 67 ms) constitutes a critical variable to obtain robust N400 ERP priming from unconsciously perceived words.

The fact that both behavioral and electrophysiological masked priming effects remained substantial even for those participants performing at chance in the prime visibility test ($n = 13$), provides further evidence for the unconscious nature of those effects.

Another relevant finding in the present experiment was that both behavioral responses (RTs) and ERPs to targets preceded by strongly related primes differed not only from responses to targets preceded by unrelated primes, but they were also significantly different from responses to targets preceded by weakly related primes. Thus, the effect of semantic relatedness in our study does not rely on the null effect of priming for weakly related pairs³.

³ We conducted a further analysis in which, across each of the 16 prime-target pairs the relatedness scores for strongly-related, weakly-related, and unrelated prime-target pairs obtained in the rating similarity study were correlated with their corresponding RTs (item analyses) for both Experiments 1 and 2. Reliable negative correlations between relatedness scores and RTs we found for both Experiment 1 ($r = -0.54$, $p < 0.001$) and Experiment 2 ($r = -0.57$, $p < 0.001$), such that the prime-target pairs with higher relatedness rating scores (i.e., the strongly related ones) were associated with faster responses by participants in the two experiments. These results provide further positive evidence that the observed modulation by semantic relatedness on congruency priming effects does not only reflect a difference between strongly related and unrelated conditions, but also a difference between strong and weakly related conditions.

4. General Discussion

The results of the present research are clear-cut. Unconsciously perceived novel (unpracticed) words from large categories produced reliable and systematically larger priming effects when followed by semantically strongly related word targets than when they were followed by weakly related targets. Whereas similar behavioral results have been reported by some recent studies (e.g., Ortells et al., 2013; Van den Bussche et al., 2012), to our knowledge, this is the first time in demonstrating a reliable modulation by the degree of prime-target semantic relatedness on nonconscious semantic brain activation, as indexed by the N400 ERP component. In both Experiments 1 and 2, we found that word targets preceded by strongly related

masked primes produced the most positive-going ERPs, as compared to both unrelated targets and weakly related targets, with ERPs to weakly related targets being not reliably different from those to the unrelated targets. The fact that our prime-target relatedness manipulation in the two experiments modulated the N400 ERP component, but not ERPs in the time range of the N200 component, indicative for response conflict and visuo-motor response priming (e.g., Jaśkowski et al., 2003; Martens et al., 2011; Zovko, & Kiefer, 2013), suggests that our congruency effects mainly depended on semantic processing of unconsciously perceived primes, rather than being the result of response activation. Our findings are in line with previous evidence suggesting that the N400 modulation does not only reflect conscious (strategic) processes, but also unconscious (automatic) semantic processes (e.g., Deacon, Hewitt, Yang, & Nagata, 2000; Kiefer, 2002; Kiefer & Brendel, 2006; Kiefer & Spitzer, 2000; Küper & Heil, 2009; Rohaut et al., 2015).

The present N400 priming effects are highly informative regarding the mechanisms underlying category congruency priming because unlike naming and lexical decision tasks, categorization tasks usually confound response congruency with semantic relatedness (as defined by category co-membership), in that categorically related (congruent) pairs are associated with the same response, whereas unrelated (incongruent) primes are associated with different responses (e.g., Forster, 2004; Wentura, 2000). Thus, congruency priming effects could mainly reflect response congruency, semantic relatedness, or both.

However, if the unconscious priming effects observed in our experiments mainly reflected either the involvement of action-triggers for the semantic categories (Kiesel et al., 2006) and/or the mere congruency of prime and target stimulus-response mappings (a “response priming” hypothesis), then there should not be any difference between strongly and weakly related

word pairs, as both conditions are identical in terms of either category co-membership or S-R category congruency. So, a response priming account of congruency priming would predict equal priming in strongly and weakly related pairs. In clear contrast, in both Experiments we found that strongly related prime-target pairs produced far larger behavioral and electrophysiological (N400) congruency effects compared with weakly related pairs, a finding difficult to explain in terms other than a true semantic processing of unconsciously perceived words.

The present findings are therefore difficult to reconcile with some non-semantic accounts of unconscious congruency priming. For instance, they cannot be explained by the pre-existence of established S-R mappings (Damian, 2001), as the unpracticed primes had never been presented as targets and thus mapped to a response before. Also, it is unlikely that our results emerge from subword processing of the primes (Abrams, 2008) resulting from orthographic overlap between prime and target words (see for example, Van den Bussche & Reynvoet, 2007; Experiment 1c), as such an orthographic overlap was minimal in our experiments (see also Klauer et al., 2007; Van den Bussche & Reynvoet, 2007; Experiments 2 and 3). Finally, the use of large categories (e.g., animals) makes it unlikely that our results emerge from the strategic activation of action triggers that create associations between all expected stimuli and their appropriate responses (Kunde et al., 2003). Of course, we do not exclude the possibility that non-semantic mechanisms such as S-R associations or action triggering also contribute to masked congruency priming (e.g., Kiefer et al., 2015), given that experimental conditions other than in the present experiments are realized (e.g., masked primes also presented as visible targets, small categories).

Kiesel et al. (2006) have recently extended the action trigger hypothesis to explain unconscious priming from novel words and large target

sets. They suggest that when many targets from broad categories (e.g., animals) are presented, subjects could form an action trigger for the expected semantic categories, instead of for the individual expected stimuli. Accordingly, novel primes from large stimulus sets might elicit responding to the extent that they match these semantic categories, as would be the case when they belong to the target set's category. It should be noted, however, that this explanation requires at least a semantic analysis in order to determine category membership of the unconsciously presented masked prime words. This modified action trigger hypothesis therefore resembles the task set execution account that assumes implicit application of activated task sets to unconscious primes after a coarse semantic analysis (Ansorge et al., 2014; Kiefer et al., 2015).

Note that the lack of reliable priming effects from weakly related masked primes in our study cannot be due to the involvement of different strategies to process strong and weakly related word pairs, as both kinds of related trials were randomized within participants. It also appears unlikely that priming effects from weak associates could be more short-lived than those observed with strong associates, as these latter produced reliably greater behavioral and ERP (N400) priming effects than the former ones even when a very short prime-target SOA (67 ms) was used, as was the case in Experiment 2 (see Figure 4).

As our strongly related pairs were both highly associated category members and highly semantically similar in terms of feature overlap (see Appendix C; see also Ortells et al., 2013), the present research cannot differentiate whether the observed priming effects from such items could be due to either associative relations (e.g., spreading activation; Collins & Loftus, 1975; Neely, 1991), semantic feature overlap (e.g., Masson, 1995), or even both (Hutchison et al., 2008). But the point to be stressed here is that our

results undoubtedly demonstrate that the mere existence of a categorical or response-based relationship between two words is not enough to find robust unconscious (automatic) congruency priming from unpracticed prime words.

Some researchers have even suggested that semantic priming effects under automatic conditions (e.g., prime masking; short prime-target SOA) could be noisy and variable, perhaps reflecting inherently uncoordinated, rather than coherent, activity in participants' semantic memory (e.g., Stolz, Besner, & Carr, 2005). But this does not appear to be case in the present study, as a high and reliable correlation between behavioral priming effects produced by strongly related and weakly related words was found across participants in both Experiments 1 and 2. Such a kind of reliable correlation was also observed in the electrophysiological results (N400) of the two Experiments, thus indicating that there was indeed some predictable variability in congruency priming within each individual even under conditions promoting automatic processing of primes (e.g., a short prime-target SOA of 67 ms in Experiment 2).

5. Conclusions

The results of the present research clearly demonstrate that unconsciously perceived prime words that are never presented as visible targets can give rise to robust behavioral and electrophysiological (N400) priming effects, when they are followed by closely-semantically related, but not by weakly related word targets. The observation of differential priming effects for strongly and weakly related primes and the modulation of the N400 ERP component suggest that unconscious category congruency priming is mainly driven by semantic processes and to a lesser extent by pure response activation processes that bypass semantics.

Acknowledgements

This research was financially supported by the Spanish Ministerio de Ciencia e Innovación and the Spanish Ministerio de Economía y Competitividad with research grants to Juan J. Ortells (PSI2008-00565, and PSI2014-53856-P) and by the German Research Foundation with a grant to Markus Kiefer (DFG Ki804/3-2). Both Juan J. Ortells and Markus Kiefer contributed equally to this work. We thank Gregory Murphy and three anonymous reviewers for helpful and valuable comments on an earlier version of the manuscript.

References

- Abad, M. J. F., Noguera, C., & Ortells, J. J. (2003). Influence of prime-target relationship on semantic priming effects from words in a lexical-decision task. *Acta Psychologica, 113*, 283-295.
- Abrams, R. L. (2008). Influence of category size and target set size on unconscious priming by novel words. *Experimental Psychology, 55*, 189-194.
- Abrams, R. L., Klinger, M. R., & Greenwald, A. G. (2002). Subliminal words activate semantic categories (not automated motor responses). *Psychonomic Bulletin & Review, 9*, 100-106.
- Ansorge, U., Kunde, W., & Kiefer, M. (2014). Unconscious vision and executive control: How unconscious processing and conscious action control interact. *Consciousness and Cognition, 27*, 268-287.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials associated with semantic priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 60*, 343-355.
- Breitmeyer, B. G., & Ögmen, H. (2006). *Visual masking: Time slices through conscious and unconscious vision*. Oxford: Oxford University Press.

- Callejas, A., Correa, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2003). Associative Intracategory norms for 612 words in six semantic categories in Spanish. *Psicológica: International Journal of Methodology and Experimental Psychology*, *24*, 185-214.
- Clayson, P. E., & Larson, M. J. (2011). Conflict adaptation and sequential trial effects: Support for the conflict monitoring theory. *Neuropsychologia*, *49*, 1953-1961.
- Coane, J. H., & Balota, D. A. (2011). Face (and nose) priming for book: The malleability of semantic memory. *Experimental Psychology* *58*, 62-70.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*, 407-428.
- Damian, M. F. (2001). Congruity effects evoked by subliminally presented primes: Automaticity rather than semantic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 154-165.
- De Houwer, J., Hermans, D., Rothermund, K., & Wentura, D. (2002). Affective priming of semantic categorization responses. *Cognition and Emotion*, *16*, 643-666.
- Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C., & Nagata, M. (2000). Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Cognitive Brain Research*, *9*, 137-146.
- Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'H, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., van de Moortele, P. F., & Le Bihan, D. (1998). Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, *395*, 597-600.
- Dell'Acqua, R., & Grainger, J. (1999). Unconscious semantic priming from pictures, *Cognition* *73*, 1-15.

Dosher, B. A. (1998). The response-window regression method--some problematic assumptions: comment on Draine and Greenwald (1998). *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 311-317.

Draine, S. C., & Greenwald, A. G. (1998). Replicable unconscious semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 286-303.

Forster, K. I. (2004). Category size effects revisited: Frequency and masked priming effects in semantic categorization. *Brain and Language*, *90*, 276-286.

Forster, K. I., Mohan, K., & Hector, J. (2003). The mechanics of masked priming. In S. Kinoshita, & S. J. Lupker (Eds.), *Masked priming: State of the art* (pp. 3-37). Psychology Press; Hove, UK.

Geisser, S., & Greenhouse, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, *24*, 95-112.

Greenwald, A. G., & Abrams, R. (2002). Visual masking reveals two qualitatively different levels of unconscious cognition. Paper presented at the 43rd Annual Meeting of the Psychonomic Society, Kansas City, KS.

Greenwald, A. G., Draine, S. C., & Abrams, R. L. (1996). Three cognitive markers of unconscious semantic activation. *Science*, *273*, 1699-1702.

Greenwald, A. G., Klinger, M. R., & Schuh, E. S. (1995). Activation by marginally perceptible ("subliminal") stimuli: Dissociation of unconscious from conscious cognition. *Journal of Experimental Psychology*, *124*, 22-42.

Hutchison, K. A. (2003). Is semantic priming due to association strength of feature overlap? A microanalytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 785-813.

Hutchison, K. A., Balota, D. A., Cortese, M. J., & Watson, J. M. (2008). Predicting semantic priming at the item level. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*, 1036-1066.

Jaśkowski, P., Skalska, B., & Verleger, R. (2003). How the self controls its "automatic pilot" when processing subliminal information. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*, 911-920.

Kang, M. S., Blake, R., & Woodman, G. F. (2011). Semantic analysis does not occur in the absence of awareness induced by interocular suppression. *Journal of Neuroscience*, *31*, 13535-13545.

Kiefer, M. (2002). The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects. *Cognitive Brain Research*, *13*, 27-39.

Kiefer, M. (2005). Repetition priming modulates category-related effects on event-related potentials: Further evidence for multiple cortical semantic systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 199-211.

Kiefer, M., Adams, S. C., & Zovko, M. (2012). Attentional sensitization of unconscious visual processing: Top-down influences on masked priming. *Advances in Cognitive Psychology*, *8*, 50-61.

Kiefer, M., & Brendel, D. (2006). Attentional modulation of unconscious 'automatic' processes: Evidence from event-related potentials in a masked priming paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 184-198.

Kiefer, M., & Martens, U. (2010). Attentional Sensitization of Unconscious Cognition: Task Sets Modulate Subsequent Masked Semantic Priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, *139*, 464-489.

Kiefer, M., Schuch, S., Schenck, W., & Fiedler, K. (2007). Mood states modulate activity in semantic brain areas during emotional word encoding. *Cerebral Cortex*, *17*, 1530-1560.

Kiefer, M., Sim, E. J., & Wentura, D. (2015). Boundary conditions for the influence of unfamiliar non-target primes in unconscious evaluative priming: The moderating role of attentional task sets. *Consciousness and Cognition, 35*, 342-356.

Kiefer, M., & Spitzer, M. (2000). Time course of conscious and unconscious semantic brain activation. *NeuroReport, 11*, 2401-2407.

Kiefer, M., Weisbrod, M., Kern, I., Maier, S., & Spitzer, M. (1998). Right hemisphere activation during indirect semantic priming: Evidence from event-related potentials. *Brain and Language, 64*, 377-408.

Kiesel, A., Kunde, W., Pohl, C., & Hoffmann, J. (2006). Priming from novel masked stimuli depends on target set size. *Advances in Cognitive Psychology, 2*, 37-45.

Klauer, C. K., Eder, A. B., Greenwald, A. G., & Abrams, R. L. (2007). Priming of semantic classifications by novel subliminal prime words. *Consciousness and Cognition, 16*, 63-83.

Klinger, M. R., Burton, P. C., & Pitts, G. S. (2000). Mechanisms of unconscious priming: I. Response competition, not spreading activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory and Cognition, 26*, 441-455.

Kouider, S., & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: a critical review of visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 362*, 857-875.

Kunde, W., Kiesel, A., & Hoffmann, J. (2003). Conscious control over the content of unconscious cognition. *Cognition, 88*, 223-242.

Küper, K., & Heil, M. (2009). Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing. *Neuroscience Letters, 453*, 107-111.

Kutas, M. (1993). In the company of other words: electrophysiological evidence for single-word and sentence context effects. *Language and Cognitive Processes, 8*, 533-572.

Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP). *Annual Review of Psychology, 62*, 621-647.

Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature, 307*, 1161-1163.

Lucas, M. (2000). Semantic priming without association: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review, 7*, 618-630.

Makeig, S., Bell, A. J., Jung, T.-P., Ghahremani, D., & Sejnowski, T. J. (1997). Blind separation of auditory event-related brain responses into independent components. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 94*, 10979-10984.

Martens, U., Ansorge, U., & Kiefer, M. (2011). Controlling the unconscious: Attentional task sets modulate subliminal semantic and visuo-motor processes differentially. *Psychological Science, 22*, 282-291.

Masson, M. E. J. (1995). A distributed memory model of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 21*, 3-23.

McNamara, T. P. (2005). *Semantic priming: Perspectives from memory and word recognition*. New York: Psychology Press.

McRae, K., & Boisvert, S. (1998). Automatic semantic similarity priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 24*, 558-572.

Merikle, P. M., & Reingold, E. M. (1998). On demonstrating unconscious perception: Comment on Draine and Greenwald. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 304-310.

Moreno-Martínez, F., Montoro, P. R., & Rodríguez-Rojo, I. C. (2014). Spanish norms for age of acquisition, concept familiarity, lexical frequency, manipulability, typicality, and other variables for 820 words from 14 living/nonliving concepts. *Behaviour Research Methods*, *46*, 1088-1097.

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001a). Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition*, *80*, 215-229.

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001b). The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex*, *11*, 966-974.

Naccache, L., Gaillard, R., Adam, C., Hasboun, D., Clemenceau, S., Baulac, M., Dehaene, S., & Cohen, L. (2005). A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *102*, 7713-7717.

Neely, J. H. (1991). Semantic priming effects in visual word recognition: A selective review of current findings and theories. In D. Besner & G. W. Humphreys (Eds.), *Basic processes in reading: Visual word recognition* (pp. 264-336). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Neumann, O. (1990). Direct parameter specification and the concept of perception. *Psychological Research*, *52*, 207-215.

Neumann, O., & Klotz, W. (1994). Motor responses to nonreportable, masked stimuli: Where is the limit of direct parameter specification? In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV. Conscious and nonconscious information processing* (pp. 123-150). Cambridge: MIT Press.

Nobre, A., & McCarthy, G. (1995). Language-related field potentials in the anterior-medial temporal lobe: II. Effects of word type and semantic priming. *The Journal of Neuroscience* 15, 1090-1098.

Ortells, J. J., Daza, M. T., & Fox, E. (2003). Semantic activation in the absence of perceptual awareness. *Perception and Psychophysics*, 65, 1307-1317.

Ortells, J. J., Frings, C., & Plaza-Ayllón, V. (2012). Influence of spatial attention on conscious and unconscious word priming. *Consciousness and Cognition*, 21, 117-138.

Ortells, J. J., Mari-Beffa, P., & Plaza-Ayllón, V. (2013). Unconscious congruency priming from unpracticed words is modulated by prime-target semantic relatedness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 39, 394-413.

Ortells, J. J., Vellido, C., Daza, M. T., & Noguera, C. (2006). Semantic priming effects with and without perceptual awareness. *Psicológica: International Journal of Methodology and Experimental Psychology*, 27, 225-242.

Panadero, A., Castellanos, M. C., & Tudela, P. (2015). Unconscious context-specific proportion congruency effect in a stroop-like task. *Consciousness and Cognition*, 31, 35-45.

Pohl, C., Kiesel, A., Kunde, W., & Hoffmann, J. (2010). Early and late selection in unconscious information processing, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 36, 268-285.

Postman, L., & Keppel, G. (1970). *Norms of word associations*, New York, NY: Academic Press.

Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306, 443-447.

Rohaut, B., Faugeras, F., Chausson, N., King, J-R., El Karoui, I., Cohen, L., & Naccache, L. (2015). Probing ERP correlates of verbal semantic processing in patients with impaired consciousness. *Neuropsychologia*, *66*, 279-292.

Ruz, M., Madrid, E., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2003). High density ERP indices of conscious and unconscious semantic priming. *Cognitive Brain Research*, *17*, 719-731.

Snodgrass, M., & Shevrin, H. (2006). Unconscious inhibition and facilitation at the objective detection threshold: Replicable and qualitatively different unconscious perceptual effects. *Cognition*, *101*, 43-79.

Stolz, J. A., Besner, D., & Carr, T. H. (2005). Implications of measure of reliability for theories of priming: Activity in semantic memory is inherently noisy and uncoordinated. *Visual Cognition*, *12*, 284-336.

Van den Bussche, E., & Reynvoet, B. (2007). Masked priming effects in semantic categorization are independent of category size. *Experimental Psychology*, *54*, 225-235.

Van den Bussche, E., Smets, K., Sasanguie, D., & Reynvoet, B. (2012). The power of unconscious semantic processing: The effect of semantic relatedness between prime and target on subliminal priming. *Psychologica Belgica*, *52*, 59-70.

Van den Bussche, E., Van den Noortgate, W., & Reynvoet, B. (2009). Mechanisms of masked priming: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *135*, 452-477.

Wendt, M., & Luna-Rodríguez, A. (2009). Conflict-frequency affects flanker interference: Role of stimulus-ensemble-specific practice and flanker-response contingencies. *Experimental Psychology*, *56*, 206-217.

Wentura, D. (2000). Dissociative affective and associative priming effects in the lexical decision task: Yes versus no responses to word targets reveal evaluative judgment tendencies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 456-469.

Zovko, M., & Kiefer, M. (2013). Attention to shape and color differentially modulates subliminal visuo-motor priming. *Psychophysiology*, 50, 149-157.

Appendix A

Mean familiarity (Fam) and Typicality (Typ) rates, Lexical frequency (LF, natural logarithm), number of Letters and Syllables for animal and body-part words (and their English translations) presented as primes and targets in Experiments 1 and 2.

	Fam	Typ	LF	Letters	Syllables
Primes					
CABRA (GOAT)	3.23	4.22	14.43	5	2
CISNE (SWAN)	3.50	3.88	12.85	5	3
GORILA (GORILLA)	3.39	4.20	9.75	6	3
LEON (LION)	3.51	4.89	13.80	4	2
LIEBRE (HARE)	3.47	3.86	12.86	6	2
PERRO (DOG)	4.90	4.97	15.35	5	2
SAPO (TOAD)	3.12	3.63	13.88	4	3
TORO (BULL)	3.53	4.32	15.06	4	2
BOCA (MOUTH)	4.89	4.71	15.17	4	2
CARA (FACE)	4.92	4.68	15.67	4	2
CODO (ELBOW)	4.31	4.21	13.22	4	2
MANO (HAND)	4.97	4.89	16.52	4	2
MUELA (MOLAR)	4.49	3.22	13.43	5	2
MUSLO (THIGH)	4.30	3.98	12.27	5	2
NUCA (NAPE)	4.18	3.74	12.25	4	2
PELO (HAIR)	4.74	3.80	15.19	4	2
Targets					
CONEJO (RABBIT)	4.27	4.55	14.40	6	3
GATO (CAT)	4.63	5.00	9.77	4	2
MONO (MONKEY)	3.47	4.37	14.57	4	2
OVEJA (SHEEP)	3.80	4.50	13.60	5	3
PATO (DUCK)	4.18	4.28	14.20	4	2
RANA (FROG)	3.18	3.90	13.22	4	3
TIGRE (TIGER)	3.53	4.52	14.36	5	2
VACA (COW)	3.89	4.82	14.43	4	2
BRAZO (ARM)	4.69	4.82	13.97	5	2
CABEZA (HEAD)	4.97	4.90	15.29	6	3
CUELLO (NECK)	4.61	4.39	14.26	6	2
DEDOS (FINGER)	4.89	4.57	14.08	4	2

	Fam	Typ	LF	Letters	Syllables
Targets					
DIENTE (TOOTH)	4.68	3.88	13.80	6	2
LABIOS (LIPS)	4.59	4.11	12.84	5	2
OJOS (EYES)	4.77	4.89	14.78	3	2
PIERNA (LEG)	4.89	4.77	13.76	6	2

Appendix B

Summary statistics (Mean and standard deviation for all the variables) for animal and body-part words (and their English translations) presented as primes and targets in Experiments 1 and 2.

	Fam	Typ	LF (log)	Letters	Syllables
Primes					
Animals	3.58 (.55)	4.25 (.48)	13.50 (1.77)	4.88 (.83)	2.38 (.52)
Body parts	4.60 (.32)	4.15 (.58)	14.21 (1.63)	4.25 (.46)	2.00 (.00)
Targets					
Animals	3.87 (.48)	4.49 (.33)	13.57 (1.60)	4.50 (.76)	2.38 (.52)
Body parts	4.76 (.14)	4.54 (.39)	14.10 (.77)	5.13 (1.33)	2.13 (.35)

Appendix C

Mean (M) similarity rates and standard errors (SE) in the rating similarity study (min. = 1; max. = 7) for strongly related, weakly related, and unrelated prime-target pairs presented in Experiments 1 and 2. Associative strength (%AS) scores (in forward direction) for strongly related pairs from norms by Callejas et al. (2003) are also presented.

Primes	Targets	M	SE	%AS
Strongly related				
CABRA (GOAT)	oveja (sheep)	6.19	.07	73.4
PERRO (DOG)	gato (cat)	5.84	.08	89.6
LEON (LION)	tigre (tiger)	6.15	.08	84.4
LIEBRE (HARE)	conejo (rabbit)	6.47	.07	89.2
SAPO (TOAD)	rana (frog)	6.51	.06	96.2
TORO (BULL)	vaca (cow)	6.32	.08	92.3
CISNE (SWAN)	pato (duck)	6.16	.08	86.3
GORILA (GORILLA)	mono (monkey)	6.42	.06	84.2
BOCA (MOUTH)	labios (lips)	6.71	.05	50.0
CARA (FACE)	ojos (eyes)	5.92	.08	38.2
CODO (ELBOW)	brazo (arm)	6.29	.08	66.7
MANO (HAND)	dedos (finger)	6.48	.07	58.3

Primes	Targets	M	SE	%AS
Strongly related				
MUSLO (THIGH)	pierna (leg)	6.50	.06	62.4
PELO (HAIR)	cabeza (head)	6.19	.07	60.0
MUELA (MOLAR)	diente (tooth)	6.76	.05	66.4
NUCA (NAPE)	cuello (neck)	6.38	.06	50.8
Weakly related				
CABRA (GOAT)	pato (duck)	2.44	.12	
PERRO (DOG)	vaca (cow)	2.48	.13	
LEON (LION)	oveja (sheep)	2.84	.14	
LIEBRE (HARE)	gato (cat)	3.55	.15	
SAPO (TOAD)	tigre (tiger)	1.66	.10	
TORO (BULL)	rana (frog)	1.87	.11	
CISNE (SWAN)	mono (monkey)	2.25	.12	
GORILA (GORILLA)	conejo (rabbit)	2.42	.12	
BOCA (MOUTH)	dedos (finger)	3.02	.14	
CARA (FACE)	diente (tooth)	3.71	.09	
CODO (ELBOW)	labios (lips)	2.66	.12	
MANO (HAND)	cabeza (head)	3.26	.12	
MUSLO (THIGH)	ojos (eyes)	2.47	.13	
PELO (HAIR)	brazo (arm)	3.29	.16	
MUELA (MOLAR)	cuello (neck)	2.29	.12	
NUCA (NAPE)	pierna (leg)	2.67	.14	
Unrelated				
CABRA (GOAT)	diente (tooth)	1.45	.08	
PERRO (DOG)	cabeza (head)	1.80	.10	
LEON (LION)	dedos (finger)	1.16	.05	
LIEBRE (HARE)	ojos (eyes)	1.68	.11	
SAPO (TOAD)	brazo (arm)	1.24	.06	
TORO (BULL)	cuello (neck)	1.70	.10	
CISNE (SWAN)	labios (lips)	1.12	.04	
GORILA (GORILLA)	pierna (leg)	1.68	.10	
BOCA (MOUTH)	mono (monkey)	1.67	.09	
CARA (FACE)	pato (duck)	1.53	.09	
CODO (ELBOW)	rana (frog)	1.13	.05	
MANO (HAND)	conejo (rabbit)	1.19	.05	
MUSLO (THIGH)	oveja (sheep)	1.39	.08	
PELO (HAIR)	vaca (cow)	1.82	.11	
MUELA (MOLAR)	gato (cat)	1.50	.09	
NUCA (NAPE)	tigre (tiger)	1.32	.07	
CABRA (GOAT)	ojos (eyes)	1.61	.09	
PERRO (DOG)	dedos (finger)	1.32	.07	
LEON (LION)	brazo (arm)	1.16	.05	
LIEBRE (HARE)	cabeza (head)	1.67	.10	
SAPO (TOAD)	pierna (leg)	1.19	.04	
TORO (BULL)	labios (lips)	1.16	.04	
CISNE (SWAN)	diente (tooth)	1.09	.03	
GORILA (GORILLA)	cuello (neck)	1.71	.09	
BOCA (MOUTH)	pato (duck)	1.46	.09	

Primes	Targets	M	SE
Unrelated			
CARA (FACE)	mono (monkey)	1.89	.10
CODO (ELBOW)	vaca (cow)	1.33	.07
MANO (HAND)	oveja (sheep)	1.20	.06
MUSLO (THIGH)	tigre (tiger)	1.41	.08
PELO (HAIR)	rana (frog)	1.26	.07
MUELA (MOLAR)	conejo (rabbit)	1.27	.07
NUCA (NAPE)	gato (cat)	1.38	.08

Appendix D. Supplementary material

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.012>.



EXPERIMENTAL STUDY 2

**SEMANTIC NEGATIVE PRIMING FROM AN IGNORED SINGLE-
PRIME DEPENDS CRITICALLY ON PRIME-MASK INTER-STIMULUS
INTERVAL AND WORKING MEMORY CAPACITY**

² Manuscript published as:

Megías, M., Ortells, J. J., Noguera, C., Carmona, I., & Marí-Beffa, P. (2020). Semantic negative priming from an ignored single-prime depends critically on prime-mask inter-stimulus Interval and working memory capacity. *Frontiers in Psychology*, 11: 1227. doi: 10.3389/fpsyg.2020.01227

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the link between working memory capacity and the ability to exert cognitive control. Here, participants with either high or low working memory capacity (WMC) performed a semantic negative priming (NP) task as a measure of cognitive control. They were required to ignore a single prime word followed by a pattern mask appearing immediately or after a delay. The prime could be semantically related or unrelated to an upcoming target word where a forced-choice categorization was required. Each type of mask (immediate vs. delayed) appeared randomly from trial to trial. Results demonstrated that, when the ignored prime was immediately followed by the mask, neither of the groups (high or low WMC) showed reliable NP. In clear contrast, when the mask onset was delayed responses latencies were reliably slower for semantically related trials than for unrelated trials (semantic NP), but only for the high WMC group. The present results clearly demonstrate that semantic NP from single ignored primes depends on both the masking pattern that follows the prime (immediate vs. delayed mask), and on working memory capacity.

Keywords: working memory capacity, individual differences, negative priming, attentional control, masking pattern.

INTRODUCTION

Responding to a probe target stimulus can be slower and/or less accurate if it appeared as an ignored prime distractor in a preceding trial (Tipper, 1985). This effect has been named negative priming (NP) and is usually found in selective attention tasks where both prime and probe displays present the target stimuli accompanied by concurrent distractors. NP has been demonstrated across a wide range of stimuli and task demands (Fox, 1995; Tipper, 2001; Frings et al., 2015). NP is generally reported when the distractor is de-selected against in defiance of a simultaneous target. Nevertheless, further research has successfully produced this effect even when the prime display contains a single ignored stimulus in an otherwise empty visual field (i.e., single NP; Milliken et al., 1998; Ortells et al., 2003, 2016b; Frings and Wentura, 2005; Noguera et al., 2007; Chao and Yeh, 2008).

An influential explanation of the NP effect is in terms of an inhibitory attentional mechanism that results from actively ignoring irrelevant information (Tipper, 1985; Tipper and Cranston, 1985; Houghton and Tipper, 1994). The inhibitory account of NP conceives selection as a dual process in which an excitatory mechanism acting to enhance target information works together with an inhibitory mechanism acting to suppress distraction. Residual inhibition associated with previously ignored information produces a response delay when later appears as a target (for other accounts see Neill et al., 1992; Milliken et al., 1998; Tipper, 2001).

Irrespective of how NP is explained, there seems to be increasing evidence that the effect relies on the availability of control resources (Engle et al., 1995; Lavie et al., 2004; De Fockert et al., 2010; Ortells et al., 2016a). A common way to study this relationship is by evaluating the processing of distractors while varying mental load in a concurrent working memory (WM)

task. Thus, several studies have demonstrated that an ignored prime distractor produces reliable NP only when the concurrent memory task demands are low. When these demands are high, however, the NP effect can disappear or be reversed to positive priming (Engle et al., 1995; Chao and Yeh, 2008; De Fockert et al., 2010; Chao, 2011).

Converging evidence comes from research studying correlations between working memory capacity (WMC) and NP. In these studies, researchers typically study differences in NP across groups of participants with extreme high and low WMC (i.e., scoring in the upper vs. lower quartiles in complex span WM tasks). Results have revealed reliable individual differences in showing NP effects as a function of WMC such that only participants with high WMC showed NP, while low WMC did not (Conway et al., 1999; Long and Prat, 2002).

An additional source of support comes from studying NP in populations believed to have reduced WMC, as it is the case of older people (Mayas et al., 2012). Relative to younger adults, their older counterpart display the predicted reduced NP from irrelevant distractors, usually paired with increased interference in conflict tasks (e.g., Stroop). This pattern of high interference and low NP is understood to reflect difficulties suppressing irrelevant information (Mayas et al., 2012). In this sense, having low WMC may have a similar effect on NP as performing a concurrent task demanding a high WM load.

It should be noted that most of prior work exploring the reliance of NP on control resources has employed a repetition (or *identity*) NP procedure in which the prime stimulus is *repeated* as the target on the following probe display. Recently Ortells et al. (2016) have demonstrated that individual differences in WMC also modulate NP at a semantic level of representation.

In that study, two groups of participants with low and high WMC performed a lexical decision (word/non-word) on a probe central target that was preceded by a single prime word that appeared for a very short time (50 ms) on an otherwise empty visual field. The prime word was highly associated to the target (e.g., *tiger-lion*) on 50% of word trials, whereas it was unrelated to the target on the remaining 50% of word trials (e.g., *tiger-face*). Participants received instructions to attend to or to ignore the prime word, with attention instructions varying randomly from trial to trial. If the prime was preceded by YES (in green), participants should “attend to and remember” that stimulus, as it would further be tested in a memory task. Conversely, if it was a NO (in red), then they should ignore and treat it as a distractor, which would disrupt their memory of the targets (Noguera et al., 2007, Exp. 4). Results showed that the attended primes produced a positive priming (PP) effect for participants with low and high WMC, but the semantic priming from the ignored words changed with WMC. Semantic NP appeared only in the high WMC group, turning into PP for the low WMC participants.

A peculiar aspect of the semantic NP task used in Ortells et al. (2016a) is that participants had to change their mental set about how to process the single prime word in a random way according to a preceding cue. Therefore, they had to attend (and remember) to the single prime in half of the trials, whereas they were required to ignore it on the remaining trials (Ortells et al., 2003; Noguera et al., 2007). In addition, the complex span tasks often used to assess WMC also required continuous task switches (Unsworth et al., 2005, 2009). When performing these complex span tasks, participants have to alternate and change their attention between retaining in memory a series of items (e.g., letters; spatial locations) of variable length, and manipulating a different type of information in a concurrent task (e.g., verbal-number calculations- or visuospatial-symmetry). It is unclear whether WMC

affects inhibitory processes directly or the ability to activate different task goals in a sustained way.

Current Study

As explained previously, it remains unclear whether the changes in priming pattern from single primes according to WMC can also be found with a NP task that does not require task switching. A first aim of this study is to determine whether the reported dependence of semantic NP on WMC could also be found in a NP task in which participants have to ignore the single prime on every trial.

To this end, we used a semantic NP task similar to that previously used by Daza et al. (2007) in which participants had to make a forced-choice categorization judgment (animal vs. body part) on a single target word. The target was preceded (600 ms before) by a single 33-ms prime word, which participants were encouraged to actively ignore on every priming trial. As in the study by Daza et al. (2007), (Ortells et al., 2016b), the primes and targets were strongly closely associated words of the same semantic category on 50% of trials (related) and they belonged to different semantic categories on remaining trials (unrelated). The ignored prime word was followed either immediately or after a delay by a pattern mask, with the type of masking (immediate vs. delayed) being manipulated within participant and presented in a random way (Daza et al., 2007). On half of trials (delayed masking condition), the prime word was followed by a 314-ms blank screen, and then by a 253-ms pattern mask presented until the appearance of the target display. Therefore, the inter-stimulus interval –ISI– between the prime and the mask was 314 ms. On the remaining half of trials, the 33 ms prime was immediately followed by the pattern mask (prime-mask ISI = 0-ms) that remained on the screen (during 567 ms) until the presentation of the target.

Using similar masking conditions, several studies have reported reliable semantic NP from single ignored primes. More specifically, it appears when the pattern mask is delayed (Daza et al., 2007; Wang et al., 2014, Exp. 1, see also Exp. 5), or when the mask is immediate, but followed by a long blank ISI before the target (Noguera et al., 2007, Exp. 5; Ortells et al., 2003, Exp. 4; Wang et al., 2014, Exps 3 and 4; Wang et al., 2018). In clear contrast, NP is systematically eliminated (or even reversed to PP) when the ignored prime word is immediately followed by a persistent mask that remains on the screen throughout the prime-target ISI interval (Daza et al., 2007; Wang et al., 2014, 2018).

By assuming that NP reflects the involvement of controlled processes, one could argue that presenting a persisting masking pattern immediately following the prime offset would impede conscious processing of the prime, thus reducing NP. Yet, it is not clear if conscious awareness is a necessary condition for NP in the single word paradigm, as recent studies have reported reliable semantic NP even when the prime is below an objective threshold of awareness (Milliken et al., 1998; Frings and Wentura, 2005; Wang et al., 2018, Exp. 2; Neill and Kahan, 1999).

A more plausible hypothesis to explain the lack of NP with an immediate (and persistent) mask is the one put forward by Wang et al. (2014, 2018). Based on an idea originally developed by Houghton et al. (1996), Wang et al. (2014, 2018) suggested that a masking pattern that persists at the same position where the upcoming target will appear, could generate a continuous perceptual input that would interfere with the buildup of the top-down inhibition resulting from an ignore instruction. That interference process would explain the lack of NP under an immediate masking condition. By contrast, when there is an ISI interval between the prime and the mask, as occurs for example with a delayed masking condition,

the masking stimulus would not interfere with the implementation of the inhibition, so an ignore instruction could lead to reliable NP.

A second goal of the present research was to investigate whether the differential priming pattern under immediate vs. delayed masking conditions observed by some previous studies (Daza et al., 2007; Wang et al., 2014) could be modulated by WMC. If a persisting immediate mask interferes with attentional inhibition, then we should not expect to find differences between high vs. low WMC participants when the ignored prime is immediately followed by a persisting mask. Under such immediate masking condition, both groups of participants should show a similar pattern, namely a lack of NP (or even an opposite PP effect). In clear contrast, the ignored single prime followed by a delayed mask could produce reliable semantic NP only for participants with high WMC, but not for those with low WMC (i.e., a three-way interaction between Masking Type, Relatedness and WMC).

MATERIALS AND METHODS

Participants Screening for WMC and Attention Control

A sample of 219 native Spanish speakers (mean age = 24.5 years, range 17–53, SD = 8.8) was tested for WMC. All of them had normal or corrected to normal vision.

Previous research on the relationship between WM and Attention sometimes pre-tested the sample using a battery of tests to measure attentional control. These measures include some WM tasks (e.g., Ospan) as well as other tests of inhibitory control such as the Antisaccade task or Stroop (Hutchison, 2007; Hutchison et al., 2014; Foster et al., 2015; Ortells et al., 2016a; Robison and Unsworth, 2018; Noguera et al., 2019). These attentional control measures have been used to test their correlation with WMC scores and thus provide further validation of the methods used (Hutchison,

2007; Hutchison et al., 2014; Ortells et al., 2016b). In addition, they have also demonstrated consistent age-related differences in WMC (De Jong, 2001; Noguera et al., 2019). Consequently, participants performed the Spanish adaptations of the automated versions of the Operation and Symmetry Complex Span tasks (Unsworth et al., 2005, 2009; Ortells et al., 2016a) as well as versions of the Antisaccade and the Stroop tasks (Hutchison, 2007; Kane et al., 2001; Ortells et al., 2016b). The presentation order of the tasks was counterbalanced across participants.

In the Automated Operation Span task (AOSPAN; Unsworth et al., 2005) participants are required to solve simple arithmetic operations while they retain a variable set of letters respecting the order in which they were displayed. The number of operation-letter pairs per series varied from three to seven (with three series of each length), and participants were told that both arithmetic operations and letter recall tasks were equally important. The dependent measure computed for each participant was the sum of letters correctly recalled from set that were recalled without intrusions (*Global Aospan Score*), with the total score ranging from 0 to 75.

In the Automated Symmetry Span task (ASYMSPAN; Unsworth et al., 2009) participants have to recall variable sequences of red squares in the same order they are displayed within a 4×4 matrix of blank squares, while performing a vertical symmetry-judgment task on an 8×8 geometric figure of black and white squares. The number of symmetry figures-square locations per series varied from two to five (with three series of each length) for a total of 42 trials on the task. The total score for each participant (*Global Asymspan Score*) had a maximum of 42, reflecting the number of locations recalled in the correct serial position without intrusions.

A z-score WMC composite was also calculated by averaging across the two complex span tasks z-scores for each participant. We then computed quartiles for our 219 participants with z-scores of -0.53 and $+0.57$, which corresponded to the lower and upper quartiles, respectively.

In the Antisaccade task, participants had to identify a letter (*O* or *Q*), that is briefly presented (100 ms) followed by a mask. This target letter could either appear on the same (prosaccade) or on the opposite (antisaccade) visual field of an asterisk that appeared 300-ms before the target. The asterisk location varied randomly from trial to trial to stop participants from guessing the location. The order of antisaccade and prosaccade blocks was counterbalanced across participants. Participants were encouraged to move their eyes to the location of the asterisk in the prosaccade block to make easier the detection of the target letter. By contrast, in the antisaccade block, they had to look away from the asterisk to identify the target on the opposite visual field before it disappeared (Ortells et al., 2016a; further discussion in Noguera et al., 2019).

The orienting of attention to the asterisk in the prosaccade block is more automatic and less dependent on executive control than in the antisaccade one. The differential performance between the prosaccade and antisaccade blocks provided an additional index of attentional control. If individuals with a lower WMC have mainly a general decline in processing speed, then their responses should be slower than those from high-WMC individuals in both the antisaccade and prosaccade trials. But if low-WMC participants present a decreased attentional control capacity, then their performance could be much worse on the antisaccade than on prosaccade trials.

In the Stroop task, participants had to respond to the ink color (red, green, or blue) of a central word (RED, GREEN, or BLUE) that stays on the screen until response. All participants completed a practice block of 24 trials followed by an experimental block with 60 trials, from which 42 trials (70%) were congruent and 18 trials (30%) incongruent. Research has found that differences in Stroop interference between individuals with high vs. low WMC emerge mainly when there is a relatively low number of incongruent trials and/or congruent items are included in the stimulus list (Kane and Engle, 2003; Hutchison, 2007). These task conditions are indeed more sensitive to individual differences as they place greater demand on working memory. The low frequency of incongruent trials makes it harder to stay focused on the color naming task and to avoid reading the word (Kane and Engle, 2003), and low WMC individuals seem to be specially affected by this.

Participants

Thirty-two high (23 females) and thirty-two low (24 females) WMC participants, who had, respectively WMC composite z-scores falling within the upper ($>+0.57$) and lower (<-0.53) quartiles of our 219-participants pool (see Table 1 below), were selected for the NP study. These sample sizes were similar or even greater than those used by previous studies addressing semantic NP from single primes (Daza et al., 2007, $n = 24$; Wang et al., 2014, $n = 25$; Wang et al., 2018, $n = 24$, Experiments 2–4), and studies investigating the dependence of NP on either aging (Mayas et al, 2012, $n = 18$), WM load (Chao and Yeh, 2008, $n = 20$; De Fockert et al., 2010; $n = 20$) or individual differences in WMC (Conway et al., 1999, $n = 23$ – 26 ; Ortells et al., 2016b, $n = 24$). We further performed a *post hoc* power analysis using G*Power software 3.1.9.2 (Faul et al., 2007) to determine the power of both main and interaction effects (repeated measures) in our study. With an alpha = 0.05, a medium effect size ($d = 0.36$) and total sample size = 64, the analysis

revealed statistical power greater than 0.99. The minimum statistical power of correlations was 0.91. Participants were between 18 and 48 years old ($M = 25.38$, $SD = 9.15$ for the high WMC group; $M = 24.78$, $SD = 8.65$ for the low-WMC group). A signed written consent was obtained from all participants, with the study being approved by the University of Almería Human Research Ethics Committee and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Table 1. Summary statistics for performance in the complex span WM tasks (Aospan, Asymspan, and z-score global composite) and attentional control tasks (Antisaccade and Stroop congruency) by Low-WMC and High-WMC groups.

	Low-WMC Mean (SD)	High-WMC Mean (SD)	Group differences	Effect Size <i>d</i>
Span WM tasks				
Aospan score	16.9 (6.3)	50.56 (6.2)	$t(62) = 21.5$	5.37
Asymspan score	9.8 (6.02)	24.7 (4.8)	$t(62) = 10.9$	2.74
z-score composite	-.99 (.45)	.987 (.31)	$t(56)^a = 20.4$	5.06
Antisaccade task				
Prosaccade condition				
RT (ms)	517 (22.15)	438 (15.5)	$t(55)^a = 2.90$	4.13
ACC (%)	94 (8)	98 (3)	$t(40)^a = 2.34$	.66
Antisaccade condition				
RT (ms)	699 (25)	546 (23)	$t(62) = 4.48$	6.4
ACC (%)	74 (2)	94 (1)	$t(45)^a = 8.67$	12.6
Antisaccade Differences (prosaccade minus antisaccade)				
RT (ms)	-181.9 (112.2)	-108.1 (86.6)	$t(62) = 2.95$	.74
ACC (%)	.20 (.11)	.036 (.06)	$t(45)^a = 7.39$	1.85
Stroop task				
Congruent condition				
RT (ms)	653 (29.5)	638 (29.4)	$t(62) = .36$	.50
ACC (%)	99 (1)	99 (1)	$t(62) = .25$	0
Incongruent condition				
RT (ms)	780 (35.5)	715 (31.2)	$t(62) = 1.38$	1.96
ACC (%)	96 (6)	99 (2)	$t(38)^a = 2.60$	.7

	Low-WMC Mean (SD)	High-WMC Mean (SD)	Group differences	Effect Size <i>d</i>
Stroop Congruency (congruent minus incongruent)				
RT (ms)	-126.9 (103.8)	-76.8 (70.4)	$t(62) = 2.26$	.56
ACC (%)	.034 (.06)	.001 (.02)	$t(39)^a = 2.97$	.54

All p values < .05

^a Correction of dfs for unequal variances.

Note. The possible range of scores for Operation span and for Symmetry span tasks are 0-75, and 0-42, respectively.

Stimuli and Apparatus

The stimulus set was similar to that recently used by Ortells et al. (2016a). It consisted of 32 familiar Spanish nouns of 4–6 letters length (16 animals and 16 body-parts) selected from the intra-categorical associative norms published by Callejas et al. (2003). 16 of these words (8 from each category) appeared only as primes and 16 words were used exclusively as targets. Half of the prime and target words from each category were randomly chosen to appear in the immediate mask trials, while the rest appeared in the delayed condition. The assignment of each word set to the masking condition was counterbalanced across participants. For each participant and masking condition, the same prime and target words (four pairs from each semantic category) were presented on both related and unrelated trials. The related pairs were highly associated and members of the same category (i.e., the first ranked exemplar on both forward and backward directions, such as LION-tiger or THIGH-leg, Callejas et al., 2003). The unrelated word pairs were created by re-pairing the former prime and related target words in a pseudorandom way, such that the prime words from each semantic category were followed by low associated target words belonging to the other semantic category (e.g., LION-leg; THIGH-tiger).

Stimulus presentation and response recordings were controlled by E-prime software (Psychology Software Tools Inc)¹. All stimuli were presented on the center computer screen at a viewing distance of approximately 60 cm. Each trial consisted of a sequence of the following displays (see Figure 1): Blank screen, fixation, forward mask, prime, either backward mask or blank screen plus backward mask (depending on masking condition), and target. The fixation display consisted of a central white cross (+) presented on a black background. The forward and backward masks were composed of random strings of seven white uppercase consonants at the center of the screen (e.g., WMHBKGZ), subtending a visual angle of about 2.46° wide and 0.49° high. The prime and probe displays contained a single word presented at the center of the screen in uppercase and lowercase, respectively. Both the prime and target words subtended an averaged visual angle of 2.21° wide and 0.49° high. The target word presented on every related or unrelated trial never shared the first (or last) letter or syllable with the preceding prime word, in order to avoid the orthographic overlapping between prime and target stimuli (Callejas et al., 2003; Ortells et al., 2016b).

¹ www.pstnet.com/eprime

Design and Procedure

Instructions for completing the task were both presented on the screen and orally described. The sequence of the events were: (1) Blank screen presented for a variable duration (1000 vs. 2000 ms); (2) Fixation (+) presented for 500 ms; (3) Forward mask (random string of consonants) at the center of the screen for 100 ms²; (4) Prime display, to be ignored by the participants, containing a single uppercase word centrally presented for 33 ms; (5) either a backward mask (a different random string of consonants) presented for 567 ms until the target onset (immediate masking condition),

or a 314-ms blank screen followed by a 253-ms mask (delayed masking condition), and then for the target (thus resulting in a fixed prime-target SOA of 600 ms), with the immediate and delayed masking conditions varying randomly from trial to trial; (6) Target display consisting of a lowercase word centrally presented until response, on which participants made a categorization judgment (animal vs. body part). Participants were required to respond as fast and as accurately as possible to the target category by pressing either the “c” or “m” key on the computer keyboard, with the mapping between categories and response keys being counterbalanced across participants. They were also encouraged to consider the preceding prime word as a distractor that they should actively ignore on every trial.

² Given that some recent work has reported reliable semantic NP from an ignored single prime even when its presentation was completely subliminal (Wang et al., 2018) in our NP task we also presented a forward mask that preceded (100 ms before) the prime word onset. The inclusion of a premask in our study was aimed to increase the likelihood that an ignored prime preceded and immediately followed by a persistent mask could be below both “subjective” and “objective” thresholds for awareness (*a d'* at chance in a further prime visibility test; see also Ortells et al., 2016a).

Participants performed the task in a single experimental session (lasting about 35 min) of 16 practice trials and 256 experimental trials, which consisted of 4 consecutive blocks of 64 trials each. Within each block of 64 trials, there were 32 immediate, and 32 delayed masking trials, which varied randomly within the block, with different prime-target pairs within each masking condition (words in the immediate mask condition for half of participants appeared in the delayed condition for the remaining half, and viceversa). Within each masking 32 trial-set, there were 16 related and 16 unrelated trials. Within each 64-trials block, each word (prime and target) appeared four times, twice followed by a semantically related target from the

same category and twice by an unrelated word target from the opposite category.

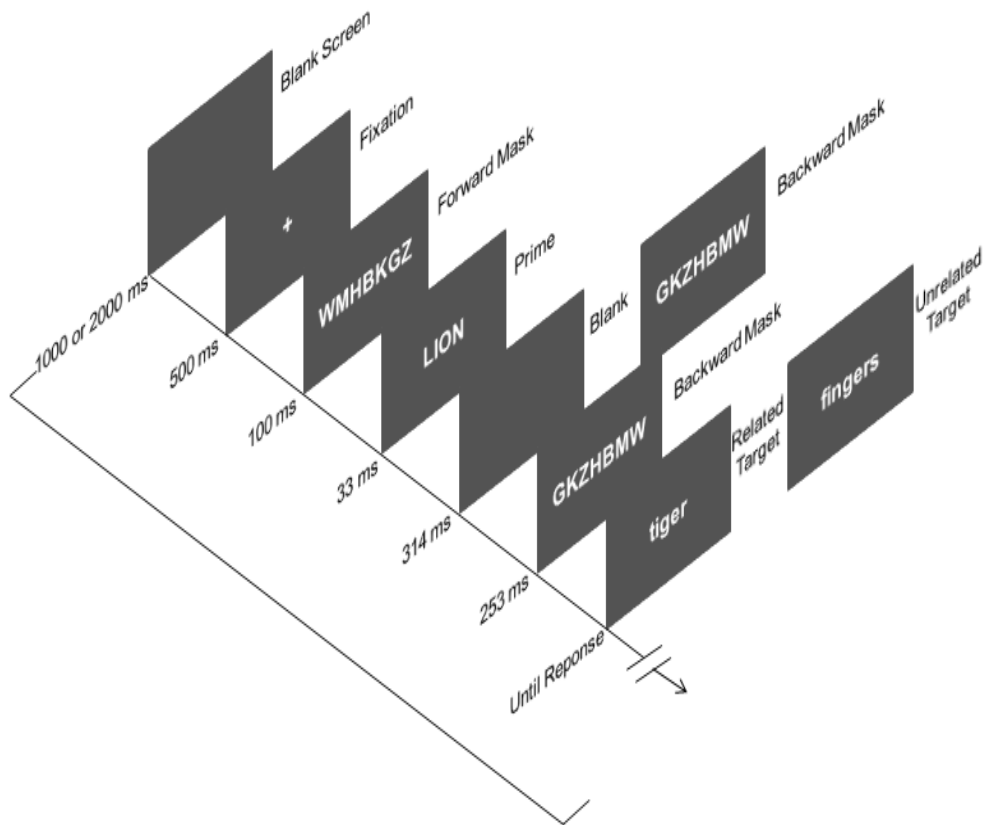


FIGURE 1 | Sequence and time of events in Experiment. The word stimuli shown here for related and unrelated trials have been translated from Spanish to English.

The WMC was manipulated as the between-subject factor at two levels (High vs. Low WMC); and Prime-Target Relatedness (Related vs. Unrelated), and Masking Type (Delayed vs. Immediate mask) were manipulated as the within-subject factors, with a different random order for each individual. Half of the trials were “Related” and half were “Unrelated.” Within each of these conditions, the immediate and delayed masking trials occurred equally often and in a randomized order.

After completing the categorization task, participants performed a prime visibility test to assess their awareness about the prime words followed by both immediate and delayed masking patterns. This test included 8 practice trials followed by 64 experimental trials, 32 trials for each masking condition. The sequence and timing of events were identical to those of the categorization task, with the difference that participants were now instructed to categorize the prime, rather than the target stimulus. They were told that the prime word could be either an animal or a body-part with an identical probability (0.50). If they were unable to categorize the prime, then they were encouraged to make the best guess without time limit.

RESULTS

Working Memory (Complex Span) and Attention Control (Antisaccade) Tasks

Table 1 shows descriptive statistics (means and standard deviations) for performance by Low- and High-WMC participants in the two complex span WM tasks (global span and z-composite scores), and the two attentional control tasks (Antisaccade and Stroop). As explained earlier, participants were assigned to each WMC group on the basis of their compound global z-score in the two span WM tasks with no overlap. Independent samples *t*-tests also found improved performance of the high WMC group compared to the Low WMC one for each separate WM task (see Table 1). The high WMC group was generally faster and more accurate than the low WMC one in each of these two attention control tasks. More importantly, the high WMC group also demonstrated better control than the low WMC one in both the Antisaccade task (with smaller differences between prosaccade and antisaccade conditions), and the Stroop task (with smaller differences between congruent and incongruent trials). These results support the idea that lower WMC seems

to be associated with not only a slower processing speed or task performance, but also with a decreased capacity for attentional control (see also Noguera et al., 2019 for similar pattern of performance when comparing younger vs. older adults).

Additional mixed analyses of variance (ANOVAs) supported these impressions. WMC (high vs. low) was included as a between-participants factor, and either Saccade Type (antisaccade vs. prosaccade), or Stroop Congruency (congruent vs. incongruent), as the within-participants variable. Results from the Antisaccade task showed significant main effects for both WMC group [ACC: $F(1,62) = 52.3, p < 0.001, \eta^2 = 0.46$; RTs: $F(1,62) = 17.05, p < 0.001, \eta^2 = 0.22$] and Saccade Type [ACC: $F(1,62) = 112, p < 0.001, \eta^2 = 0.64$; RTs: $F(1,62) = 133.9, p < 0.001, \eta^2 = 0.68$], such that performance was reliable better for participants with a higher WMC, and for prosaccade, relative to the antisaccade trial block. More importantly, there was also a reliable interaction between WMC and Saccade Type in both accuracy [$F(1,62) = 54.6, p < 0.001, \eta^2 = 0.47$], and response latency [$F(1,62) = 8.71, p = 0.04, \eta^2 = 0.12$]. This interaction revealed that the improved performance observed in the high WMC group, compared to the low one, was greater in the antisaccade condition than in the less attention demanding prosaccade condition (see Table 1).

A fairly similar pattern was found in the Stroop task. There was again a reliable main effect for WMC group [ACC: $F(1,62) = 4.7, p = 0.03, \eta^2 = 0.07$; RTs: $F < 1$], which revealed a better performance for the high-WMC relative to the Low-WMC group. The main effect of Stroop Congruency was also significant [ACC: $F(1,62) = 8.2, p = 0.06, \eta^2 = 0.12$; RTs: $F(1,62) = 84.4, p < 0.001, \eta^2 = 0.58$], such that performance in the Stroop task was better on congruent than on incongruent trials. More importantly, there also was significant the interaction between WMC and Stroop congruency [ACC: F

(1,62) = 8.81, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.125$; RTs: $F(1,62) = 5.11$, $p = 0.027$, $\eta^2 = 0.07$]. Thus, the differences in performance between high and low-WMC participants were much greater in the conflicting (incongruent) trials, than in the non-conflict (congruent) trials (see Table 1)³.

³ In order to further examine whether the differential performance by participants in the different (contrasting) conditions of the two attention control tasks was modulated by individual differences in WMC, we conducted a series of ANCOVAs in which WM capacity (z-composite global score of each participant) was treated as a continuous covariate (for similar analyses, see Hutchison, 2007; Richmond et al., 2015; Maldonado et al., 2018; Ortells et al., 2018). The results showed that the main effects of Saccade condition and Stroop congruency were qualified by reliable interaction effects between WMC and both Saccade type [ACC: $F(1,62) = 41.3$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.40$; RTs: $F(1,62) = 8.4$, $p = 0.005$, $\eta^2 = 0.12$], and Stroop interference [ACC: $F(1,62) = 9.5$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.13$; RTs: $F(1,62) = 3.9$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.08$]. The same ANCOVA analyses were also conducted on partial scores instead of global measures of participants' performance in the WM span tasks (i.e., the sum of items recalled in the correct serial position, regardless of whether an entire trial was recalled correctly; see for example, Redick et al., 2012; Richmond et al., 2015). The results of these ANCOVAs were very similar to those observed with global or absolute span scores. Namely, the main effects of Saccade type and Stroop interference were again qualified by reliable interaction effects between WMC and both Saccade type [ACC: $F(1,62) = 41.4$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.40$; RTs: $F(1,62) = 9.8$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.14$], and Stroop congruency [ACC: $F(1,62) = 9.7$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.13$; RTs: $F(1,62) = 4.7$, $p = 0.03$, $\eta^2 = 0.07$].

Priming Task

Trials containing an incorrect response (3.56% of total) or those with RTs falling more than 2.5 standard deviations from the overall mean RT (2.7% of trials) were removed from analyses. Mean RTs and percentages errors per participant and per condition were included in two separate analyses of variance (ANOVAs) with WMC (High- vs. Low-WMC) as a between-participants factor, and Masking Condition (Delayed vs. Immediate), and Prime-target Relatedness (Related vs. Unrelated) as within-subjects variables.

Mean RTs and mean error percentages as a function of Masking condition and Relatedness for each WMC group are shown in Table 2.

TABLE 2 | Mean (SD) reaction times (in milliseconds), and error percentages (in %) as a function of working memory capacity (Low vs. High WMC), Prime-Target Relatedness (Related vs. Unrelated) and Masking Type (Delayed vs. Immediate Mask).

		WM Capacity	
		Low- WMC	High-WMC
Delayed Mask			
	Related	696 (160.3) 3.5 (0.04)	673 (118.5) 4.00 (0.04)
	Unrelated	714 (192.7) 3.0 (0.04)	647 (108.4) 2.8 (0.03)
Immediate Mask			
	Related	694 (146.1) 4.5 (0.05)	650 (110.1) 3.3 (0.03)
	Unrelated	702 (148.7) 3.8 (0.03)	648 (104.3) 3.6 (0.03)

The analysis of error rates showed no reliable effect (all p values >0.09). In the analysis of RTs, there was a reliable interaction between WMC and Relatedness [$F(1,62) = 7.86, p = 0.007, \eta^2 = 0.113$], such that the ignored prime words produced a reliable semantic NP effect in participants with a high WMC [-14 ms; $F(1,31) = 5.24, p = 0.029, \eta^2 = 0.15$], whereas an opposite (though non-significant) positive priming (PP) was found for low-WMC participants [$+13$ ms; $F(1,31) = 3.08, p = 0.089, \eta^2 = 0.09$]. More interesting yet, there also was reliable the three-way interaction between WMC, Masking condition, and Relatedness [$F(1,62) = 5.46, p = 0.023, \eta^2 = 0.081$].

The interaction was followed up by two separate ANOVAs for each WMC group. The results of these analyses can be summarized as follow (see Figure 2): The High-WMC group showed a reliable main effect for Relatedness (Related = 661 ms; Unrelated = 647 ms; $F(1,31) = 5.24$, $p = 0.029$, $\eta^2 = 0.15$). However, this NP effect reached significance only with the delayed mask (-26 ms; $p = 0.001$), not with the immediate (persistent) mask ($+2$ ms), as qualified by a significant interaction between Masking type and Relatedness [$F(1,31) = 6.46$, $p = 0.0016$, $\eta^2 = 0.17$]. In clear contrast, the Low-WMC group only showed a non-significant tendency for facilitatory priming ($+13$ ms), which was not modulated by the masking type (Delayed mask = $+17$ ms; Immediate mask = $+10$).

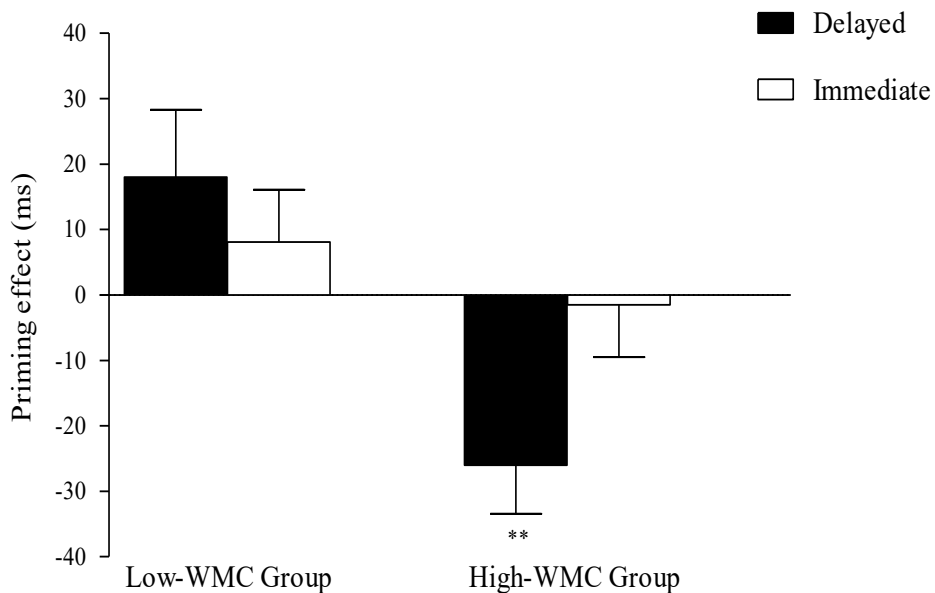


FIGURE 2 | Semantic priming effects (Unrelated–Related) for Delayed and Immediate Masking conditions for Low-WMC and High-WMC participants. The standard error of priming scores for each condition is depicted using vertical lines. Statistically significant differences are highlighted by asterisks (** $p < 0.01$).

Further evidence that obtaining semantic NP under delayed masking in our task depends critically on WMC is depicted in Figure 3, which shows the relationship between WMC and NP within each group. The present results are thus consistent with previous reports suggesting that a differential availability of control (WM) resources reliably modulates NP (Engle et al., 1995; Chao and Yeh, 2008; Ahmed and De Fockert, 2012; Ortells et al., 2016a).

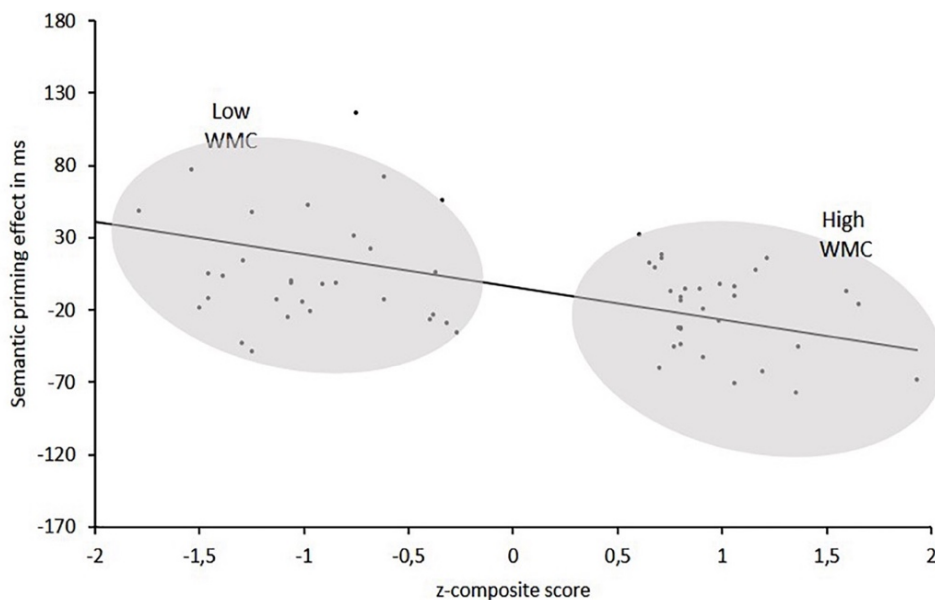


FIGURE 3 | Semantic priming effects (in ms) as a function of z-composite scores in WM span tasks for High-WMC and Low-WMC groups.

Prime Visibility Test

Prime visibility was assessed under both the immediate and delayed masking conditions, with the signal detection measure d' being obtained with each masking type for each participant. The measures were achieved, considering one level of the prime category (e.g., animal) as signal and the other level (e.g., body part) as noise (for a similar procedure see Ortells et al., 2013; Ortells et al., 2016b; Wang et al., 2018). Discrimination for primes on delayed masking trials ($d' = 0.12$) was significantly greater [$t(63) = 2.13, p = 0.037$] than that on the immediate masking ones ($d' = 0.02$). These differences

in discrimination for the two masking conditions remained fairly stable across the two WMC groups (interaction discrimination by group $F < 1$). In addition, d' with the delayed mask was clearly above zero [$t(63) = 4.42, p = 0.001$], but for the immediate mask did not deviate from zero ($t < 1$). These findings suggest that the primes were below the objective consciousness threshold with the immediate mask, and above it with the delayed one.

Lastly, there was a lack of correlation observed between the d' values for each participant and its corresponding priming scores in either group or type of mask (Immediate, High-WMC: $r = 0.07, p > 0.68$; Low-WMC: $r = 0.16, p > 0.33$; Delayed, High-WMC: $r = -0.20, p > 0.27$; Low-WMC: $r = 0.13, p > 0.49$). The absence of a correlation between these two indices of prime processing, a direct and an indirect one, is common in the literature (Ortells et al., 2013, 2016a; Wang et al., 2014, 2018) and support the idea that they map on to different processes.

GENERAL DISCUSSION

There now is ample evidence showing a dependence of NP on cognitive control (working memory) resources. Thus, the probability that an ignored (or selected against) prime stimulus gives rise to a reliable NP effect in a selective attention task is significantly reduced in older adults (relative to younger participants), in individuals with a lower WMC, or when participants are required to perform a concurrent task demanding a high memory load (Engle et al., 1995; Chao and Yeh, 2008; De Fockert et al., 2010; Chao, 2011).

Note that most of these studies used a standard NP procedure, in which (a) the ignored prime is presented as the target stimulus on the following probe display, and (b) the to-be-responded target is presented among competing distractors on both the prime and probe displays. But in a recent study using a NP task in which the prime (and probe) display contained

a single word stimulus in an otherwise empty field, Ortells et al. (2016b) reported that individual differences in WMC could also modulate NP even at a semantic level of representation.

Semantic NP has been largely considered a weak and difficult-to-replicate effect compared to repetition NP (Fox, 1995; Macleod et al., 2002). However, further research has convincingly demonstrated that semantic NP consistently appears when several boundary conditions are met (Daza et al., 2007; Noguera et al., 2007; Wang et al., 2014, 2018): (1) instructing participants to actively ignore the prime stimulus; (2) presenting prime-target pairs that are highly associated (e.g., *dog-cat*); (3) using a prime-probe SOA interval that allows an efficient implementation of controlled processes (i.e., 600 ms or longer); and (4) using a demanding forced-choice task on the probe (e.g., lexical decision, semantic categorization). All these conditions were included in Ortells et al. (2016b) which participants were also distributed according to their high vs. low WMC. Their results showed that, when instructions encouraged attending to the single prime word, a similar size of facilitatory priming effect was found for both high- and low-WMC individuals. In clear contrast, when participants had to ignore the single prime, a reliable NP effect appeared in the high-WMC group, with the low-WMC group exhibiting a positive priming effect, demonstrating that semantic NP strongly depends on WMC.

Thus, the individual differences in the availability of WM cognitive resources, in addition to the boundary conditions mentioned above, should be on the list of determinants of semantic NP. The lack of assessment of WMC in traditional semantic NP studies could be relevant to explain the volatility of the effect.

It should be noted that in Ortells et al. (2016a) study participants were required to continuously change their mental-set about how to process the

single prime, as attentional instructions to either attend to or ignore the prime changed randomly from trial to trial, increasing even more an already demanding task. Thus, we set as a first aim to find out whether a similar dependence of semantic NP on WM resources could be observed with a NP task that did not require task switching. Accordingly, our participants were encouraged to continuously ignore (but not attend to) the single prime on every trial, an instruction condition which resembles the semantic NP task previously used by Daza et al. (2007).

The results of the present research replicate and extend those obtained by Ortells et al. (2016b) in demonstrating that an ignored prime word produced reliable semantic NP but only in the higher-WMC, not in the lower-WMC group. These are consistent with inhibitory accounts of NP, which assume that attention inhibition reflects a resource demanding (controlled) processes. Thus, a high-WMC could involve a greater ability of attention control mechanisms to efficiently inhibit the processing of the ignored prime. This could explain why only the higher-WMC, but not the lower-WMC group showed reliable NP from ignored primes.

Further evidence in support of the inhibitory hypothesis comes from the relationship observed between performance in the two WM span tasks (as reflected in z-composite scores, whether we used a global or partial scoring method; see Footnote 2), and their performance in both the Antisaccade and Stroop congruency tasks. Relative to low-WMC participants, individuals with a higher-WMC were faster and more accurate in both attention control tasks (see Table 1). Even more relevant, they also showed a better control on both the Antisaccade (differences between prosaccade and antisaccade conditions), and the Stroop (differences between congruent and incongruent conditions) tasks. Thus, regardless whether we treated WMC as a grouping factor or as a covariate, the results clearly show a modulation of

performance in these attention control tasks by their WMC. Overall, these findings clearly support that greater availability of WM resources results in increased inhibitory control.

There is some recent evidence suggesting that the ability to implement attention inhibitory processes could be slowed rather than impaired in older adults or in younger individuals with a lower-WMC (Gazzaley et al., 2008). For example, inhibition of return seems to be delayed in older adults compared to younger individuals (Li et al., 2020). By using different strategic priming tasks, Noguera et al. (2019) have recently demonstrated that the ability to efficiently implement expectancy-based facilitatory strategies would also slowdown in normal aging. Based on these findings, it is possible that relative to High-WMC individuals, those with a lower-WMC need more time to develop a strategic response. If so, it might be possible that an ignored prime can result in reliable semantic NP in Low-WMC participants using SOAs longer than the ones used here. This could be an interesting issue for future research.

On the other hand, unlike the study by Ortells et al. (2016a) the to-be-ignored prime in the present research could be either clearly visible (delayed mask condition), or not (immediate mask condition). There are several previous consistent demonstrations that the NP effect from single ignored prime words is systematically eliminated when the prime offset is immediately followed by a persisting pattern mask that remains on the screen either for a relatively long duration, or during all the prime-target ISI interval (Daza et al., 2007; Wang et al., 2014, 2018). Accordingly, our second goal was to determine whether the differential priming pattern as a function of masking condition that has been previously reported, could also be sensitive to individual differences in WMC. In support of that hypothesis, we found a reliable three-way interaction between prime-target Relatedness, Masking

condition, and WMC. As expected, both participants with high- and those with low-WMC showed a very similar task performance when a persisting pattern mask immediately followed the ignored prime. Namely, no reliable NP was found for any WMC group. In stark contrast, when the mask onset was delayed, the ignored prime produced reliable NP but only for high-WMC participants, with low-WMC individuals showing an opposite (though non-significant) facilitatory priming.

It has been suggested that presenting a persistent pattern mask immediately following the prime offset, would impede the conscious (controlled) processing of that stimulus, thus explaining the removal of NP under such masking condition (Daza et al., 2007). Our results from the prime visibility test showed in fact that participants from both WMC groups could discriminate the prime stimulus clearly above the objective threshold for conscious awareness under the delayed, but not under the immediate masking condition. Note however, that the role of prime awareness in single NP remains a debated issue, and there are some recent reports of reliable single NP even when the to-be-ignored prime is subliminally presented (Milliken et al., 1998; Neill and Kahan, 1999; Wang et al., 2018).

A perhaps more plausible account of the dependence of single NP on the absence vs. presence of a persisting mask has recently been suggested by Houghton et al. (1996), Wang et al. (2014, 2018). According to these authors, presenting a persisting pattern mask immediately following an ignored prime would create a perceptual input that would interfere with the buildup of attention inhibition, thus explaining the elimination of NP with an immediate mask. But the implementation of inhibition would be possible when there is an ISI interval long enough between the prime and the mask (or between a mask and the upcoming target). Our findings would be consistent with that hypothesis. Assuming that the use of a persisting

immediate mask would interrupt the buildup of attention inhibition, we did not expect to find differences between low-WMC and high-WMC groups under such masking condition. In fact, we found a consistent relation between WMC scores and the ignored priming effects only with a delayed mask (see Figure 3).

The findings that an ignored prime followed by a delayed mask gives rise to reliable NP in participants with higher-WMC, but not in those with lower-WMC, could be well accommodated by both the inhibition (Hasher et al., 1999, 2007) and the executive attention (Engle and Kane, 2004) theories of working memory. Thus, a high-WMC could reflect an improved ability either to inhibit or suppress task-irrelevant information (e.g., an ignored prime), or to maintain in an active state the task-relevant information while potentially competing irrelevant distractors are blocked. Whether individual differences in WMC could modulate not only behavioral measures, but also electrophysiological (ERP) correlates of semantic NP remains an interesting matter for future research.

Data Availability Statement

The datasets generated for this study are available on request to the corresponding author.

Ethics Statement

The study was reviewed and approved by the University of Almería Human Research Ethics Committee, and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. The participants provided their written informed consent to participate in this study.

Author Contributions

MM and JO developed the concept and the design of the experimental work and were responsible for writing the manuscript. MM, JO, CN, and IC actively participated in the implementation of the experimental tasks, data collection, and data analyses. All authors supervised the processes of accomplishing the study, substantially contributed to the interpretation of data, to writing and reviewing the manuscript, as well as to approving the final version of the manuscript.

Funding

This work was supported by the Ministerio de Ciencia e Innovación (Government of Spain) with research grant PSI2017-83135-P to JO.

Conflict of Interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

REFERENCES

- Ahmed, L., and De Fockert, J. W. (2012). Focusing on attention: the effects of working memory capacity and load on selective attention. *PLoS One* 7:e43101. doi: 10.1371/journal.pone.0043101
- Callejas, A., Correa, A., Lupiáñez, J., and Tudela, P. (2003). Normas asociativas intracategoriales para 612 palabras de seis categorías semánticas en español. *Psicológica* 24, 185–214.
- Chao, H. (2011). Dissociations between identity and location negative priming. *Acta Psychol.* 136, 81–89. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.10.005

Chao, H., and Yeh, Y. (2008). Controlled processing in single-prime negative priming. *Exp. Psychol.* 55, 402–408. doi: 10.1027/1618-3169.55.6.402

Conway, A. R., Tuholski, S. W., Shisler, R. J., and Engle, R. W. (1999). The effect of memory load on negative priming: an individual differences investigation. *Mem. Cognit.* 27, 1042–1050. doi: 10.3758/BF03201233

Daza, M. T., Ortells, J. J., and Noguera, C. (2007). Negative semantic priming from consciously vs. unconsciously perceived single words. *Psicológica* 28, 105–127.

De Fockert, J. W., Mizon, G. A., and D’Ubaldo, M. (2010). No negative priming without cognitive control. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 36, 1333–1341. doi: 10.1037/a0020404

De Jong, R. (2001). Adult age differences in goal activation and goal maintenance. *Eur. J. Cogn. Psychol.* 13, 71–89. doi: 10.1080/09541440042000223

Engle, R. W., Conway, A. R., Tuholski, S. W., and Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychol. Sci.* 6, 122–125. doi: 10.1111/j.1467-9280

Engle, R. W., and Kane, M. J. (2004). “Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control,” in *The Psychology of Learning and Motivation*, ed. B. Ross (New York, NY: Elsevier), 145–199. doi: 10.1016/s0079-7421(03)44005-x

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., and Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav. Res. Methods* 39, 175–191. doi: 10.3758/bf03193146

Foster, J. L., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Redick, T. S., and Engle, R. W. (2015). Shortened complex span tasks can reliably measure working memory capacity. *Mem. Cogn.* 43, 226–236. doi: 10.3758/s13421-014-0461-7

Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: a review. *Psychon. Bull. Rev.* 2, 145–173. doi: 10.3758/BF03210958

Frings, C., Schneider, K. K., and Fox, E. (2015). The negative priming paradigm: an update and implications for selective attention. *Psychon. Bull. Rev.* 22, 1577–1597. doi: 10.3758/s13423-015-0841-4

Frings, C., and Wentura, D. (2005). Negative priming with masked distractor-only prime trials: awareness moderates negative priming. *Exp. Psychol.* 52, 131–139. doi: 10.1027/1618-3169.52.2.131

Gazzaley, A., Clapp, W., Kelley, J., McEvoy, K., Knight, R., and D'Esposito, M. (2008). Age-related top-down suppression deficit in the early stages of cortical visual memory processing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 13122–13126. doi: 10.1073/pnas.0806074105

Hasher, L., Lustig, C., and Zacks, R. T. (2007). “Inhibitory mechanisms and the control of attention,” in *Variation in Working Memory*, eds A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, and J. N. Towse (New York, NY: Oxford University Press), 227–249. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0009

Hasher, L., Zacks, R. T., and May, C. P. (1999). “Inhibitory control, circadian arousal, and age,” in *Attention and Performance XVII: Cognitive Regulation of Performance Interaction of Theory and Application*, eds D. Gopher and A. Koriat (Cambridge, MA: MIT Press), 653–675.

Houghton, G., and Tipper, S. P. (1994). "A dynamic model of selective attention," in *Inhibitory Mechanism in Attention, Memory and Language*, eds D. Dagenbach and T. Carr (Orlando, FL: Academic Press).

Houghton, G., Tipper, S. P., Weaver, B., and Shore, D. I. (1996). Inhibition and interference in selective attention: some tests of a neural network model. *Vis. Cogn.* 3, 119–164. doi: 10.1080/713756733

Hutchison, K. A. (2007). Attentional control and the relatedness proportion effect in semantic priming. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 33, 645–662. doi: 10.1037/0278-7393.33.4.645

Hutchison, K. A., Heap, S. J., Neely, J. H., and Thomas, M. A. (2014). Attentional control and asymmetric associative priming. *J. Exp. Psychol. Learn.* 40, 844–856. doi: 10.1037/a0035781

Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R., and Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *J. Exp. Psychol. Gen.* 130, 169–183. doi: 10.1037/0096-3445.130.2.169

Kane, M. J., and Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: the contributions of goal neglect, response competition, and task set to stroop interference. *J. Exp. Psychol. Gen.* 132, 47–70. doi: 10.1037/0096-3445.132.1.47

Lavie, N., Hirst, A., De Fockert, J. W., and Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *J. Exp. Psychol. Gen.* 133, 339–354. doi: 10.1037/0096-3445.133.3.339

Li, T., Wang, L., Huang, W., Zhen, Y., Zhong, C., Qu, Z., et al. (2020). Onset time of inhibition of return is a promising index for assessing cognitive functions in older adults. *J. Gerontol. B Psychol. Sci. Soc.* 75, 753–761. doi: 10.1093/geronb/gby070

Long, D. L., and Prat, C. S. (2002). Working memory and Stroop interference: an individual differences investigation. *Mem. Cogn.* 30, 294–301. doi: 10.3758/BF03195290

Macleod, C. M., Chiappe, D. L., and Fox, E. (2002). The crucial roles of stimulus matching and stimulus identity in negative priming. *Psychon. Bull. Rev.* 9, 521–528. doi: 10.3758/BF03196308

Maldonado, T., Marchak, F. M., Anderson, D. M., and Hutchison, K. A. (2018). The role of working memory capacity and cognitive load in producing lies for autobiographical information. *J. Appl. Res. Mem. Cogn.* 7, 574–586. doi: 10.1016/j.jarmac.2018.05.007

Mayas, J., Fuentes, L. J., and Ballesteros, S. (2012). Stroop Interference and negative priming (NP) suppression in normal aging. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 54, 333–338. doi: 10.1016/j.archger.2010.12.012

Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M., and Seiffert, A. E. (1998). Selective attention: a reevaluation of the implications of negative priming. *Psychol. Rev.* 105, 203–229. doi: 10.1037/0033-295X.105.2.203

Neill, W. T., and Kahan, T. A. (1999). Response conflict reverses priming: a replication. *Psychon. Bull. Rev.* 6, 304–308. doi: 10.3758/BF03212334

Neill, W. T., Valdes, I. A., Terry, K. M., and Gorfein, D. S. (1992). Persistence of negative priming: II. Evidence for episodic trace retrieval. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 18, 993–1000. doi: 10.1037/0278-7393.18.5.993

Noguera, C., Fernández, S., Álvarez, D., Carmona, E., Marí-Beffa, P., and Ortells, J. J. (2019). The implementation of expectancy-based strategic processes is delayed in normal aging. *PLoS One* 14:e0214322. doi: 10.1371/journal.pone.0214322

- Noguera, C., Ortells, J. J., Abad, M. J. F., Carmona, E., and Daza, M. T. (2007). Semantic priming effects from single words in a lexical decision task. *Acta Psychol.* 125, 175–202. doi: 10.1016/j.actpsy.2006.07.007
- Ortells, J. J., de Fockert, J. W., Romera, N., and Fernández, S. (2018). Expectancy-based strategic processes are influenced by spatial working memory load and individual differences in working memory capacity. *Front. Psychol.* 9:21239. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01239
- Ortells, J. J., Fox, E., Noguera, C., and Abad, M. J. (2003). Repetition priming effects from attended vs. ignored single words in a semantic categorization task. *Acta Psychol.* 114, 185–210. doi: 10.1016/j.actpsy.2003.08.002
- Ortells, J. J., Kiefer, M., Castillo, A., Megías, M., and Morillas, A. (2016a). The semantic origin of unconscious priming: behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words. *Cognition* 146, 143–157. doi: 10.1016/j.cognition.2015.09.012
- Ortells, J. J., Marí-Beffa, P., and Plaza-Ayllón, V. (2013). Unconscious congruency priming from unpracticed words is modulated by prime-target semantic relatedness. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 39, 394–413. doi: 10.1037/a0028876
- Ortells, J. J., Noguera, C., Álvarez, D., Carmona, E., and Houghton, G. (2016b). Individual differences in working memory capacity modulate semantic negative priming from single prime words. *Front. Psychol.* 7:1286. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01286
- Redick, T. S., Unsworth, N., Kelly, A. J., and Engle, R. W. (2012). Faster, smarter? Working memory capacity and perceptual speed in relation to fluid intelligence. *J. Cog. Psych.* 24, 844–854. doi: 10.1080/20445911.2012.704359

Richmond, L. L., Redick, T. S., and Braver, T. S. (2015). Remembering to prepare: the benefits (and costs) of high working memory capacity. *J. Exp. Psychol. Learn.* 41, 1764–1777. doi: 10.1037/xlm0000122

Robison, M. K., and Unsworth, N. (2018). Cognitive and contextual correlates of spontaneous and deliberate mind-wandering. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 44, 85–98. doi: 10.1037/xlm0000444

Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: inhibitory priming by ignored objects. *Q. J. Exp. Psychol.* 37, 571–590. doi: 10.1080/14640748508400920

Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *Q. J. Exp. Psychol.* 54A, 321–343. doi: 10.1080/02724980042000183

Tipper, S. P., and Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *Q. J. Exp. Psychol.* A37A, 591–611. doi: 10.1080/14640748508400921

Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., and Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behav. Res. Methods* 37, 498–505. doi: 10.3758/BF03192720

Unsworth, N., Redick, T. S., Heitz, R. P., Broadway, J. M., and Engle, R. W. (2009). Complex working memory span tasks and higher-order cognition: a latent-variable analysis of the relationship between processing and storage. *Memory* 17, 635–654. doi: 10.1080/09658210902998047

Wang, Y., Wang, Y., Liu, P., Wang, J., Gong, Y., Di, M., et al. (2018). Critical role of top-down processes and the push-pull mechanism in semantic single negative priming. *Conscious Cogn.* 57, 84–93. doi: 10.1016/j.concog.2017.11.007

Wang, Y., Zhao, J., Liu, P., Wei, L., and Di, M. (2014). Inhibitory mechanisms in single negative priming from ignored and briefly flashed primes: the key role of the inter-stimulus interval. *Conscious Cogn.* 29, 235–247. doi: 10.1016/j.concog.2014.08.020



EXPERIMENTAL STUDY 3

**INDIVIDUAL DIFFERENCES IN WORKING MEMORY CAPACITY
MODULATE ELECTROPHYSIOLOGICAL CORRELATES OF
SEMANTIC NEGATIVE PRIMING FROM SINGLE WORDS**

³ Manuscript published as:

Megías, M., Ortells, J. J., Carmona, I., Noguera, C., & Kiefer, M. (2021). Individual differences in working memory capacity modulate electrophysiological correlates of semantic negative priming from single words. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 15: 765290. doi: 10.3389/fnbeh.2021.765290

ABSTRACT

In the present study, event-related potentials (ERPs) were registered during a semantic negative priming (NP) task in participants with higher and lower working memory capacity (WMC). On each trial participants had to actively ignore a briefly presented single prime word, which was followed either immediately or after a delay by a mask. Thereafter, either a semantically related or an unrelated target word was presented, to which participants made a semantic categorization judgment. The ignored prime produced a behavioral semantic NP in delayed (but not in immediate) masking trials, and only for participants with a higher-WMC. Both masking type and WMC also modulated ERP priming effects. When the ignored prime was immediately followed by a mask (which impeded its conscious identification) a reliable N400 modulation was found irrespective of participants' WMC. However, when the mask onset following the prime was delayed (thus allowing its conscious identification), an attenuation of a late positive ERP (LPC) was observed in related compared to unrelated trials, but only in the higher-WMC group showing reliable behavioral NP. The present findings demonstrate for the first time that individual differences in WMC modulate both behavioral measures and electrophysiological correlates of semantic NP.

Key words: Individual Differences in Working Memory Capacity, Semantic Negative Priming, Event-Related Potentials, N400 ERP Component, Late Positive Complex.

INTRODUCTION

Working memory (WM) has been defined as the capacity to actively retain and manipulate a limited amount of internal information (e.g., Baddeley, 1986). WM represents a key cognitive resource for many complex cognitive activities in everyday life such as action control or problem solving (Funke, 2010). WM is not only critical for storage and manipulation of information, but also plays a role in maintaining goal-directed behaviour in the presence of potential distractors or contextually inadequate alternative responses. To successfully direct our behavior toward task-relevant information, both the target and competing distractors must remain clearly separated in processing. WM has been proposed to be fundamental in this process, and specifically in selective attention, which enhances target processing (e.g., Gazzaley & Nobre, 2012; Lavie, Hirst, De Fockert & Viding, 2004).

A variety of studies over the last decades have demonstrated that a reduction in the availability of WM resources is associated with a decreased capacity to inhibit or suppress the processing of irrelevant competing information in selective attention tasks (e.g., Engle & Kane, 2004; Ortells, Noguera, Álvarez, Carmona, & Houghton, 2016a; Megías, Ortells, Noguera, Carmona, & Marí-Beffa, 2020; Shipstead, Lindsey, Marshall, & Engle, 2014).

An experimental paradigm widely used to measure attentional selection, which unlike some other selection tasks (e.g., Flanker, Stroop), allows to investigate the fate of a previously ignored stimulus representation, is that of Negative Priming (NP). The so-called NP effect refers to the demonstration that participants' reactions to a probe target are slowed down or are more error prone when such stimulus appeared as an ignored distractor on a preceding prime display, compared with a target that did not

appear on the prime display (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Tipper, 1985; see Frings, Schneider, & Fox, 2015; Mayr & Buchner, 2007, for reviews). NP has typically been observed when the ignored prime is presented along with a simultaneous relevant stimulus to which participants must attend and/or respond. Yet, further work has successfully reported reliable NP even in the absence of distractors on the prime display (i.e., single-NP; e.g., Chao & Yeh, 2008; Frings & Wentura, 2005; Milliken, Joordens, Merikle, Seiffert, 1998; Noguera, Álvarez, Carmona, & Parra, 2015; Noguera, Ortells, Abad, Carmona, & Daza, 2007).

An influential theoretical explanation is that NP is a behavioral index of a persisting inhibition mechanism, which would act to suppress (and/or decouple from potential effectors) the activation levels of the ignored (selected-against) prime distractor. The inhibitory action is assumed to *persist* for some time, thus impairing (e.g., delaying) responses to the stimulus when it becomes the relevant to-be-responded target in subsequent probe display (e.g., Houghton & Tipper, 1994; Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985). Other researchers have explained NP in terms of a backward-acting process of episodic retrieval. In this account, NP would occur when the current probe target triggers retrieval of a previous encounter with the same stimulus, which on that occasion served as an irrelevant prime distractor, causing a delay in the response selection process (e.g., Mayr & Buchner, 2006; Neill, Valdes, Terry, & Gorfein, 1992; Rothermund, Wentura, & De Houwer, 2005; for other alternative accounts see Milliken et al., 1998).

Evidence has accumulated for both accounts, and there are, in fact, some hybrid models conceiving that both forward-acting persisting inhibition and backward-acting retrieval processes would indeed contribute to the NP effect. For example, according to the *distractor inhibition* framework proposed by Tipper (2001; see also Gibbons & Frings, 2010), the main relevant

difference between inhibitory and memory retrieval theories relates to the assumption of whether inhibition that is initially allocated to an ignored (selected-against) distractor on the prime display is actively reinstated by a retrieval mechanism during the processing of the probe target, or persists from the prime to the probe display.

In either case, there is converging evidence that the distractor inhibition mechanism supposedly underlying NP depends critically on the availability of cognitive control (WM) resources. A first kind of support comes from research on cognitive ageing. Relative to younger adults, older people, who are assumed to have reduced WM capacity (WMC), are disproportionately impaired at attention tasks that require active ignoring of irrelevant information. Thus, they show not only increased interference effect from competing distractors in conflict tasks, but also a reduced (or even absent) NP effect from irrelevant stimuli, indicating that they were unable to efficiently ignore to them (e.g., Mayas, Fuentes, & Ballesteros, 2012; see also Noguera, Fernández, Álvarez, Carmona, Marí-Beffa, & Ortells, 2019).

Further evidence for a close link between WM and selective attention comes from studies that evaluated the processing of distractors in selective attention tasks (e.g., NP) while varying mental load (e.g., high vs. low load) in a concurrent WM task. The ignored prime distractor usually produces reliable NP only when the concurrent memory task demands are low. In contrast, under a high memory load, the NP effect is often eliminated or even reversed to positive priming (PP), suggesting that the processes that contribute to NP require attentional resources. Similar findings have been reported using a standard NP procedure (i.e., the prime and probe displays contain at least two stimuli; Conway, Tuholski, Shisler, & Engle, 1999; De Fockert, Mizon, & D'Ubaldo, 2010; Engle, Conway, Tuholski, & Shisler, 1995; Gibbons & Stahl,

2010), as well as single-prime NP paradigms (e.g., Chao & Yeh, 2008; see also Chao, 2011).

Converging support for a dependence of NP on WM control resources comes from studies examining differences in NP between higher-WMC and lower-WMC individuals (i.e., scoring in the upper vs. lower quartiles in several WM and attention control tasks). A consistent result is that only participants having a higher WMC showed reliable NP, whereas lower-WMC participants did not (e.g., Conway et al., 1999; see also Long & Prat, 2002). The differential priming pattern showed by higher vs. lower-WMC individuals has been reported not only with standard identity NP procedures (i.e., the ignored prime is repeated as the probe target), but also using a semantic NP paradigm (i.e., the prime and target stimuli are highly associated members from the same semantic category), which would involve of a more abstract (conceptual) level of representation.

A semantic NP paradigm has been used in a recent study by Ortells et al. (2016a). In this experiment, individuals high and low in WMC (as assessed by their performance in several WM and attention control tasks) were instructed to either attend to or ignore a single prime word that was followed by either a semantically related or unrelated target word, on which participants performed a lexical decision (see also Noguera et al., 2007). Ortells et al. (2016a) found that individual differences in WMC mainly affected the processing of the ignored primes, but not the processing of the attended primes: Whereas a similar positive semantic priming effect (PP) for attended primes was found in both participant groups, reliable semantic NP was shown only by the high WMC group. Yet, the lower-WMC participants showed a PP effect from ignored primes. These findings of reliable NP for high but not for low WMC individuals fit well with the idea that distractor inhibition is resource dependent. Thus, a lower WMC could be associated with a reduced

ability of control mechanisms to effectively inhibit the processing of an ignored prime distractor, thus explaining the lack of NP in the low-WMC group.

The modulation of semantic NP by individual differences in WMC has recently been replicated by Megías et al. (2020). In their NP study, participants were instructed to always ignore the single prime word on every priming trial. A second main difference with the Ortells et al.'s study is that the ignored prime was followed either after a 314-ms delay or immediately by a pattern mask that remained on the screen until target onset, with both masking delay (delayed vs. immediate) varying randomly from trial to trial.

Several NP studies using similar masking conditions had demonstrated that an ignored single prime lead to reliable semantic NP when the mask onset is delayed (or there is a blank inter-stimulus-interval between the mask offset and the target onset; e.g., Daza, Ortells, & Noguera, 2007; Wang, Zhao, Liu, Wei, & Di, 2014; Wang, Wang, Liu, Wang, Gong, Di, & Li, 2018; see also Noguera et al., 2007). In contrast, the NP effect is completely absent (or even reversed to facilitatory priming) under immediate masking conditions, in which the mask remains on the screen throughout the prime-target interval and thus prevents conscious prime identification (e.g., Daza et al., 2007; Wang et al., 2014; 2018).

Based on a hypothesis originally developed by Houghton, Tipper, Weaver, & Shore (1996), Wang and colleagues (2014; 2018) suggest that the presence of a masking pattern that persists at the same spatial location where a target will appear, would generate a continuous perceptual input that could interfere with the implementation of the attentional inhibition resulting from an ignore instruction. By contrast, when the mask onset is delayed, the

masking stimulus would not interfere with the buildup of the inhibition, so an ignore instruction could lead to reliable NP.

To the extent that the presentation of a persisting mask indeed interferes with attentional inhibition, Megías et al. (2020) expected to observe a lack of NP in that masking condition for both high-WMC and low-WMC participants. In clear contrast, in the delayed masking condition allowing the implementation of resource-dependent distractor inhibition, the ignored priming pattern should however be reliably modulated by WMC. Thus, only participants with a higher-WMC, but not those with a lower-WMC, should show reliable NP in the delayed masking condition. The reliable three-way interaction between Masking Type, Relatedness and WMC, reported by Megías et al. (2020), was clearly consistent with those predictions.

Current study

The demonstration that individual differences in WMC can modulate NP at a semantic level of representation, constitutes a relevant finding in the literature.

Most of prior research reporting a dependence of NP on cognitive control (working memory) resources, has used different versions of the identity (or repetition) NP paradigm, in which the same stimulus which appears as a to-be-ignored distractor in a prime display is presented as the to-be-responded target on the subsequent probe display (e.g., Conway et al., 1999; De Fockert et al., 2010; Engle et al., 1995; Gibbons & Stahl, 2010; Mayas et al., 2012).

Identity NP has showed to be a robust behavioral effect, which has been observed for a wide variety of different stimuli, tasks, and populations of participants (see Fox, 1995; Frings et al., 2015, for reviews). Although, it is usually accepted that NP can also rely on the semantic similarity between the

ignored prime and the probe target, semantic NP effects have often been weaker and difficult to replicate (especially when words are used as prime stimuli). Semantic NP has proved to be a reliable effect only under several limited conditions, being highly sensitive to several minor procedural differences, such as the type of probe task, the strength with which the prime and target words are associated, or the type of pattern mask (e.g., immediate vs. delayed) following an ignored prime. Based on these considerations, we thought important to replicate the differential influence of WMC on ignored priming effects as a function of masking type that was recently observed by Megías et al. (2020). This was the first aim of the present research.

The second and more important goal was to investigate whether individual differences in WMC could also modulate electrophysiological (ERPs) correlates of semantic NP from single prime words.

The event related potentials (ERPs) technique provides a powerful research tool to examine the brain-electrical correlates and processes associated with NP due to their high temporal resolution (Hinojosa, Pozo, Méndez-Bértolo, & Luna, 2009). Whereas the ERPs methodology might be a complementary dependent variable to behavioral measures (e.g., RTs and error rates) to elucidate the processes underlying NP, the attempts to obtain electrophysiological measures of NP had been relative scarce, and have produced a quite heterogeneous pattern of ERP correlates.

An early ERP component that has demonstrated to be sensitive to identity (or repetition) NP is an enhanced N200 amplitude in the ignored repetition (NP) condition, relative to a control condition. An enhanced frontal negativity is usually observed in conflict (e.g., Stroop, go/no-go) tasks when the suppression of an inappropriate response is required (e.g., Eimer, 1993; Falkenstein, Hoormann, & Hohnsbein, 1999; West & Allain, 2000). Given the

N200 NP effect is usually found at frontal electrode sites (e.g., Frings & Groh-Bordin, 2007; but see Daurignac, Houdé, & Jouvent, 2006; Hinojosa et al., 2009, for more widely distributed N200 effects), it has been interpreted as evidence for attentional inhibition (Frings & Groh-Bordin, 2007; see also Kiefer, Marzinzik, Weisbrod, Scherg, & Spitzer, 1998; Kopp, Mattler, Goertz, & Rist, 1996).

The NP effect has also been associated with modulations of later ERP components as the late positive complex (LPC). Using an auditory identity-based NP task, some researchers have reported a smaller parietal positivity in the NP condition (compared to the control condition) between 450-600 ms post-target (e.g., Mayr, Niedeggen, Buchner, & Orgs, 2006; Mayr, Niedeggen, Buchner, & Pietrowsky, 2003). This NP-related LPC effect shares polarity, time course and topography with the “old/new” effect that is frequently observed in studies on recognition memory (e.g., Rugg & Doyle, 1994; Wilding, 2000). The old/new effect consists of a more positive-going ERP component that is registered particularly at parietal recording sites from 300 to 800 ms following the onset of an “old” compared to a “new” stimulus. This ERP effect has been shown to co-vary with the quality of information retrieved from episodic memory and item’s familiarity (e.g., Rugg & Doyle, 1994; Wilding, 2000). According to Mayr et al. (2003), a probe target that had previously been presented as an ignored prime distractor in a NP task, could be viewed as being “less familiar” than a “novel” target (control condition), thus resulting in an attenuated LPC associated to the NP effect.

By using a picture naming task, Behrendt, Gibbons, Schrobsdorff, Ihrke, Herrmann, & Hasselhorn (2010) also reported a significantly smaller LPC amplitude in the NP condition relative to a control condition. This LPC attenuation was again interpreted in support of a memory-based account of NP (e.g., Rothermund et al., 2005). Note however that the NP-related reduced

LPC reported by Behrendt et al. (2010) was found at *fronto-central* (and not at parietal) recording sites. The different topographies of the LPC effects could reflect different cognitive processes (e.g., Ullsperger, Mecklinger, & Müller, 2000). As Behrendt et al. (2010) acknowledge, the NP-related frontal LPC modulation observed in their study could also be explained in terms of a differential amount of cognitive control. Processes related to cognitive control have been associated with a late frontal ERP negativity (e.g., Ridderinkhof, Van Den Wildenberg, Segalowitz, & Carter, 2004, West, Bowry, & McConville, 2004; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004). Cognitive control processes could be particularly required in a conflicting (e.g., NP) conditions, thus reducing the ERP positivity that usually indicates the completion of trial processing.

Note that a NP-related diminished posterior positivity in late time ranges (e.g., between 400 and 500 ms post-stimulus) has also been reported by some other studies, which is interpreted as a correlate of increased distractor inhibition (e.g., Gibbons & Frings, 2010; see also Gibbons, 2009). For example, Gibbons and Frings (2010) developed a variant of the flanker task, in which the prime locations slightly differed between subsequent trials. This varied-locations task was designed to minimize (or disable) anticipatory spatial prime selection, thus inducing a deeper processing of the prime distractors (i.e., their conceptual representations would be more strongly activated), as compared to a standard fixed-locations flanker task (which supposedly allowed for anticipatory inhibition of the upcoming prime distractor locations).

According to Houghton and Tipper (1994), stronger initial distractor activation should call for stronger subsequent distractor inhibition, which in turn would result in a stronger NP effect. Gibbons and Frings (2010) found that both behavioral NP and a posterior (parietal) amplitude ERP reduction in

a time window of 380-430 ms were only present in the varied-location, but not in the fixed-location flanker task. The authors interpreted this NP-related ERP correlate as an increased processing negativity (see also the reversed N400 reported by Bermeitinger, Frings, & Wentura, 2008), which would be an index of the amount of activation needed for target identification. In an ignored repeated (NP) trial more activation (and effortful processing) is needed (compared to a control trial) to identify and to respond to a probe target that was previously presented as an ignored prime distractor.

Apart from these inconsistencies between studies and the heterogeneity of ERP findings (which could indeed reflect the involvement of different mental processes underlying NP), note that most of attempts to measure ERP correlates of NP have used any kind of repetition (identity) priming paradigm. To our knowledge, there is but only one ERP study of semantic NP: Wagner, Baving, Berg, Cohen, and Rockstroh (2006), examined repetition and semantic priming effects produced by attended and ignored prime words in a lexical decision task in both patients with schizophrenia and healthy adult controls. The attended primes produced a similar behavioral and ERP pattern (N400) of priming effects in the two groups. The N400 ERP component has been widely used as an electrophysiological index of semantic processing at both the sentence and word level (Kutas & Hillyard, 1984; for a review, see Kutas & Federmeier, 2011). In conventional semantic priming paradigms, a reduced (i.e., less negative) N400 amplitude is elicited by semantically related targets, relative to unrelated targets (e.g., Kiefer, 2002). In the Wagner et al.'s study, the N400 amplitude was equally modulated by semantic context for both patients and controls. Regarding the ignored prime words, semantic NP was shown to modulate ERPs in the N400 range only in healthy controls, but not in schizophrenic patients.

It should be noted, however, that there were some remarkable dissociations between the ERP priming effects and those found on behavioral (response times) measures. Whereas the ignored primes lead to a reliable repetition NP for both controls and patients, *no behavioral semantic NP* was found at all either in patients or in control participants (Wagner et al, 2006; see pp. 206, Tables 3-4). Thus, the N400 effects in the semantic NP condition exhibited by the control group were not functionally linked to any behavioral NP effect.

The present research was mainly aimed to explore whether higher- vs. lower-WMC participants could show not only behaviorally different semantic priming effects, but also dissociable electrophysiological correlates that were functionally linked to behavioral measures of semantic NP. To this end, we measured event-related brain activity (ERP) in individuals high and low in WMC (as assessed by their performance in complex span and attention control tasks), while they performed the same semantic single NP task as that recently used by Megías et al. (2020).

Regarding behavioral data, we expected to replicate the differential priming pattern as a function of masking type and WMC that was reported in Megías et al.'s study: When the ignored prime was immediately followed by a persisting mask, no reliable semantic NP was expected to emerge for either group. With a delayed mask, however, variations in WMC should modulate semantic priming effects, such that only higher-WMC participants (but not those with lower-WMC) should show reliable semantic single NP (i.e., a significant three-way Relatedness x Masking Type x WMC interaction).

In the ERP recordings, we also predict differential effects for the immediate and delayed masking conditions. Research on single NP (i.e., without distractors) has consistently showed a lack of NP with an immediate

and persistent mask, and some prior studies have even reported reliable facilitatory (positive) priming from ignored stimuli under this immediate masking condition (e.g., Daza et al., 2007; Wang et al., 2014). There is compelling evidence that the N400 amplitude is modulated not only by conscious, but also by unconsciously perceived words (e.g., Deacon, Hewitt, Yang, & Nagata, 2000; Kiefer, 2002; Kiefer & Brendel, 2006; Kiefer & Martens, 2010; Kiefer & Spitzer, 2000; Küper & Heil, 2009; Ortells, Kiefer, Castillo, Megías, & Morillas, 2016). It is therefore conceivable to find a conventional N400 ERP modulation (i.e., larger N400 amplitude for unrelated than for related targets) in the immediate masking condition. To the extent that the presence of an immediate mask impedes conscious identification and controlled processing of an ignored prime (or makes them more difficult), the observed N400 modulation should be similar for both higher-WMC and lower-WMC groups.

Regarding the delayed masking condition, note that no study so far has reported ERP correlates of semantic NP that are functionally linked to behavioral NP effects. For that reason, this part of our research was exploratory. But based on previous findings showing behavioral semantic NP for high-WMC, but not for lower-WMC participants (e.g., Megías et al., 2020; Ortells et al., 2016a), we expected that individual differences in WMC should modulate either early (N200) or late (LPC) (or both) ERP correlates of semantic NP.

METHOD

Participants screening for WM and attention control capacity

A sample of 200 native Spanish participants (mean age = 25.3 years, range 18-48, SD = 8.4) with normal or corrected-to-normal vision was prescreened for WM and attention control capacities, based on their

performance on Spanish adaptations of automated versions of two complex verbal (Operation span-Ospan) and visual (Symmetry span-Symspan) WM tasks (e.g., Unsworth, Heitz, Schrock, & Engle, 2005; Unsworth, Redick, Heitz, Broadway, & Engle, 2009; see also Ortells et al., 2016a), as well as versions of the Antisaccade and Stroop conflict tasks (Hutchison, 2007; Kane, Bleckley, Conway, and Engle, 2001). The presentation order of the four tasks was counterbalanced across participants (for further details of each task used in the screening phase, see Megías et al., 2020).

In the complex span WM tasks, participants must recall either the identity (Ospan) or the spatial location (Symspan) of a variable set of items (Ospan = 3-7 letters; Symspan = 2-5 squares within a matrix) in the same order in which they were presented, while performing other simultaneous task (Ospan = solving simple arithmetic operations; Symspan = making vertical symmetry decisions on visual geometric figures). The total score is the sum of items correctly recalled in the correct order without intrusions, which ranges from 0 to 75 in the Ospan, and from 0 to 42 in the Symspan WM task. In addition to obtaining independent global scores in the two span tasks for each participant, we also calculated a z-score WMC composite, by averaging z-scores for each participant across the two span tasks. Quartiles were then computed from the averaged distribution, with z-scores ranging from + .60 and -.40, corresponding respectively to the upper and lower quartiles of the 200-participants' database.

In the Antisaccade task, participants are required to identify a briefly presented and post-masked target letter, which appears on either the same (prosaccade block) or the opposite (antisaccade block) visual field of a visual cue (an asterisk) that precedes the target (300 ms before). To make the detection of the target easier, participants are encouraged to either look away from the asterisk location, or move their eyes to the location of the

asterisk in the antisaccade and prosaccade trial blocks, respectively. It is assumed that attention orienting is less automatic and more dependent on executive control in the antisaccade than in the prosaccade condition.

In the Stroop task, participants had to quickly respond to the ink color (blue, green, or red) of a central word (BLUE, GREEN, or RED), with congruent trials being much more frequent (70%) than incongruent trials (30%). These task conditions were aimed to place greater demands on working memory, such that participants should stay focused on the color naming task and avoid reading the word (e.g., Hutchison, 2007; Kane & Engle, 2003).

Participants

Twenty-eight high (19 females) and twenty-eight low (21 females) WMC participants, who had WMC composite z-scores falling within the upper ($> + .60$) and lower ($< - .40$) quartiles of our 200-participants pool (see Table 1 below), were recruited for the semantic NP study, while their event-related potentials (ERPs) were recorded. Data of four participants were excluded due to excessive EEG artifacts ($> 60\%$ of artifact trials; a minimum of 50% of artifact-free trials per condition was considered necessary for inclusion into the Grand Average), leaving 26 subjects in each group (High vs. Low) for behavioral and ERP analysis. These sample sizes were similar than those used by previous single-prime NP studies (e.g., Chao & Yeh, 2008; $n = 20$; Daza et al., 2007; $n = 24$; Ortells et al., 2016a; $n = 24$; Wang et al., 2014; $n = 25$; Wang et al., 2018; $n = 24$, Experiments 2-4). We further conducted a post hoc power analysis using G*Power software 3.1.9.2 (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007) to determine the statistical power of both main and interaction effects (within-between subject factors) showed in our study. With an alpha = .05, a medium effect size ($d = .30$) and total sample size = 52, the analysis revealed a statistical power greater than .99.

Participants were between 18 and 48 years old ($M = 25.7$, $SD = 9.2$ for high capacity; $M = 24.4$, $SD = 8.3$ for low capacity), and all of them received credit toward course requirements as compensation. All participants signed a written consent, after the nature and the consequences of the study had been explained. This research was approved by the University of Almeria Human Research Ethics Committee and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Stimuli and Apparatus

Stimulus presentation and response recordings were controlled by E-prime software (Psychology Software Tools Inc).

The stimulus set was similar to that recently used by Megías et al. (2020). It consisted of 32 familiar Spanish nouns of 4-6 letters length belonging to two semantic categories (16 animals and 16 body parts). From that 32-word set, 16 were presented only as primes and 16 appeared only as targets. Half of the words from each category were randomly chosen to be presented in the immediate mask trials, while the remaining half appeared in the delayed mask condition (the assignment of words to the masking conditions was counterbalanced across participants). For each participant and masking type, the same prime and target words (four pairs from each semantic category) were presented on both related and unrelated trials (see also Megías et al., 2020). The related prime-target pairs were highly associated category members (i.e., the first ranked exemplar on both forward and backward directions, such as LION-tiger or THIGH-leg; see Callejas, Correa, Lupiáñez, & Tudela, 2003). The prime and related target words were re-paired in a pseudorandom way to create the unrelated prime-target pairs, such that the prime words from each category were followed by low

associated target words belonging to the other category (e.g., LION-leg; THIGH-tiger).

All stimuli were presented on the center computer screen at a viewing distance of approximately 60 cm, and they were displayed in white font against a black background on a 17-in CRT monitor synchronous with the screen refresh rate of 60-Hz (16.67 ms). Each trial included the following critical displays (see Figure 1): Blank screen, fixation, forward mask, prime, either backward mask or blank screen plus backward mask (depending on masking condition), and target. The blank screen was shown with a black background. The fixation display consisted of a central white cross (+) presented against on a black background. Different random strings of seven white uppercase consonants subtending a visual angle of about 2.46° wide and 0.49° high, were used as forward (e.g., WMHBKGZ) and backward (e.g., GKZHBMW) masks, respectively. The prime and target displays included of a single word presented at the center of the screen in uppercase and lowercase, respectively. Both the prime and target words subtended an averaged visual angle of about 2.21° wide and 0.49° high.

Design and Procedure

General task instructions were displayed on the monitor and were also orally delivered. The sequence and the timing of the events were as follows (see Figure 1): (1) Blank screen presented for either 1000 or 2000 ms, with both durations varying randomly within the experiment to avoid anticipations; (2) Fixation display (+) presented for 500 ms; (3) Forward mask (random string of consonants) presented at the center of the screen for 100 ms; (4) Prime display containing a single uppercase word centrally presented for 33 ms, which participants should try to ignore (treating it as a distractor stimulus); (5) Either a backward mask (a different random string of

consonants) presented for 567 ms until the target onset (immediate masking condition), or a 314-ms blank screen followed by a 253-ms mask (delayed masking condition) and then for the target (thus resulting in a fixed prime-target SOA of 600 ms), with the immediate and delayed masking conditions varying randomly from trial to trial; (6) Target display consisting of a single lowercase word centrally presented until response, on which participants made a categorization judgement (animal vs. body part).

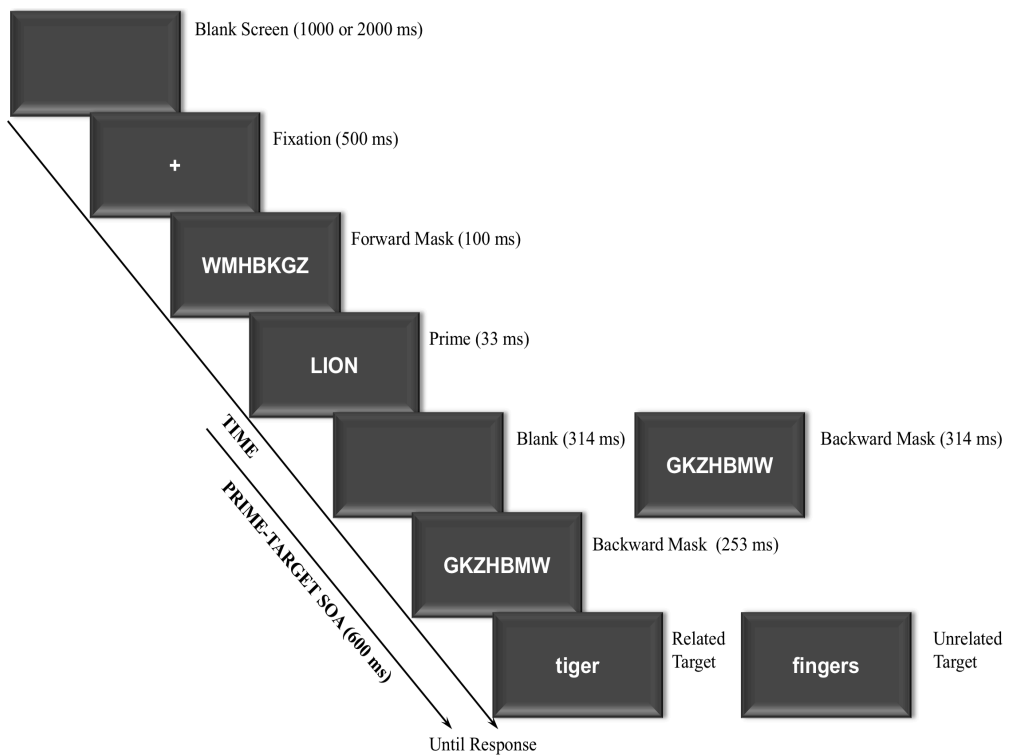


Figure 1. Sequence and time of events in Experiment. The word stimuli shown here for related and unrelated trials have been translated from Spanish to English.

This experimental procedure is identical to that used by Megías et al. (2020), except for the response keys, which were changed to be better suited for use within the context of ERP recordings (i.e., a gamepad replaced the conventional keyboard to avoid potential artifacts by body movements). Thus, on each trial participants were required to respond as fast and as

accurately as possible to the target word by pressing one of two backside buttons of a gamepad with their left and right index fingers, with the mapping between categories and response keys being counterbalanced across participants. Task instructions encouraged participants to consider the prime word preceding the target on every trial as a to-be-ignored distractor stimulus.

Participants took part in a single experimental session (lasting about 35 min) consisting of 16 practice trials followed by 256 experimental trials divided into 4 consecutive blocks of 64 trials each. Half of the trials within each block were related trials, with the prime and target words being highly associated members from the same semantic category (e.g., TIGER-lion; FACE-eyes). The remaining half were unrelated trials, in which the prime and target words belonged to different semantic categories (e.g., TIGER-arm; FACE-cat). For each participant, the words presented on the immediate masking trials were always different to those presented on the delayed masking trials.

The main factors manipulated were WM Capacity (WMC), manipulated between-participants at two levels (High vs. Low-WMC), Prime-Target Relatedness (Related vs. Unrelated), and Masking Type (Delayed vs. Immediate mask). The last two factors were manipulated within-participants with a different random order for each individual. Half of the trials were “Related”, and half were “Unrelated”. Within each of these conditions, the immediate and delayed masking trials occurred equally often and in a randomized order.

After completing the categorization (priming) task, participants performed a prime visibility test to assess their awareness about the prime words presented under both immediate and delayed masking conditions. This

test included 8 practice trials followed by 64 experimental trials, 32 trials for each masking condition. The sequence and timing of events were identical to those of the categorization task, with the difference that participants were now instructed to categorize the prime rather than the target stimulus. Instructions stressed accuracy over response speed. Participants were informed that the prime word could be either an animal or a body-part with an identical probability (.50). If they were unable to categorize the prime, they were required to make the best guess without time limit.

EEG Recording and Analysis

Participants were seated in a comfortable armchair in a dimly lit, electrically shielded room. Scalp voltages were continuously recorded from 29 active electrodes mounted in a cap (actiCAP, Brain Products, Munich, Germany) organized according to the international 10-10 system. An electrode between Fpz and Fz was connected to the ground, and an electrode between Fz and Cz was used as recording reference. Eye movements were monitored with supra- and infraorbital electrodes. Two additional electrodes were attached over the left and right mastoids so that the ERP data could be off-line re-referenced to averaged mastoids. Electrode impedance was maintained below 5 k Ω . Brain electrical signals were digitized with a sampling rate of 250 Hz (0.1-70 Hz band-pass, 50 Hz notch filter) by an AC-coupled amplifier (Brain Amp, Brain Products, Munich, Germany). After recording, data were digitally band-pass filtered (high cutoff: 25 Hz, 24 dB/octave attenuation; low cutoff: .1 Hz, 12 dB/octave attenuation), and segmented from 200 ms before target onset to 800 ms after target onset.

The EEG was corrected for ocular artifacts (eye movements and blinks) using independent component analysis (ICA; Makeig, Bell, Jung, Ghahremani, & Sejnowski, 1997). Remaining ocular and muscular artifacts were rejected

off-line in any EEG channel (maximum amplitude in the recording epoch ± 100 μV ; maximum difference between two consecutive sampling points 50 μV ; maximum difference of two values in the epoch 200 μV ; lowest allowed activity-change 0.5 μV in successive intervals of 100 ms) and were excluded from averaging. EEG data were corrected to a 150 ms baseline prior to target onset. Finally, electrodes were re-referenced off-line to averaged mastoids. Artifact free EEG segments to trials with correct responses were averaged separately both for the four combinations of prime-target relatedness and masking conditions (with the mean percentage of EEG analyzable epochs per condition given in parentheses): Delayed masking (94.98% and 95.25% for related and unrelated conditions, respectively); Immediate masking (94.85% and 95.37% for related and unrelated conditions, respectively).

ERP effects in two time-windows were analyzed (the exact position and extension of both time windows was based on visual inspection): a negative component between 300 and 400 ms post-target onset (N400) and a late positive component between 490 and 590 ms post-target onset (LPC). Nine electrodes of fronto-central and centro-parietal scalp regions (electrodes sites: FC1/FC2, C3/C4, P3/P4, FCz, Cz, Pz), in which the N400 (e.g., Kiefer & Brendel, 2006; Kutas & Federmeier, 2011; Ortells et al., 2016b) and LPC ERP components are usually largest (e.g., Daltrozzo, Wioland, & Kotchoubey, 2012; Davis, Bruce, Snyder, & Nelson, 2003; Liu, Rossi, Zhou, & Chen, 2014), were selected for statistical analyses. Mean amplitudes in both 300 - 400 ms and 490 - 590 ms time ranges were computed for each of those electrodes. Repeated measures $2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3$ ANOVAs were performed on each time window, treating WM capacity (High- vs. Low-WMC) as a between-participants factor, and Prime-target Relatedness (Related vs. Unrelated), Masking Condition (Delayed vs. Immediate), Caudality (fronto-central, central, parietal), and Laterality (left, mid, right), as within-participant factors

(p level of .05). The Geisser and Greenhouse (1959) correction was applied to all repeated measures with more than one degree of freedom, when appropriate. In order to examine the time-course of priming effects under each masking (delayed vs. immediate) condition in more detail, mean amplitudes in seven successive 100 ms epochs starting at target onset (0 ms) and running through the end of the typical LPC (600 ms) window were also analyzed.

RESULTS AND DISCUSSION

Working Memory and Attention Control tasks

Descriptive statistics (means and standard deviations) for performance in the two WM tasks (global span and z-composite scores), and the Antisaccade and Stroop attention tasks (RTs and accuracy) for both high-WMC and low-WMC groups are presented in Table 1. Participants were assigned to each WMC group on the basis of their compound global z-score in the WM tasks with no overlap.

As can be seen in Table 1, independent samples t-tests demonstrated that the high-WMC group outperformed the Low-WMC group in the two WM tasks, as well as in both latency and accuracies of the two attention control tasks. Note also that relative to low-WMC participants, high-WMC individuals seem to show not only a generalized task performance advantage (e.g., faster processing speed), but also an increased capacity for attentional control. Thus, the differences between the two-WMC groups appear to be greater for the more demanding conditions of the two attention tasks (e.g., (antisaccade and incongruent trials). These impressions were confirmed by results of further mixed analyses of variance, in which WMC (high vs. low) was treated as a between-participants factor, and either Saccade Type (antisaccade vs.

prosaccade), or Stroop Congruency (congruent vs. incongruent), as the within-participants variable.

Table 1. Mean (SD) reaction times (in milliseconds), and error percentages (in %) as a function of Working Memory Capacity (Low vs. High WMC), Prime-Target Relatedness (Related vs. Unrelated) and Masking Condition (Delayed vs. Immediate Mask).

	Low-WMC Mean (SD)	High-WMC Mean (SD)	Group differences	Effect Size <i>d</i>
Span WM tasks				
Ospan score	16.4 (6.7)	50.3 (6.6)	$t(50) = 18.4$	5.67
Symspan score	9.4 (5.7)	24.6 (4.9)	$t(50) = 10.2$	3.53
z-score composite	-1.02 (.45)	.98 (.33)	$t(50) = 18.4$	5.17
Antisaccade task				
Prosaccade condition				
RT (ms)	519 (133.3)	429 (79.2)	$t(40)^a = 2.9$	.82
ACC (%)	93 (9)	98 (4)	$t(33)^a = 2.4$	.57
Antisaccade condition				
RT (ms)	702 (139.7)	544 (130.6)	$t(50) = 4.2$	1.16
ACC (%)	71 (12)	94 (6)	$t(36)^a = 8.6$	2.42
Stroop task				
Congruent condition				
RT (ms)	673 (178.8)	631 (175.5)	$t(50) = < 1$	--
ACC (%)	99 (1)	99 (1)	$t(50) = < 1$	--
Incongruent condition				
RT (ms)	833 (195.7)	678 (174.5)	$t(50) = 2.78$	.83
ACC (%)	95 (7)	99 (3)	$t(31)^a = 2.53$	.74

All p values $< .05$

^a Correction of dfs for unequal variances.

Note. The possible range of scores for Operation span and for Symmetry span tasks are 0-75, and 0-42, respectively.

Results from the Antisaccade task showed significant main effects for both WMC group [ACC: $F(1,50) = 51.6$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.51$; RTs: $F(1,50) = 15.9$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.24$] and Saccade Type [ACC: $F(1,50) = 89.03$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.64$; RTs: $F(1,50) = 112.2$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.69$], and of more interest, a reliable interaction between WMC and Saccade Type in both accuracy (F

(1,50) = 48.7, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.49$), and response latency ($F(1,50) = 5.73$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.10$). This interaction revealed that the improved performance observed in the high WMC group, compared to the low one, was greater in the antisaccade condition than in the less attention demanding prosaccade condition (see Table 1).

The ANOVA on the Stroop task revealed a very similar result pattern. Namely, there were reliable main effects for both WMC [ACC: $F(1,50) = 4.4$, $p = 0.04$, $\eta^2 = 0.08$; RTs: $F(1,50) = 10.4$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.17$], and Stroop Congruency [ACC: $F(1,50) = 8.4$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.14$; RTs: $F(1,50) = 74.6$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.60$], such that performance in the Stroop task was better on congruent than on incongruent trials. More importantly, there also was significant the interaction between WMC and Stroop congruency [ACC: $F(1,50) = 8.4$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.14$; RTs: $F(1,50) = 10.4$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.17$]. Thus, the differences in performance between high and low-WMC participants were much larger in the incongruent than in congruent trials (see Table 1).

Behavioral Results

Priming Task

Trials containing incorrect responses (3.69 % of total) or those with RTs falling more than 2.5 standard deviations from the overall mean RT (2.9% of trials) were removed from analyses. Mean RTs and relative frequencies of errors in percent per participant and per condition were entered in two Analyses of Variance (ANOVAs) with WM capacity (High- vs. Low-WMC) as a between-participants factor, and Masking Condition (Delayed vs. Immediate), and Prime-target Relatedness (Related vs. Unrelated) as within-subject variables. Mean RTs and mean error rate as a function of Masking condition and Relatedness for each WMC group are shown in Table 2.

Table 2. Mean (SD) reaction times (in milliseconds), and error percentages (in %) as a function of Working Memory Capacity (Low vs. High WMC), Prime-Target Relatedness (Related vs. Unrelated) and Masking Condition (Delayed vs. Immediate Mask).

		Working Memory Capacity	
		Low-WMC	High-WMC
Delayed Mask			
	Related	709 (173.2) 3.8 (.04)	664 (97.2) 4.1 (.04)
	Unrelated	737 (205.8) 3.5 (.04)	637 (89.4) 2.9 (.03)
Immediate Mask			
	Related	705 (158.9) 4.8 (.05)	648 (101.0) 3.1 (.02)
	Unrelated	721 (158.2) 4.2 (.03)	644 (94.7) 3.4 (.02)

The analysis of error rates showed no significant effects (all p values > .05). The analysis of RTs revealed a reliable interaction between WMC and Relatedness [$F(1,50) = 12.60$, $p = .001$, $\eta^2 = .201$], such that the ignored prime words showed a reliable semantic NP effect in participants with higher WMC [-15 ms; $F(1,25) = 5.39$, $p = .029$, $\eta^2 = .177$], whereas a positive priming (PP) effect was found in the Lower-WMC group [+22 ms; $F(1,25) = 7.24$, $p = .013$, $\eta^2 = .225$]. Most importantly, the three-way interaction between WMC, Masking Condition, and Relatedness was reliable [$F(1,50) = 4.076$, $p = .049$, $\eta^2 = .075$]. This triple interaction was explored with follow-up ANOVAs, separately for immediate and delayed masking conditions (see Figure 2):

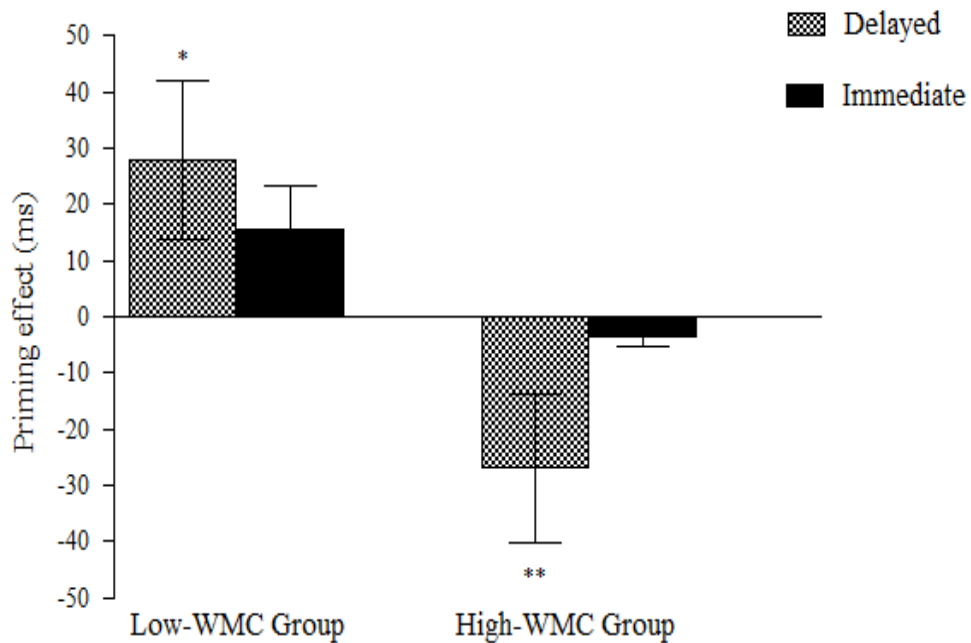


Figure 2. Semantic priming effects (Unrelated minus Related) for Delayed and Immediate Masking for Low-WMC and High-WMC participants. The vertical lines depict the standard error of mean priming scores for each condition. Statistically significant priming effects are highlighted by asterisks (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

When the prime word was immediately followed by a persisting pattern mask, we did not find any effect of relatedness, neither a main effect nor an interaction with WMC (all $F_s < 1$). Even when priming effects in the single conditions were compared against zero, no significant priming effects were obtained in either WMC group (see Figure 2). When the ignored single prime was followed by a delayed mask, however, we found a reliable relatedness \times WMC interaction [$F(1,50) = 14.05$, $p = .000$, $\eta^2 = .219$], which revealed an opposite priming pattern as a function of WMC, thus replicating the behavioral findings reported by Megías et al. (2020). As predicted, High-WMC participants showed a reliable NP effect [-27 ms; $F(1,25) = 9.35$, $p =$

.005, $\eta^2 = 0.272$], whereas a significant PP was found in the Low-WMC group [+28 ms; $F(1,25) = 5.77$, $p = .024$, $\eta^2 = .187$].

There is evidence that the size of the response-time based NP effect reliably increases under experimental manipulations leading to larger overall reaction-times (e.g., Neill & Westberry, 1987; Yee, Santoro, Grey, & Woog, 2000). Based on these findings, one could argue that the behavioral NP effect that was found in our mean RT analyses, was mainly due to very slow RTs on just a few trials in the delayed masking condition. But this does not seem the case on our research.

It has been suggested that median rather than mean RTs, should be a preferred measure of central tendency in NP experiments, because of their greater resistance to single-trial outliers (e.g., Gibbons & Stahl, 2010). Accordingly, we conducted further data analyses on median RTs, which showed a very similar result pattern as that found on mean RTs. Namely, we found again a significant three-way interaction between WMC, Masking Condition, and Relatedness [$F(1,50) = 4.79$, $p = .033$, $\eta^2 = .087$], which revealed a reliable modulation of WMC on RT priming in the delayed but not in the immediate mask. As observed in the mean RT analysis, the ignored prime followed by a delayed mask led to significant behavioral NP only in High-WMC participants [-23 ms; $F(1,25) = 12.4$, $p = .001$, $\eta^2 = 0.33$], but not in the Low-WMC group [+6 ms; $F < 1$].

We also conducted an additional RT analysis, in which for each participant trials were split in fast (below-median) and slow (above-median) responses on the basis of the individual median reaction time. This analysis showed that in the High-WMC group the ignored prime followed by a delayed mask led to a reliable NP effect for slow [-35 ms; $F(1,25) = 5.1$, $p = .032$, $\eta^2 = .17$] as well as and for fast trials [-10 ms; $F(1,25) = 13.5$, $p = .001$, $\eta^2 = .35$].

These results provide further support for the stability and consistency of behavioral (RT-based) NP effects found in the study.

Prime Visibility Test

To examine participants' prime visibility under the immediate and delayed masking trials, we computed the signal detection measure d' in each masking type condition for each participant. This was done by treating one level of the prime category (e.g., animal) as signal and the other level (e.g., body part) as noise (see also Kiefer, Liegel, Zovko, & Wentura, 2017; Wang et al., 2018). Overall discrimination for primes on delayed masking trials ($d' = .12$) was significantly greater [$t(51) = 2.07, p = .044$] than on immediate masking trials ($d' = .02$). Moreover, whereas the prime discrimination score with the delayed mask was reliably above zero [$t(51) = 3.86, p < .001$], the discrimination score with the immediate mask did not reliably deviate from zero ($t < 1$). These findings suggest that the ignored primes followed by a delayed vs. immediate mask were respectively above and below objective thresholds for conscious awareness.

Finally, there was no correlation between the d' values of prime identification and priming scores for each participant in either group or type of mask (Immediate masking: High-WMC: $r = -.15, p > .46$; Low-WMC: $r = .15, p > .46$; Delayed masking: High-WMC: $r = .28, p > .17$; Low-WMC: $r = -.22, p > .27$). This finding suggests that these two indices of prime processing map on to different processes (e.g., Ortells, Marí-Beffa, & Plaza-Ayllón, 2013; Ortells et al., 2016b; Wang et al., 2014; 2018; see also Kiefer, Trumpp, Schaitz, Reuss, & Kunde, 2019).

Electrophysiological (ERP) Results

Figures 3 and 4 depict the averaged ERPs, time locked to the target onset for the related and unrelated conditions under the immediate (Figure

3) and delayed (Figure 4) masking conditions, respectively. Through the early post-target time interval (0 to approximately 300 ms) the waveforms are similar for the related and unrelated conditions under each kind of masking condition. In fact, no evidence of EEG priming effects (i.e., reliable differences in mean amplitudes between the unrelated and related conditions) for either masking type was found in the 0-300 post-target epoch (see Table 3 below).

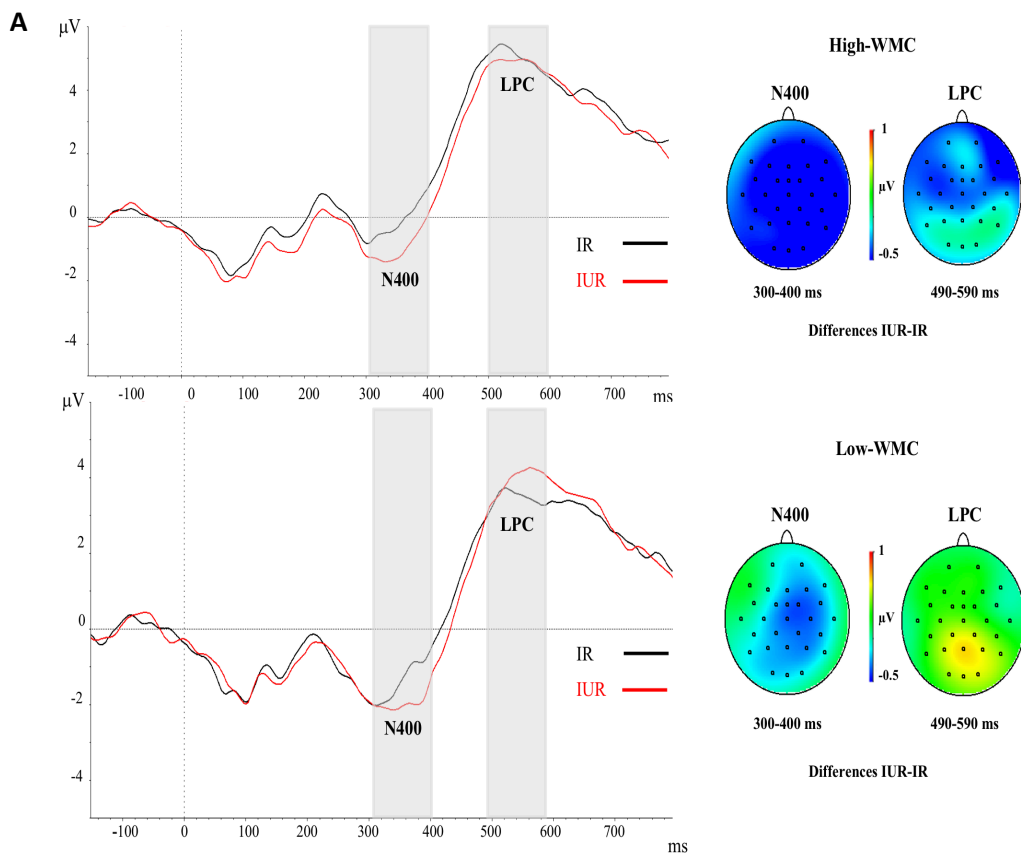


Figure 3.

(A) Grand-averaged voltage data (in μV) in the Immediate Masking condition as a function of WMC and Prime-Target Relatedness (Related-R, black line, vs. Unrelated-NR, red line). As statistical analyses did not yield significant effects of the laterality and caudality factors, voltages were collapsed across the nine fronto-central and centro-parietal electrode sites (FC1/FC2, C3/C4, P3/P4, FCz, Cz, Pz). The analyzed epoch lasted from 150 ms before the onset of the target to 700 ms after target onset. Negative potentials are plotted downwards.

Vertical gray shadings above the X-axes indicate the 300-400 ms (N400) and 490-590 ms (LPC) time windows used for statistical analysis in this and the other ERP figures.

(B) Topographic voltage maps across the 29 electrode sites, displaying the ERP priming differences (unrelated minus related trials) in the immediate masking condition. The N400 ERP component with fronto-central and centro-parietal topography showed a global semantic priming effect in both WMC groups. No reliable LPC ERP effect was observed for neither High-WMC nor Low-WMC participants. IR = Immediate Related; IUR = Immediate Unrelated.

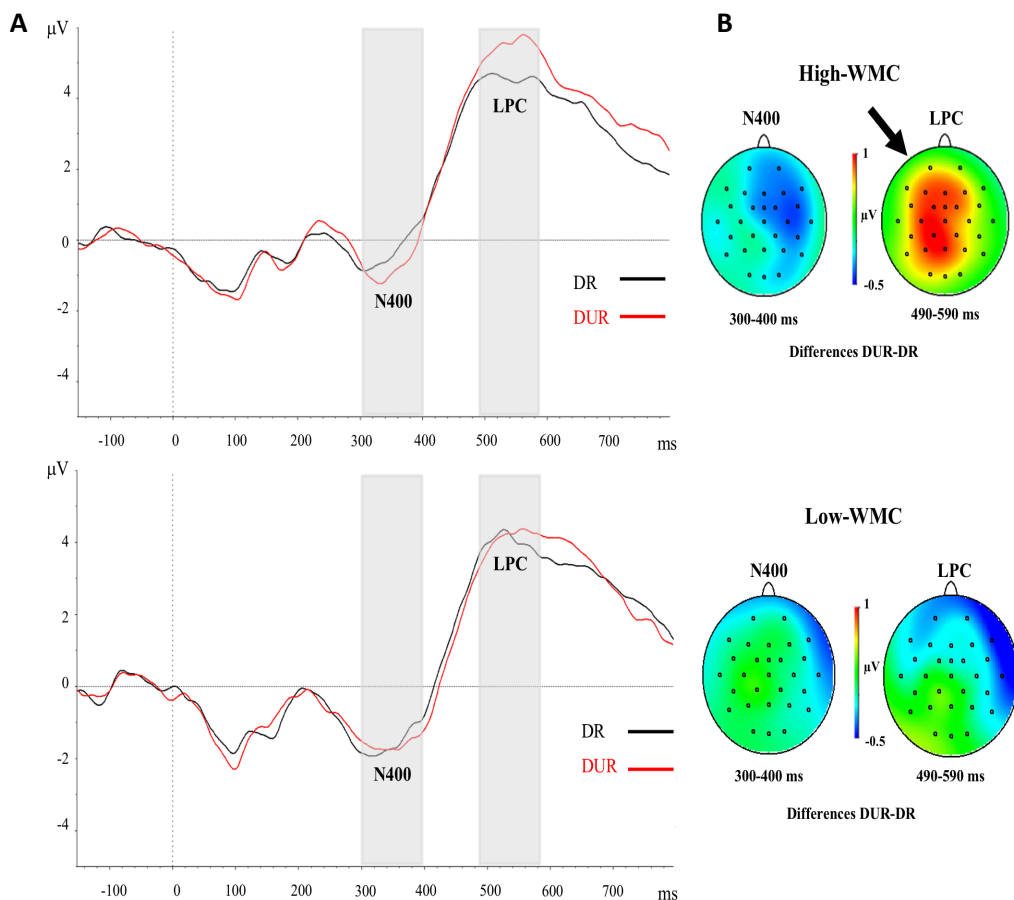


Figure 4.

(A) Grand-averaged voltage data (in μV) in the Delayed Masking condition as a function of WMC and Prime-Target Relatedness (Related-R, black line, vs. Unrelated-NR, red line). As statistical analyses did not yield significant effects of the laterality and caudality factors,

voltages were collapsed across the nine fronto-central and centro-parietal electrode sites (FC1/FC2, C3/C4, P3/P4, FCz, Cz, Pz). The analyzed epoch lasted from 150 ms before the onset of the target to 700 ms after target onset. Negative potentials are plotted downwards. Vertical gray shadings above the X-axes indicate the 300-400 ms (N400) and 490-590 ms (LPC) time windows used for statistical analysis.

(B) Topographic voltage maps across the 29 electrode sites, displaying the ERP priming differences (unrelated minus related trials) in the delayed masking condition. The small arrowhead towards the top of the voltage map highlights the topography for the LPC correlate averaged in the time window between 490 ms and 590 ms, but this ERP effect was significant only in the High-WMC group. DR = Delayed Related; DUR = Delayed Unrelated.

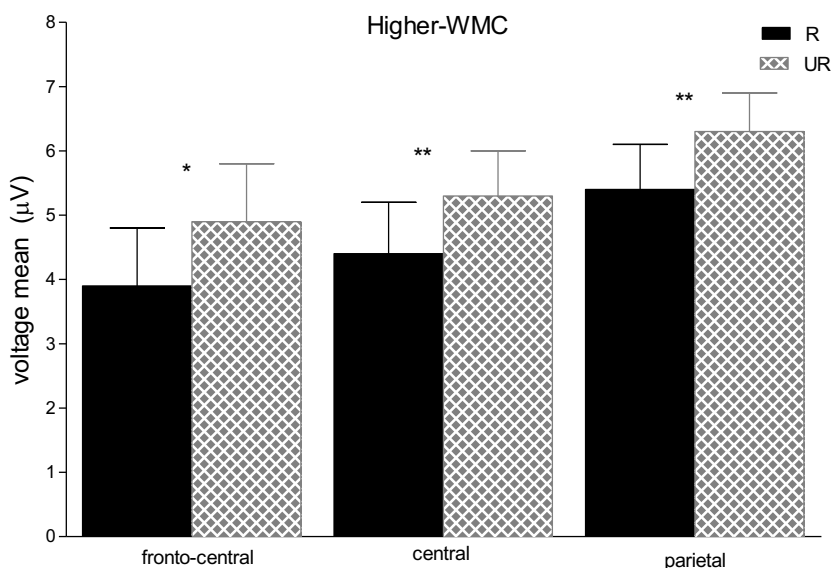
300-400 ms post-target epoch (N400)

There were significant main effects for Caudality [$F(2,100) = 78.6, p < .001, \eta^2 = .61$] and Laterality [$F(2,100) = 12.08, p < .001, \eta^2 = .195$], but neither of both interacted with any other variable. The main effect of Prime-Target Relatedness was also significant [$F(1,50) = 9.26, p = .004, \eta^2 = .156$], with the ERPs in unrelated trials showing a more negative voltage deflection ($-1.369 \mu\text{V}$) than in related trials ($-.896 \mu\text{V}$; see Figures 3 and 4). Thus, a reliable overall N400 ERP effect (supposedly indexing semantic prime processing) was found, which was unaffected by participants' WMC. Although the Relatedness \times Masking \times WMC interaction was not significant ($F < 1$), further separate ANOVAs for each masking condition showed a reliable N400 effect only with the immediate mask [Related = $-.825 \mu\text{V}$; Unrelated = $-1.529 \mu\text{V}$; $F(1,50) = 14.55, p < .001, \eta^2 = .225$], but not with the delayed masking condition [Related = $-.98 \mu\text{V}$; Unrelated = $-1.20 \mu\text{V}$; $F(1,50) = 1.04, p > .311$].

490-590 ms post-target epoch (LPC)

There were significant main effects for Caudality [$F(2,100) = 7.19, p = .001, \eta^2 = .13$] and Laterality [$F(2,100) = 11.01, p < .001, \eta^2 = .18$], but neither of both interacted with any other variable. There was a significant three-way

interaction between WMC, Masking Type, and Relatedness [$F(1,50) = 4.28$, $p = .044$, $\eta^2 = .079$], which revealed a differential ERP pattern depending on whether the ignored prime was followed by either a delayed mask or an immediate (and persisting) pattern mask. Further analyses of this interaction showed that the immediately masked primes produced no reliable ERP difference at this time range (all $F_s < 1$) for neither WMC group (see Figure 3). In clear contrast, when the ignored prime was followed by a delayed mask the ERPs to related targets were less positive than those to the unrelated targets (see Figure 4). Yet, this ERP difference was significant only in higher-WMC participants [Related = $4.57 \mu\text{V}$; Unrelated = $5.48 \mu\text{V}$; $F(1,25) = 7.74$, $p = .010$, $\eta^2 = .24$], not in the Lower-WMC group [Related = $4.00 \mu\text{V}$; Unrelated = $4.14 \mu\text{V}$; $F < 1$]. Note that the LPC modulation observed in the higher-WMC group remained fairly the same irrespective of caudality (see Figure 5), as it reached statistical significance at parietal electrodes (P3/P4/Pz; $F(1,25) = 8.9$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.27$), as well as at central (C3/C4/Cz; $F(1,25) = 7.03$, $p = 0.01$, $\eta^2 = 0.22$), and fronto-central (FC1/FC2/FCz; $F(1,25) = 5.3$, $p = 0.03$, $\eta^2 = 0.17$) recording sites.



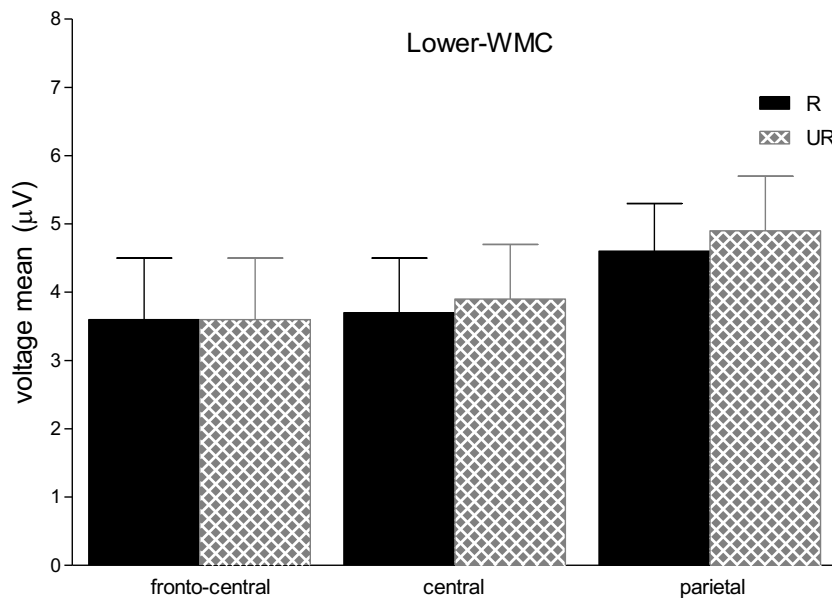


Figure 5. Mean ERP voltages (μV) in the 490-590 ms time interval at fronto-central (FC1/FC2/FCz), central (C3/C4/Cz), and parietal (P3/P4/Pz) electrode sites, as a function of Relatedness (Unrelated vs. Related) in the delayed masking trials, and Capacity Group (High-WMC vs. Low-WMC); error bars indicate the standard error of means, asterisks denote significant differences of Unrelated vs. Related conditions; *** $p < .001$; ** $p < .01$; * $p < .05$.

We conducted an additional individual differences analysis, in which the ERPs data of the 26 participants in the high-WMC group were divided in two different sub-groups (for similar ERP-splitting strategy, see Frings & Groh-Bordin, 2007; Gibbons & Frings, 2010): A first participants' subgroup ($N = 19$) showing a sizeable behavioral NP effect (> 7 ms), and a second participants subgroup ($N = 7$) with either no NP or an opposite facilitation effect in the delayed masking condition. A reliable LPC modulation (reduced positivity to related relative to unrelated targets) in the time range (490-590 ms) was observed for the high-WMC subgroup who also had behavioral NP [$1.30 \mu\text{V}$; $t(18) = 3.52$, $p = .02$]. This related vs. unrelated ERP difference was even

greater than that observed in the overall sample of participants in the high-WMC group (see Figure 6, upper-panel).

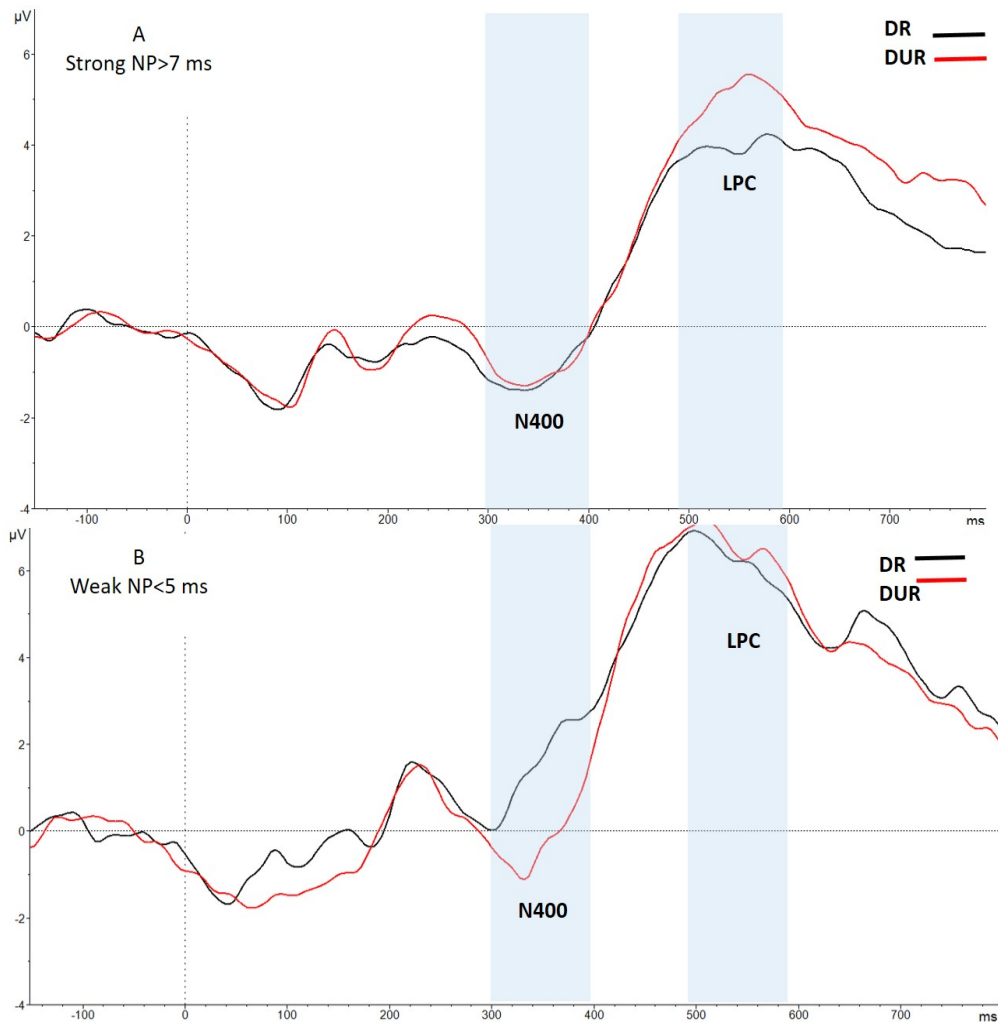


Figure 6. Grand-averaged voltage data (in μV) in the Delayed Masking condition as a function of Prime-Target Relatedness (Related-R, black line, vs. Unrelated-NR, red line) in the High WMC group, separately for participants showing behavioral NP (A: NP effect > 7 ms; $N = 19$); and participants showing behavioral facilitation or weak NP (B: NP effect < 5 ms; $N = 7$). Voltages were collapsed across the nine fronto-central and centro-parietal electrode sites (FC1/FC2, C3/C4, P3/P4, FCz, Cz, Pz). The analyzed epoch lasted from 150 ms before the onset of the target to 700 ms after target onset. Negative potentials are plotted downwards. Vertical gray shadings above the X-axes indicate the 300-400 ms (N400) and 490-590 ms (LPC) time windows used for statistical analysis.

In the first 19-participants' subgroup there also was a reliable correlation between the magnitude of the LPC priming and the size of RT NP, with a larger behavioral NP being associated with a greater LPC effect, thus supporting the claim of a functional significance of the observed LPC modulation for behavioral NP. Interestingly, this correlation was significant for both the overall (distributed across the nine recording sites) LPC ERP effect ($r = .28, p = .045$), and the fronto-centrally located LPC ($r = .30, p = .039$).

In clear contrast, the above LPC modulation was completely absent [$.15 \mu\text{V}; t < 1$] for the 7-participants high-WMC subgroup who had a lack of behavioral NP in the delayed masking trials (see Figure 6, bottom-panel). Interestingly, a reliable N400 modulation (i.e., reduced positivity to the unrelated relative to related targets) in the early time range of 300-400 [$-1.75 \mu\text{V}; t(6) = 3.65, p = .011$] was observed for this 7-participants' subgroup (see Figure 6, bottom-panel). This effect resembles the N400 effect showed by both high- and low-WMC individuals in the immediate masking trials. A plausible interpretation for this N400 modulation, even when the to-be-ignored prime was followed by a delayed mask (thus being clearly visible), is that despite having a high-WMC, this participants' subgroup was unable to efficiently inhibit (or suppress) the pre-activated semantic representations of the prime. An inadequate (or absent) implementation of distractor inhibition could thus underlie the lack of RT and LPC NP effects in these individuals in the delayed mask condition. But even an ignored prime that was not-adequately inhibited, could however be semantically processed, thus leading to a reliable N400 ERP component (this point will further be addressed in General Discussion).

Time-course analyses

In order to better characterize the temporal profile of the ERP priming effects in the present study, we also conducted a series of further t-test analyses (unrelated vs. related) on the ERP data separately for the two masking conditions (Delayed vs. Immediate) in seven consecutive latency bins starting at target onset and lasting until 700 ms. Because statistical analyses had showed that Prime-target Relatedness did not interact with either Laterality or Caudality under either masking type, voltages were collapsed across the nine fronto-central and centro-parietal electrode sites. As can be seen in Table 3, no reliable ERP priming (i.e., differences in mean amplitudes between related vs. unrelated conditions) effect was observed for neither WMC group throughout the 0-300 post-target time range.

Table 3. Time-course analyses of the ERP priming (unrelated minus related) effects for consecutive 100 ms time windows, as a function of WM Capacity and Masking type.

	Low- WMC		High-WMC	
	Delayed	Immediate	Delayed	Immediate
0-100	ns	ns	ns	ns
100-200	ns	ns	ns	ns
200-300	ns	ns	ns	ns
300-400	ns	*	ns	**
(N400)				
400-500	ns	ns	ns	ns
500-600 (LPC)	ns	ns	**	ns

ns = $p > .1$

* = $p < .05$

** = $p < .01$

GENERAL DISCUSSION

There is now consistent evidence that behavioral (RT-based) semantic NP depends critically on the availability of working memory resources (e.g., Megías et al., 2020; Ortells et al., 2016a; see also Noguera et al., 2019). Note however that no study so far has addressed whether the individual differences in WMC could also modulate NP-related electrophysiological (ERP) correlates that were functionally linked to behavioral measures of semantic NP. This was the main goal of the present research.

To this end, we registered ERPs of participants with high and low WMC (i.e., scoring within the upper vs. lower quartiles in memory span tasks), while they performed a semantic single NP task. Participants had to categorize a probe target that was preceded by a briefly presented single prime word, which was followed either immediately or after a delay by a mask aimed to either impede or allow for its conscious identification, respectively (for a similar procedure see Daza et al., 2007; Megías et al., 2020; Wang et al., 2014; 2018).

Two kinds of relevant findings were found. Firstly, our behavioral results exactly replicated those reported by Megías et al. (2020) with a similar NP task. Namely, the ignored single prime gave rise to reliable semantic NP with a delayed, but not with an immediate mask, with the NP effect being only observed for the higher-WMC group. A second relevant finding was that the electrophysiological results also showed a modulation of both masking type and WMC on ERP priming effects. Thus, high-WMC and low-WMC participants showed a differential ERP pattern when the ignored prime was followed by a delayed mask, but not with an immediate and persisting mask. These two kinds of results will be discussed in turn.

Modulation of WMC on behavioral semantic NP

The most relevant behavioral finding was a reliable three-way interaction between Masking Type, WMC, and Relatedness, which replicates findings reported by Megías et al. (2020) with a similar task. When the ignored prime was immediately masked, thus likely impeding participants to be aware of its identity (as the prime visibility test results suggest), no NP effect was found, irrespective of participants' WMC. This lack of semantic NP from a single prime had previously been observed by other studies under similar masking conditions (e.g., Daza et al., 2007; Wang et al., 2014; 2018). In clear contrast, the ignored prime followed by a delayed mask led to reliable semantic NP, although this effect was only observed in higher-WMC not in lower-WMC participants (as revealed by a reliable Relatedness x WMC interaction). This latter result pattern replicates the dependence of behavioral NP on the availability of WM resources that had been reported by several previous studies with both identity and semantic NP tasks (e.g., Chao & Yeh, 2008; De Fockert et al., 2010; Megías et al., 2020; Ortells et al., 2016a; see also Gibbons & Stahl, 2010).

In addition, the RT NP in high-WMC participants in the delayed masking trials was statistically significant for both slow (above-median RT) and fast (below-median RT) response times. This demonstrates the stability and consistency of our behavioral NP effects, which are not exclusively carried by either faster or slower RTs.

Overall, the present results would be consistent with distractor inhibition accounts of NP (e.g., Tipper, 2001), as well as with executive attention theories of working memory (e.g., Engle & Kane, 2004; Hasher, Lustig, & Zacks, 2007), according to which attention inhibition reflects a resource demanding (controlled) process. An increased availability of WM

resources (e.g., a higher WM capacity) would be associated with a greater ability to inhibit the processing of task-irrelevant information (e.g., an ignored prime), thus explaining the emergence of reliable NP only in participants with a higher-WMC. Further evidence in support of a dependence of the semantic NP on WM resources is the finding that WMC z-composite scores for the entire sample of 52 participants did reliably correlate with the size of response-time NP (i.e., RT differences between related and unrelated trials) in the delayed mask ($r = -.49, p = 0.001$), but not in the immediate mask ($r = -.22, p > 0.10$) condition (for similar reliable correlations between behavioral semantic NP and WMC scores, see Megías et al., 2020; Ortells et al., 2016a).

One might wonder whether a memory-based account of NP could explain why the ignored prime followed by a delayed mask led to semantic NP only in the higher-WMC group. From an episodic-retrieval approach (e.g., Neill & Valdes, 1992; Neill et al., 1992), the NP effect would mainly reflect the incongruity between the appropriate response to a probe target and the retrieved “nonresponse” (or “ignore”) information to the same (or a related) stimulus when it appeared as an ignored distractor in the preceding prime episode. Some authors suggest that the finding of a reduced (or absent) NP with an increased memory load (e.g., Conway et al., 1999; De Fockert et al., 2010; Engle et al., 1995; Gibbons & Stahl, 2010) could be well explained without assuming a diminishing effect of the memory load manipulation on distractor inhibition. For example, one could argue that the NP was reduced or absent because a high memory load would impair the retrieval of prime information during probe processing, thereby reducing behavioral NP without necessarily affecting prime distractor inhibition (e.g., Lavie & Fox, 2000; see also Gibbons & Stahl, 2010).

As noted in the Introduction, the episodic-retrieval framework is not necessarily incompatible with the concept of distractor inhibition, as NP

might in fact result from the episodic retrieval of prior inhibitory states of stimulus representations. For example, in the integrative approach developed by Tipper (2001), episodic retrieval process access not only tags but also inhibitory states.

However, it is highly unlikely that our behavioral NP findings exclusively relied on memory processes. If, according to a strict episodic retrieval approach, the retrieval of prior episodic traces supposedly underlying the NP is assumed to be automatic (e.g., Logan, 1988), one should expect that individuals with a Lower-WMC were as able as those with a Higher-WMC to efficiently retrieve prime information. As a consequence, the Low-WMC group should show a similar behavioral NP effect to that shown by the High-WMC group. In contrast to this prediction of episodic retrieval theory, the NP effect clearly differed between Lower- and Higher WMC individuals in our research (see also Megías et al., 2020; Ortells et al., 2016a).

The elimination of NP under the immediate masking condition could in principle be explained by an episodic retrieval theory, by assuming that presenting an immediate and persisting mask would act either (i) impeding to adequately tag the prime word as a to-be-ignored distractor, and/or (ii) interrupting (or suppressing) prime processing. However, none of these arguments seem work here. For example, in the case that participants would attend, rather than ignore, to the prime in (most or many of) the immediate mask trials, a sizeable positive priming effect should emerge in this masking condition, instead of a lack of NP, as was really the case. In the case that the immediate mask had interrupted the processing of the ignored prime, behavioral (or ERP) priming effects should be entirely absent with this masking type. Yet, a reliable N400 ERP difference between related and unrelated trials was found in the immediate masking trials (see below), thus

providing clear evidence for a semantic processing of the ignored masked prime.

Modulation of WMC on ERP correlates of priming effects

The present research demonstrates for the first time that individual differences in working memory capacity do reliably modulate ERP correlates of semantic priming as a function of the mask (immediate vs. delayed) that followed the ignored prime.

When the ignored prime was immediately followed by a mask, such that participants were unaware of its identity, an increased negativity to the unrelated targets (relative to the related ones) was observed at about 300-400 ms after target onset (at fronto-central and centro-parietal recording sites). This N400 modulation, usually interpreted as an ERP index of semantic processing, was significant and very similar for both High and Low-WMC participants. The observed N400 ERP priming was not associated with any behavioral (RT-based) priming effect for either WMC group. Similar dissociations between response times and ERP (N400) measures of semantic priming had been reported by several previous studies (e.g., Brown & Hagoort, 1993; Heil & Rolke, 2004; Heil, Rolke, & Pecchinenda, 2004; Kiefer & Brendel, 2006; Küper & Heil, 2009; see also Marí-Beffa, Valdés, Cullen, Catena, & Houghton, 2005), particularly under experimental conditions on which the prime stimuli are unattended and/or subliminally presented. Possibly, RT and ERP measures of priming occasionally capture differential aspects of cognitive processing.

The results from the prime visibility test showed that irrespective of their WMC, participants were unable to discriminate the immediately masked primes above chance, thus suggesting that the ignored primes followed by an immediate mask were below an objective threshold for conscious awareness.

It appears then that the N400 modulation observed in the immediate masking trials was produced by unconsciously perceived prime words. This finding is in line with previous evidence showing that prime awareness is not a necessary condition to observe a N400 ERP modulation (e.g., Deacon et al., 2000; Heil et al., 2004; Kiefer, 2002; Kiefer & Spitzer, 2000; Ortells et al., 2016b; Rohaut, Faugeras, Chausson, King, El Karoui, Cohen, & Naccache, 2015). Yet, most of previous priming studies reporting a N400 ERP effect by subliminal primes have used a relatively short prime-target SOA (e.g., 200 ms or even lesser). The results of the present research demonstrate that it is possible to find a reliable N400 modulation even at much longer SOA intervals in some circumstances (i.e., 600 ms; see also Deacon, Uhm, Ritter, Hewitt & Dynowska, 1999, for an automatic N400 modulation at a prime-target SOA of 2000 ms).

Whereas both High- and Low-WMC participants showed a similar behavioral (lack of NP) and ERP (N400) priming pattern in the immediate mask condition, differential ERP priming effects were found for the two WMC-groups in delayed masking trials. Related (as compared to the unrelated) targets elicited a diminished positivity in a late time window (490-590 ms, LPC), which paralleled the behavioral semantic NP effect in higher-WMC participants. This LPC ERP priming effect observed with the delayed mask for the high-WMC group, already started at about 490 ms posttarget. Note however, that slow (above-median) participants' mean RTs in that condition ranged from 743 ms (unrelated trials) to 778 ms (related-NP trials). Furthermore, in the high -WMC group the size of the behavioral NP was greater in trials with slow (above median) RTs (- 35 ms) compared to trials with fast (below median) RTs (- 10 ms). The LPC ERP correlate of NP does not then appear to be the consequence of the NP effect on reaction times, but it

would rather be functionally linked to the processes resulting in behavioral NP.

Using different identity NP procedures and stimulus (auditory vs. visual) modalities other previous studies have also reported a NP-related LPC attenuation (e.g., Behrendt et al., 2010; Mayr et al., 2003; 2006), but this ERP effects has usually been interpreted as support for memory-retrieval theories of NP. According to Mayr et al. (2003), for example, a probe target that had previously been presented as an ignored prime distractor, could be viewed as being “less familiar” than a “novel” target (control condition), thus resulting in an attenuated LPC associated to the NP effect.

We cannot exclude the contribution of memory retrieval processes to our NP- ERP effects. As noted before, several authors assume that both attention inhibition and backward-acting retrieval processes could underlie NP (Tipper, 2001). In either case, we argue that the observed dependence of our ERP priming effects on both masking type and WMC is better explained in terms of a distractor inhibition model. This conclusion is based on several observations.

Firstly, the reduced late positivity related to the NP condition has usually been observed at posterior (parietal) electrodes (e.g., Mayr et al., 2003; 2006; but see Behrendt et al., 2010, for a frontally located LPC attenuation). In sharp contrast, a more widely distributed topography of the NP-related LPC attenuation was found in our research, in which the relatedness factor did not reliably interact with Caudality. Thus, the reduced LPC observed in the related trials (compared to the unrelated trials) for the high-WMC group in the delayed masking condition, was not confined to parietal recording sites, but it was also significant at central and fronto-central electrodes (see Figure 5). It remains possible that the different topographies

of NP-related LPC modulations could indeed reflect different processes. As suggested, for example, by Behrendt et al. (2010), a frontally located NP-related LPC attenuation could also be interpreted in terms of greater cognitive control demands in the NP condition.

Secondly, LPC-like ERP effects have also reported in different attention control tasks (e.g., Jackson, Swainson, Cunnington, & Jackson, 2001; Kiefer et al., 1998; Liu et al., 2014), with these LPC effects being interpreted as reflecting a differential ability for inhibitory control. For example, Kiefer et al. (1998) reported that response inhibition in a go/no go attention control task was associated with a sequence of distinct ERP effects, which included a later positivity (around 300–600 ms after stimulus onset) at fronto-central electrode sites, which was found in the difficult no-go task. Other studies have reported a NP-related diminished posterior positivity in late time ranges, with the effect being interpreted as an ERP correlate of increased distractor inhibition (e.g., Gibbons & Frings, 2010; see also Gibbons, 2009).

Third and even more important, the finding of a NP-related LPC modulation in the high- but not in the Lower-WMC group can be easily accommodated within a distractor inhibition framework. One crucial characteristic of inhibitory processes is their resource dependence. If the reduced LPC in delayed masking trials were an indirect consequence of a resource dependent distractor inhibition, one would then expect that ERP modulation to be mainly found in the higher-WMC group as obtained in our study. The differential LPC priming pattern of high- and low-WMC participants is however more difficult to explain in terms of a strict episodic retrieval model. To the extent that the retrieval of prior episodic traces supposedly underlying the NP is assumed to be automatic (e.g., Logan, 1988), one should then expect that the lower-WMC group showed similar ERP (and behavioral)

priming effects to those observed in the higher-WMC group. But this was clearly not the case in our research.

Our assumption of distractor inhibition as a major source of the LPC modulation found in the delayed masking condition, receives strong support from the results of an individual differences ERP analysis in the high-WMC group. The results of these further analyses, clearly demonstrate that only those high-WMC individuals with a sizeable behavioral NP effect with the delayed mask, also showed a reliable NP-related LPC ERP attenuation. This reduced LPC component was however completely absent for the high-WMC participants who had no behavioral NP effect (see Figure 6). These findings provide support for the specificity and functional significance of the LPC attenuation in the delayed mask trials, as this ERP component is functionally linked to cognitive processes (distractor inhibition) underlying behavioral NP.

Limitations and Future Directions

The NP-related LPC attenuation elicited by a semantically related (relative to an unrelated) target in the delayed masking condition was not accompanied by ERP effects in the N200 time range. Several previous studies reported a larger (frontally located) negativity of the N200 component in the NP (ignored repeated) condition, relative to a control (unrepeated) condition (e.g., Frings & Groh-Bordin, 2007; Hinojosa et al., 2009; see also Daurignac et al., 2006; Gibbons, 2006). The N200 NP effect has usually been assumed to reflect inhibitory mechanisms (e.g., response inhibition). However, a NP probe target does not require inhibition, rather inhibition might have to be resolved. From an inhibitory-based account of NP, an efficient inhibition of an ignored (distractor) prime should be associated with enhanced frontal ERP activity, given the prefrontal lobe has usually been viewed as critical for attention control (e.g., Ridderinkhof et al., 2004). An enhanced (frontal) N200

has also been observed in several attention conflict tasks, such as flanker interference (e.g., Yeung et al., 2004), stop-signal (e.g., Ramautar, Kok, & Ridderinkhof, 2006), or go/no-go tasks (e.g., Eimer, 1993), which has been interpreted as indexing response inhibition or conflict monitoring. Especially the conflict-monitoring account may be appropriate for NP, because a still-inhibited target stimulus may imply a conflict to be resolved during selection of this stimulus for action. This could be reflected in increased N200.

The question is then why no NP effect on the N200 (frontal) component was observed in our research. The NP-related N200 modulation has mostly been found in studies using a repetition (identity-based) NP paradigm, in which both the to-be-responded target and the preceding prime (and usually selected-against) distractor were the identical stimulus. This was not the case in our semantic NP paradigm. It has been suggested that the level of representation, at which attention inhibition operates, could vary as a function of task demands (e.g., Houghton & Tipper, 1994; see also Gibbons & Frings, 2010). A semantic NP task could require a relatively deeper or more advanced (e.g., abstract, categorical) level of representation, than a repetition (identity) NP task, in which distractor inhibition can operate either at an early or low feature (e.g., perceptual) level of representation. It remains possible that the NP-related N200 effects reported by previous studies were specific to NP operating at relatively early levels of processing (c.f., Gibbons & Frings, 2010). Whether individual differences in WMC could also produce a differential ERP pattern in a N200 time range when a more conventional repetition NP task is used, it remains an interesting matter for future research.

The present study was not aimed to disentangle between both persisting inhibition and episodic retrieval accounts of NP. It therefore remains open that both kind of mechanisms can contribute to the NP-related

behavioral and ERP effects observed here. In either case, as a possible way to dissociate inhibitory and memory-based sources of NP, one could conduct a further ERP semantic priming experiment in which participants were instructed to either ignore or attend to a single prime word (see also Noguera et al., 2007; Ortells et al., 2016a).

To the extent that the NP-related LPC attenuation in our NP (related) condition was mainly the result of memory-based processes, we expected that a related target would lead to an *enhanced* (instead of reduced) late positivity (relative to an unrelated target), when was preceded by an attended prime. This is because the relative familiarity of a retrieved prime during probe processing, should be *greater* when this prime was previously attended than when it was ignored. In contrast, if the reduced LPC component to a related target (NP condition) would rather reflect the attention inhibition on an ignored prime, no LPC modulation should be observed in the attended prime trials, as no kind of attentional inhibition is required when participants are instructed to attend (instead of ignoring) a single prime.

In addition, the inclusion of both ignored and attended primes in a further ERP NP study, would also allow us to investigate a possible influence of attention instructions on ERP responses to the prime. Most studies addressing ERP correlates of NP, focused their analyses on ERPs elicited by the probe target. ERP waveforms during prime presentation (to which participants are usually required to overtly respond) were either not analyzed (e.g., Behrendt et al., 2010; Gibbons, 2006; Gibbons & Frings, 2010; Gibbons & Stahl, 2010; Hinojosa et al., 2009; Wagner et al., 2006), or not discussed in detail (e.g., Frings & Groh-Bordin, 2007; Mayr et al., 2003; 2006), as prime-ERP analyses reveal no differences between the priming conditions (e.g., attended related, ignored related, unrelated). This latter is indeed the

expected result pattern, because at the time of prime display presentation there is complete uncertainty about the upcoming probe target type.

Yet, unlike the conventional NP task, participants in a further NP study would be instructed to either ignore or to attend to a single prime, to which no overt response is required. Under these latter task conditions, one could investigate possible ERP differences between ignored and attended primes, to provide additional support for a distractor inhibition account of NP. Some recent studies have reported a modulation of the (left-parietal) N170 ERP component elicited by the (irrelevant) prime word. This early component, assumed to reflect intentional word inhibition, was less negative when participants were instructed to explicitly ignore to the prime, as compared to an uninstructed (control) condition (Seib-Pfeifer, Koppehele-Gossel, & Gibbons, 2019). In a further analysis on prime-related ERPs in our delayed mask trials, we also found a left-parietal negativity in an early time range (extending from 150 to 250 after prime onset), which was significantly decreased in high-WMC compared to low-WMC participants. This attenuated posterior negativity in the high-WMC group, which resembles the N170 ERP reported by Seib-Pfeifer et al. (2019), did reliably correlate with the size of the behavioral NP shown by these individuals ($r = -.438$, $p = .025$, r -critical value = $-.388$). In addition, this negative component did significantly correlate with the WMC (z-composite) scores ($r = .298$, $p = .032$, r -critical value = $.259$). As a cautionary note, however, this prime-ERP modulation was only significant at a very limited set of recording sites (e.g., P3; P7). Whether early (and/or later) ERP waveforms evoked by a single prime word could be found as function of (i) attention instructions (ignoring vs. attending to the prime) and/or (ii) a differential availability of WM resources remain interesting issues to be addressed by future NP studies.

Conclusions

Instructing participants to actively ignore a single prime word led to slowed response times (NP) and a diminished late ERP positivity in responses to a semantically related (as compared to an unrelated) probe target. These NP-related behavioral and ERP effects were observed (i) only when the onset of the mask following the prime was delayed (thus allowing participants to be aware of the prime), and (ii) in the group of participants with a higher-WMC. We interpreted these behavioral and ERP priming findings as being consistent with a resource dependent distractor inhibition as a major source of NP, regardless of whether the inhibition persists from the prime to the probe, or it is subsequently reinstated by a retrieval mechanism during probe processing.

The observed dependence of behavioral semantic NP on both masking type and WMC, replicates the behavioral result pattern reported by other previous studies using similar tasks (e.g., Megías et al., 2020; see also Ortells et al., 2016a).

The electrophysiological results found in the immediate masking condition replicate and extend those from several prior studies, in showing that the N400 ERP modulation, indexing semantic processing, can consistently be observed not only in the absence of prime awareness (e.g., Kiefer, 2002; Kiefer & Spitzer, 2000; Ortells et al., 2016b), but also when participants are instructed to actively ignore that unconsciously perceived prime stimulus.

The most relevant and novel finding in the present research was the NP-related LPC attenuation elicited by a semantically related (as compared to an unrelated) target in the delayed masking condition in individuals with higher WMC. This LPC modulation was specific to NP, as it emerged only

under the experimental conditions leading to behavioral NP (delayed masking). It also was functionally linked to the processes resulting in RT NP effects, as the LPC attenuation appeared only in the subgroup of high-WMC participants who had a sizeable behavioral NP effect. The NP-related LPC effect was however completely absent in both (i) the lower-WMC group, and (ii) the high-WMC participants showing no behavioral NP in the delayed masking condition.

As far we know, this is the first time in demonstrating that a differential availability of cognitive control resources (e.g., High vs. Low-WM capacity) affects not only behavioral measures, but also electrophysiological correlates of semantic NP.

Conflict of Interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Acknowledgements

This study is a part of the research grant I+D+i PSI2017-83135-P financially supported by MCIN/AEI /10.13039/501100011033/ FEDER “Una manera de hacer Europa” to Juan J. Ortells.

Correspondence concerning this article should be addressed to either Montserrat Megías (mmp267@ual.es) or Juan José Ortells (jortells@ual.es).

REFERENCES

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Behrendt, J., Gibbons, H., Schrobsdorff, H., Ihrke, M., Herrmann, J. M., & Hasselhorn, M. (2010). Event-related brain potential correlates of identity negative priming from overlapping pictures. *Psychophysiology*, *47*(5), 921-930. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.00989.x
- Bermeitinger, C., Frings, C., & Wentura, D. (2008). Reversing the N400: Event-related potentials of a negative semantic priming effect. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, *19*(15), 1479-1482. doi: 10.1097/WNR.0b013e32830f4b0b
- Brown, C., & Hagoort, P. (1993). The processing nature of the N400: Evidence from masked priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(1), 34-44. doi: 10.1162/jocn.1993.5.1.34
- Callejas, A., Correa, Á., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2003). Normas Asociativas Intracategoriales para 612 Palabras de Seis Categorías Semánticas en Español. *Psicológica*, *24*(2), 185-200.
- Chao, H. F. (2011). Dissociations between identity and location negative priming. *Acta Psychologica*, *136*(1), 81-89. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.10.005
- Chao, H. F., & Yeh, Y. Y. (2008). Controlled processing in single-prime negative priming. *Experimental Psychology* *55*(6), 402-408. doi: 10.1027/1618-3169.55.6.402
- Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., Shisler, R. J., & Engle, R. W. (1999). The effect of memory load on negative priming: An individual differences investigation. *Memory & Cognition*, *27*(6), 1042-1050. doi: 10.3758/BF03201233

Dalrymple-Alford, E. C., & Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop color-word test. *Perceptual and Motor Skills*, 23(3), 1211-1214. doi: 10.2466/pms.1966.23.3f.1211

Daltrozzo, J., Wioland, N., & Kotchoubey, B. (2012). The N400 and Late Positive Complex (LPC) Effects reflect controlled rather than automatic mechanisms of sentence processing. *Brain Sciences*, 2(3), 267-297. doi: 10.3390/brainsci2030267

Daurignac, E., Houdé, O., & Jouvent, R. (2006). Negative priming in a numerical Piaget-like task as evidenced by ERP. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 730-736. doi: 10.1162/jocn.2006.18.5.730

Davis, E. P., Bruce, J., Snyder, K., & Nelson, C. A. (2003). The X-Trials: Neural Correlates of an Inhibitory Control Task in Children and Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(3), 423-443. doi : 10.1162/089892903321593144

Daza, M. T., Ortells, J. J., & Noguera, C. (2007). Negative semantic priming from consciously vs. unconsciously perceived single words. *Psicológica*, 28(2), 105-127.

Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C. M., & Nagata, M. (2000). Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: Evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Cognitive Brain Research*, 9(2), 137-146. doi: 10.1016/S0926-6410(99)00050-6

Deacon, D., Uhm, T. J., Ritter, W., Hewitt, S., & Dynowska, A. (1999). The lifetime of automatic semantic priming effects may exceed two seconds. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 7(4), 465-472. doi: 10.1016/s0926-6410(98)00034-2

De Fockert, J. W., Mizon, G. A., & D'Ubaldo, M. (2010). No negative priming without cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(6), 1333–1341. doi: 10.1037/a0020404

Eimer M. (1993). Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/Nogo task. *Biological Psychology*, *35*(2), 123–138. doi: 10.1016/0301-0511(93)90009-w

Engle, R. W., Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., & Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science*, *6*(2), 122-125. doi: 10.1111/j.1467-9280.1995.tb00318x

Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. In B. H. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, (Vol. 44, pp. 145-199). New York: Elsevier.

Falkenstein, M., Hoormann, J., & Hohnsbein, J. (1999). ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychologica*, *101*(2-3), 267–291. doi: 10.1016/S0001-6918(99)00008-6

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175-191. doi:10.3758/bf03193146

Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*(2), 145-173. doi: 10.3758/BF03210958

Frings, C., & Groh-Bordin, C. (2007). Electrophysiological correlates of visual identity negative priming. *Brain Research*, *1176*, 82-91. doi: 10.1016/j.brainres.2007.07.093

Frings, C., Schneider, K. K., & Fox, E. (2015). The negative priming paradigm: An update and implications for selective attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(6), 1577-1597. doi: 10.3758/s13423-015-0841-4

Frings, C., & Wentura, D. (2005). Negative priming with masked distractor-only prime trials: Awareness moderates negative priming. *Experimental Psychology*, 52(2), 131-139. doi: 10.1027/1618-3169.52.2.131

Funke, J. (2010). Complex problem solving: A case for complex cognition? *Cognitive Processing*, 11(2), 133-142. doi: 10.1007/s10339-009-0345-0

Gazzaley, A., & Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: Bridging selective attention and working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 129-135. doi: 10.1016/j.tics.2011.11.014

Geisser, S., & Greenhouse, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24(2), 95-112. doi: 10.1007/BF02289823

Gibbons, H. (2006). An event-related potential investigation of varieties of negative priming. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 170-185. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.170

Gibbons H. (2009). Functional brain-electrical correlates of negative priming in the flanker task: Evidence for episodic retrieval. *Psychophysiology*, 46(4), 807-817. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00819.x

Gibbons, H., & Frings, C. (2010). Flanker negative priming from spatially unpredictable primes: An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 75(3), 339-348. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2010.01.004

Gibbons, H., & Stahl, J. (2010). Cognitive load reduces visual identity negative priming by disabling the retrieval of task-inappropriate prime information: An ERP study. *Brain Research*, 1330, 101-113. doi: 10.1016/j.brainres.2010.03.022

Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane (Eds.) & A. Miyake & J. N. Towse (Ed.), *Variation in Working Memory*, (pp. 227–249). Oxford University Press.

Heil, M., & Rolke, B. (2004). Unattended distractor-induced priming in a visual selective attention task. *Journal of Psychophysiology*, 18(4), 164-169. doi: 10.1027/0269-8803.18.4.164

Heil, M., Rolke, B., & Pecchinenda, A. (2004). Automatic semantic activation is no myth: Semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects. *Psychological Science*, 15(12), 852–857. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00766.x

Hinojosa, J. A., Pozo, M. A., Méndez-Bértolo, C., & Luna, D. (2009). Event-related potential correlates of visual identity negative priming unbiased by trial-by-trial effects. *Brain and Cognition*, 69(3), 531-537. doi: 10.1016/j.bandc.2008.11.004

Houghton, G., & Tipper, S. P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language* (pp. 53–112). Academic Press.

Houghton, G., Tipper, S. P., Weaver, B., & Shore, D. I. (1996). Inhibition and interference in selective attention: Some tests of a neural network model. *Visual Cognition*, 3(2), 119–164. doi: 10.1080/713756733

Hutchison K. A. (2007). Attentional control and the relatedness proportion effect in semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(4), 645-662. doi: 10.1037/0278-7393.33.4.645

Jackson, G. M., Swainson, R., Cunnington, R., & Jackson, S. R. (2001). ERP correlates of executive control during repeated language switching. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 169-178. doi: 10.1017/S1366728901000268

Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169-183. doi: 10.1037/0096-3445.130.2.169

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47-70. doi: 10.1037/0096-3445.132.1.47

Kiefer, M. (2002). The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects. *Cognitive Brain Research*, 13(1), 27-39. doi: 10.1016/S0926-6410(01)00085-4

Kiefer, M., & Brendel, D. (2006). Attentional modulation of unconscious "automatic" processes: Evidence from Event-Related Potentials in a masked priming paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(2), 184-198. doi: 10.1162/089892906775783688

Kiefer, M., Liegel, N., Zovko, M., & Wentura, D. (2017). Mechanisms of masked evaluative priming: Task sets modulate behavioral and electrophysiological priming for picture and words differentially. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(4), 596-608. doi: 10.1093/scan/nsw167

Kiefer, M., & Martens, U. (2010). Attentional sensitization of unconscious cognition: Task sets modulate subsequent masked semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, *139*(3), 464-489. doi: 10.1037/a0019561

Kiefer, M., Marzinzik, F., Weisbrod, M., Scherg, M., & Spitzer, M. (1998). The time course of brain activations during response inhibition: Evidence from event-related potentials in a Go/Nogo task. *NeuroReport*, *9*(4), 765-770. doi: 10.1097/00001756-199803090-00037

Kiefer, M., & Spitzer, M. (2000). Time course of conscious and unconscious semantic brain activation. *Neuroreport*, *11*(11), 2401-2407. doi: 10.1097/00001756-200008030-00013

Kiefer, M., Trumpp, N. M., Schaitz, C., Reuss, H., & Kunde, W. (2019). Attentional modulation of masked semantic priming by visible and masked task cues. *Cognition*, *187*, 62-77. doi: 10.1016/j.cognition.2019.02.013

Kopp, B., Mattler, U., Goertz, R., & Rist, F. (1996). N2, P3 and the lateralized readiness potential in a no-go task involving selective response priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *99*, 19-27. doi: 10.1016/0921-884x(96)95617-9

Küper, K., & Heil, M. (2009). Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing. *Neuroscience Letters*, *453*(2), 107-111. doi: 10.1016/j.neulet.2009.02.013

Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Findings meaning in the N400 component of the Event-Related Brain Potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, *62*, 621-647. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.131123

Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, *307*(5947), 161-163. doi: 10.1038/307161a0

Lavie, N., & Fox, E. (2000). The role of perceptual load in negative priming. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *26*(3), 1038-1052. doi: 10.1037//0096-1523.26.3.1038

Lavie, N., Hirst, A., De Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(3), 339-354. doi: 10.1037/0096-3445.133.3.339

Liu, H., Rossi, S., Zhou, H., & Chen, B. (2014). Electrophysiological evidence for domain-general inhibitory control during bilingual language switching. *PLoS One*, *9*(10), e110887. doi: 10.1371/journal.pone.0110887

Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*(4), 492-527. doi: 10.1037/0033-295X.95.4.492

Long, D. L., & Prat, C. S. (2002). Working memory and Stroop interference: An individual differences investigation. *Memory & Cognition*, *30*(2), 294-301. doi: 10.3758/BF03195290

Makeig, S., Bell, A. J., Jung, T.-P., Ghahremani, D., & Sejnowski, T. J. (1997). Blind separation of auditory event-related brain responses into independent components. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *94*(20), 10979-10984. doi: 10.1073/pnas.94.20.10979

Marí-Beffa, P., Valdés, B., Cullen, D. J., Catena, A., & Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 293-305. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.10.016

Mayas, J., Fuentes, L. J., & Ballesteros, S. (2012). Stroop interference and negative priming (NP) suppression in normal aging. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 54(2), 333–338. doi: 10.1016/j.archger.2010.12.012

Mayr, S., & Buchner, A. (2006). Evidence for episodic retrieval of inadequate prime responses in auditory negative priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(4), 932-943. doi: 10.1037/0096-1523.32.4.932

Mayr, S., & Buchner, A. (2007). Negative priming as a memory phenomenon. *Zeitschrift für Psychologie/Journal of Psychology*, 215(1), 35-51. doi: 10.1027/0044-3409.215.1.35

Mayr, S., Niedeggen, M., Buchner, A., & Orgs, G. (2006). The level of reaction time determines the ERP correlates of auditory negative priming. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 186–194. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.186

Mayr, S., Niedeggen, M., Buchner, A., & Pietrowsky, R. (2003). ERP correlates of auditory negative priming. *Cognition*, 90(2), B11-B21. doi: 10.1016/S0010-0277(03)00142-2

Megías, M., Ortells, J. J., Noguera, C., Carmona, I., & Marí-Beffa, P. (2020). Semantic Negative Priming from an Ignored Single-Prime depends critically on Prime-Mask Inter-Stimulus Interval and Working Memory Capacity. *Frontiers in Psychology*, 11, 1227. doi: 10.3389/fpsyg.2020.01227

Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M., & Seiffert, A. E. (1998). Selective attention: A reevaluation of the implications of negative priming. *Psychological Review*, 105(2), 203-229. doi: 10.1037/0033-295X.105.2.203

Neill, W. T., & Valdes, L. A. (1992). Persistence of negative priming: Steady state or decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(3), 565-576. doi: 10.1037/0278-7393.18.3.565

Neill, W. T., Valdes, L. A., Terry, K. M., & Gorfein, D. S. (1992). Persistence of negative priming: II. Evidence for episodic trace retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(5), 993-1000. doi: 10.1037/0278-7393.18.5.993

Neill, W. T., & Westberry, R. L. (1987). Selective attention and the suppression of cognitive noise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*(2), 327-334. doi: 10.1037/0278-7393.13.2.327

Noguera, C., Álvarez, D., Carmona, E., & Parra, L. (2015). Temperament and negative semantic priming in children 7 to 12 years old. *Child Neuropsychology*, *21*(3), 302-313. doi: 10.1080/09297049.2014.913558

Noguera, C., Fernández, S., Álvarez, D., Carmona, E., Marí-Beffa, P., & Ortells, J. J. (2019). The implementation of expectancy-based strategic processes is delayed in normal aging. *Plos One*, *14*(3), 1-21. doi: 10.1371/journal.pone.0214322

Noguera, C., Ortells, J. J., Abad, M. J. F., Carmona, E., & Daza, M. T. (2007). Semantic priming effects from single words in a lexical decision task. *Acta Psychologica*, *125*(2), 175-202. doi: 10.1016/j.actpsy.2006.07.007

Ortells, J. J., Kiefer, M., Castillo, A., Megías, M., & Morillas, A. (2016b). The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words. *Cognition*, *146*, 143-157. doi: 10.1016/j.cognition.2015.09.012

Ortells, J. J., Marí-Beffa, P., & Plaza-Ayllón, V. (2013). Unconscious congruency priming from unpracticed words is modulated by prime-target semantic relatedness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(2), 394-413. doi: 10.1037/a0028876

Ortells, J. J., Noguera, C., Álvarez, D., Carmona, E., & Houghton, G. (2016a). Individual differences in working memory capacity modulates semantic negative priming from single prime words. *Frontiers in Psychology*, *7*:1286. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01286

Ramautar, J. R., Kok, A., & Ridderinkhof, K. R. (2006). Effects of stop-signal modality on the N2/P3 complex elicited in the stop-signal paradigm. *Biological Psychology*, *72*(1), 96–109. doi: 10.1016/j.biopsycho.2005.08.001

Ridderinkhof, K. R., Van Den Wildenberg, W. P., Segalowitz, S. J., & Carter, C. S. (2004). Neurocognitive mechanisms of cognitive control: The role of prefrontal cortex in action selection, response inhibition, performance monitoring, and reward-based learning. *Brain and Cognition*, *56*(2), 129-140. doi: 10.1016/j.bandc.2004.09.016

Rohaut, B., Faugeras, F., Chausson, N., King, J. R., El Karoui, I., Cohen, L., & Naccache, L. (2015). Probing ERP correlates of verbal semantic processing in patients with impaired consciousness. *Neuropsychologia*, *66*, 279-292. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.10.014

Rothermund, K., Wentura, D., & De Houwer, J. (2005). Retrieval of Incidental Stimulus-Response Associations as a Source of Negative Priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *31*(3), 482-495. doi: 10.1037/0278-7393.31.3.482

Rugg, M. D., & Doyle, M. C. (1994). Event-related potentials and stimulus repetition in direct and indirect tests of memory. In *Cognitive Electrophysiology* (pp. 124-148). Birkhäuser, Boston, MA.

Seib-Pfeifer, L.-E., Koppehele-Gossel, J., & Gibbons, H. (2019). On ignoring words—exploring the neural signature of inhibition of affective words using ERPs. *Experimental Brain Research*, 237(9), 2397-2409. doi: 10.1007/s00221-019-05597-w

Shipstead, Z., Lindsey, D. R. B., Marshall, R. L., & Engle, R. W. (2014). The mechanisms of working memory capacity: Primary memory, secondary memory, and attention control. *Journal of Memory and Language*, 72(1), 116-141. doi: 10.1016/j.jml.2014.01.004

Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 37(A), 571-590. doi: 10.1080/14640748508400920

Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 54A(2), 321-343. doi: 10.1080/02724980042000183

Tipper, S. P., & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: Inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 37A(4), 591-611. doi: 10.1080/14640748508400921

Ullsperger, M., Mecklinger, A., & Müller, U. (2000). An electrophysiological test of directed forgetting: The role of retrieval inhibition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(6), 924–940. doi: 10.1162/08989290051137477

Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, *37*(3), 498-505. doi: 10.3758/bf03192720

Unsworth, N., Redick, T. S., Heitz, R. P., Broadway, J. M., y Engle, R. W. (2009). Complex working memory span tasks and higher-order cognition: A latent-variable analysis of the relationship between processing and storage. *Memory*, *17*, 635-654. doi: 10.1080/09658210902998047

Wagner, M., Baving, L., Berg, P., Cohen, R., & Rockstroh, B. (2006). An ERP Investigation of Semantic Priming, Repetition Priming, and Negative Priming in Schizophrenic Patients. *Journal of Psychophysiology*, *20*(3), 195-211. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.195

Wang, Y., Wang, Y., Liu, P., Wang, J., Gong, Y., Di, M., & Li, Y. (2018). Critical role of top-down processes and the push-pull mechanism in semantic single negative priming. *Consciousness and Cognition*, *57*, 84-93. doi: 10.1016/j.concog.2017.11.007

Wang, Y., Zhao, J., Liu, P., Wei, L., & Di, M. (2014). Inhibitory mechanisms in single negative priming from ignored and briefly flashed primes: The key role of the inter-stimulus interval. *Consciousness and Cognition*, *29*, 235-247. doi: 10.1016/j.concog.2014.08.020

West, R., & Alain, C. (2000). Effects of task context and fluctuations of attention on neural activity supporting performance of the Stroop task. *Brain Research*, *873*(1), 102–111. doi: 10.1016/S0006-8993(00)02530-0

West, R., Bowry, R., & McConville, C. (2004). Sensitivity of medial frontal cortex to response and nonresponse conflict. *Psychophysiology*, *41*(5), 739-748. doi: 10.1111/j.1469-8986.2004.00205.x

Wilding, E. L. (2000). In what way does the parietal ERP old/new effect index recollection? *International Journal of Psychophysiology*, *35*(1), 81–87. doi: 10.1016/s0167-8760(99)00095-1

Yee, P. L., Santoro, K. E., Grey, A. L., & Woog, V. (2000). Deeper processing at target selection increases the magnitude of negative priming. *Memory & Cognition*, *28*(8), 1429-1436. doi: 10.3758/BF03211843

Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, *111*(4), 931–959. doi: 10.1037/0033-295x.111.4.939

DISCUSIÓN GENERAL



En las siguientes páginas se describen los hallazgos más relevantes obtenidos en cada uno de los Estudios Experimentales que componen la presente Tesis Doctoral, cuyo *objetivo general* fue explorar cuáles son las condiciones críticas que determinan la obtención de efectos conductuales y electrofisiológicos de priming semántico en ausencia de consciencia y/o de atención.

Estudio 1. The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words (Ortells, Kiefer, Castillo, Megías, y Morillas, 2016b)

En este primer estudio nos propusimos explorar (i) si el patrón diferencial de efectos de priming inconsciente con palabras fuertes vs. débilmente asociadas, podría observarse también cuando ambos tipos de pares prime-target varían de forma aleatoria de ensayo a ensayo; y (ii) si dicho patrón diferencial de efectos de priming con altos y bajos asociados se observa tanto con intervalos de SOA prime-target largos (200 ms) como con intervalos mucho más cortos (< 100 ms).

Por otra parte, dado que todas las investigaciones previas que exploran la influencia del tipo de relación semántico-asociativa en el priming inconsciente, emplean exclusivamente medidas comportamentales del procesamiento (tiempos de reacción-TRs), otro objetivo relevante de este estudio fue explorar por primera vez, si el empleo de fuertes vs. débiles asociados semánticos en este tipo de tareas, podrían modular también determinados correlatos electrofisiológicos (ERPs) del priming de congruencia (i.e., grado de relación semántico-asociativa) subliminal. En concreto, el componente N400, que tradicionalmente ha sido asociado al procesamiento semántico de la información (Kutas y Federmeier, 2011), con independencia de si ésta es procesada con o sin consciencia (v.g., Deacon y

cols., 2000; Heil y cols., 2004; Kiefer, 2002; Kiefer y Spitzer, 2000; Küper y Heil, 2009).

Para abordar estos objetivos administramos dos experimentos en los que los participantes realizaron una tarea de priming de congruencia subliminal, mientras se registraba su actividad EEG. En cada ensayo, los participantes debían decidir la categoría semántica (animal vs. parte del cuerpo) de una palabra target visible, la cual era precedida por un periodo de tiempo variable (Exp. 1 = 166.5 ms; Exp. 2 = 33.5 ms) por una palabra prime presentada muy brevemente (33.5 ms), la cual era siempre precedida y seguida por una máscara visual (conjunto aleatorio de consonantes), que pretendía impedir su identificación consciente. Las palabras prime enmascaradas (que nunca se presentaban como targets visibles) pertenecían a una categoría semántica diferente a la del target en el 50% de los ensayos (incongruentes o no-relacionados), mientras que en los ensayos restantes (congruentes o relacionados) eran miembros fuertemente relacionados (FR) de la misma categoría que el target (25%), y co-ejemplares débilmente relacionados (DR) en el 25% restante, con los tres tipos de pares prime-target variando aleatoriamente de ensayo a ensayo.

En la medida en que el priming de congruencia subliminal con palabras prime no-repetidas refleja un procesamiento automático del significado, procesamiento que resulta modulado por la relación semántico-asociativa existente entre los estímulos prime y target, nuestras *hipótesis de partida* en relación a los datos conductuales fueron:

- (i) El efecto de priming subliminal debería ser significativo sólo con pares prime-target FR, pero no con débiles asociados semánticos.
- (ii) El patrón diferencial de efectos de priming con fuertes vs. débiles asociados debería observarse incluso con valores muy cortos de SOA prime-target.

(iii) Si es realmente el umbral subjetivo (índice fenomenológico), más que el umbral objetivo (respuesta comportamental discriminativa), el que mejor define la presencia vs. ausencia de consciencia perceptiva, entonces cabría esperar que los efectos de priming producidos por primes FR de los que los participantes informan no ser conscientes (umbral subjetivo), sean de una magnitud similar con independencia de si son capaces o no de discriminar los primes enmascarados por encima del nivel de azar.

Con respecto a los resultados electrofisiológicos, nuestra *hipótesis de partida* es que la relación semántico-asociativa (fuerte vs. débil) entre las palabras prime (subliminales) y target (visibles), debe producir también una modulación significativa en el componente ERP N400, considerado como un índice del procesamiento semántico de la información: la amplitud del N400 debería mostrar un voltaje más negativo cuando el target es precedido por un prime subliminal de una categoría semántica diferente (no-relacionado), que cuando el prime subliminal es un fuerte asociado de la misma categoría. Sin embargo, la respuesta ERP cuando se presenta un débil asociado semántico como prime subliminal, debería ser muy similar (o idéntica) a la observada en ausencia de relación entre el prime y el target.

Asimismo, el uso de ERPs nos permitirá *investigar* si los efectos de priming de congruencia subliminal en nuestros experimentos podrían reflejar, al menos parcialmente, procesos no-semánticos de activación visuo-motora (priming de respuesta), frecuentemente asociados con el componente ERP N200. Este correlato se define como una desviación negativa que aparece en electrodos fronto-centrales entre los 200 y 350 ms después de la presentación del target, y que suele observarse en diferentes situaciones que implican conflicto cognitivo o de respuesta, como sucede, por ejemplo, en un

ensayo incongruente de una tarea Stroop o de interferencia de flancos (v.g., Folstein y Van Petten, 2008).

En este sentido, si los efectos de congruencia inconscientes de nuestra investigación reflejan también procesos no-semánticos como los implicados en el priming visuo-motor (o de respuesta), esperaríamos encontrar una modulación similar en el componente N200 (mayor negatividad en un ensayo incongruente o no-relacionado, que en un ensayo congruente), con independencia de si el prime relacionado que precede al target es un fuerte o un débil asociado de la misma categoría semántica. Ambos tipos de ensayos relacionados (congruentes) deberían inducir un mismo tipo de respuesta en los participantes, en comparación con la inducida en los ensayos no-relacionados (incongruentes). Por el contrario, si nuestros efectos de priming de congruencia reflejan fundamentalmente procesos de activación automática en redes semánticas, entonces la presentación de fuertes vs. débiles asociados semánticos debería producir modulaciones ERPs diferenciales únicamente en el rango temporal asociado al componente N400.

Los resultados conductuales obtenidos en la presente investigación replican y extienden los observados previamente por Ortells y cols. (2013), al demostrar efectos consistentes y significativos de priming inconsciente para pares prime-target FR semánticamente, pero no para débiles asociados de la misma categoría semántica (ver Figura 24). Estos hallazgos confirman, por tanto, nuestra primera hipótesis de partida.

No obstante, a diferencia de Ortells y cols. (2013) que manipularon la relación semántico-asociativa entre los estímulos prime y target en diferentes bloques de ensayos, en nuestro estudio los pares prime-target FR y DR variaban aleatoriamente de un ensayo a otro dentro de la sesión experimental. En consecuencia, los diferentes efectos de priming observados

para co-ejemplares fuertemente y débilmente relacionados no podían ser el resultado de diferentes estrategias de procesamiento para cada una de estas condiciones.

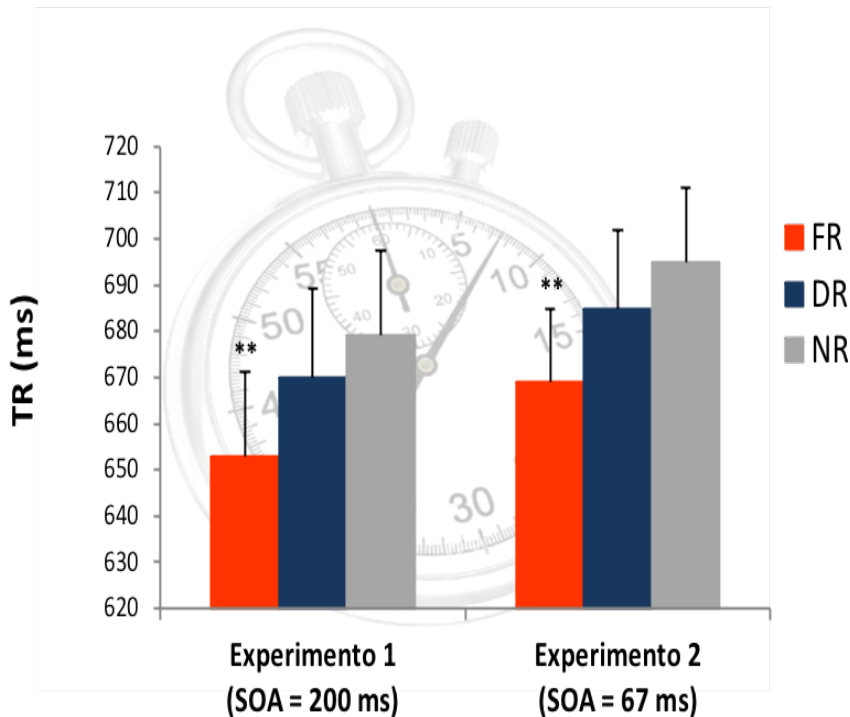


Figura 24. Tiempos de reacción medios para pares prime-target fuertemente relacionados (FR), débilmente relacionados (DR) y no-relacionados (NR) del Experimento 1 (SOA = 200 ms) y el Experimento 2 (SOA = 67 ms). Las líneas verticales representan el error estándar de las medias para cada condición experimental. Los efectos de priming en ambos experimentos sólo fueron estadísticamente significativos para los pares prime-target FR (** = $p < .01$), pero no para los DR.

Por otra parte, si los efectos conductuales de congruencia inconscientes de nuestra investigación surgieran principalmente de la congruencia de respuesta entre las palabras prime y target, como predice el priming visuo-motor o de respuesta (v.g., Forster, 2004; Wentura, 2000), entonces no debería haber ninguna diferencia entre los pares fuertemente y débilmente relacionados, ya que ambas condiciones son idénticas en términos de congruencia de categoría estímulo-respuesta (E-R). Pero en

nuestro estudio, los efectos de priming subliminal para pares FR fueron significativamente mayores que para pares DR, un hallazgo difícil de explicar en términos distintos a un verdadero procesamiento semántico de palabras percibidas inconscientemente.

El hecho de que en el Experimento 2 se observe de nuevo un patrón diferencial de efectos de priming con fuertes vs. débiles asociados semánticos, incluso con valores muy cortos de SOA prime-target (67 ms; para otras investigaciones con SOAs cortos, ver por ejemplo, Abrams, 2008; Kiefer, Sim, y Wentura, 2015; Klauer y cols., 2007; Van den Bussche y Reynvoet, 2007; Van den Bussche y cols., 2012), confirmaría nuestra segunda hipótesis inicial (ver Figura 24). Así, la ausencia de efectos comportamentales significativos de priming inconsciente con débiles asociados semánticos, no sería la consecuencia de una menor persistencia temporal de tales efectos de priming, en comparación con los inducidos por fuertes asociados.

Con respecto a nuestros resultados ERPs, encontramos que la relación semántico-asociativa (fuerte vs. débil) entre las palabras prime (subliminales) y target (visibles) modulaba también de forma significativa el componente ERP N400. En ambos experimentos (Exp. 1 = SOA 200 ms; Exp. 2 = SOA 67 ms), el efecto de priming N400 se observó principalmente cuando las palabras prime enmascaradas fueron seguidas por targets que eran fuertes asociados semánticos, los cuales produjeron un voltaje ERP más positivo. Por el contrario, la respuesta ERP para targets débilmente asociados fue muy similar a la observada en ausencia de relación entre el prime y el target (ver Figura 25). Estos hallazgos refuerzan nuestra hipótesis de partida en relación a los resultados electrofisiológicos, al demostrar por primera vez la existencia de efectos ERPs diferenciales de priming (N400) subliminal entre fuertes y débiles asociados semánticos.

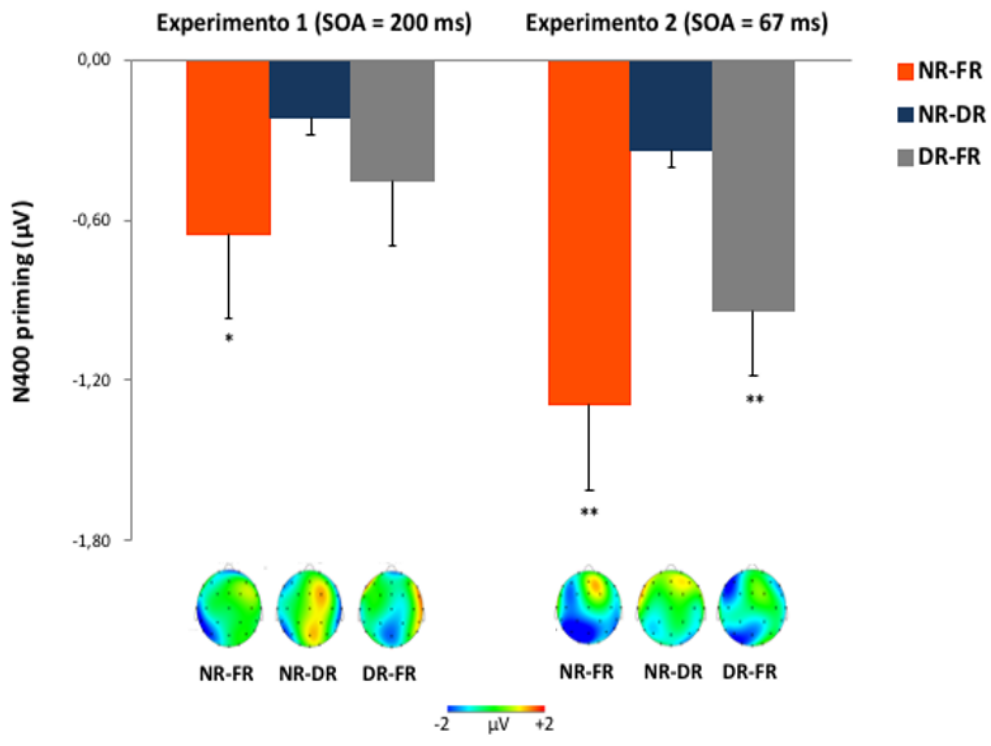


Figura 25. Magnitud de los efectos de priming ERP N400 en cada condición de relación para los Experimentos 1 y 2. Se muestran los voltajes de los cluster de electrodos fronto-centrales y centro-parietales seleccionados en el estudio. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (* = $p < .05$; ** = $p < .01$). NR-FR, condición no-relacionada menos fuertemente relacionada; NR-DR, condición no-relacionada menos débilmente relacionada; DR-FR, condición débilmente relacionada menos fuertemente relacionada.

Como el grado de congruencia moduló únicamente el componente ERP N400, un índice del procesamiento semántico, y no los ERPs en el rango temporal del N200, un índice de activación visuo-motora o priming de respuesta (v.g., Jaśkowski y cols., 2003; Martens y cols., 2011; Ridderinkhof y cols., 2004; Zovko y Kiefer, 2013), nuestros resultados indican que los efectos de priming de congruencia subliminal reflejan fundamentalmente procesos de activación automática en redes semánticas, y no son el resultado de procesos no-semánticos de activación de respuesta.

Un resultado relevante del segundo experimento es que tanto los efectos conductuales como electrofisiológicos de priming enmascarado seguían siendo significativos incluso para aquellos participantes que ejecutaron al azar la prueba de visibilidad del prime ($n = 13$). Este hallazgo proporciona evidencia adicional acerca de la naturaleza inconsciente (por debajo del umbral objetivo de consciencia) de dichos efectos. El hecho de que los efectos de priming de congruencia subliminal con fuertes asociados semánticos fueran de una magnitud similar, con independencia de si los participantes fueron capaces ($n = 9$; $d' > 0$) o incapaces ($n = 13$; $d' = 0$) de discriminar los primes enmascarados por encima del nivel de azar, confirma nuestra tercera hipótesis inicial. Estos hallazgos resultan consistentes con los obtenidos en numerosos estudios previos (v.g., Deacon y cols., 2000; Kiefer, 2002; Kiefer y Brendel, 2006; Kiefer y Spitzer, 2000; Küper y Heil, 2009; Rohaut, Faugeras, Chausson, King, Karoui, Cohen, y Naccache, 2015), pues demuestran que la modulación N400 no sólo refleja procesos conscientes (estratégicos), sino también procesos semánticos inconscientes (automáticos).

Nuestros resultados son difíciles de conciliar con algunas explicaciones no-semánticas de priming de congruencia inconsciente. Por ejemplo, no pueden explicarse en base a la existencia de asignaciones E-R pre-establecidas (Damian, 2001), pues los primes nuevos (o no practicados) nunca se presentaron como targets visibles y, por consiguiente, no pudieron asociarse con una respuesta anterior. Además, es poco probable que nuestros resultados surjan de un procesamiento superficial del prime (v.g., percepción de algunas de las letras de la palabra), como consecuencia de la superposición ortográfica entre las palabras prime y target (v.g., Abrams, 2008; ver, por ejemplo, Van den Bussche y Reynvoet, 2007; Experimento 1c), pues en nuestros experimentos tal superposición fue mínima (ver también Klauer y

cols., 2007; Van den Bussche y Reynvoet, 2007; Experimentos 2 y 3). Asimismo, el uso de una muestra amplia de ejemplares de una categoría (v.g., animales) hace que sea poco probable que nuestros resultados se deban a la activación estratégica de desencadenantes de acción, que establecen asociaciones entre todos los estímulos esperados y sus correspondientes respuestas (Kunde, Kiesel, y Hoffmann, 2003).

Es preciso señalar que aunque nuestros pares FR eran ejemplares altamente asociados de la misma categoría y muy similares en términos de superposición de características semánticas (ver Ortells y cols., 2013), la presente investigación no permite diferenciar si los efectos de priming observados para tales ítems podrían ser debidos a relaciones asociativas (v.g., propagación de la activación; Collins y Loftus, 1975; Neely, 1991), superposición de características semánticas (v.g., Masson, 1995), o incluso ambas (Hutchison y cols., 2008). Pero lo que nuestros resultados sí demuestran es que la mera pertenencia a una misma categoría semántica, o el hecho de que los estímulos prime y target induzcan un mismo tipo de respuesta, no resultan por sí mismas condiciones suficientes para generar efectos significativos de priming de congruencia inconsciente (automáticos), al menos en ausencia de repetición estimular.

Algunos investigadores han sugerido que los efectos de priming semántico que se observan bajo condiciones que inducen un procesamiento automático (v.g., enmascaramiento del prime, SOA prime-target corto), suelen ser con frecuencia efectos lábiles, variables y poco consistentes, tal vez consecuencia de una actividad inherentemente descoordinada en la memoria semántica de los participantes (v.g., Stolz, Besner, y Carr, 2005). Pero éste no parece ser el caso en nuestro estudio, pues en ambos experimentos encontramos una correlación significativa a través de los participantes entre los efectos conductuales de priming inconsciente producidos por palabras

fuertemente y débilmente relacionadas. Una correlación similar se observó en los resultados ERPs (N400) de ambos experimentos, lo que indica que existía cierta variabilidad predecible intra-sujeto en el priming de congruencia inconsciente, incluso bajo condiciones que promueven un procesamiento automático de los primes (v.g., SOA prime-target corto de 67 ms del Exp. 2).

Los resultados de la presente investigación demuestran que las palabras prime nuevas (o no practicadas) presentadas por debajo del umbral objetivo (y subjetivo) de consciencia, pueden dar lugar a efectos significativos y consistentes de priming cuando existe una fuerte relación semántico-asociativa con las palabras target a las que responden los participantes. Mientras que algunos estudios recientes han obtenido resultados conductuales similares (v.g., Ortells y cols., 2013; Van den Bussche y cols., 2012), ésta es la primera vez que se demuestra una modulación significativa en la activación cerebral no-consciente (componente ERP N400) en función del grado de relación semántico-asociativa entre los estímulos prime y target.

Estudio 2. Semantic negative priming from an ignored single-prime depends critically on prime-mask inter-stimulus interval and working memory capacity (Megías, Ortells, Noguera, Carmona, y Marí-Beffa, 2020)

Uno de los efectos experimentales que confirmaría que un estímulo familiar puede procesarse al más alto nivel (v.g., semántico), incluso en ausencia de atención, es el efecto de priming negativo (PN), el cual se observa cuando las respuestas a un estímulo target son más lentas (y/o menos precisas) cuando éste (u otro estímulo relacionado) se presentó como un distractor ignorado en un conjunto estimular previo. El efecto de PN se ha observado de forma consistente en una amplia variedad de tareas y condiciones de estimulación (Frings y cols., 2015), tanto cuando el distractor ignorado aparece junto a otros estímulos relevantes a los que el participante

debe atender, como cuando se presenta como un único estímulo previo (Milliken y cols., 1998; Noguera y cols., 2007).

Actualmente se dispone de evidencia sólida que confirma la dependencia del PN de la disponibilidad de recursos de control cognitivo (MT). Así, la probabilidad de que un estímulo prime ignorado (o seleccionado frente a otros estímulos competitivos) dé lugar a un efecto significativo de PN en una tarea de atención selectiva, se reduce significativamente en adultos mayores (en comparación con aquellos más jóvenes), en individuos con una menor capacidad de MT, o bien cuando se requiere que los participantes realicen una tarea concurrente que exige una elevada carga de memoria (v.g., Engle, Conway, Tuholski, y Shisler, 1995; Chao y Yeh, 2008; De Fockert y cols., 2010; Chao, 2011).

Cabe señalar, no obstante, que la mayoría de esos estudios utilizó un procedimiento estándar de PN de “identidad”, en el que el prime ignorado se presenta como el estímulo target en el siguiente ensayo de prueba. Pero en un estudio reciente, Ortells y cols. (2016a) demostraron que las diferencias individuales en la capacidad de MT podían modular el efecto de PN incluso a un nivel semántico de representación.

El PN semántico se ha considerado en gran medida un efecto débil y difícil de replicar en comparación con el PN de identidad o repetición (v.g., Fox, 1995; Macleod y cols., 2002). Sin embargo, investigaciones posteriores (v.g., Daza y cols., 2007; Noguera y cols., 2007; Wang y cols., 2014; 2018) han puesto de manifiesto que es posible obtener efectos consistentes de PN semántico ante palabras ignoradas, independientemente de si éstas se presentan o no con otros estímulos concurrentes en el ensayo previo, siempre y cuando se cumplan una serie de condiciones o prerrequisitos, entre los que cabe destacar:

- (i) Instruir de forma explícita a los participantes para que ignoren activamente el estímulo prime.
- (ii) Presentar en los ensayos prime-target relacionados palabras fuertemente asociadas de la misma categoría semántica (v.g., PERRO-gato).
- (iii) Emplear intervalos de SOA prime-target lo suficientemente largos (i.e., 600 ms o más) como para permitir la implementación eficiente de procesos de control (inhibitorio) atencional.
- (iv) Utilizar una tarea de tipo “binario” (v.g., decisión léxica, categorización semántica) de cierta complejidad ante el target del ensayo de prueba.

En el estudio de Ortells y cols. (2016a), dos grupos de participantes con alta y baja capacidad de MT (de acuerdo a su rendimiento previo en una batería de pruebas de MT verbal y visuo-espacial) realizaron una tarea de decisión léxica ante un estímulo target central, el cual era precedido por una única palabra prime presentada brevemente (50 ms) en ausencia de distractores. Los resultados mostraron que la instrucción de atender a una única palabra prime, producía un efecto similar de priming facilitatorio (positivo) en ambos grupos de participantes, con independencia de su capacidad de MT. Por el contrario, la instrucción de ignorar generaba un patrón diferencial de efectos de priming en ambos grupos: mientras que los individuos con una mayor capacidad de MT mostraron un efecto significativo de PN semántico, aquéllos con menor capacidad de MT exhibieron un efecto opuesto de priming positivo (PP). Estos hallazgos demuestran claramente que el PN semántico depende en gran medida de la capacidad diferencial de MT.

La falta de evaluación de la capacidad de MT en los estudios tradicionales sobre PN semántico podría explicar, en gran medida, la

volatilidad del efecto. Por tanto, las diferencias individuales en la disponibilidad de recursos cognitivos de MT, además de las condiciones mencionadas anteriormente, deberían tenerse en cuenta como factores determinantes para observar PN semántico.

Un aspecto importante a destacar del procedimiento de PN semántico utilizado por Ortells y cols. (2016a) es que los participantes debían cambiar continuamente (y de forma aleatoria) su disposición o “set-mental” respecto a cómo procesar la palabra prime en función de las instrucciones recibidas. Así, mientras que en la mitad de los ensayos debían esforzarse por atender y tratar de memorizar dicha palabra, en los restantes ensayos debían hacer lo contrario, ignorarla activamente y tratarla como un distractor, aumentando de este modo las demandas de una tarea que ya era exigente.

Dos fueron los objetivos que exploramos en el presente estudio: (i) si el efecto conductual de PN semántico ante una única palabra prime ignorada, requiere presentar dicho estímulo bajo determinadas condiciones de estimulación (tipos de enmascaramiento) que favorezcan la implementación de procesos de control atencional, y (ii) si la capacidad diferencial de MT puede modular dicho efecto comportamental en una tarea de PN semántico que no requiere un cambio continuo respecto a cómo procesar la palabra prime (atender vs. ignorar), sino que ésta debe ser ignorada activamente en todos los ensayos.

Para ello, dos grupos de participantes con alta y baja capacidad de MT (según su rendimiento en una batería previa de pruebas de amplitud compleja de MT y de control atencional) realizaron una tarea de PN semántico en la que el ensayo previo incluía una única palabra prime enmascarada que los participantes debían ignorar activamente en todos los ensayos (considerándola como un distractor), con independencia de si les resultaba más o menos visible (dependiendo de las condiciones de

enmascaramiento). La palabra prime era seguida por una palabra target central a la que los participantes debían responder juzgando su categoría semántica (animal vs. parte del cuerpo). En el 50% de los ensayos (relacionados), el target era un fuerte asociado de la misma categoría semántica que el prime, mientras que en el 50% restante (no-relacionados) ambas palabras pertenecían a diferentes categorías.

Aunque se mantuvo un valor constante de SOA prime-target (600 ms), a lo largo del experimento la palabra prime (que siempre se presentaba durante 33 ms) era seguida, o bien inmediatamente, o tras una demora de 314 ms, por una máscara de patrón (un conjunto aleatorio de consonantes), que permanecía en la pantalla hasta la presentación del target, con ambas condiciones de enmascaramiento variando aleatoriamente de ensayo a ensayo.

Algunos trabajos previos con este tipo de tareas encuentran que la palabra prime ignorada da lugar a efectos significativos de PN semántico únicamente cuando se demora la presentación de la máscara, no así cuando el prime es seguido inmediatamente por una máscara que persiste hasta la presentación del target (v.g., Daza y cols., 2007; Wang y cols., 2014; 2018). Para explicar este patrón diferencial de resultados bajo dichas condiciones de enmascaramiento, algunos autores sugieren que la presencia de una máscara inmediata (y persistente) impediría el desarrollo de procesos de inhibición atencional inducidos por la instrucción de ignorar, lo que no ocurriría con una máscara demorada (v.g., Wang y cols., 2014; 2018; ver también Houghton y Tipper, 1994).

Basándonos en estos argumentos, esperábamos encontrar un efecto significativo de PN ante la palabra prime ignorada únicamente en la condición de máscara demorada. Por otra parte, y en la medida en que dicho efecto de PN refleja procesos de control atencional (inhibitorio), nuestra segunda

hipótesis fue que tal efecto de PN debería aparecer fundamentalmente en los participantes con una alta capacidad de MT, y no en los que presentan una menor capacidad de MT. Así, esperábamos que las diferencias individuales en la capacidad de MT modulasen el PN bajo condiciones de enmascaramiento demorado, pero no inmediato. En esta última condición, la palabra prime ignorada debería producir un patrón conductual similar (i.e., ausencia de PN o incluso un efecto opuesto de facilitación) en todos los participantes, con independencia de su capacidad de MT. Por el contrario, cuando el prime ignorado fuese seguido por una máscara demorada, sólo los individuos con alta capacidad de MT mostrarían un efecto significativo de PN semántico.

Los resultados obtenidos en la presente investigación con una tarea que no demanda un cambio continuo de set mental, replican y extienden los observados previamente por Ortells y cols. (2016a). Cuando se demora el inicio de la máscara, el prime ignorado produce efectos significativos de PN semántico, pero únicamente en participantes con mayor capacidad de MT. Bajo tal condición de enmascaramiento demorado, los individuos con menor capacidad de MT mostraron un patrón opuesto (aunque no significativo) de priming facilitatorio. Por el contrario, cuando la palabra prime ignorada fue inmediatamente seguida por una máscara persistente, se produjo un patrón conductual similar (i.e., ausencia de PN) en todos los participantes, con independencia de su capacidad de MT (ver Figura 26).

Estos hallazgos son consistentes con los modelos que consideran la inhibición atencional (de la información distractora) como uno de los factores responsables del efecto de PN (v.g., Hasher, Zacks, y May, 1999; Hasher, Lustig, y Zacks, 2007; Tipper, 2001). En la medida en que dicho proceso de inhibición atencional demanda recursos de control cognitivo, cabe esperar que una alta capacidad de MT refleje una mejor gestión de tales recursos y/o una mayor capacidad de los mecanismos de control atencional para inhibir

eficazmente el procesamiento del prime ignorado. Esto explicaría por qué únicamente los participantes con alta capacidad de MT mostraban efectos significativos de PN.

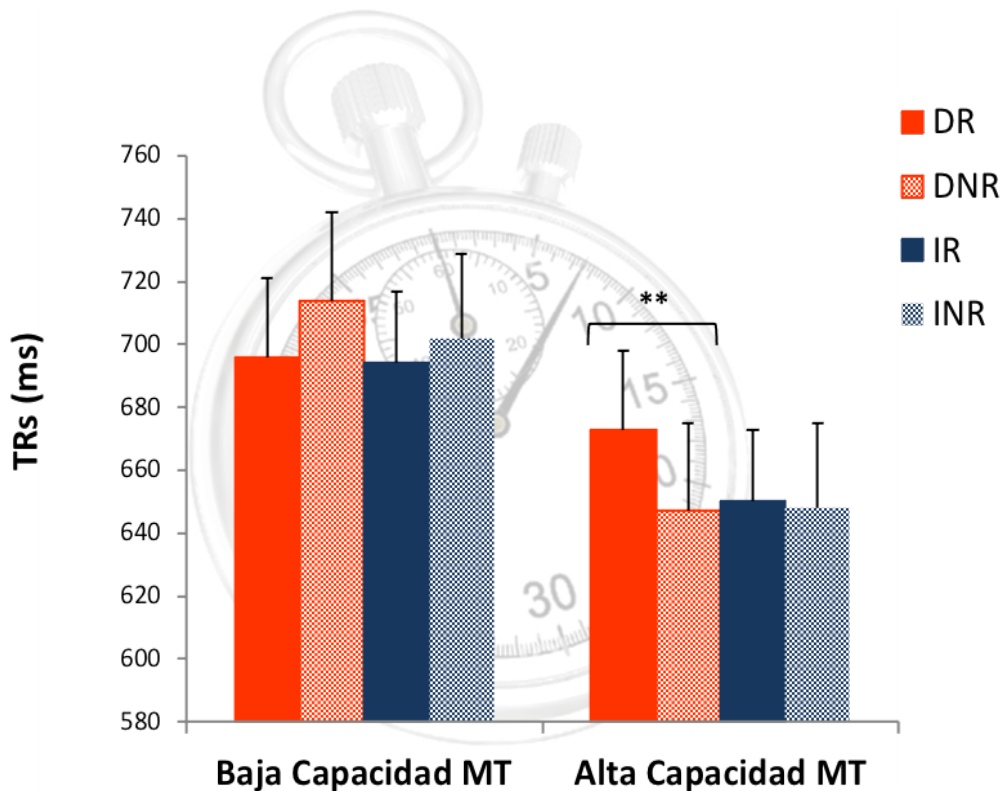


Figura 26. Tiempos de reacción medios (en ms) como una función de la capacidad de MT (Baja vs. Alta), Relación Prime-Target (Relacionado vs. No-Relacionado) y Tipo de Enmascaramiento (Demorado vs. Inmediato). Las líneas verticales representan el error estándar de las medias para cada condición experimental. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (** = $p < .01$).

Por otra parte, análisis complementarios en los que exploramos la relación entre la ejecución de los participantes en ambas tareas de amplitud compleja de MT, y su rendimiento (tanto en términos de velocidad como de precisión) en las tareas Antisacada y Stroop, proporcionaron pruebas adicionales a favor de la hipótesis inhibitoria. Los participantes con alta capacidad de MT (en comparación con los de menor capacidad) no sólo

respondieron con mayor rapidez y precisión, sino que también mostraron un mejor control atencional tanto en la tarea Antisacada (menor diferencia entre bloque prosacada y antisacada) como en la tarea Stroop (menor diferencia entre ensayos congruentes e incongruentes). Es decir, el grupo de alta capacidad de MT fue menos vulnerable a los efectos de interferencia en ambas tareas de control atencional inhibitorio (ver Figura 27).

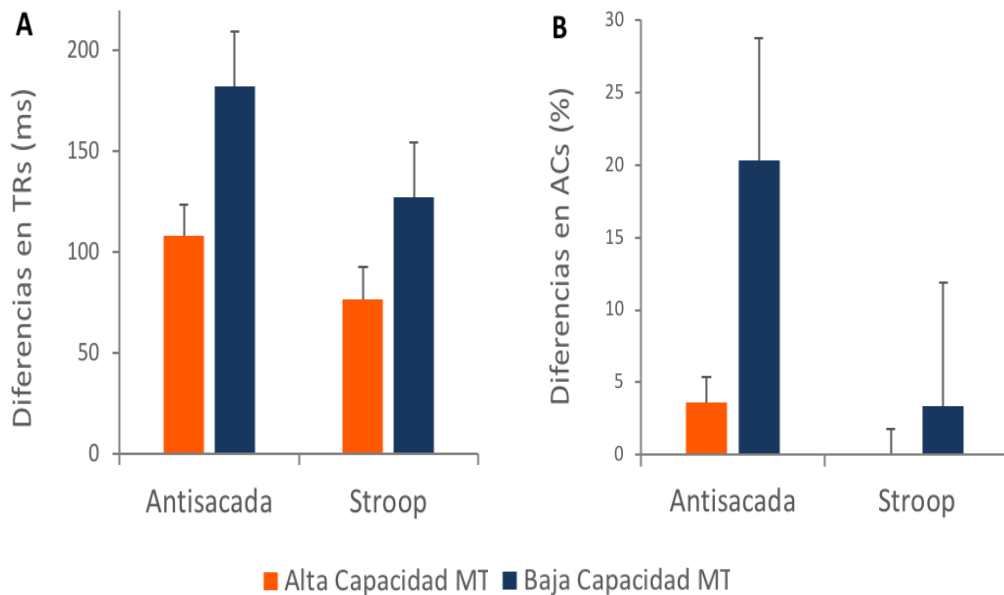


Figura 27. A) Diferencias en TRs (ms) y B) Diferencias en ACs (%) entre bloques prosacada y antisacada en Tarea Antisacada, y entre ensayos congruentes e incongruentes en Tarea Stroop, en ambos grupos de capacidad de MT (Alta vs. Baja).

Por tanto, los resultados muestran claramente que la capacidad diferencial de MT modula la ejecución en ambas tareas de control atencional. Es decir, estos hallazgos confirman el hecho de que una mayor disponibilidad de recursos de MT se asociaría a una mayor capacidad para ignorar e inhibir eficazmente información distractora y potencialmente competitiva.

Gazzaley y cols. (2008) sugieren que la capacidad para implementar procesos atencionales inhibitorios podría estar ralentizada, en lugar de deteriorada, en adultos mayores o en individuos jóvenes con una menor

capacidad de MT. En esta misma línea, Li y colaboradores demuestran que la inhibición de retorno en tareas de orientación atencional parece demorarse en adultos mayores, en comparación con personas más jóvenes (Li, Wang, Huang, Zhen, Zhong, Qu, y Ding, 2020). Otra evidencia a favor de este tipo de argumentación guarda relación con la habilidad para adoptar una respuesta estratégica. Noguera y cols. (2019) han demostrado recientemente que la capacidad para implementar de manera eficiente estrategias de facilitación basadas en expectativas, también se ralentizaría en el envejecimiento normal.

Basándonos en estos hallazgos es posible que, en comparación con los individuos de alta capacidad de MT, aquéllos con baja capacidad de MT no sólo necesiten más tiempo para desarrollar una respuesta estratégica, sino también para ignorar (v.g., inhibiendo) la información distractora. Esto explicaría que fuesen más vulnerables a la interferencia de información irrelevante, en comparación con la mayor resistencia a dicha interferencia mostrada por los participantes con alta capacidad de MT.

De ser así, cabe la posibilidad de que la instrucción de ignorar el prime desencadene la actuación de mecanismos inhibitorios y dé lugar a un efecto de PN semántico incluso en participantes de baja capacidad de MT, si se utilizan valores de SOA más largos (v.g., 600 ms) que los empleados en el estudio de Noguera y cols. (2019). Éste podría ser un tema interesante para futuras investigaciones.

Por último, si bien se ha demostrado que las diferencias individuales en la capacidad de MT pueden modular medidas conductuales (v.g., TRs) del PN semántico, sería interesante averiguar si también pueden modular algunos correlatos ERPs de dicho efecto. De hecho, éste fue el principal objetivo de nuestro Estudio Experimental 3.

Estudio 3. Individual differences in working memory capacity modulate electrophysiological correlates of semantic negative priming from single words (Megías, Ortells, Carmona, Noguera, y Kiefer, 2021)

En este tercer estudio nos propusimos explorar (i) posibles correlatos electrofisiológicos (ERPs) del PN semántico ante palabras ignoradas, correlatos que estuvieran además funcionalmente asociados a medidas comportamentales de dicho efecto, y (ii) si las diferencias individuales en la capacidad de MT y/o el tipo de enmascaramiento podrían modular no sólo las medidas conductuales (v.g., TRs), sino también los correlatos ERPs del PN semántico.

Actualmente disponemos de pruebas consistentes que demuestran que el efecto comportamental (basado en TRs) de PN, tanto de repetición, como semántico, depende críticamente de la disponibilidad de recursos de MT (v.g., Engle y cols., 1995; De Fockert y cols., 2010; ver también Noguera y cols., 2019). Sin embargo, hasta ahora ningún estudio ha explorado si una capacidad diferencial de MT podría también afectar a correlatos ERPs asociados al PN, como pretende la presente investigación.

Con esta finalidad, registramos los potenciales evocados (ERPs) de participantes con alta y baja capacidad de MT (i.e., con puntuaciones en los cuartiles superior e inferior de una batería estandarizada de tareas de amplitud de MT y control atencional), mientras realizaban la tarea de PN semántico empleada en el Estudio Experimental 2 de la presente Tesis (Megías y cols., 2020). En cada ensayo tenían que categorizar un target de prueba (animal vs. parte del cuerpo) que era precedido por una única palabra prime presentada brevemente, la cual era seguida por una máscara bien inmediatamente a fin de impedir su identificación consciente, o tras una demora para permitir dicha identificación. Los participantes debían ignorar en todos los ensayos el estímulo prime, que en el 50% era un fuerte asociado

de la misma categoría semántica que el target (ensayos relacionados), mientras que en el 50% restante (ensayos no-relacionados) ambas palabras pertenecían a diferentes categorías.

Teniendo en cuenta los resultados conductuales del Estudio Experimental 2 (Megías y cols., 2020), esperábamos que las palabras ignoradas presentadas bajo condiciones de enmascaramiento inmediato vs. demorado, produjesen un patrón diferencial de efectos de priming semántico similar al obtenido en dicho estudio en participantes con alta vs. baja capacidad de MT. Es decir, con una máscara inmediata que persiste hasta la presentación del target, no esperábamos observar PN en ninguno de los dos grupos de participantes. Por el contrario, cuando se demora la aparición de la máscara, la palabra prime ignorada debería dar lugar a efectos significativos de PN semántico, pero únicamente en el grupo con alta capacidad de MT.

Respecto a los resultados electrofisiológicos, nuestras predicciones eran menos claras, pues los intentos por examinar los correlatos ERPs del PN han sido relativamente escasos, y con frecuencia han generado resultados difíciles de interpretar. De hecho, hasta la fecha sólo se ha publicado un único estudio sobre correlatos ERPs del PN semántico con palabras (Wagner y cols., 2006), pero con resultados contradictorios (i.e., no se observó ningún efecto conductual de PN semántico). No obstante, esperábamos que las diferencias individuales en la capacidad de MT produjesen también un patrón ERP diferencial de efectos de priming en función del tipo de enmascaramiento.

Aunque el efecto comportamental de PN ante un único prime ignorado suele estar ausente cuando se presenta una máscara inmediata (y persistente), algunos trabajos previos han observado efectos de facilitación semántica bajo esta condición de enmascaramiento (v.g., Daza y cols., 2007). En consecuencia, es probable que en nuestro estudio la presencia de una máscara inmediata se asociara a una mayor negatividad en el componente

ERP N400 ante una palabra target no-relacionada (en comparación con un target relacionado). En la medida en que esta modulación del N400 con una máscara inmediata refleja un procesamiento automático (más que controlado) del significado (v.g., Deacon y cols., 2000; Kiefer y Martens, 2010; Kiefer y Spitzer, 2000; Küper y Heil, 2009), entonces cabría esperar que dicho componente N400 fuese muy similar para todos los participantes, con independencia de su capacidad de MT.

Sin embargo, esperábamos encontrar un patrón muy diferente de resultados ERPs en la condición de enmascaramiento demorado. Asumiendo que la demora en la presentación de la máscara que sigue al prime no impide el desarrollo de procesos de control atencional inhibitorio inducidos por la instrucción de ignorar (v.g., Daza y cols., 2007; Wang y cols., 2014; 2018), entonces cabe esperar que las diferencias individuales en la capacidad de MT puedan modular algún componente ERP asociado al efecto de PN. Empleando tareas de PN de identidad (o repetición) más convencionales, estudios previos encuentran una mayor negatividad en componentes fronto-centrales relativamente tempranos (v.g., N200) asociada al efecto conductual de PN (v.g., Frings y Groh-Bordin, 2007; Hinojosa y cols., 2009). En otros, la condición de PN se asocia a modulaciones (fundamentalmente en electrodos parietales) en componentes positivos más tardíos, como el correlato ERP LPC (v.g., Mayr y cols., 2003; 2006). Teniendo en cuenta estos resultados, era muy posible que en la condición de máscara demorada encontráramos alguna modulación ERP (en componentes tempranos y/o tardíos) asociada al efecto conductual de PN. Pero si este efecto depende de la capacidad de MT, entonces tal modulación ERP debería aparecer única o fundamentalmente en los participantes con mayor capacidad de MT, al igual que la que esperábamos observar en los datos comportamentales.

Cabe destacar dos hallazgos relevantes en el presente estudio. En primer lugar, los resultados conductuales replican los obtenidos previamente por Megías y cols. (2020), al demostrar que una única palabra prime ignorada produce efectos significativos de PN semántico con una máscara demorada, pero no con una máscara inmediata. Además, este efecto comportamental de PN semántico sólo se observa en participantes con mayor capacidad de MT, mientras que los de menor capacidad de MT muestran un efecto opuesto de facilitación (PP). En segundo lugar, respecto a los resultados electrofisiológicos, encontramos también una modulación de los efectos de priming inducida tanto por la capacidad de MT como por el tipo de enmascaramiento. Es decir, se observó un patrón ERP diferencial entre ambos grupos de capacidad de MT cuando el prime ignorado fue seguido por una máscara demorada, pero no con una máscara inmediata y persistente. Estos dos tipos de resultados se discuten con más detalle a continuación.

Influencia de la capacidad de MT en el PN semántico conductual

Al igual que en el estudio de Megías y cols. (2020), de nuevo observamos una triple interacción significativa entre el tipo de enmascaramiento, la capacidad de MT y la relación prime-target. Cuando el prime ignorado fue inmediatamente seguido por una máscara que impedía su identificación consciente (como sugieren los resultados de la prueba de visibilidad del prime), no se observó ningún efecto de PN en ninguno de los dos grupos de participantes. Por el contrario, el prime ignorado seguido de una máscara demorada produjo un efecto significativo de PN semántico, pero sólo en participantes con mayor capacidad de MT. Bajo tal patrón de enmascaramiento, los individuos de baja capacidad de MT exhibieron un efecto opuesto de priming facilitatorio (ver Figura 28).

Este patrón de resultados replica la dependencia del PN de la disponibilidad de recursos de MT que diversos estudios previos han

observado, utilizando paradigmas relativamente convencionales de PN tanto de identidad como semántico (v.g., Chao y Yeh, 2008; De Fockert y cols., 2010; Megías y cols., 2020; Ortells y cols., 2016a; ver también Gibbons y Stahl, 2010).

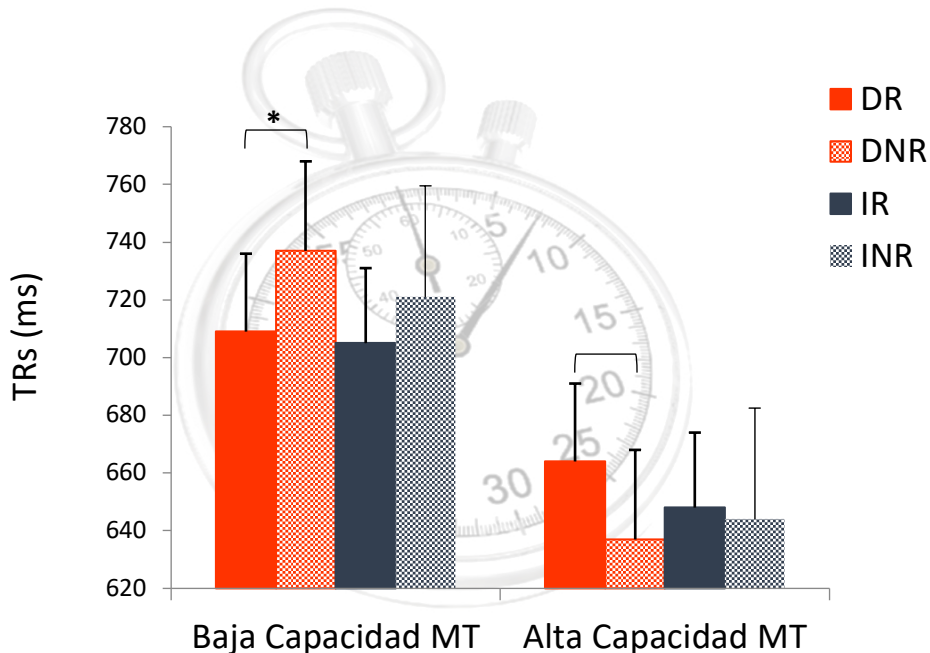


Figura 28. Tiempos de reacción medios (en ms) como una función de la capacidad de MT (Baja vs. Alta), Relación Prime-Target (Relacionado vs. No-Relacionado) y Tipo de Enmascaramiento (Demorado vs. Inmediato). Las líneas verticales representan el error estándar de las medias para cada condición experimental. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (* = $p < .05$; ** = $p < .01$).

En general, los resultados conductuales del presente estudio serían consistentes tanto con los modelos inhibitorios del PN (v.g., Tipper, 2001), como con las teorías de atención ejecutiva de la MT (v.g., Engle y Kane, 2004; Hasher y cols., 2007), que asumen que la inhibición atencional es un proceso que demanda recursos de control cognitivo. Así, una mayor disponibilidad de recursos de MT (v.g., una mayor capacidad de MT) se asociaría con una mayor capacidad para inhibir eficazmente el procesamiento de información irrelevante para la tarea (v.g., un prime ignorado), explicando así por qué sólo

el grupo de alta capacidad de MT mostró efectos significativos de PN en la condición de máscara demorada de nuestro estudio.

Evidencia adicional a favor de una dependencia del PN semántico de recursos de MT, es la correlación significativa que encontramos entre la puntuación promedio de cada participante en las dos tareas de capacidad de MT (Ospan y Symspan) de la fase previa (expresada en puntuaciones z normalizadas) y la magnitud del efecto de PN conductual en la condición de máscara demorada, pero no en la de máscara inmediata (ver Figura 29). Dicha correlación muestra que una mayor capacidad de MT se asociaría a un mayor efecto de PN conductual.

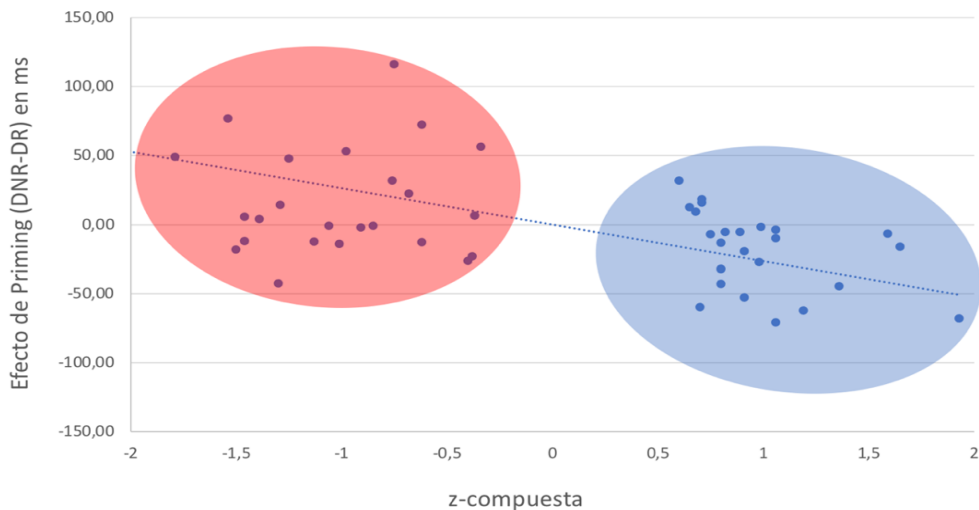


Figura 29. Efectos de priming conductual (DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos relacionada) en milisegundos (ms) como una función de las puntuaciones z-compuestas en tareas de amplitud de MT para grupos de alta (en azul) y baja (en rojo) capacidad de MT.

Por otra parte, análisis complementarios en los que exploramos la relación entre la ejecución de los participantes en ambas tareas de amplitud compleja de MT, y su rendimiento (tanto en términos de velocidad como de precisión) en las tareas Antisacada y Stroop, proporcionaron pruebas adicionales favorables a la hipótesis inhibitoria. Así, los participantes con

mayor capacidad de MT mostraron menores efectos de interferencia (diferencias entre condiciones que demandan más vs. menos control) en ambas tareas de control atencional inhibitorio (ver Figura 30).

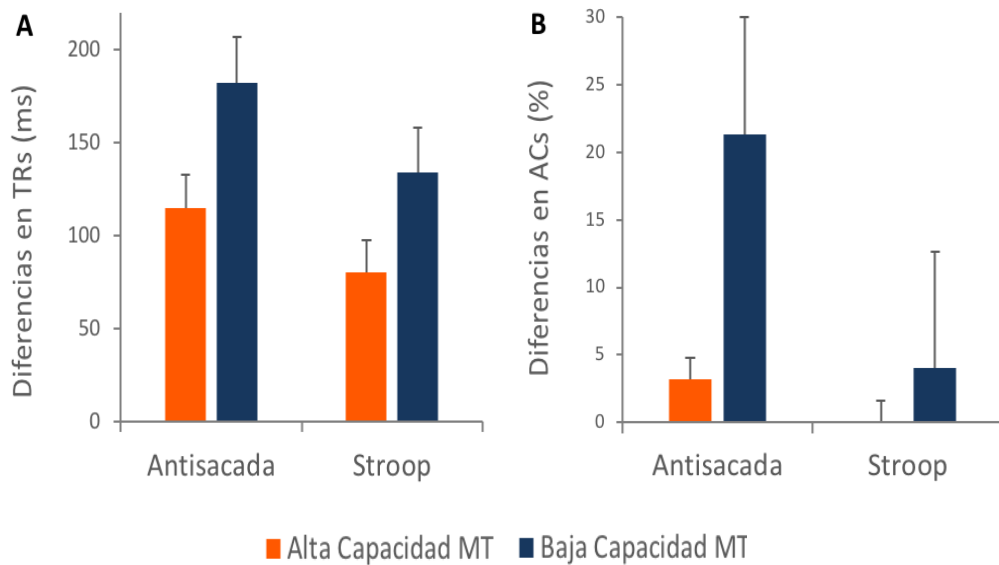


Figura 30. A) Diferencias en TRs (ms) y B) Diferencias en ACs (%) entre bloques prosacada y antisacada en Tarea Antisacada, y entre ensayos congruentes e incongruentes en Tarea Stroop, en ambos grupos de capacidad de MT (Alta vs. Baja).

Una explicación influyente del PN desarrollada como alternativa a la inhibición atencional, es la teoría de la recuperación episódica (v.g., Neill y Valdes, 1992; Neill y cols., 1992), según la cual, el efecto de PN reflejaría principalmente la incongruencia entre la respuesta al target de prueba y la información recuperada de dicho estímulo (v.g., “no-responder” o “ignorar”) que apareció como un prime ignorado (distractor) en el ensayo previo. Algunos autores sugieren que la reducción (o eliminación) del efecto de PN que se observa cuando existe una menor disponibilidad de recursos de MT (v.g., una alta carga de MT; ver por ejemplo, Conway y cols., 1999; De Fockert y cols., 2010; Engle y cols., 1995; Gibbons y Stahl, 2010), podría reflejar procesos de memoria, más que procesos inhibitorios. Así, es posible que realizar una tarea concurrente demandante (alta carga) disminuya la

probabilidad de recuperar información episódica relativa al prime cuando los participantes deben procesar y responder al target (v.g., Lavie y Fox, 2000; ver también Gibbons y Stahl, 2010).

Actualmente existe un alto nivel de consenso en considerar que el efecto de PN refleja tanto procesos de inhibición atencional, como procesos de memoria. Por ejemplo, según la aproximación integradora desarrollada por Tipper (2001), la recuperación episódica no sería incompatible con la inhibición atencional sobre un estímulo (prime) distractor. Únicamente sería necesario asumir que dicho proceso de recuperación accedería no sólo a etiquetas asociadas a un estímulo (v.g., “no-responder”), sino también a estados inhibitorios de las representaciones de dicho estímulo.

Aún asumiendo la posible implicación de procesos de memoria en el PN, resulta sin embargo poco probable que el patrón de resultados comportamentales del presente estudio (interacción de segundo orden entre capacidad de MT, tipo de enmascaramiento y relación prime-target), pueda explicarse simplemente en términos de procesos de memoria.

Según la teoría de la recuperación episódica (RE): (i) ¿Cómo se interpretaría la ausencia de efectos de PN en la condición de máscara inmediata?; y (ii) ¿Por qué un prime ignorado seguido de una máscara demorada generaba un efecto conductual de PN semántico sólo en el grupo con mayor capacidad de MT (ver Ortells y cols., 2016a)? Respecto a la primera cuestión, la RE podría asumir que la presentación de una máscara inmediata y persistente impediría etiquetar adecuadamente la palabra prime como un distractor a “*ignorar*”, y/o interrumpiría (o suprimiría) el procesamiento del prime. Pero ninguna de estas opciones parecen viables en el presente estudio. Por ejemplo, si los participantes hubieran decidido *atender* al prime (en vez de ignorarlo) en los ensayos con una máscara inmediata, entonces deberíamos haber observado un efecto opuesto de facilitación, en lugar de

una ausencia de PN. Y en el caso de que este tipo de enmascaramiento actuara realmente interrumpiendo el procesamiento del prime ignorado, entonces no deberíamos observar en los ensayos con máscara inmediata ningún efecto de priming, ni a nivel conductual, ni tampoco a nivel electrofisiológico (ERP). Sin embargo, y como expondremos más adelante, en la condición de enmascaramiento inmediato encontramos una modulación significativa en el componente ERP N400, un resultado que demuestra claramente que el prime ignorado enmascarado fue procesado a nivel semántico.

Efecto modulador de la capacidad de MT en los correlatos ERPs de los efectos de priming

La presente investigación demuestra por primera vez que tanto el tipo de enmascaramiento (inmediato vs. demorado) como la capacidad diferencial de MT (alta vs. baja) resultan determinantes no sólo para obtener PN semántico conductual (v.g., basado en TRs), sino que también modularían determinados correlatos ERPs del priming semántico.

Correlatos ERPs del priming en la condición de máscara inmediata

Cuando el prime ignorado fue inmediatamente seguido por una máscara que impedía (o dificultaba) su identificación consciente, se observó un voltaje negativo (en electrodos fronto-centrales y centro-parietales) de mayor amplitud ante targets no-relacionados (en comparación con los relacionados), en torno a los 300-400 ms después del inicio del target. Esta modulación N400, generalmente interpretada como un índice ERP de procesamiento semántico, fue significativa y muy similar en ambos grupos de capacidad de MT (ver Figura 31).

Aunque este efecto ERP no se asoció con ningún efecto de priming conductual en ninguno de los dos grupos, es preciso señalar que disociaciones similares entre índices comportamentales (TRs) y electrofisiológicos (N400) del priming semántico han sido encontradas por estudios previos (v.g., Brown y Hagoort, 1993; Heil y Rolke, 2004; Heil y cols., 2004; Kiefer y Brendel, 2006; Küper y Heil, 2009; ver también Marí-Beffa, Valdés, Cullen, Catena, y Houghton, 2005), particularmente bajo condiciones experimentales en las que el estímulo prime es ignorado y/o presentado de forma subliminal. Por tanto, es posible que ambos tipos de medidas del priming semántico capturen aspectos diferenciales del procesamiento cognitivo.

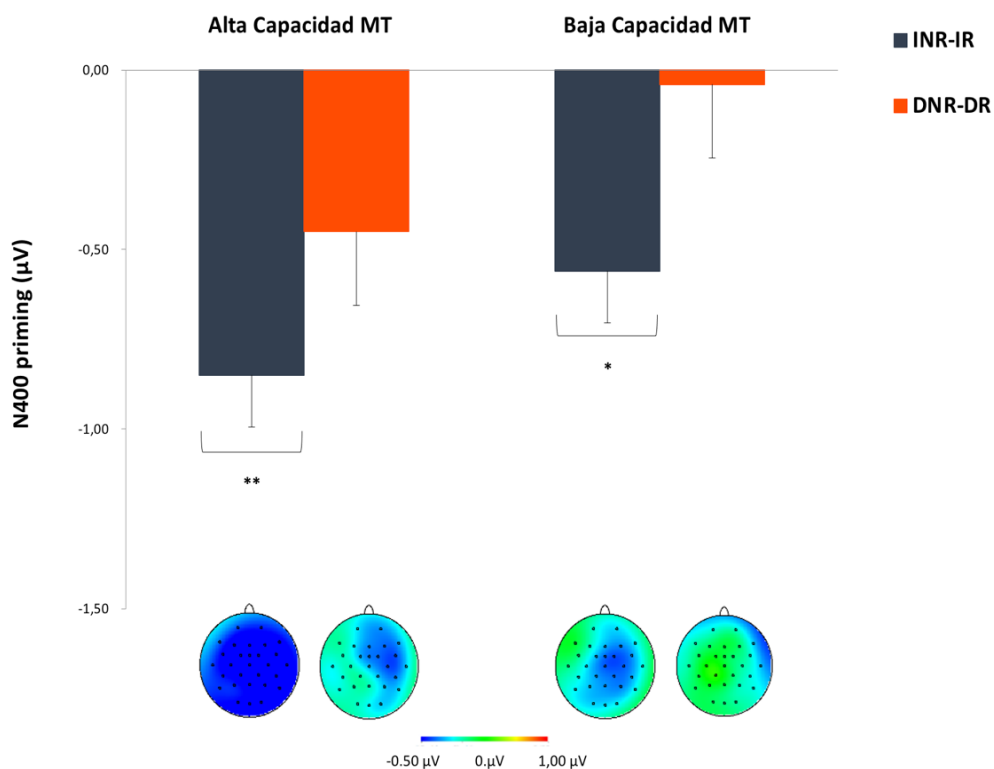


Figura 31. Magnitud de los efectos de priming ERP N400 en cada condición de enmascaramiento según el grupo de capacidad de MT (alta vs. baja). Se muestran los voltajes de los cluster de electrodos fronto-centrales y centro-parietales seleccionados en el estudio. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (* = $p < .05$; ** = $p < .01$). INR-IR,

condición inmediata no-relacionada menos inmediata relacionada; DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos demorada relacionada.

En cualquier caso, los resultados de la prueba de visibilidad del prime mostraron que, independientemente de su capacidad de MT, los participantes fueron incapaces de discriminar el prime por encima del nivel de azar cuando éste iba seguido por una máscara inmediata, lo que sugiere que los primes ignorados en esta condición de enmascaramiento se situarían por debajo del umbral objetivo de consciencia. Parece entonces que la modulación N400 observada en los ensayos de enmascaramiento inmediato fue producida por palabras prime percibidas inconscientemente. Este hallazgo es consistente con los obtenidos en trabajos previos que demuestran que la consciencia del prime no es una condición necesaria para observar una modulación del componente N400 (v.g., Deacon y cols., 2000; Heil y cols., 2004; Kiefer, 2002; Kiefer y Spitzer, 2000; Ortells y cols., 2016b; Rohaut y cols., 2015). Un resultado relativamente novedoso del presente estudio es que la modulación N400 ante un prime subliminal se encuentra incluso cuando se instruye explícitamente a los participantes a ignorar dicho estímulo, y en un intervalo de SOA prime-target mucho más largo (i.e., 600 ms; ver también Deacon, Uhm, Ritter, Hewitt, y Dynowska, 1999), que los intervalos de SOA en los que normalmente se ha observado previamente dicho correlato ERP de priming semántico inconsciente (v.g., 200 ms o incluso menos; ver por ejemplo nuestro Estudio Experimental 1).

Correlatos ERPs del priming en la condición de máscara demorada

Un patrón de resultados ERPs muy diferente se observó cuando el prime ignorado era seguido por una máscara demorada. Los targets relacionados (en comparación con los no-relacionados) se asociaban a una disminución significativa en la amplitud de un componente ERP de voltaje positivo en una ventana temporal relativamente tardía (490-590 ms) a partir

de la presentación del target (componente LPC). Sin embargo, y al igual que observamos en los datos comportamentales, esta modulación ERP LPC con la máscara demorada sólo se encontró en el grupo de participantes con mayor capacidad de MT, no así en el grupo con menor capacidad de MT (ver Figura 32).

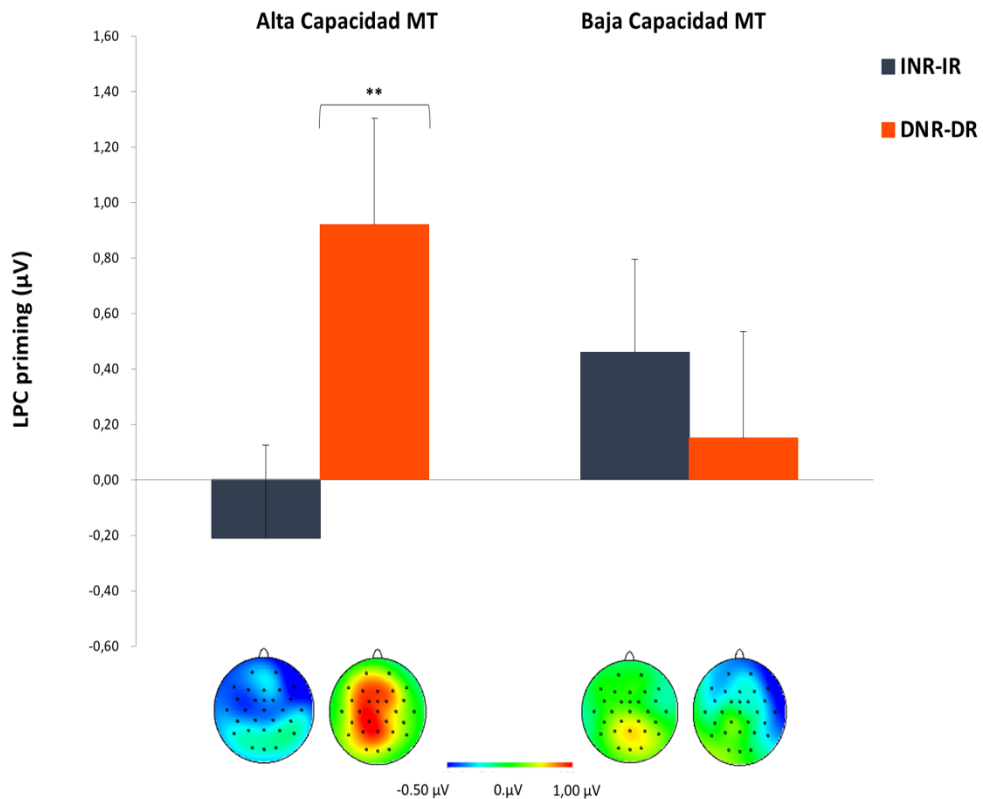


Figura 32. Magnitud de los efectos de priming ERP LPC en cada condición de enmascaramiento según el grupo de capacidad de MT (alta vs. baja). Se muestran los voltajes de los cluster de electrodos fronto-centrales y centro-parietales seleccionados en el estudio. Los contrastes significativos se resaltan con asteriscos (** = $p < .01$). INR-IR, condición inmediata no-relacionada menos inmediata relacionada; DNR-DR, condición demorada no-relacionada menos demorada relacionada.

Utilizando diferentes procedimientos de PN de identidad, algunos estudios previos habían encontrado también una atenuación del LPC en la condición de PN (v.g., Behrendt y cols., 2010; Mayr y cols., 2003; 2006), un

efecto ERP que ha sido generalmente interpretado en favor de las explicaciones del PN basadas en procesos de recuperación episódica. El componente LPC se ha observado con frecuencia en estudios de memoria de reconocimiento, de manera que cuánto más familiar es un estímulo, mayor es la amplitud del correlato ERP LPC. Teniendo esto en cuenta, algunos autores sugieren que un target de prueba que fue previamente presentado como un prime ignorado (distractor), podría considerarse como un estímulo “menos familiar” que un target “nuevo” no presentado previamente (condición control), lo que induciría una disminución en la amplitud del componente LPC en la condición de PN (v.g., Mayr y cols., 2003).

Si bien no podemos descartar la contribución de procesos de memoria en nuestro estudio, consideramos que la dependencia de nuestros efectos ERPs de priming tanto del tipo de enmascaramiento, como de la capacidad diferencial de MT, resulta consistente con los modelos de inhibición atencional (v.g., Tipper, 2001), y son difíciles de explicar exclusivamente en términos de recuperación episódica. Son varios los argumentos que fundamentan esta conclusión.

En primer lugar, el componente LPC asociado a la condición de PN se suele observar en electrodos (parietales) posteriores (v.g., Mayr y cols., 2003; 2006; pero ver Behrendt y cols., 2010, para una atenuación LPC localizada a nivel frontal). Sin embargo, la atenuación en el componente LPC ante un target relacionado (condición de PN) que encontramos en nuestra investigación mostraba una topografía mucho más ampliamente distribuida, como lo demuestra el hecho de que la variable *relación* no interactuó con la *caudalidad*. Así, la modulación LPC con la máscara demorada que observamos en los participantes con mayor capacidad de MT, no aparecía sólo en electrodos parietales, sino que también era significativa en electrodos centrales y fronto-centrales. De hecho, existía una correlación significativa (r

= .396, $p = .04$) entre la magnitud del PN conductual y la reducción en el componente LPC en regiones fronto-centrales en este grupo de participantes.

En segundo lugar, cabe destacar que se han encontrado modulaciones LPC similares a las de nuestro estudio en diferentes tareas de control atencional (v.g., tarea go/no-go; ver Jackson, Swainson, Cunnington, y Jackson, 2001; Kiefer y cols., 1998; Liu, Rossi, Zhou, y Chen, 2014), interpretándose estos efectos LPC en términos de una capacidad diferencial para el control inhibitorio. Otro efecto ERP que podría considerarse similar a la modulación LPC de nuestro estudio, es la menor amplitud en ondas positivas en rangos temporales relativamente tardíos (> 300 ms) observada específicamente en las condiciones que inducen PN comportamental, un hallazgo que también se ha interpretado en términos de inhibición atencional (v.g., Gibbons y Frings, 2010).

En tercer lugar, y aún más importante, el hecho de que la modulación LPC se observe únicamente en el grupo de participantes con alta capacidad, pero no en el grupo con baja capacidad de MT, resulta relativamente fácil de explicar por las teorías inhibitorias que consideran la inhibición atencional como un proceso dependiente de la (mayor o menor) disponibilidad de recursos de MT. El patrón diferencial de efectos ERPs que muestran los participantes con alta y baja capacidad de MT, resulta sin embargo muy difícil de integrar en los modelos tradicionales de recuperación episódica, que asumen que la recuperación de trazos episódicos operaría de forma automática (v.g., Logan, 1988), y por tanto, sería independiente de los recursos de control. Desde esta perspectiva, cabría esperar que el grupo con menor capacidad de MT mostrara efectos similares de PN, tanto conductual como ERP, a los del grupo con mayor capacidad de MT, un resultado que no encontramos en nuestra investigación.

La interpretación de la modulación LPC en términos de procesos de inhibición atencional resulta reforzada por los resultados de un análisis adicional de los datos ERPs, en el que los 26 participantes que integraban el grupo de mayor capacidad de MT fueron divididos en dos subgrupos, en función de si habían mostrado ($N= 19$) o no ($N = 7$) un efecto conductual de PN. Pues bien, los resultados de estos nuevos análisis demostraron que únicamente el subgrupo que tenía un efecto de PN comportamental (> 7 ms), mostraba una modulación significativa en el componente LPC en la condición de máscara demorada. La diferencia ERP entre las condiciones PN (relacionado) y control (no-relacionado) fue incluso mayor que la observada en el grupo de 26 participantes con alta capacidad de MT. De hecho, en este subgrupo de 19 participantes encontramos también una correlación significativa entre la magnitud del priming LPC y la del PN conductual, de manera que un mayor efecto comportamental de PN se asociaba a una mayor modulación LPC, tanto si se consideraba el efecto ERP global, como el LPC localizado en electrodos fronto-centrales.

Por el contrario, el componente LPC estaba ausente en el subgrupo de 7 participantes que, a pesar de tener una alta capacidad de MT, no mostraban PN conductual con la máscara demorada. De hecho, estos participantes mostraron una modulación significativa en el componente N400 (300-400 ms), un efecto ERP similar al observado en todos los participantes (con independencia de su capacidad de MT) en los ensayos de enmascaramiento inmediato.

Una posible interpretación de la modulación N400 con la máscara demorada en este último subgrupo de participantes, es que a pesar de tener una alta capacidad de MT, fueron incapaces de inhibir (o suprimir) eficazmente las representaciones semánticas pre-activadas del prime, lo que explicaría la ausencia de PN tanto conductual como ERP. Pero incluso un

prime ignorado que no fuese adecuadamente inhibido, podría sin embargo ser procesado semánticamente, lo que daría lugar también a un efecto N400 con la máscara demorada. Análisis adicionales mostraron diferencias significativas en la capacidad global de MT (puntuaciones z-normalizadas) entre ambos subgrupos con alta capacidad de MT [$t(24) = 2.08, p = .048$], de forma que dicha capacidad global de MT era superior en el subgrupo de 19 participantes que habían mostrado PN ($M = 1.06; SE = .08$), que en el subgrupo de 7 participantes sin PN ($M = .77; SE = .07$).

Los estudios que investigan correlatos ERPs asociados al efecto de PN, focalizan sus análisis en los potenciales evocados inducidos por el target del ensayo de prueba. La actividad ERP evocada por el estímulo prime del ensayo previo (al que con frecuencia los participantes deben también responder), o simplemente no se analiza (v.g., Behrendt y cols., 2010; Gibbons, 2006; Gibbons y Frings, 2010; Gibbons y Stahl, 2010; Hinojosa y cols., 2009; Wagner y cols., 2006), o apenas es discutida (v.g., Frings y Groh-Bordin, 2007; Mayr y cols., 2003; 2006), pues los resultados de los análisis ERPs evocados por el prime no suelen mostrar diferencias entre las condiciones de priming. Éste es un resultado lógico, teniendo en cuenta que en el momento en que se presenta el prime en un ensayo previo, los participantes desconocen completamente si el target que aparecerá a continuación en el ensayo de prueba se relacionará con el prime atendido, con el ignorado, o con ninguno de ellos (condición control).

Pero a diferencia del procedimiento convencional de PN, en la tarea que empleamos en la presente Tesis, nuestros participantes no tienen que dar ninguna respuesta al prime que precede al target, sino que deben ignorarlo activamente (considerándolo un distractor) en todos los ensayos experimentales. Algunos estudios recientes han encontrado una modulación N170 (en electrodos parietales del hemisferio izquierdo) en la actividad ERP

inducida por la palabra prime (irrelevante) que precede al target en una tarea de priming semántico (Seib-Pfeifer, Koppehele-Gossel, y Gibbons, 2019). Este componente ERP temprano era menos negativo cuando se instruyó a los participantes a ignorar explícitamente el prime, en comparación con una condición control (ninguna instrucción), lo que los autores interpretan como resultado de una inhibición intencional de la palabra prime.

En un sentido similar podrían interpretarse los resultados de un análisis adicional de la actividad ERP inducida por el prime ignorado en la condición de máscara demorada de nuestro estudio. El hallazgo más interesante fue una onda negativa (también en electrodos parietales del hemisferio izquierdo; P3, P7) en una ventana temporal relativamente temprana (150-250 ms tras la presentación del prime), que mostró una amplitud significativamente menor en el grupo de alta capacidad de MT ($-2.1 \mu\text{V}$), en comparación con la observada en el grupo de baja capacidad de MT ($-3.5 \mu\text{V}$; ver Figura 33).

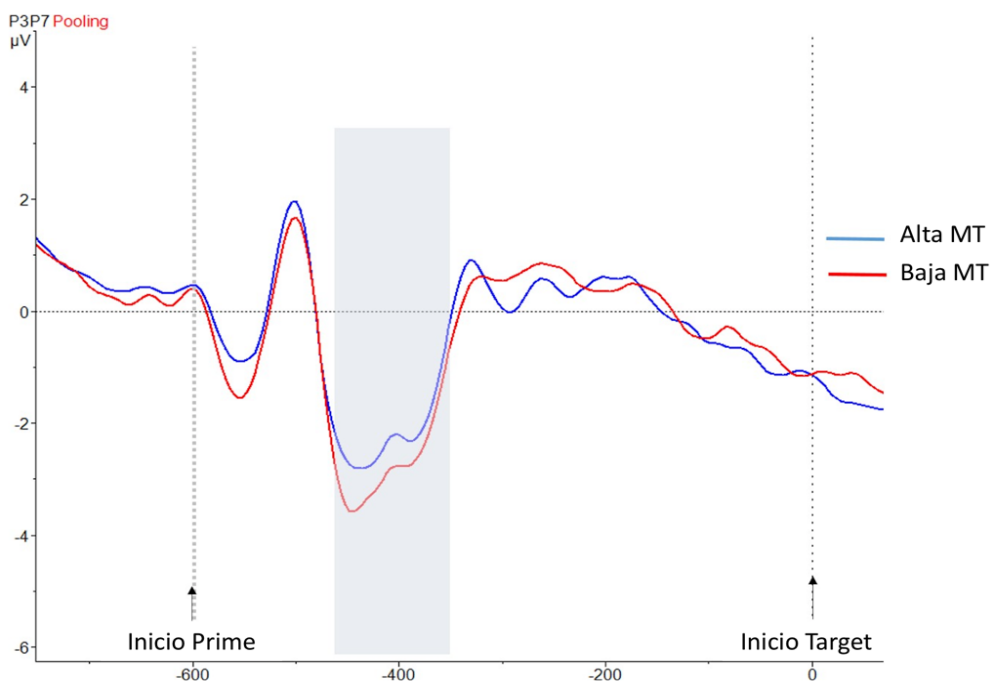


Figura 33. Datos de voltaje promediados (en μV) en la condición de enmascaramiento demorado en función de la magnitud de los efectos ERPs de priming (DNR-DR, condición

demorada no-relacionada menos relacionada) según el grupo de capacidad de MT (Alta, línea azul, vs. Baja, línea roja). Se muestra el pooling del cluster de electrodos parietales izquierdos (P3, P7) que fueron significativos en el estudio. Se analizó la ventana temporal comprendida entre los 150 y 250 ms después del inicio del prime. La sombra gris vertical sobre el eje de la X indica la ventana temporal (N200) utilizada para el análisis estadístico.

La magnitud de esta modulación ERP inducida por una palabra prime ignorada en el grupo de alta capacidad de MT, que se asemeja al correlato ERP N170 obtenido por Seib-Pfeifer y cols. (2019), también mostraba una correlación significativa con el tamaño del efecto conductual de PN de este grupo de participantes, una correlación que no existía en el grupo con menor capacidad de MT (ver Figura 34).

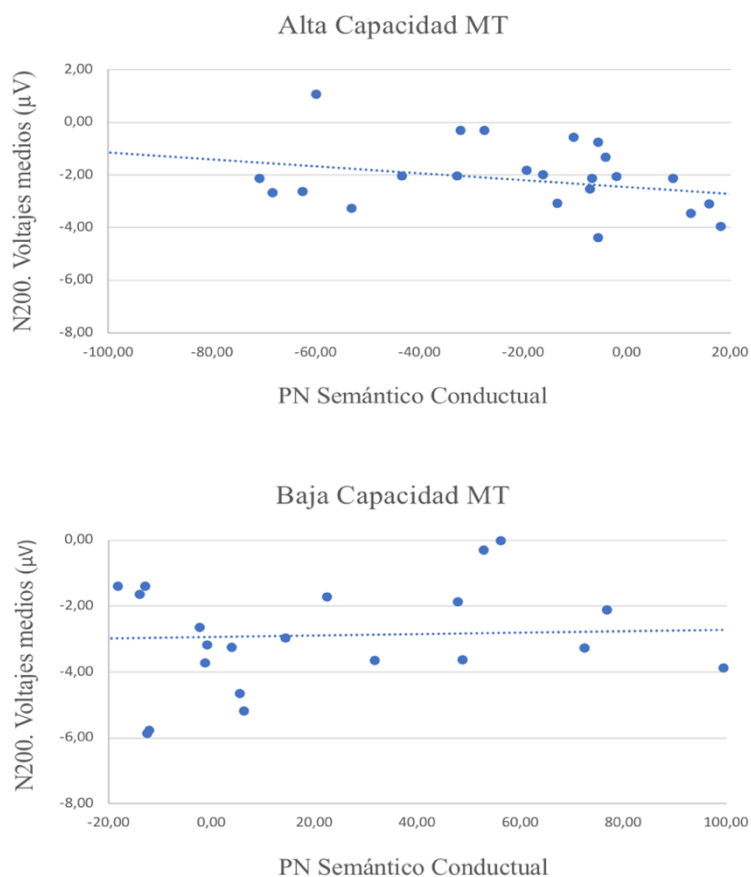


Figura 34. Correlación entre voltajes medios (en µV) del correlato ERP N200 tras estímulo prime y el tamaño del PN semántico conductual para participantes con alta vs. baja capacidad de MT.

Finalmente, también encontramos una correlación significativa entre el N200 evocado por la palabra prime y las puntuaciones z normalizadas de las tareas de amplitud de MT verbal y visuo-espacial para ambos grupos de capacidad de MT (ver Figura 35). Así, una menor amplitud del componente N200 se asociaba a una mayor capacidad de MT (mayor puntuación z). Este hallazgo, si bien se observa en un cluster reducido de electrodos parietales izquierdos (P3, P7), sugiere que la amplitud del correlato ERP N200 evocado por un prime ignorado puede ser también modulada por la capacidad de MT.

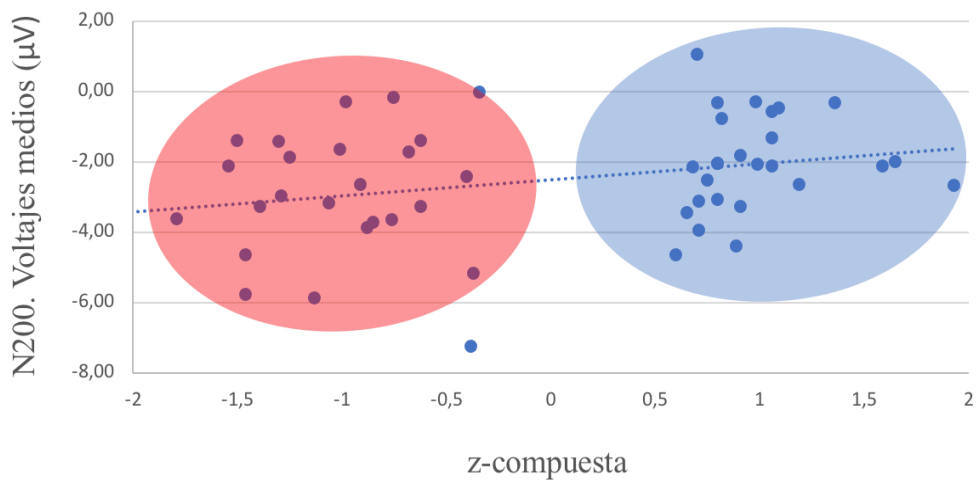


Figura 35. Efectos ERPs de priming N200 (en μV) como una función de las puntuaciones z-compuestas en tareas de amplitud de MT para grupos de alta (en azul) y baja (en rojo) capacidad de MT.

LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



Un correlato ERP normalmente asociado al efecto comportamental de PN, es el componente N200, una onda negativa que suele aparecer en el rango temporal entre 200 y 350 ms tras la presentación del target, y que presenta una mayor amplitud en la condición de PN (v.g., target relacionado con el prime ignorado) que en una condición control (v.g., Frings y Groh-Bordin, 2007; Hinojosa y cols., 2009; ver también Daurignac y cols., 2006; Gibbons, 2006). La topografía de este componente N200 en estudios de PN, usualmente observado en electrodos frontales, ha favorecido la interpretación del mismo como una prueba adicional en favor de los modelos inhibitorios (v.g., inhibición de respuesta).

Se asume que una inhibición eficaz de un prime ignorado (distractor) en un experimento de PN, debería asociarse con una mayor actividad ERP frontal, pues el lóbulo prefrontal se ha considerado crítico para el control atencional inhibitorio (v.g., Ridderinkhof y cols., 2004). De hecho, en diferentes tareas de atención selectiva que implican algún tipo de conflicto (v.g., go/no-go; señal stop; interferencia de flancos), la amplitud del N200 (frontal) suele aumentar en las condiciones que demandan mayor conflicto atencional, como por ejemplo en ensayos incongruentes o que requieren detener o suprimir una respuesta habitual (v.g., Eimer, 1993; Ramautar, Kok, y Ridderinkhof, 2006; Yeung, Botvinick, y Cohen, 2004; para una revisión ver Ridderinkhof y cols., 2004). Este resultado ERP suele interpretarse como un índice de inhibición de respuesta o monitorización del conflicto, un *conflicto* que también podría existir en la condición de PN en la que el target del ensayo de prueba se presentó como un distractor ignorado en un ensayo previo.

¿Por qué entonces en nuestra investigación, el efecto comportamental de PN semántico se asoció al componente LPC relativamente tardío, pero no apareció ninguna modulación en componentes ERPs más tempranos, como el N200? Es importante señalar que todos los

estudios previos que encontraron una modulación N200 en la condición “conflictiva” (o incongruente) de PN, emplearon diferentes versiones de la tarea convencional de PN de identidad (o repetición), en la que el target al que el participante debe responder en el ensayo de prueba es exactamente el *mismo estímulo* que el prime ignorado que apareció como un distractor en el ensayo previo. Pero esto no ocurre en nuestro paradigma de PN semántico (ver también Noguera y cols., 2007; Ortells y cols., 2016b).

Se ha sugerido que el nivel de representación en el que opera la inhibición atencional podría variar en función de las demandas de la tarea (v.g., Houghton y Tipper, 1994; ver también Gibbons y Frings, 2010). Una tarea de PN semántico podría requerir un nivel de representación relativamente más profundo (v.g., abstracto, categórico) que una tarea de PN de repetición (identidad), en la que la inhibición del distractor podría operar en un nivel de representación más temprano o “superficial” (v.g., perceptual). Desde esta perspectiva, cabe la posibilidad de que el componente ERP N200 asociado al efecto conductual de PN, sea específico a condiciones que demanden un nivel relativamente superficial de procesamiento (ver Gibbons y Frings, 2010). Una cuestión interesante para ser abordada en futuras investigaciones es en qué medida las diferencias individuales en la capacidad de MT podrían también producir un patrón ERP diferencial en el rango temporal N200, si se empleara una tarea más convencional de PN de repetición, similar a la utilizada en estudios previos de PN en los que dicho componente ERP ha sido observado.

Los Estudios Experimentales 2 y 3 de la presente Tesis Doctoral no tenían entre sus objetivos dilucidar si el efecto de PN reflejaba fundamentalmente procesos de inhibición atencional, o más bien procesos de memoria, como la recuperación episódica. Como ya hemos comentado previamente, es muy posible que ambos tipos de mecanismos puedan de

hecho contribuir a los efectos conductuales y ERPs de PN que encontramos en ambos estudios.

No obstante, una posible forma de distinguir entre ambos tipos de mecanismos cognitivos, sería realizando un nuevo experimento ERP de priming semántico en el que se manipularan las instrucciones atencionales respecto a cómo procesar la palabra prime. Así, los participantes tendrían que ignorar activamente el prime en algunos ensayos (como en nuestros estudios 2 y 3), mientras que en los ensayos restantes (v.g., 50%) deberían atender (y tratar de memorizar) el prime que precede al target (ver Noguera y cols., 2007; Ortells y cols., 2016a).

Si la atenuación LPC asociada al PN que observamos en nuestro Estudio 3, fuera principalmente el resultado de procesos de memoria (v.g., menor familiaridad de un target cuando éste u otro estímulo relacionado se presentó como un prime ignorado), entonces las respuestas a un target relacionado precedido por un prime *atendido*, deberían evocar una onda LPC de mayor (en vez de menor) amplitud (en comparación a una condición control), pues dicho estímulo (supuestamente memorizado) resultaría más familiar que un prime no-relacionado o ignorado. Por el contrario, si la modulación LPC asociada al PN reflejara más bien la inhibición atencional inducida por la instrucción de ignorar el prime, entonces no debería observarse ninguna diferencia en la onda LPC entre los targets relacionados y no-relacionados precedidos por un prime *atendido*, pues la instrucción de atender no induciría ningún tipo de proceso inhibitorio.

Por tanto, la inclusión tanto de primes ignorados como atendidos en este nuevo estudio ERP de PN semántico, nos permitiría también investigar la influencia de las instrucciones atencionales en las respuestas ERPs inducidas por el estímulo prime, lo que supondría una nueva forma de corroborar la implicación de mecanismos de inhibición atencional en el PN semántico.

Por último, teniendo en cuenta los resultados de estudios recientes de priming en los que también analizan la actividad ERP inducida por el estímulo prime (v.g., Seib-Pfeifer y cols., 2019; ver también los resultados obtenidos en nuestro Estudio Experimental 3; Figuras 33 y 34), cabe esperar que en comparación con una instrucción de atender (y memorizar) el prime, la instrucción de ignorar dicho estímulo induzca también una modulación en componentes ERPs relativamente tempranos (v.g., 150-250 ms) en respuesta al prime. Si dicha modulación refleja realmente procesos de inhibición activa que requieren una mínima disponibilidad de recursos de MT, entonces cabe también esperar que tales componentes ERPs asociados al prime resultaran también modulados por una capacidad diferencial de MT. Éstas serían cuestiones interesantes a abordar en futuras investigaciones electrofisiológicas de PN semántico.

CONCLUSIONES



En resumen, los resultados más relevantes de esta Tesis Doctoral son los siguientes:

- (i) Las palabras prime presentadas por debajo del umbral subjetivo (y objetivo) de consciencia pueden dar lugar a efectos significativos de priming conductual y electrofisiológico (N400), incluso cuando se impide la repetición estimular y los prime no se presentan como targets visibles. Pero dichos efectos de priming semántico son estables y consistentes únicamente si las palabras prime y target son fuertes asociados de la misma categoría semántica, no cuando son débiles asociados semánticos. La observación de efectos diferenciales de priming para primes fuertemente y débilmente relacionados, tanto a nivel comportamental (tiempos de respuesta), como electrofisiológico (componente ERP N400), sugiere que el priming inconsciente de congruencia categorial es desencadenado principalmente por procesos semánticos, más que por otros procesos de activación de respuesta que omiten la activación semántica.

La demostración de que el grado de relación semántico-asociativa prime-target modula correlatos electrofisiológicos del priming semántico (componente ERP N400), constituye un hallazgo novedoso de la presente Tesis. También resulta especialmente relevante que la modulación en el componente N400 se observe incluso cuando las palabras prime subliminales son también activamente ignoradas (consideradas como distractores) por los participantes, como se observó en la condición de máscara inmediata del Estudio Experimental 3.

- (ii) Las palabras prime ignoradas (presentadas en ausencia de distractores) dan lugar a efectos de priming negativo (PN) semántico, tanto comportamentales (basados en tiempos de respuesta) como electrofisiológicos (modulación en componente ERP positivo tardío LPC), dependiendo del tipo de enmascaramiento utilizado en la tarea de PN, y de las diferencias individuales en la capacidad de MT. Así, cuando la palabra prime ignorada es inmediatamente seguida por una máscara persistente que permanece durante todo el intervalo inter-estimular prime-target (lo que supuestamente impide la identificación consciente del prime), se produce un patrón similar tanto comportamental (ausencia de PN) como ERP (componente N400) en todos los participantes, con independencia de su mayor o menor capacidad de MT. Por el contrario, cuando se demora el inicio de la máscara, las palabras target precedidas por un prime (ignorado) relacionado (en comparación a un prime no-relacionado), inducen respuestas más lentas (PN conductual), así como una atenuación en la amplitud del componente LPC. Estos efectos conductuales y ERPs asociados al PN semántico sólo se observan en aquellos participantes con una alta capacidad de MT que también mostraban un efecto conductual de PN.
- (iii) La dependencia de los efectos comportamentales y ERPs de PN de la capacidad de MT, resulta consistente con los modelos inhibitorios del PN que asumen que la inhibición atencional del distractor, sería un proceso que depende de la disponibilidad de recursos de control cognitivo. Con independencia de si el PN resulta de una inhibición del prime que persiste hasta la aparición del target en el ensayo de prueba, o refleja más bien la

recuperación de la representación inhibida del prime ignorado en el momento de responder al target, sería necesario inhibir adecuadamente un prime ignorado para que éste genere efectos conductuales y ERPs de PN. Y tal acción inhibitoria requiere de recursos de MT disponibles, como sucedería en los individuos con mayor capacidad de MT.

- (iv) El hallazgo tal vez más relevante y novedoso de la presente Tesis Doctoral lo encontramos en el Estudio Experimental 3, en el que se observa por primera vez un correlato ERP (modulación LPC) que es *específico* y está *funcionalmente* relacionado con el efecto conductual de PN semántico, un correlato ERP que resulta a su vez modulado por la disponibilidad diferencial de recursos de control cognitivo (v.g., alta vs. baja capacidad de MT).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Abad, M. J., Noguera, C., y Ortells, J. J. (2003). Influence of prime-target relationship on semantic priming effects from words in a lexical-decision task. *Acta Psychologica*, *113*(3), 283-295. doi: 10.1016/S0001-6918(03)00034-9
- Abrams R. L. (2008). Influence of category size and target set size on unconscious priming by novel words. *Experimental Psychology*, *55*(3), 189-194. doi: 10.1027/1618-3169.55.3.189
- Abrams, R. L., y Greenwald, A. G. (2000). Parts outweigh the whole (word) in unconscious analysis of meaning. *Psychological Science*, *11*(2), 118-124. doi: 10.1111/1467-9280.00226
- Ahmed, L., y De Fockert, J. W. (2012). Focusing on attention: The effects of working memory capacity and load on selective attention. *PLoS One*, *7*(8), e43101. doi: 10.1371/journal.pone.0043101
- Allport, D. A., Tipper, S. P., y Chmiel, N. (1985). Perceptual integration and post-categorical filtering. In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI* (pp. 107-132). Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford [Oxfordshire]: Clarendon Press. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417-423. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. y Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, *8*, 47-89. New York: Academic Press.

- Behrendt, J., Gibbons, H., Schrobsdorff, H., Ihrke, M., Herrmann, J. M., y Hasselhorn, M. (2010). Event-related brain potential correlates of identity negative priming from overlapping pictures. *Psychophysiology*, *47*(5), 921-930. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.00989.x
- Boutros, N., Galderisi, S., Pogarell, O., y Riggio, S. (2011). *Standard Electroencephalography in Clinical Psychiatry*. Wiley-Blackwell.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. New York: Oxford University Press.
- Broadbent, D. E. (1970). Stimulus set and response set: Two kinds of selective attention. In D. I. Mostofsky (Ed.), *Attention: Contemporary Theory and Analysis* (pp. 51-60). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Broadbent, D. E. (1971). *Decision and Stress*. New York: Academic Press.
- Broadbent, D. E., y Gathercole, S. E. (1990). The processing of non-target words: Semantic or not? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *42*(1-A), 3-37. doi: 10.1080/14640749008401206
- Brown, C., y Hagoort, P. (1993). The processing nature of the N400: Evidence from masked priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(1), 34-44. doi: 10.1162/jocn.1993.5.1.34
- Chao, H. (2011). Dissociations between identity and location negative priming. *Acta Psychologica*, *136*(1), 81-89. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.10.005
- Chao, H. F., y Yeh, Y. Y. (2008). Controlled processing in single-prime negative priming. *Experimental Psychology*, *55*(6), 402-408. doi: 10.1027/1618-3169.55.6.402

- Chiappe, D. L., y MacLeod, C. M. (1995). Negative priming is not task bound: A consistent pattern across naming and categorization tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(3), 364-369. doi: 10.3758/BF03210973
- Clayson, P. E., & Larson, M. J. (2011). Conflict adaptation and sequential trial effects: Support for the conflict monitoring theory. *Neuropsychologia*, 49(7), 1953-1961. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.03.023
- Coles, M. G., y Rugg, M. D. (1995). *Event-related brain potentials: An introduction*. Oxford University Press.
- Collins, A. M., y Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428. doi: 10.1037/0033-295X.82.6.407
- Conway, A. R., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., y Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769-786. doi: 10.3758/bf03196772
- Conway, A. R., Tuholski, S. W., Shisler, R. J., y Engle, R. W. (1999). The effect of memory load on negative priming: An individual differences investigation. *Memory & Cognition*, 27(6), 1042-1050. doi: 10.3758/bf03201233
- Dallas, M., y Merikle, P. M. (1976). Semantic processing of non-attended visual information. *Canadian Journal of Psychology*, 30(1), 15-21. doi: 10.1037/h0082040

- Damian, M. F. (2001). Congruity effects evoked by subliminally presented primes: Automaticity rather than semantic processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 154-165. doi: 10.1037/0096-1523.27.1.154
- Daurignac, E., Houdé, O., y Jouvent, R. (2006). Negative priming in a numerical Piaget-like task as evidenced by ERP. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 730-736. doi: 10.1162/jocn.2006.18.5.730
- Daza, M. T., y Ortells, J. J. (2002). Aproximaciones actuales al estudio de la percepción sin conciencia [Actual approximations to the study of unconscious perception]. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 55(2), 203–223.
- Daza, M. T., Ortells, J. J., y Fox, E. (2002). Perception without awareness: Further evidence from a Stroop priming task. *Perception & Psychophysics*, 64(8), 1316–1324. doi: 10.3758/bf03194774
- Daza, M. T., Ortells, J. J., y Noguera, C. (2007). Negative semantic priming from consciously vs. unconsciously perceived single words. *Psicológica: International Journal of Methodology and Experimental Psychology*, 28(2), 105-127.
- Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C., y Nagata, M. (2000). Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: Evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Cognitive Brain Research*, 9(2), 137-146. doi: 10.1016/s0926-6410(99)00050-6
- Deacon, D., Uhm, T. J., Ritter, W., Hewitt, S., y Dynowska, A. (1999). The lifetime of automatic semantic priming effects may exceed two seconds. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 7(4), 465–472. doi: 10.1016/s0926-6410(98)00034-2

- Debner, J. A., y Jacoby, L. L. (1994). Unconscious perception: Attention, awareness, and control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(2), 304-317. doi: 10.1037/0278-7393.20.2.304
- De Fockert, J. W. (2013). Beyond perceptual load and dilution: A review of the role of working memory in selective attention. *Frontiers in Psychology*, 4, 287. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00287
- De Fockert, J. W., Mizon, G. A., y D'Ubaldo, M. (2010). No negative priming without cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(6), 1333-1341. doi: 10.1037/a0020404
- De Fockert, J. W., Ramchurn, A., Van Velzen, J., Bergström, Z., y Bunce, D. (2009). Behavioral and ERP evidence of greater distractor processing in old age. *Brain Research*, 1282, 67-73. doi: 10.1016/j.brainres.2009.05.060
- De Fockert, J. W., Rees, G., Frith, C. D., y Lavie, N. (2001). The role of working memory in visual selective attention. *Science*, 291(5509), 1803-1806. doi: 10.1126/science.1056496
- Dehaene, S., y Changeux, J. P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*, 70(2), 200-227. doi: 10.1016/j.neuron.2011.03.018
- Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'H, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., van de Moortele, P. F., y Le Bihan, D. (1998). Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, 395(6702), 597-600. doi: 10.1038/26967

- De Houwer, J., Hermans, D., Rothermund, K., y Wentura, D. (2002). Affective priming of semantic categorisation responses. *Cognition and Emotion*, *16*(5), 643-666. doi: 10.1080/02699930143000419
- D'Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R. K., y Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Cognitive Brain Research*, *7*(1), 1-13. doi: 10.1016/S0926-6410(98)00004-4
- Deutsch, J. A., y Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*(1), 80-90. doi: 10.1037/h0039515
- Eimer M. (1993). Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/No-go task. *Biological Psychology*, *35*(2), 123-138. doi: 10.1016/0301-0511(93)90009-w
- Engle, R. W., Conway, A. R., Tuholski, S. W., y Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science*, *6*(2), 122-125. doi: 10.1111/j.1467-9280.1995.tb00318.x
- Engle, R. W., y Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. In B. H. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Vol. 44 (p. 145-199). Elsevier Science.
- Erdelyi, M. (1986). Experimental indeterminacies in the dissociation paradigm of subliminal perception. *Behavioral and Brain Sciences*, *9*(1), 30-31. doi: 10.1017/S0140525X00021348
- Eriksen, B. A., y Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143-149. doi: 10.3758/BF03203267

- Fabiani, M., Gratton, G., y Federmeier, K. D. (2007). Event-Related Brain Potentials: Methods, Theory, and Applications. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, G. Berntson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511546396.004
- Folstein, J. R., y Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00602.x
- Forester, K. I., Mohan, K., y Hector, J. (2003). The mechanics of masked priming. In S. Kinoshita & S. J. Lupker (Eds.), *Masked priming: The state of the art* (pp. 3–37). New York: Psychology Press.
- Forster, K. I. (2004). Category size effects revisited: Frequency and masked priming effects in semantic categorization. *Brain and Language*, 90(1-3), 276-286. doi: 10.1016/S0093-934X(03)00440-1
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2), 145-173. doi: 10.3758/BF03210958
- Frings, C., y Groh-Bordin, C. (2007). Electrophysiological correlates of visual identity negative priming. *Brain Research*, 1176, 82-91. doi: 10.1016/j.brainres.2007.07.093
- Frings, C., Schneider, K. K., y Fox, E. (2015). The negative priming paradigm: An update and implications for selective attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(6), 1577-1597. doi: 10.3758/s13423-015-0841-4
- Frings, C., y Wentura, D. (2005). Negative priming with masked distractor-only prime trials: Awareness moderates negative priming. *Experimental Psychology*, 52(2), 131-139. doi: 10.1027/1618-3169.52.2.131

- Fuentes, L. J., y Ortells, J. J. (1993). Facilitation and interference effects in a Stroop-like task: Evidence in favor of semantic processing of parafoveally-presented stimuli. *Acta Psychologica*, *84*(3), 213-229. doi: 10.1016/0001-6918(93)90061-u
- Fuentes, L. J., y Tudela, P. (1992). Semantic processing of foveally and parafoveally presented words in a lexical decision task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *45A*(2), 299-322. doi: 10.1080/14640749208401328
- Gatti, S. V., y Egeth, H. E. (1978). Failure of spatial selectivity in vision. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *11*(3), 181-184. doi: 10.3758/BF03336801
- Gazzaley, A., Clapp, W., Kelley, J., McEvoy, K., Knight, R. T., y D'Esposito, M. (2008). Age-related top-down suppression deficit in the early stages of cortical visual memory processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(35), 13122–13126. doi: 10.1073/pnas.0806074105
- Gazzaley, A., Cooney, J. W., McEvoy, K., Knight, R. T., y D'Esposito, M. (2005). Top-down enhancement and suppression of the magnitude and speed of neural activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(3), 507–517. doi: 10.1162/0898929053279522
- Gazzaley, A., y Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: Bridging selective attention and working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(2), 129-135. doi: 10.1016/j.tics.2011.11.014
- Gibbons, H. (2006). An Event-Related Potential Investigation of Varieties of Negative Priming. *Journal of Psychophysiology*, *20*, 170-185. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.170

- Gibbons, H., y Frings, C. (2010). Flanker negative priming from spatially unpredictable primes: An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 75(3), 339–348. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2010.01.004
- Gibbons, H., y Stahl, J. (2010). Cognitive load reduces visual identity negative priming by disabling the retrieval of task-inappropriate prime information: An ERP study. *Brain Research*, 1330, 101-113. doi: 10.1016/j.brainres.2010.03.022
- Greenwald, A. G., y Abrams, R. L. (2002). Visual masking reveals two qualitatively different levels of unconscious cognition. In *43rd Annual Meeting of the Psychonomic Society, Kansas City, KS*.
- Greenwald, A. G., Klinger, M. R., y Schuh, E. S. (1995). Activation by marginally perceptible ("subliminal") stimuli: Dissociation of unconscious from conscious cognition. *Journal of Experimental Psychology. General*, 124(1), 22-42. doi: 10.1037//0096-3445.124.1.22
- Handy, T. C. (2005). *Event-related potentials: A methods handbook*. MIT Press.
- Hasher, L., Lustig, C., y Zacks, R. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake & J. N. Towse (Eds.), *Variation in Working Memory* (pp. 227-249). New York, NY: Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195168648.001.0001
- Hasher, L., Zacks, R. T., y May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 653–675). Cambridge, MA: MIT Press.

- Heil, M., y Rolke, B. (2004). Unattended distractor-induced priming in a visual selective attention task. *Journal of Psychophysiology*, *18*(4), 164-169. doi: 10.1027/0269-8803.18.4.164
- Heil, M., Rolke, B., y Pecchinenda, A. (2004). Automatic semantic activation is no myth: Semantic context effects on the N400 in the letter-search task in the absence of response time effects. *Psychological Science*, *15*(12), 852-857. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00766.x
- Hinojosa, J. A., Pozo, M. A., Méndez-Bértolo, C., y Luna, D. (2009). Event-related potential correlates of visual identity negative priming unbiased by trial-by-trial effects. *Brain and Cognition*, *69*, 531-537. doi: 10.1016/j.bandc.2008.11.004
- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *Behavioral and Brain Sciences*, *9*(1), 1-66. doi: 10.1017/S0140525X00021269
- Houghton, G., y Tipper, S. P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In D. Dagenbach, & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (pp. 53-112). San Diego, CA: Academic Press.
- Houghton, G., Tipper, S. P., Weaver, B., y Shore, D. I. (1996). Inhibition and interference in selective attention: Some tests of a neural network model. *Visual Cognition*, *3*(2), 119-164. doi: 10.1080/713756733
- Hutchison K. A. (2003). Is semantic priming due to association strength or feature overlap? A microanalytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*(4), 785-813. doi: 10.3758/bf03196544

- Hutchison, K. A. (2007). Attentional control and the relatedness proportion effect in semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(4), 645-662. doi: 10.1037/0278-7393.33.4.645
- Hutchison, K. A. (2011). The interactive effects of listwide control, item-based control, and working memory capacity on Stroop performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(4), 851-860. doi: 10.1037/a0023437
- Hutchison, K. A., Balota, D. A., Cortese, M. J., y Watson, J. M. (2008). Predicting semantic priming at the item level. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(7), 1036-1066. doi: 10.1080/17470210701438111
- Jackson, G. M., Swainson, R., Cunnington, R., y Jackson, S. R. (2001). ERP correlates of executive control during repeated language switching. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 169-178. doi: 10.1017/S1366728901000268
- Jáskowski, P., Skalska, B., y Verleger, R. (2003). How the self controls its "automatic pilot" when processing subliminal information. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(6), 911-920. doi: 10.1162/089892903322370825
- Johnston, W. A., y Heinz, S. P. (1978). Flexibility and capacity demands of attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107(4), 420-435. doi: 10.1037/0096-3445.107.4.420

- Kaiser, S., Weiss, O., Hill, H., Markela-Lerenc, J., Kiefer, M., y Weisbrod, M. (2006). N2 event-related potential correlates of response inhibition in an auditory Go/No Go task. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, *61*(2), 279-282. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2005.09.006
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R., y Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(2), 169-183. doi: 10.1037//0096-3445.130.2.169
- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., y Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science*, *18*(7), 614–621. doi: 10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x
- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Hambrick, D. Z., y Engle, R. W. (2007). Variation in working memory capacity as variation in executive attention and control. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane (Eds.) & A. Miyake & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (p. 21–46). Oxford University Press.
- Kane, M. J., y Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*(1), 47–70. doi: 10.1037/0096-3445.132.1.47

- Kang, M. S., Blake, R., y Woodman, G. F. (2011). Semantic analysis does not occur in the absence of awareness induced by interocular suppression. *The Journal of Neuroscience*, *31(38)*, 13535-13545. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1691-11.2011
- Kiefer, M. (2002). The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects. *Cognitive Brain Research*, *13(1)*, 27-39. doi: 10.1016/S0926-6410(01)00085-4
- Kiefer, M. (2012). Executive control over unconscious cognition: Attentional sensitization of unconscious information processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 61. doi: 10.3389/fnhum.2012.00061
- Kiefer, M., Adams, S. C., y Zovko, M. (2012). Attentional sensitization of unconscious visual processing: Top-down influences on masked priming. *Advances in Cognitive Psychology*, *8(1)*, 50-61. doi: 10.5709/acp-0102-4
- Kiefer, M., y Brendel, D. (2006). Attentional modulation of unconscious "automatic" processes: Evidence from event-related potentials in a masked priming paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18(2)*, 184-198. doi: 10.1162/jocn.2006.18.2.184
- Kiefer, M., y Martens, U. (2010). Attentional sensitization of unconscious cognition: Task sets modulate subsequent masked semantic priming. *Journal of Experimental Psychology. General*, *139(3)*, 464-489. doi: 10.1037/a0019561
- Kiefer, M., Marzinzik, F., Weisbrod, M., Scherg, M., y Spitzer, M. (1998). The time course of brain activations during response inhibition: Evidence from event-related potentials in a go/no go task. *Neuroreport*, *9(4)*, 765-770. doi: 10.1097/00001756-199803090-00037

- Kiefer, M., Sim, E. J., y Wentura, D. (2015). Boundary conditions for the influence of unfamiliar non-target primes in unconscious evaluative priming: The moderating role of attentional task sets. *Consciousness and Cognition*, *35*, 342-356. doi: 10.1016/j.concog.2015.01.010
- Kiefer, M., y Spitzer, M. (2000). Time course of conscious and unconscious semantic brain activation. *Neuroreport*, *11(11)*, 2401-2407. doi: 10.1097/00001756-200008030-00013
- Kiesel, A., Kunde, W., Pohl, C., y Hoffmann, J. (2006). Priming from novel masked stimuli depends on target set size. *Advances in Cognitive Psychology*, *2(1)*, 37-45. doi: 10.2478/v10053-008-0043-y
- Klauer, K. C., Eder, A. B., Greenwald, A. G., y Abrams, R. L. (2007). Priming of semantic classifications by novel subliminal prime words. *Consciousness and Cognition*, *16(1)*, 63-83. doi: 10.1016/j.concog.2005.12.002
- Klinger, M. R., Burton, P. C., y Pitts, G. S. (2000). Mechanisms of unconscious priming: I. Response competition, not spreading activation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *26(2)*, 441-455. doi: 10.1037//0278-7393.26.2.441
- Kouider, S., y Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: A critical review of visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *362(1481)*, 857-875. doi: 10.1098/rstb.2007.2093
- Kouider, S., y Dupoux, E. (2004). Partial Awareness Creates the "Illusion" of Subliminal Semantic Priming. *Psychological Science*, *15(2)*, 75-81. doi: 10.1111/j.0963-7214.2004.01502001.x

- Kunde, W., Kiesel, A., y Hoffmann, J. (2003). Conscious control over the content of unconscious cognition. *Cognition*, *88*(2), 223-242. doi: 10.1016/s0010-0277(03)00023-4
- Küper, K., y Heil, M. (2009). Electrophysiology reveals semantic priming at a short SOA irrespective of depth of prime processing. *Neuroscience Letters*, *453*(2), 107-111. doi: 10.1016/j.neulet.2009.02.013
- Kutas, M., y Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, *62*, 621-647. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.131123
- Kutas, M., y Hillyard, S. A. (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, *11*(2), 99-116. doi: 10.1016/0301-0511(80)90046-0
- Lachter, J., Forster, K. I., y Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent (1958): Still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*(4), 880-913. doi: 10.1037/0033-295X.111.4.880
- Lambert, A. J., Beard, C. T., y Thompson, R. J. (1988). Selective attention, visual laterality, awareness, and perceiving the meaning of parafoveally presented words. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *40*(4), 615-652. doi: 10.1080/14640748808402291
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, *21*(3), 451-468. doi: 10.1037//0096-1523.21.3.451
- Lavie, N., y Fox, E. (2000). The role of perceptual load in negative priming. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *26*(3), 1038-1052. doi: 10.1037//0096-1523.26.3.1038

- Lavie, N., Hirst, A., De Fockert, J. W., y Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(3), 339-354. doi: 10.1037/0096-3445.133.3.339
- Li, T., Wang, L., Huang, W., Zhen, Y., Zhong, C., Qu, Z., y Ding, Y. (2020). Onset time of inhibition of return is a promising index for assessing cognitive functions in older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *75*(4), 753-761. doi: 10.1093/geronb/gby070
- Liu, H., Rossi, S., Zhou, H., y Chen, B. (2014). Electrophysiological evidence for domain-general inhibitory control during bilingual language switching. *PloS One*, *9*(10), e110887. doi: 10.1371/journal.pone.0110887
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*(4), 492–527. doi: 10.1037/0033-295X.95.4.492
- Logan, G. D., Zbrodoff, N. J., y Williamson, J. (1984). Strategies in the color-word Stroop task. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *22*(2), 135-138. doi: 10.3758/BF03333784
- Luck, S. J. (2005). An Introduction to Event-Related Potentials and Their Neural Origins. In S. J. Luck (Ed.), *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (pp. 1-50). MIT Press.
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique, second edition*. MIT Press.
- MacLeod, C. M., Chiappe, D. L., y Fox, E. (2002). The crucial roles of stimulus matching and stimulus identity in negative priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(3), 521-528. doi: 10.3758/BF03196308

- Marí-Beffa, P., Valdés, B., Cullen, D. J., Catena, A., y Houghton, G. (2005). ERP analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 293-305. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.10.016
- Martens, U., Ansorge, U., y Kiefer, M. (2011). Controlling the unconscious: Attentional task sets modulate subliminal semantic and visuomotor processes differentially. *Psychological Science*, 22(2), 282-291. doi: 10.1177/0956797610397056
- Martens, U., y Kiefer, M. (2009). Specifying attentional top-down influences on subsequent unconscious semantic processing. *Advances in Cognitive Psychology*, 5, 56-68. doi: 10.2478/v10053-008-0067-3
- Masson, M. E. J. (1995). A distributed memory model of semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 3-23. doi: 10.1037/0278-7393.21.1.3
- Mayas, J., Fuentes, L. J., y Ballesteros, S. (2012). Stroop interference and negative priming (NP) suppression in normal aging. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 54(2), 333-338. doi: 10.1016/j.archger.2010.12.012
- Mayr, S., Niedeggen, M., Buchner, A., y Orgs, G. (2006). The level of reaction time determines the ERP correlates of auditory negative priming. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 186-194. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.186
- Mayr, S., Niedeggen, M., Buchner, A., y Pietrowsky, R. (2003). ERP correlates of auditory negative priming. *Cognition*, 90(2), B11-B21. doi: 10.1016/S0010-0277(03)00142-2
- McNamara, T. P. (2005). *Semantic priming: Perspectives from memory and word recognition*. New York: Psychology Press.

- Megías, M., Ortells, J. J., Noguera, C., Carmona, I., y Marí-Beffa, P. (2020). Semantic Negative Priming from an ignored single-prime depends critically on prime-mask inter-stimulus interval and working memory capacity. *Frontiers in Psychology, 11*, 1227. doi: 10.3389/fpsyg.2020.01227
- Meier, M. E., y Kane, M. J. (2013). Working memory capacity and Stroop interference: Global versus local indices of executive control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*(3), 748-759. doi: 10.1037/a0029200
- Merikle, P. M., y Joordens, S. (1997). Parallels between perception without attention and perception without awareness. *Consciousness and Cognition, 6*(2-3), 219-236. doi: 10.1006/ccog.1997.0310
- Merikle, P. M., Joordens, S., y Stolz, J. A. (1995). Measuring the relative magnitude of unconscious influences. *Consciousness and Cognition: An International Journal, 4*(4), 422-439. doi: 10.1006/ccog.1995.1049
- Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M., y Seiffert, A. E. (1998). Selective attention: A reevaluation of the implications of negative priming. *Psychological Review, 105*(2), 203-229. doi: 10.1037/0033-295X.105.2.203
- Naccache, L., y Dehaene, S. (2001). Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition, 80*(3), 215-229. doi: 10.1016/S0010-0277(00)00139-6
- Naccache, L., Gaillard, R., Adam, C., Hasboun, D., Clémenceau, S., Baulac, M., Dehaene, S., y Cohen, L. (2005). A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(21), 7713-7717. doi: 10.1073/pnas.0500542102

- Neely, J. H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Roles of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *106*(3), 226-254. doi: 10.1037/0096-3445.106.3.226
- Neely, J. H. (1991). Semantic priming effects in visual word recognition: A selective review of current findings and theories. In D. Besner & G. W. Humphreys (Eds.), *Basic processes in reading: Visual word recognition* (pp. 264–336). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Neill, W. T., y Kahan, T. A. (1999). Response conflict reverses priming: A replication. *Psychonomic Bulletin and Review*, *6*(2), 304-308.
- Neill, W. T., y Valdes, L. A. (1992). Persistence of negative priming: Steady state or decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(3), 565-576. doi: 10.1037/0278-7393.18.3.565
- Neill, W. T., Valdes, I. A., Terry, K. M., y Gorfein, D. S. (1992). Persistence of negative priming: II. Evidence for episodic trace retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(5), 993-1000. doi: 10.1037/0278-7393.18.5.993
- Nelson, J. (2016). The Development of a Human Operator Informatic Model (HOIM) Incorporating the Effects of Non-Invasive Brain Stimulation on Information Processing while Performing Multi-Attribute Task Battery (MATB) [Figure 3A]. *Browse all Theses and Dissertations*, 1469. Recuperado de https://corescholar.libraries.wright.edu/etd_all/1469
- Nidal, K., y Malik, A. S. (2014). *EEG/ERP Analysis: Methods and Applications*. CRC Press.

- Noguera, C., Fernández, S., Álvarez, D., Carmona, E., Marí-Beffa, P., y Ortells, J. J. (2019). The implementation of expectancy-based strategic processes is delayed in normal aging. *PLoS One* 14:e0214322. doi: 10.1371/journal.pone.0214322
- Noguera, C., Ortells, J. J., Abad, M. J., Carmona, E., y Daza, M. T. (2007). Semantic priming effects from single words in a lexical decision task. *Acta Psychologica*, 125(2), 175-202. doi: 10.1016/j.actpsy.2006.07.007
- Norman, D. A. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, 75(6), 522-536. doi: 10.1037/h0026699
- Novo Olivas, C. A., Chacón Gutiérrez, L., y Barradas Bribiesca, J. A. (2010). *Mapeo Electroencefalográfico y Neurofeedback*[Figura 3]. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/282294960>
- Ortells, J. J., Abad, M. J., Noguera, C., y Lupiáñez, J. (2001). Influence of prime-probe stimulus onset asynchrony and prime precuing manipulations on semantic priming effects with words in a lexical-decision task. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, 27(1), 75-91. doi: 10.1037/0096-1523.27.1.75
- Ortells, J. J., Daza, M. T., y Fox, E. (2003). Semantic activation in the absence of perceptual awareness. *Perception & Psychophysics*, 65(8), 1307-1317. doi: 10.3758/bf03194854
- Ortells, J. J., De Fockert, J. W., Romera, N., y Fernández, S. (2018). Expectancy-based strategic processes are influenced by spatial working memory load and individual differences in working memory capacity. *Frontiers in Psychology*, 9, 1239. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01239

- Ortells, J. J., Fox, E., Noguera, C., y Abad, M. J. (2003). Repetition priming effects from attended vs. ignored single words in a semantic categorization task. *Acta Psychologica, 114*(2), 185-210. doi: 10.1016/j.actpsy.2003.08.002
- Ortells, J. J., y Fuentes, L. J. (1992). Follow-up in the study of selective attention. *Studies in Psychology, 13*(48), 135-143. doi: 10.1080/02109395.1992.10821184
- Ortells, J. J., Kiefer, M., Castillo, A., Megías, M., y Morillas, A. (2016b). The semantic origin of unconscious priming: Behavioral and event-related potential evidence during category congruency priming from strongly and weakly related masked words. *Cognition, 146*, 143-157. doi: 10.1016/j.cognition.2015.09.012
- Ortells, J. J., Marí-Beffa, P., y Plaza-Ayllón, V. (2013). Unconscious congruency priming from unpracticed words is modulated by prime–target semantic relatedness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*(2), 394-413. doi: 10.1037/a0028876
- Ortells, J. J., Noguera, C., Álvarez, D., Carmona, E., y Houghton, G. (2016a). Individual differences in working memory capacity modulates semantic negative priming from single prime words. *Frontiers in Psychology, 7*, 1286. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01286
- Ortells, J. J., y Tudela, P. (1984). Efecto del nivel de práctica y de la frecuencia de las palabras en el procesamiento de la información no atendida. *Revista de Psicología General y Aplicada, 39*(4), 761-778.
- Ortells, J. J., y Tudela, P. (1996). Positive and negative semantic priming of attended and unattended parafoveal words in a lexical decision task. *Acta Psychologica, 94*(2), 209-226. doi: 10.1016/0001-6918(95)00045-

- Ortells, J. J., Vellido, C., Daza, M. T., y Noguera, C. (2006). Semantic priming effects with and without perceptual awareness. *Psicológica: International Journal of Methodology and Experimental Psychology*, *27*(2), 225-242.
- Panadero, A., Castellanos, M. C., y Tudela, P. (2015). Unconscious context-specific proportion congruency effect in a stroop-like task. *Consciousness and Cognition*, *31*, 35-45. doi: 10.1016/j.concog.2014.09.016
- Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson JR, R., Miller, G. A., Ritter, W., Ruchkin, D. S., Rugg, M. D., y Taylor, M. J. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, *37*(2), 127-152. doi: 10.1111/1469-8986.3720127
- Posner, M. I., y Snyder, C. R. (1975). Facilitation and inhibition in the processing of signals. In P. M. Rabbitt, & S. Dornic (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. 5, pp. 669-682). San Diego, CA: Academic Press.
- Pratt, N., Willoughby, A., y Swick, D. (2011). Effects of working memory load on visual selective attention: Behavioral and electrophysiological evidence. *Frontiers in Human Neuroscience*, *5*, 57. doi: 10.3389/fnhum.2011.00057
- Ramautar, J. R., Kok, A., y Ridderinkhof, K. R. (2006). Effects of stop-signal modality on the N2/P3 complex elicited in the stop-signal paradigm. *Biological Psychology*, *72*(1), 96-109. doi: 10.1016/j.biopsycho.2005.08.001
- Redick, T. S., y Engle, R. W. (2006). Working memory capacity and attention network test performance. *Applied Cognitive Psychology*, *20*(5), 713-721. doi: 10.1002/acp.1224

- Redick, T. S., Heitz, R. P., y Engle, R. W. (2007). Working memory capacity and inhibition: Cognitive and social consequences. In D. S. Gorfein, & C. M. MacLeod (Eds.), *Inhibition in Cognition* (pp. 125–142). American Psychological Association. doi: 10.1037/11587-007
- Richards, A. (1999). The effects of cueing target location and response mode on interference and negative priming using a visual selection paradigm. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 52(2), 449-463. doi: 10.1080/713755825
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., y Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306(5695), 443-447. doi: 10.1126/science.1100301
- Rohaut, B., Faugeras, F., Chausson, N., King, J. R., Karoui, I. E., Cohen, L., y Naccache, L. (2015). Probing ERP correlates of verbal semantic processing in patients with impaired consciousness. *Neuropsychologia*, 66, 279-292. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.10.014
- Ruge, H., y Naumann, E. (2006). Brain-electrical correlates of negative location priming under sustained and transient attentional context conditions. *Journal of Psychophysiology*, 20(3), 160-169. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.160
- Rugg, M. D., y Coles, M. G. (2008). *Electrophysiology of Mind: Event-related Brain Potentials and Cognition*. Oxford University Press.
- Sanei, S., y Chambers, J. A. (2013). *EEG signal processing*. John Wiley & Sons.
- Schneider, W., y Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84(1), 1-66. doi: 10.1037/0033-295X.84.1.1

- Seib-Pfeifer, L.-E., Koppehele-Gossel, J., y Gibbons, H. (2019). On ignoring words—exploring the neural signature of inhibition of affective words using ERPs. *Experimental Brain Research*, 237(9), 2397-2409. doi: 10.1007/s00221-019-05597-w
- Shaffer, W. O., y LaBerge, D. (1979). Automatic semantic processing of unattended words. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 18(4), 413-426. doi: 10.1016/S0022-5371(79)90228-7
- Shah, P., y Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(1), 4-27. doi: 10.1037/0096-3445.125.1.4
- Shenaut, G. K., y Ober, B. A. (1996). Methodological control of semantic priming in Alzheimer's disease. *Psychology and Aging*, 11(3), 443-448. doi: 10.1037//0882-7974.11.3.443
- Shiffrin, R. M., y Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190. doi: 10.1037/0033-295X.84.2.127
- Shipstead, Z., Lindsey, D. R., Marshall, R. L., y Engle, R. W. (2014). The mechanisms of working memory capacity: Primary memory, secondary memory, and attention control. *Journal of Memory and Language*, 72, 116-141. doi: 10.1016/j.jml.2014.01.004
- Stolz, J. A., Besner, D., y Carr, T. H. (2005). Implications of measure of reliability for theories of priming: Activity in semantic memory is inherently noisy and uncoordinated. *Visual Cognition*, 12(2), 284-336.

- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 37(A), 571-590. doi: 10.1080/14640748508400920
- Tipper, S. P. (2001). Does negative priming reflect inhibitory mechanisms? A review and integration of conflicting views. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 54A(2), 321-343. doi: 10.1080/02724980042000183
- Tipper, S. P., MacQueen, G. M., y Brehaut, J. C. (1988). Negative priming between response modalities: Evidence for the central locus of inhibition in selective attention. *Perception & Psychophysics*, 43(1), 45-52. doi: 10.3758/BF03208972
- Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(4), 242-248. doi: 10.1080/17470216008416732
- Treisman, A. M., y Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Underwood, G. (1976). Semantic interference from unattended printed words. *British Journal of Psychology*, 67(3), 327-338. doi: 10.1111/j.2044-8295.1976.tb01519.x
- Underwood, G. (1977). Attention, awareness, and hemispheric differences in word recognition. *Neuropsychologia*, 15(1), 61-67.
- Underwood, G. (1981). Lexical recognition of embedded unattended words: Some implications for reading processes. *Acta Psychologica*, 47(3), 267-283. doi: 10.1016/0001-6918(81)90012-3


- Underwood, G., Rusted, J., y Thwaites, S. (1983). Parafoveal words are effective in both hemifields: preattentive processing of semantic and phonological codes. *Perception, 12(2)*, 213-221. doi: 10.1068/p120213
- Underwood, G., y Thwaites, S. (1982). Automatic phonological coding of unattended printed words. *Memory & Cognition, 10(5)*, 434-442. doi: 10.3758/BF03197645
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., y Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods, 37(3)*, 498-505. doi: 10.3758/BF03192720
- Unsworth, N., Redick, T. S., Heitz, R. P., Broadway, J. M., y Engle, R. W. (2009). Complex working memory span tasks and higher-order cognition: A latent-variable analysis of the relationship between processing and storage. *Memory, 17*, 635-654. doi: 10.1080/09658210902998047
- Unsworth, N., Schrock, J. C., y Engle, R. W. (2004). Working memory capacity and the antisaccade task: Individual differences in voluntary saccade control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition 30(6)*, 1302-1321. doi: 10.1037/0278-7393.30.6.1302
- Van den Bussche, E., y Reynvoet, B. (2007). Masked priming effects in semantic categorization are independent of category size. *Experimental Psychology, 54(3)*, 225-235. doi: 10.1027/1618-3169.54.3.225
- Van den Bussche, E., Smets, K., Sasanguie, D., y Reynvoet, B. (2012). The power of unconscious semantic processing: The effect of semantic relatedness between prime and target on subliminal priming. *Psychologica Belgica, 52(1)*, 59-70. doi: 10.5334/pb-52-1-59

- Van den Bussche, E., Van den Noortgate, W., y Reynvoet, B. (2009). Mechanisms of masked priming: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *135*(3), 452-477. doi: 10.1037/a0015329
- Van der Heijden, A. H. C. (1981). *Short-term visual information forgetting*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Wagner, M., Baving, L., Berg, P., Cohen, R., y Rockstroh, B. (2006). An ERP Investigation of Semantic Priming, Repetition Priming, and Negative Priming in Schizophrenic Patients. *Journal of Psychophysiology*, *20*(3), 195-211. doi: 10.1027/0269-8803.20.3.195
- Wang, Y., Wang, Y., Liu, P., Wang, J., Gong, Y., Di, M., y Li, Y. (2018). Critical role of top-down processes and the push-pull mechanism in semantic single negative priming. *Consciousness and Cognition*, *57*, 84-93. doi: 10.1016/j.concog.2017.11.007
- Wang, Y., Zhao, J., Liu, P., Wei, L., y Di, M. (2014). Inhibitory mechanisms in single negative priming from ignored and briefly flashed primes: The key role of the inter-stimulus interval. *Consciousness and Cognition*, *29*, 235-247. doi: 10.1016/j.concog.2014.08.020
- Wendt, M., y Luna-Rodríguez, A. (2009). Conflict-frequency affects flanker interference: Role of stimulus-ensemble-specific practice and flanker-response contingencies. *Experimental Psychology*, *56*(3), 206-217. doi: 10.1027/1618-3169.56.3.206
- Wentura, D. (2000). Dissociative affective and associative priming effects in the lexical decision task: Yes versus no responses to word targets reveal evaluative judgment tendencies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(2), 456-469. doi: 10.1037//0278-7393.26.2.456

- Yee, P. L. (1991). Semantic inhibition of ignored words during a figure classification task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *43*(1), 127-153. doi: 10.1080/14640749108401002
- Yeung, N., Botvinick, M. M., y Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, *111*(4), 931–959. doi: 10.1037/0033-295x.111.4.939
- Zani, A., y Proverbio, A. M. (2003). Cognitive electrophysiology of mind and brain. In *The cognitive electrophysiology of mind and brain* (pp. 3-12). Academic press.
- Zovko, M., y Kiefer, M. (2013). Do different perceptual task sets modulate electrophysiological correlates of masked visuo-motor priming? Attention to shape and color put to the test. *Psychophysiology*, *50*, 149-157. doi: 10.1111/j.1469- 8986.2012.01492.x

EPÍLOGO





*“Si quieres mantener el equilibrio
mira lejos, al frente”, le decían
cuando empezaba con la bicicleta.
Después creció y vinieron más consejos:
“Ten amplitud de miras”
“Mira más lejos, como busca el águila”
“Intenta contemplar el infinito”,
“Fija tus ojos en la lejana utopía”, ...
Y de tanto mirar a las estrellas,
de tanto contemplar el horizonte,
de tanto perseguir lejanos sueños,
hoy tiene un grave déficit de vista:
es incapaz de ver la felicidad cuando,
a veces, se le cruza por delante.*

Diego Alonso Cánovas, 2021

