

Universidad de Oviedo



Programa de Doctorado en Educación y Psicología

Tesis doctoral

**Estudio sobre las bases electrofisiológicas
de la lectura**

Beatriz Bermúdez Margareto

Universidad de Oviedo



Programa de Doctorado en Educación y Psicología

Tesis doctoral

**Estudio sobre las bases electrofisiológicas
de la lectura**

Beatriz Bermúdez Margareto

Dirigida por:

Fernando Cuetos Vega y Alberto Domínguez Martínez



RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: Estudio sobre las bases electrofisiológicas de la lectura	Inglés: Electrophysiological study on reading
2.- Autor	
Nombre: Beatriz Bermúdez Margareto	DNI/Pasaporte/NIE:
Programa de Doctorado: Educación y Psicología	
Organo responsable: Universidad de Oviedo	

RESUMEN (en español)

En la actualidad, existe un interés creciente dentro de la investigación en lectura acerca del proceso de formación de nuevas representaciones ortográficas. La importancia de este proceso radica en que la formación de estas huellas posibilita que las palabras pasen de leerse a través de un procesamiento serial, mediante la decodificación serial letra a letra, a un procesamiento en paralelo a partir de un reconocimiento visual directo. Esta transición permite la adquisición de una lectura más automatizada, que presenta una mayor velocidad y precisión y que deja suficientes recursos atencionales disponibles como para llevar a cabo otros procesos de más alto nivel cognitivo, como la propia comprensión del texto. El principal objetivo de esta tesis doctoral era estudiar las bases electrofisiológicas que subyacen al desarrollo de la lectura léxica y, más específicamente, los cambios que se dan en la actividad eléctrica cerebral de los lectores como consecuencia de la formación de nuevas representaciones ortográficas. Con este fin se desarrollaron tres estudios en los que tanto la velocidad y precisión de la lectura como la actividad electrofisiológica de los lectores eran evaluadas durante la exposición repetida a nuevos estímulos (pseudopalabras).

El primer estudio mostró que es posible formar representaciones ortográficas de las pseudopalabras tras un breve entrenamiento visual (seis exposiciones), a juzgar por la mayor velocidad y precisión con las que estos estímulos son leídos. Sin embargo, el entrenamiento visual no permite la completa lexicalización de estos estímulos ya que la naturaleza de las representaciones formadas parece episódica y no léxico-semántica. Así, el procesamiento de las pseudopalabras se igualó al de las palabras familiares en cuanto a la precisión con la que eran procesadas, pero no en cuanto a la velocidad de sus respuestas. Además, la actividad electrofisiológica generada por las pseudopalabras entrenadas se solapó a la de las palabras familiares, aunque únicamente en el componente LPC, relacionado con procesos de memoria episódica y de recuerdo de la información previamente presentada.

El segundo estudio puso de manifiesto que el entrenamiento semántico de las



pseudopalabras, en comparación con el entrenamiento visual, permite una mayor facilitación en el procesamiento de estos estímulos y la formación de representaciones de carácter léxico-semántico. Así, mientras que el entrenamiento visual mejoró la velocidad de procesamiento de las pseudopalabras y permitió la formación de huellas de memoria episódicas, tal como indicó la modulación en el componente LPC, el entrenamiento mediante asociación semántica supuso un mayor aumento en la velocidad con la que estos estímulos eran procesados además de una mayor facilitación e integración semánticas, tal como indicó modulación del componente N400.

El tercer estudio demostró la importancia del contexto en el que se lleva a cabo el entrenamiento de las pseudopalabras. Así, cuando el entrenamiento conjunto de estos estímulos, a nivel tanto visual como semántico, se realiza en un contexto más acorde a la situación natural de aprendizaje, la actividad electrofisiológica de estos estímulos se hace indistinguible de la generada por palabras familiares en el componente N400, lo que podría indicar la completa lexicalización de estos estímulos.

Los hallazgos encontrados a lo largo de esta investigación permiten concluir que la formación de nuevas representaciones ortográficas es posible a través de una exposición visual breve. Sin embargo, el entrenamiento de los aspectos semánticos de las nuevas palabras parece crucial para que los estímulos entrenados adquieran una entidad léxico-semántica dentro del sistema de procesamiento de los lectores. Además, es imprescindible tener presente el contexto en el que se desarrolla el entrenamiento de las nuevas palabras, ya que dependiendo del mismo el proceso de lexicalización se podrá ver facilitado o interferido.

RESUMEN (en Inglés)

Nowadays, there is an increasing interest about the formation of new orthographic representations. This is a key process for reading given that the establishment of orthographic traces enables the reader to pass from the serial processing of words, through the letter-to-letter decoding, to a parallel processing by mean of the direct visual recognition. This sublexical-to-lexical transition allows the acquisition of an automated reading which leads higher rates of speed and accuracy and allows the reader to carry out processes of higher cognitive level, as the comprehension of the text. The main objective of this research was to study the electrophysiological bases that underlie the acquisition of the lexical reading and, specifically, the changes in brain electrical activity of readers as a consequence of the formation of new orthographic representations. To this aim, three different studies were carried out in which both, speed and accuracy of reading as well as the electrophysiological activity, were measured during the repeated visual exposure to new stimuli (pseudowords).



The first study showed that formation of new orthographic representations for pseudowords is possible after a brief visual exposure to these stimuli (namely, six visual exposures), as was indicated by the higher rates of accuracy and speed after training. However, this visual training not allowed the total lexicalization of pseudowords considering that the nature of the representations formed for these stimuli seem to be episodic instead of lexical-semantic. In this sense, the processing of pseudowords was found similar to that exhibited for real words in terms of their accuracy but not in terms of speed. In addition, the electrophysiological differences between trained pseudowords and real words were reduced until their absence but just in the amplitude of LPC component, related to episodic memory processes and recollection of previously presented information about the stimuli.

The second study pointed out that semantic training of pseudowords, compared to simple visual training, allows a higher facilitation in the processing of these stimuli and enables the formation of lexical-semantic representations. Thus, the simple visual training of pseudowords allowed the increase in the speed and the formation of new episodic memory traces for these stimuli, as was showed by the modulation of the LPC component. However, the semantic associative training of pseudowords caused the higher increase in the processing speed of these stimuli as well as their facilitation and semantic integration, as was indicated by the N400 amplitude modulation.

The third study demonstrated the importance of the context where the training of new stimuli is carried out. In this sense, when both the visual and semantic exposition to pseudowords is carried out in a task context similar to the natural situation of word learning, the electrophysiological activity of these stimuli elicited on the N400 component becomes indistinguishable to that exhibited by familiar words, which would suggest the complete lexicalization for these stimuli.

Findings reported in this research allow us to conclude that formation process of new orthographic representations is possible after a brief visual exposition. However, semantic training of new words seems to be crucial to these stimuli acquire a lexical-semantic entity into the reader's processing system. In addition, it is essential to bear in mind the context in which the training of new words is carried out since the process of lexicalization can be facilitated or interfered depending on the task requirements.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis directores, Fernando Cuetos y Alberto Domínguez, el esfuerzo que han puesto en este trabajo y los conocimientos que me han transmitido, especialmente su ilusión por la investigación.

A mis compañeras de laboratorio, Elena Herrera, Rrezarta Avdyli, María González-Nosti y Paz Suárez-Coalla (también a Patri y a Rosa); a las que se incorporaron después, Cristina Martínez, Marta Álvarez y Sara García y a las que nos visitaron por un tiempo, Yamile Bocanegra y Ece Bayram. También a mis compañeras de máster, Esther Álvarez y Vanesa Berge. Gracias por los buenos momentos que he compartido con todas vosotras, dentro y fuera del laboratorio.

A David Beltrán, por su inestimable ayuda a lo largo de esta investigación y por contagiarme parte de su minuciosidad a la hora de trabajar, que me ha hecho ser mucho más crítica, exigente y creo que mejor investigadora.

A Manuel de Vega, por su recibimiento cada vez que he visitado el Centro Neurocog, ahora IUNE. A Enrique García-Marco, Patricia Álvarez, Candelaria Hernández, Paola Agudelo, Julien Dampuré, Javier López, Anthea Santos, Yurena Morera e Iván Padrón, por acogerme en cada visita y hacer de La Laguna un lugar al que quiera volver incluso antes de haberme marchado.

A mi familia, por el apoyo prestado y el esfuerzo en mi educación. Gracias especialmente a Fran, por su ayuda y sus consejos, pero sobre todo por no dejar de intentar darme la confianza y los ánimos que necesitaba en todos los pasos que he dado a lo largo de este recorrido.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	17
1.1. Lectura: procesos implicados y modelos explicativos	17
1.2. Formación de representaciones ortográficas	24
1.3. Indicadores de la lexicalización de nuevas palabras	28
1.4. Estudios sobre la formación de nuevas representaciones léxicas	33
1.4.1. Estudios Conductuales	35
1.4.2. Estudios de neuroimagen	43
1.4.3. Estudios de electrofisiología	45
<i>Componente LPC</i>	54
<i>Componente N400</i>	57
<i>Lectura de nuevas palabras y PRE: Principales hallazgos encontrados</i>	59
2. Objetivos e hipótesis generales	75
3. Methods:	
Study 1	85
Study 2	119
Study 3	155
4. Discusión general	199
5. Conclusiones	211
6. Consideraciones futuras	213
7. Referencias	219

1. Introducción

1.1. Lectura: procesos implicados y modelos explicativos

La lectura es una habilidad fundamental en la sociedad actual. Se trata de una herramienta indispensable, no solo porque proporciona información sino porque posibilita el aprendizaje y el acceso a la cultura y al entretenimiento. Su uso se ha vuelto imprescindible en prácticamente todas nuestras actividades diarias, desde las estrictamente académicas o laborales hasta las lúdicas. A pesar de su importancia actual, la lectura es una habilidad cuya adquisición es relativamente reciente para el ser humano y, en este sentido, aún no se encuentra programada en nuestro cerebro. Por tanto, el desarrollo de la lectura no se da de forma innata, sino que para su aprendizaje se requiere enseñanza explícita y práctica repetida.

De manera más específica, la lectura es una actividad cognitiva compleja que permite acceder al significado de las palabras escritas mediante la transformación de sus letras o signos gráficos en sus correspondientes sonidos. Una prueba de la complejidad que presenta la lectura es la variedad de procesos cognitivos que intervienen en ella, de los cuales hoy se conoce en detalle su funcionamiento, la duración y el orden en el que se producen e incluso cuáles son las áreas cerebrales que subyacen a cada uno de ellos (Cuetos, González, & De Vega, 2015; Vega, 2011). A grandes rasgos, la lectura desencadena tres procesos cognitivos bien diferenciados. En primer lugar, se activan procesos visuales u ortográficos durante los cuales el lector

lleva a cabo una identificación visual de las letras o grafemas que componen la palabra. Posteriormente se desencadena un procesamiento fonológico mediante el cual cada uno de estos grafemas es transformado en su correspondiente sonido o fonema. Finalmente, se ponen en marcha procesos semánticos, que permiten el acceso al significado de la palabra. La consecución de estos procesos apenas dura unos 250 ms, tiempo medio para la lectura en silencio de una palabra, durante los cuales se activan distintas áreas cerebrales, como las occipitales, temporales o frontales, dependiendo del proceso del que se trate. Sin embargo, tanto la duración de estos procesos cognitivos como la activación de los mismos varía dependiendo de las características de los estímulos a leer (su frecuencia, longitud o edad de adquisición, entre otras) y de variables relativas al propio lector (la fluidez lectora o el nivel de vocabulario que posea). Por ejemplo, el procesamiento fonológico no es necesario si se trata de palabras con una alta frecuencia de uso y que pueden leerse de manera más directa, sin llevar a cabo una decodificación letra a letra; los procesos semánticos tampoco se verán activados durante la lectura de una palabra si el lector desconoce su significado.

Si bien la activación de estos procesos cognitivos no es absolutamente imprescindible durante la lectura, la mayoría de los modelos teóricos aceptan y defienden la intervención de estos tres procesos cognitivos durante el procesamiento de la lectura. En la actualidad, los modelos que cuentan con más apoyos por su capacidad para explicar adecuadamente los datos obtenidos en las distintas investigaciones sobre el reconocimiento visual de palabras son el modelo dual

(Coltheart, 1981; Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001) y el modelo de triángulo (Plaut, McClelland, Seidenberg, & Patterson, 1996; Seidenberg & McClelland, 1989). Sus diferencias radican fundamentalmente en que mientras el primero postula que el sistema de procesamiento de la lectura se encuentra organizado en módulos o almacenes cuyas conexiones derivan fundamentalmente en dos vías o estrategias de lectura, el segundo entiende este sistema como una amplia red de conexiones en la cual se distribuye la información sobre las palabras.

Más específicamente, el modelo dual propuesto por Coltheart (1981) postula que, una vez hecha la identificación de las letras que componen la palabra, el procesamiento de la misma puede llevarse a cabo por dos vías o rutas diferenciadas. Por un lado, la *vía subléxica*, permite la transformación de cada uno de los grafemas de la palabra en su correspondiente fonema mediante el uso del mecanismo de conversión grafema-fonema. Cada fonema activado va ensamblándose en una cadena que permite la pronunciación de la palabra, desde la cual es posible acceder a su significado en el sistema semántico, siempre y cuando éste sea conocido por el lector. El funcionamiento de esta vía es lento ya que la recodificación fonológica se produce letra a letra de manera serial, aunque la aplicación de este mecanismo permite leer cualquier palabra regular, ya sea conocida o no. La otra vía de procesamiento es la *vía léxica*, que permite la lectura de las palabras de forma más directa, sin necesidad de aplicar las reglas de conversión grafema-fonema. De esta forma, la identificación visual de las letras da paso a la activación de la forma visual de la palabra en el léxico

ortográfico. Una vez la palabra ha sido reconocida visualmente es posible recuperar su pronunciación en el léxico fonológico. Al contrario que la vía subléxica, el funcionamiento de esta vía es más rápido y por tanto la lectura resulta más fluida, ya que la identificación de las letras que componen la palabra se lleva a cabo de forma simultánea o en paralelo. Sin embargo, para que el reconocimiento visual de la palabra sea posible mediante esta vía es necesario que se trate de una palabra familiar cuya representación visual se encuentre almacenada en léxico ortográfico del lector.

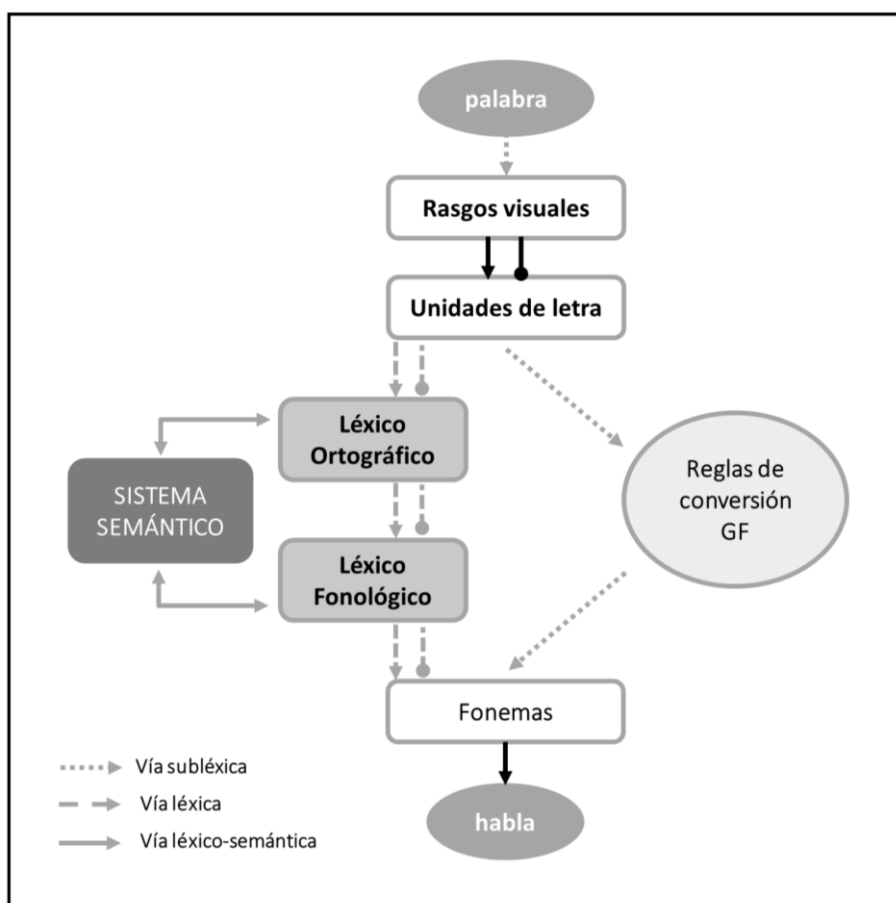


Figura 1. Modelo de doble ruta en cascada (Coltheart et al., 2001). Las conexiones de carácter excitatorio están representadas por flechas y las de carácter inhibitorio por círculos.

Este modelo ha sido reformulado recientemente, dotándolo de un carácter más interactivo que el postulado inicialmente. Así, el modelo de doble ruta en cascada (Coltheart et al., 2001) considera que algunos de los procesos implicados en la lectura funcionan de forma serial mientras que otros lo hacen de forma interactiva a través de conexiones tanto excitadoras como inhibitoras (ver Figura 1). Además, en esta nueva versión del modelo se propone una tercera vía, la *vía léxico-semántica*. Esta vía se diferencia de la vía léxica no semántica en que permite la lectura comprensiva mediante la conexión directa entre el léxico ortográfico y el sistema semántico, donde es posible acceder al significado de la palabra. Una vez se ha activado el significado ya es posible acceder a su representación en el léxico fonológico.

En cuanto al modelo de triángulo, se trata de un modelo de tipo conexionista que propone que el sistema de procesamiento de la lectura está formado por distintos nodos o niveles de procesamiento -ortográfico, fonológico y semántico- que se conectan entre sí de manera interactiva formando una red triangular (ver Figura 2). Por tanto, este modelo no considera que existan varias vías de procesamiento ni tampoco almacenes o léxicos, sino que entiende que la lectura se lleva a cabo mediante un único procedimiento durante el cual la activación se propaga de un nodo a otro a través de la red de conexiones. Así, durante la lectura de una palabra, sus rasgos visuales activan el nivel ortográfico de procesamiento, el cual se conectará mediante otros nodos o unidades ocultas con los otros dos niveles fonológico y semántico. La activación de cada uno de ellos dependerá de la fuerza o los pesos de las

conexiones que mantengan entre sí los nodos dentro de cada nivel de procesamiento (conexiones intra-nivel) así como entre los distintos niveles (conexiones entre-nivel). Por lo tanto, según este modelo, la rapidez a la hora de leer una palabra no depende de su representación en un almacén, sino de la fuerza de las conexiones entre los distintos niveles de procesamiento, la cual puede ser modificada mediante la práctica repetida.

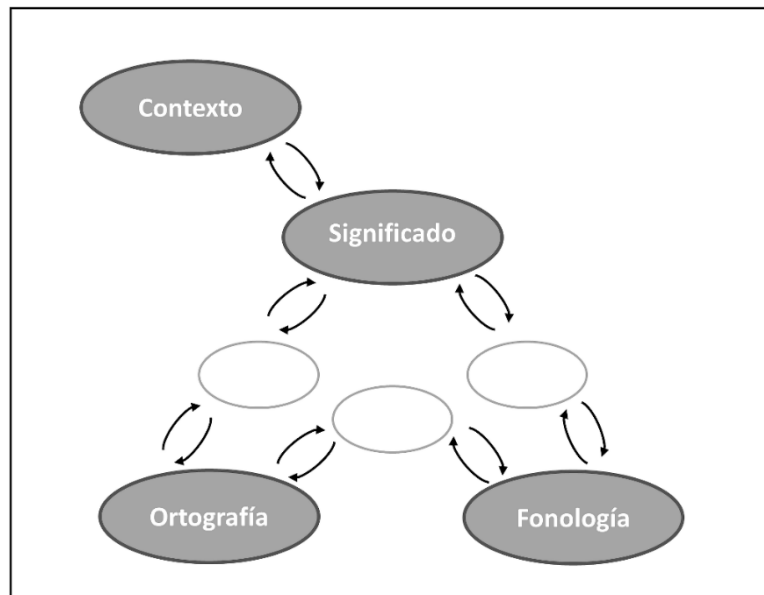


Figura 2. Modelo triangular de lectura según Seidenberg y McClelland (1989).

Como se explicaba anteriormente, estos dos modelos cuentan con suficientes apoyos en la actualidad pues ambos son capaces de explicar los datos empíricos que se han ido encontrando en distintas investigaciones en psicolingüística. Uno de los

efectos más conocidos y mejor estudiados es el efecto de frecuencia, según el cual las palabras que tienen una mayor frecuencia de uso son leídas más rápidamente que aquellas que presentan una menor frecuencia (Forster & Chambers, 1973; Scarborough, Cortese, & Scarborough, 1977). El modelo dual explica este efecto aludiendo a que las palabras más frecuentes tienen un umbral de activación en el léxico ortográfico más bajo y que por tanto su reconocimiento visual es más rápido, mientras que el modelo de triángulo explica que la mayor velocidad de procesamiento de las palabras más frecuentes se debe a la mayor fortaleza o peso de las conexiones entre los nodos de esas palabras dentro del nivel ortográfico, la cual ha aumentado al haber sido leídas más veces. Otro de los efectos más estudiados y al cual se aludirá en sucesivas ocasiones a lo largo de esta tesis es el efecto de lexicalidad, que muestra cómo los estímulos desconocidos o inventados y que carecen de lexicalidad (como las pseudopalabras) presentan tiempos de lectura mayores que los estímulos conocidos, como las palabras (Forster & Chambers, 1973; Glushko, 1979). Según el modelo dual, la lectura de pseudopalabras es más lenta porque al no encontrarse representadas en el léxico ortográfico solo pueden leerse de manera serial, mediante el mecanismo de conversión grafema-fonema, mientras que las palabras pueden leerse haciendo uso de ambas vías, con lo que su velocidad de lectura aumenta. El modelo de triángulo explica este efecto de igual forma que el de frecuencia: dado que las palabras han sido leídas en más ocasiones, los pesos de las conexiones entre sus nodos dentro del nivel

ortográfico serán mayores y por lo tanto su velocidad de lectura será más alta que la de las pseudopalabras, con las que el lector no tiene ninguna experiencia.

1.2. Formación de representaciones ortográficas

La fluidez lectora es entendida como la habilidad para leer las palabras a una velocidad adecuada y sin cometer errores. Se caracteriza por ser una lectura automatizada, que no requiere tanto esfuerzo y recursos atencionales dirigidos al proceso mecánico de la decodificación, como ocurre en la lectura inexperta (M. S. Meyer & Felton, 1999). Por ello, deja disponibles suficientes recursos cognitivos para llevar a cabo procesos de más alto nivel, como el establecimiento de las relaciones entre las palabras, la realización de inferencias y, en definitiva, la comprensión del texto. El interés de este trabajo no se centra en estudiar la adquisición de la fluidez lectora per se, sino en cómo el lector es capaz de acceder al reconocimiento visual directo de las palabras, proceso que, en definitiva, posibilita el desarrollo de la fluidez lectora.

En este sentido, la adquisición del reconocimiento visual de palabras es una cuestión de gran relevancia y cuya respuesta, sin embargo, está aún en debate. En general, se acepta que es la experiencia visual repetida con las palabras la que conduce a la automatización de la lectura (Ehri & Wilce, 1983; Lemoine, Levy, & Hutchinson, 1993; Charles A Perfetti, 1977, 1985; David L. Share, 1995; David L Share, 1999).

Siguiendo el modelo dual, cuántas más veces sea expuesta una palabra al lector, más información almacenará sobre ella en el léxico ortográfico y mayor capacidad tendrá para reconocerla de forma directa, activando su representación ortográfica, ya que con cada presentación su umbral de activación irá disminuyendo. Así, la lectura subléxica, que depende del funcionamiento serial del mecanismo de conversión grafema-fonema y que por tanto es lenta e imprecisa, evoluciona con la práctica a una lectura léxica, mediante la cual es posible el reconocimiento visual directo de las palabras.

Dado que para que una nueva palabra adquiera dicha representación ortográfica el lector debe leerla primero varias veces mediante decodificación fonológica, es importante que este haya adquirido un buen dominio de las correspondencias entre grafemas y fonemas. De hecho, el fallo en las habilidades de recodificación fonológica supone problemas en la adquisición del reconocimiento visual de palabras y, por extensión, en el desarrollo de la fluidez lectora, tal como sostienen la mayoría de las investigaciones en el ámbito de las dificultades de la lectura (Fletcher et al., 1994; Goswami & Bryant, 1990; Shankweiler, Liberman, Mark, Fowler, & Fischer, 1979; Stanovich & Siegel, 1994; Vellutino, Scanlon, & Tanzman, 1994). En este sentido, Share (1995) subraya el papel central de los procesos de recodificación fonológica en el desarrollo de la fluidez lectora al funcionar como un mecanismo de autoaprendizaje mediante el cual el lector es capaz de formar las representaciones ortográficas de las palabras de manera autónoma. Según su

hipótesis, cada decodificación exitosa que el lector lleva a cabo es una oportunidad de autoaprendizaje que permite extraer información ortográfica sobre la nueva palabra y que contribuye a su lexicalización. Así, propone que el reconocimiento visual directo de una palabra depende fundamentalmente de la frecuencia con la que el lector haya sido expuesto a esa palabra y la haya decodificado de forma exitosa. Distintos estudios apoyan esta idea indicando que los lectores que presentan adecuadas habilidades de decodificación son capaces de reconocer visualmente una nueva palabra tras su exposición repetida, si bien existe cierta discrepancia en cuanto al número de repeticiones necesarias para que la palabra forme una representación ortográfica y sea leída de forma directa. Muchos autores proponen que con relativamente pocas exposiciones a una palabra ya es posible formar una representación visual de la misma, incluso tras una única sesión de entrenamiento (Borovsky, Kutas, & Elman, 2010; Kwok & Ellis, 2015; Maloney, Risko, O'Malley, & Besner, 2009). Sin embargo, otros defienden que para que una palabra sea almacenada en el léxico se requiere un número alto de repeticiones llevadas a cabo en múltiples sesiones de entrenamiento a lo largo del tiempo (McLaughlin, Osterhout, & Kim, 2004; Qiao & Forster, 2013). A pesar de estas discrepancias, en general se asume que la exposición visual repetida a una palabra posibilita que esta sea representada en el léxico ortográfico del lector y pueda ser leída de manera directa.

Sin embargo, es posible que la formación de nuevas representaciones ortográficas y, por extensión, la fluidez lectora, no dependa sólo de la adquisición de

información ortográfica sobre las nuevas palabras sino también del desarrollo de otros niveles de procesamiento que conduzcan a una lectura más interactiva y eficiente. Según (Charles A Perfetti & Hart, 2002), un factor fundamental para que el lector adquiriera representaciones léxicas de alta calidad que puedan ser activadas de forma directa (lo que estos autores han denominado como *calidad léxica*), es la acumulación e integración de cuanta más información sea posible acerca de las palabras, no solo a nivel ortográfico sino también fonológico y semántico. Esta idea es apoyada por los modelos interactivos de lectura como el citado modelo de triángulo, según los cuales el reconocimiento visual de una palabra se verá facilitado por el acceso a la información fonológica y semántica acerca de la palabra. En este sentido, se ha comprobado que la lectura de las palabras de las que conocemos su pronunciación o su significado es más eficiente, en cuanto a la habilidad para ser reconocidas de manera directa, que la de aquellas de las que no poseemos esta información (A. M. Mitchell & Brady, 2013; Nation & Snowling, 2004; Charles A Perfetti & Hart, 2002; Plaut et al., 1996). Así, el entrenamiento no solo de la ortografía de la palabra, mediante exposición visual, sino también de su pronunciación y su significado, puede contribuir al establecimiento e integración de la nueva palabra dentro del sistema de procesamiento, favoreciendo su reconocimiento visual directo a partir de un procesamiento plenamente interactivo.

En definitiva, la formación de representaciones ortográficas parece fundamental para la adquisición de la fluidez lectora. En este sentido, la exposición

visual repetida a las nuevas palabras se plantea como una estrategia adecuada para conseguir que estos estímulos adquieran una representación léxica y sean leídos mediante un reconocimiento visual directo. Sin embargo, la combinación de la repetición visual de las palabras junto con su entrenamiento fonológico y/o semántico puede suponer una estrategia más eficaz para alcanzar este objetivo. El entrenamiento conjunto favorecería un procesamiento más interactivo de las nuevas palabras mediante el establecimiento de las conexiones entre la ortografía de la palabra y su pronunciación, su significado o ambas. De hecho, como se describirá más adelante de manera más detallada (ver sección 1.4.), algunos de los estudios que investigan el proceso de lexicalización de nuevas palabras han combinado la exposición visual repetida con el entrenamiento fonológico, semántico o ambos, mediante la asociación repetida de las nuevas palabras a una pronunciación o a un significado.

1.3. Indicadores de la lexicalización de nuevas palabras

Existen distintos efectos cuyas variaciones permiten determinar si los cambios producidos en la lectura de una nueva palabra como consecuencia de su entrenamiento son debidos a que el lector ha adquirido una representación de esa palabra en su léxico mental. La mayoría de los estudios acerca del aprendizaje y lexicalización de nuevas palabras han tomado los cambios en alguno de los efectos que

se describen a continuación como un indicador fiable de la formación de representaciones ortográficas.

Efecto de longitud. Este efecto se refiere a que el tiempo de lectura de las palabras aumenta en función del número de letras que posean, debido a que su lectura se realiza mediante un proceso de decodificación serial, letra a letra. Sin embargo, este efecto de longitud varía en función de la frecuencia de la palabra. Así, se ha comprobado que las diferencias en los tiempos de lectura entre palabras cortas y largas son insignificantes cuando su frecuencia es alta; sin embargo, estas diferencias aumentan en las palabras de baja frecuencia y se hacen aún más notables en las pseudopalabras (Ellis et al., 2009; Weekes, 1997). Como ya se ha descrito anteriormente, el hecho de que las palabras más frecuentes se vean menos influidas por el efecto de longitud se debe a que su uso repetido favorece la formación de representaciones ortográficas a partir de las cuales se puede realizar una identificación de sus letras en paralelo. En consecuencia, si tras el entrenamiento de nuevas palabras se observa una menor influencia del efecto de longitud, con menores diferencias entre palabras cortas y largas, se puede afirmar que se ha formado una representación léxica de los estímulos. Esta representación permite que la nueva palabra sea reconocida de manera directa mediante la identificación de sus letras en paralelo, a través de un procesamiento interactivo que ya no depende de la decodificación serial y que por tanto no se ve influido por la longitud de la palabra. Así, distintos estudios conductuales han tomado la disminución del efecto de longitud como un indicador de

la lexicalización de las nuevas palabras (Kwok, Cuetos, Avdyli, & Ellis, 2016; Kwok & Ellis, 2015; Maloney et al., 2009; Suárez-Coalla & Cuetos, 2017).

Efecto de lexicalidad. Este efecto se refiere a que el procesamiento de los estímulos léxicos, es decir, de las palabras que son conocidas por el lector y que ha almacenado en su léxico ortográfico, es más rápido y menos esforzado que el procesamiento de los estímulos que son desconocidos o inventados (como las pseudopalabras) y de los cuales no posee una representación léxica (Forster & Chambers, 1973; Glushko, 1979). Si tras el entrenamiento de nuevas palabras se observa que las diferencias entre estas y las palabras familiares se reducen puede considerarse que el procesamiento de dichas palabras ha pasado de ser subléxico, serial y más lento a un procesamiento léxico, llevado a cabo mediante reconocimiento visual directo a partir de su integración en el léxico ortográfico. Así, la reducción o eliminación del efecto de lexicalidad tras el entrenamiento de nuevas palabras se ha tomado como un indicador de la representación de estos estímulos en el léxico ortográfico, fundamentalmente en estudios de potenciales relacionados con eventos (Bakker, Takashima, van Hell, Janzen, & McQueen, 2015; Batterink & Neville, 2011; Mestres-Missé, Rodríguez-Fornells, & Münte, 2007).

Efecto de interferencia y competición léxica. Siguiendo los modelos descritos anteriormente acerca del funcionamiento del sistema de procesamiento de la lectura, se considera que durante el proceso de reconocimiento visual de una palabra se

activan y entran en competición todos aquellos vecinos ortográficos que esa palabra posea en el nivel ortográfico de representación. Esta competición se resuelve cuando una de las representaciones obtiene una mayor activación que el resto, lo cual conduce al reconocimiento de la palabra. De esta forma, si el reconocimiento de una palabra familiar se ve dificultado por el entrenamiento previo de una nueva palabra con la que guarda vecindad ortográfica, se considera que existe un efecto de interferencia. La existencia de este efecto puede tomarse como un indicador de la lexicalización de la palabra entrenada, ya que sólo los vecinos ortográficos con representación se activarían y entrarían en competición durante la lectura de la palabra familiar, tal como han mostrado diversos estudios tras el entrenamiento de nuevas palabras (Bowers, Davis, & Hanley, 2005; Clay, Bowers, Davis, & Hanley, 2007).

Efecto de lexicalidad del prime. El efecto de *priming* se caracteriza porque la presentación previa de un estímulo *prime* puede facilitar o inhibir el procesamiento de otro estímulo *target* presentado posteriormente, dependiendo de la relación que exista entre ambas (D. E. Meyer & Schvaneveldt, 1971; Neely, 1976). Algunos estudios han utilizado la técnica de *priming* para comprobar el efecto de interferencia y la lexicalización de nuevas palabras. Según los modelos descritos, si una palabra que ha sido entrenada previamente actúa como *prime* de otra palabra familiar con la que guarda una vecindad ortográfica, debería entrar en competición ortográfica y provocar la interferencia en el procesamiento de esta última. Como consecuencia de la interferencia, el *target* debería mostrar una reducción en el efecto de *priming* o incluso

una inhibición en su procesamiento. Esta reducción en el efecto de priming como consecuencia de la interferencia se conoce como efecto de lexicalidad del prime (Prime Lexicality Effect o PLE) y ha sido tomado como un indicador de lexicalización de la palabra entrenada (Qiao, Forster, & Witzel, 2009; Qiao & Forster, 2013).

Efecto de facilitación semántica. En otros estudios se ha atendido al efecto facilitador que tiene la presentación de una nueva palabra entrenada en el procesamiento posterior de otras palabras familiares, ya representadas en el léxico del lector. Tradicionalmente, en los experimentos de priming semántico se ha observado que el procesamiento de la palabra target se ve facilitado si previamente se presenta otra palabra con la que está asociada semánticamente (p.ej.: perro – hueso). Esto ocurre porque la presentación de la palabra prime activa la red semántica a la que pertenece y en la que se incluyen otros conceptos asociados, entre los cuales está la palabra target (D. E. Meyer & Schvaneveldt, 1971). Algunos estudios en los que se lleva a cabo el entrenamiento de palabras nuevas en contextos significativos, mediante su asociación a un dibujo o a una definición, han tomado este efecto como indicador del aprendizaje de la nueva palabra. De esta forma, si el significado de la palabra nueva ha sido adquirido, entonces el lector debería ser capaz de reconocerla y activarla en su red semántica, facilitando a su vez el procesamiento de otro estímulo target cuyo significado está relacionado con el de la palabra prime entrenada. Así, estudios conductuales (Breitenstein et al., 2007) y especialmente electrofisiológicos (Dobel et al., 2009; Frishkoff, Perfetti, & Collins-Thompson, 2010; Mestres-Missé et al., 2007;

Charles A. Perfetti, Wlotko, & Hart, 2005) han tomado el efecto de priming semántico como indicativo del aprendizaje y representación de las palabras nuevas en el léxico mental de los lectores, al demostrar que la presentación previa de la palabra entrenada facilita el procesamiento del estímulo target, ya sea una palabra familiar o un dibujo, cuando su significado está asociado al de la palabra entrenada.

1.4. Estudios sobre la formación de nuevas representaciones léxicas

Una buena parte de los estudios acerca del procesamiento del lenguaje se ha centrado en determinar cuáles son los procesos que intervienen en el reconocimiento visual de las palabras y cómo se organizan e interactúan dichos procesos. Sin embargo, aún no se conoce con exactitud cuáles son los mecanismos que subyacen al aprendizaje de nuevas palabras y más concretamente, a la formación de las representaciones ortográficas que posibilitan la fluidez lectora. Es por eso que en la actualidad se está produciendo un interés creciente por investigar cómo el lector es capaz de integrar nuevas palabras en su léxico que le permitan el reconocimiento visual de las mismas. Los estudios sobre la formación de nuevas representaciones léxicas pueden dividirse en tres grandes grupos, según la variable dependiente sometida a análisis: *estudios conductuales*, en los que se evalúan los cambios en la precisión y en la velocidad de procesamiento de las nuevas palabras; *estudios de neuroimagen*, en los que se examina las áreas cerebrales que modifican su actividad

debido al aprendizaje de nuevas palabras y *estudios de electrofisiología*, donde se evalúan los cambios producidos en la actividad eléctrica cerebral como consecuencia de dicho aprendizaje.

A continuación, se describen en detalle los principales hallazgos encontrados por cada grupo de estudios acerca del aprendizaje y lexicalización de nuevas palabras en adultos. Se ha diferenciado entre los estudios que llevan a cabo un entrenamiento exclusivamente ortográfico de las nuevas palabras mediante su exposición visual repetida y aquellos que combinan esta estrategia con el entrenamiento semántico. En general, en estos últimos estudios se parte de la idea de que si el lector aprende el significado de la palabra entonces será capaz de reconocerla de manera directa, además de acceder a su significado. Para poner a prueba esta hipótesis, estos estudios llevan a cabo la presentación conjunta de la nueva palabra y de un concepto dado, ya sea de forma directa mediante la asociación de la nueva palabra a dibujos o definiciones o indirectamente, presentándola dentro de contextos que permitan inferir su significado, como en oraciones o textos. Se considera que la conexión que se establece entre ambos estímulos permite que el estímulo significativo transfiera su contenido semántico a la nueva palabra, favoreciendo así la adquisición de su significado y su integración en el sistema léxico-semántico del lector.

Existen numerosos estudios acerca del aprendizaje de palabras y la formación de nuevas representaciones en niños, tanto a nivel conductual (Cunningham, 2006;

Ehri & Saltmarsh, 1995; Manis, 1985; Nation, Angell, & Castles, 2007; Reitsma, 1983; David L Share, 1999; Suárez-Coalla, Álvarez-Cañizo, & Cuetos, 2016) como electrofisiológico (Friedrich & Friederici, 2008; von Koss Torkildsen et al., 2006). Sin embargo, la formación de nuevas representaciones léxicas en adultos es probablemente un proceso muy diferente del que ocurre en los niños, cuyo sistema de procesamiento de la lectura está aún en desarrollo. Por lo tanto, el presente trabajo se ha centrado en la población adulta, tanto a la hora de describir los principales hallazgos encontrados acerca de este proceso como de establecer las hipótesis de partida y de desarrollar el estudio de las mismas.

1.4.1. Estudios Conductuales

Los estudios conductuales sobre la formación de nuevas representaciones ortográficas se han centrado fundamentalmente en explorar los cambios que se producen en la velocidad lectora de las nuevas palabras como consecuencia de su entrenamiento.

Un primer antecedente que demuestra que la exposición visual repetida a nuevas palabras permite su reconocimiento visual fue dado por Salasoo, Shiffrin y Feustel (1985). Estos autores llevaron a cabo la repetición de palabras y pseudopalabras durante varias tareas en las que medían el umbral de identificación de los estímulos. Encontraron que a partir de la sexta presentación el umbral de

reconocimiento para palabras y pseudopalabras era similar, lo que se consideró un indicador de la "codificación" o formación de entradas léxicas para las pseudopalabras en la memoria de los lectores a consecuencia de la repetición. Además, encontraron que esta codificación para las pseudopalabras permanecía accesible tras un año, ya que palabras y pseudopalabras continuaban siendo identificadas de forma similar. Aunque este estudio no presenta una evidencia clara sobre la formación de nuevas representaciones sí proporciona una relación directa entre la repetición de nuevos estímulos y la adquisición de un reconocimiento similar al de los estímulos léxicos.

Más recientemente se han llevado a cabo estudios que demuestran de forma específica que la repetición visual de nuevas palabras permite formar nuevas representaciones ortográficas a partir de las cuales adquirir una estrategia de lectura léxica, más rápida y automatizada. La gran mayoría de los estudios conductuales se han centrado en evaluar la reducción del efecto de longitud como consecuencia de las exposiciones visuales en lugar de evaluar la influencia de la formación de las nuevas representaciones en el procesamiento de otras palabras ya instauradas en el sistema de procesamiento de los lectores. Por ejemplo, Maloney et al. (2009) realizaron una tarea de lectura en voz alta en la que presentaban nuevas palabras a los lectores durante cuatro bloques de repetición. Las palabras variaban además en su longitud, desde 3 hasta 6 letras. Encontraron que el efecto de longitud se hacía cada vez menor conforme aumentaba el número de repeticiones, de manera que al final de la tarea los tiempos de reacción entre las nuevas palabras cortas y largas no mostraban

diferencias. Este resultado fue tomado por los autores como un indicador de la formación de entradas léxicas para las palabras repetidas que permitieron la transición de un procesamiento serial a la recuperación directa de su forma ortográfica. Resultados muy similares a los mostrados por Maloney y colaboradores fueron encontrados por (Kwok & Ellis, 2015), también en una tarea de lectura en voz alta. En este caso, las diferencias entre las pseudopalabras cortas y largas fueron eliminadas en torno al sexto bloque de repetición. Además, en una segunda sesión de entrenamiento una semana después se comprobó que los efectos se mantenían en el tiempo ya que bastó una única presentación para que las diferencias entre pseudopalabras cortas y largas se eliminaran. En un estudio posterior (Kwok et al., 2016) estos mismos autores aumentaron el periodo de consolidación a 28 días, encontrando resultados similares en relación a la disminución del efecto de longitud, lo que muestra la capacidad de los lectores no solo para formar representaciones ortográficas sino también para retenerlas en su léxico durante periodos relativamente largos.

En español se han encontrado resultados muy similares a los descritos y que también indican que la exposición visual repetida a nuevas palabras permite la formación de nuevas representaciones ortográficas. Así, Suárez-Coalla y Cuetos (2016) encontraron que las diferencias durante una tarea de lectura en voz alta entre pseudopalabras cortas y largas se reducían hasta que en el quinto bloque de repetición el efecto de longitud desapareció. Además, mostraron que las representaciones formadas permanecían relativamente intactas ya que un mes después el efecto de

longitud era más pequeño y desaparecía a partir de la segunda presentación. En el estudio de Kwok et al. (2016) se comparó la formación de nuevas representaciones en inglés y en español. Encontraron que, aunque en español también se produce una reducción del efecto de longitud conforme aumentan las repeticiones y que este efecto se mantiene en el tiempo, las diferencias entre pseudopalabras cortas y largas tardan más en desaparecer en español que en inglés. Los autores concluyen que la formación de representaciones léxicas parece un proceso más lento en idiomas con sistemas ortográficos transparentes como el español posiblemente debido a que en estos se hace un mayor uso de las correspondencias entre grafemas y fonemas y a que la lectura de las nuevas palabras puede continuar realizándose mediante la combinación de ambas vías.

Otros estudios han utilizado otro tipo de indicadores que evalúan la interacción de las nuevas representaciones con otras ya establecidas en el léxico. Algunos autores han propuesto que para considerar que una representación ha sido realmente lexicalizada esta debe interactuar dinámicamente con otras representaciones (Leach & Samuel, 2007). Partiendo de esta idea, Bowers, Davis & Hanley (2005) entrenaron la lectura y escritura repetida de nuevas palabras que a su vez eran vecinas ortográficas de otras palabras familiares (por ejemplo, *banara*). Tras diez exposiciones, los participantes llevaban a cabo una tarea de categorización semántica en la que se observó un aumento en los tiempos de procesamiento de las palabras familiares (por ejemplo, *banana*). Esta interferencia aumentó al día siguiente y especialmente tras una

segunda sesión de entrenamiento. Dado que las palabras reales no poseían vecinos ortográficos, los autores concluyeron que el efecto de interferencia era probablemente causado por el establecimiento de las nuevas palabras en el léxico de los lectores, las cuales se activaban y entraban en competición con otras representaciones durante la categorización. Sin embargo, algunos autores han discutido que esta interferencia refleje realmente la completa lexicalización de la palabra (Qiao et al., 2009). Utilizando el mismo tipo de entrenamiento, Qiao et al. comprobaron que en una tarea de decisión léxica posterior, la presentación previa de la palabra entrenada no provocaba la reducción en el efecto de priming (o efecto de lexicalidad del prime, PLE) que se esperaría si la palabra entrenada fuera ya un estímulo plenamente lexicalizado que entra en competición con otras representaciones léxicas. Por el contrario, su presentación como prime enmascarado provocaba la misma facilitación que si se presentaba un prime no entrenado. Concluyen que la interferencia observada por Bowers et al. probablemente se debe a que las palabras han conseguido formar una huella de memoria episódica que se activa durante la posterior tarea de categorización pero que no puede competir con otras representaciones, por lo que no puede afirmarse que las nuevas palabras se hayan lexicalizado. En un estudio posterior (Qiao & Forster, 2013), estos mismos autores demostraron la reducción del efecto de priming al presentar la palabra entrenada como prime enmascarado en una tarea de decisión léxica. Sin embargo, en esta ocasión la palabra había sido entrenada no solo a nivel visual sino también semántico,

mediante su asociación a una definición y a un dibujo. Además, la reducción del efecto de priming no se observó en la primera sesión de entrenamiento, sino que el efecto de interferencia fue detectado tras cuatro sesiones de entrenamiento espaciadas a lo largo de dos semanas. Los autores concluyen que para conseguir la plena lexicalización de los nuevos estímulos se requiere un entrenamiento más profundo que implique diferentes niveles de procesamiento, no solo visual sino también semántico. De lo contrario, la mera repetición solo conduce a una representación a nivel ortográfico cuya naturaleza no es léxico-semántica sino más bien episódica. Además, para que este proceso de lexicalización ocurra parece que es necesario un mayor número de exposiciones mediante múltiples sesiones de entrenamiento y periodos de consolidación entre ellas.

Otros estudios que combinan la exposición visual repetida a nuevas palabras con un entrenamiento semántico han llegado a conclusiones similares acerca de la formación de nuevas representaciones. Por ejemplo, Clay et al. (2007) llevaron a cabo el entrenamiento visual de nuevas palabras, las cuales se presentaron durante 16 veces junto con un dibujo o una definición. Posteriormente se observó un efecto de interferencia palabra-dibujo, según el cual los tiempos en una tarea de denominación de dibujos aumentaban cuando se presentaba como distractora una palabra entrenada previamente, indicando el procesamiento ortográfico de las mismas se llevaba a cabo de manera automática gracias a la formación de su representación léxica. Además, tras una semana se comprobó que la interferencia era mayor cuando el dibujo pertenecía a

la misma categoría semántica que aquel con el que la palabra distractora había sido asociada previamente. De este estudio se desprende que el aprendizaje ortográfico de las nuevas palabras puede llevarse a cabo rápidamente y mantenerse sin entrenamiento posterior mientras que el aprendizaje del significado parece requerir un periodo de consolidación. Utilizando un paradigma diferente se encontró que tras varias sesiones de entrenamiento semántico las nuevas palabras provocaban la facilitación en el procesamiento de palabras familiares para los lectores (Breitenstein et al., 2007). En este caso, las nuevas palabras se presentaron asociadas a un dibujo de un objeto familiar. Tras cinco días de entrenamiento, los participantes llevaron a cabo una tarea de categorización de dibujos. Se observó que cuando el dibujo era precedido por una palabra que previamente había sido presentada de forma consistente con ese dibujo, se producía un efecto de priming semántico similar al que se producía si el dibujo era precedido por una palabra familiar relacionada semánticamente. Sin embargo, este efecto de priming no se observó antes del entrenamiento de las nuevas palabras. Este resultado se tomó como un indicador de que las nuevas palabras habían adquirido características semánticas tras las múltiples sesiones de entrenamiento cuya activación previa permitía que el lector activase el significado del dibujo, facilitando así su categorización.

En definitiva, los estudios conductuales muestran que la exposición visual repetida a nuevas palabras permite la formación de nuevas representaciones ortográficas en el léxico de los lectores que posibilitan la transición de una lectura

serial al reconocimiento visual directo de las palabras. Específicamente, de estos estudios se desprende que con relativamente pocas exposiciones a las nuevas palabras (entre cuatro y seis) es posible que estas formen dichas representaciones, las cuales pueden además permanecer accesibles tras un periodo relativamente largo de tiempo.

Sin embargo, la naturaleza de las representaciones ortográficas conseguidas tras un breve periodo de entrenamiento visual está aún en debate, ya que distintos autores han puesto en entredicho que su naturaleza sea léxica, sino más bien episódica. Se ha propuesto que se requiere un entrenamiento más profundo de la nueva palabra, no solo de sus propiedades ortográficas sino también de las semánticas para que la nueva palabra interactúe con otras representaciones ya existentes y se considere, por tanto, completamente lexicalizada.

Otra cuestión en debate es el número de exposiciones requeridas para adquirir dicha lexicalización mediante un entrenamiento conjunto y la necesidad de un periodo de consolidación. La mayoría de los estudios conductuales que llevan a cabo un entrenamiento conjunto y que defienden su necesidad para la completa lexicalización de la nueva palabra argumentan que para que esta adquiriera un significado se requiere un mayor número de sesiones de entrenamiento, así como un periodo de consolidación entre ellas. Sin embargo, otro tipo de estudios como los de neuroimagen y de electrofisiología no son tan unánimes en cuanto a la necesidad de un entrenamiento prolongado, tal como se describirá en sucesivos apartados.

1.4.2. Estudios de neuroimagen

Si bien no es objeto de esta tesis doctoral el estudio de la formación de nuevas representaciones ortográficas mediante el uso de técnicas de neuroimagen como la imagen por resonancia magnética funcional (iRMf) o la tomografía por emisión de positrones (TEP), merece la pena hacer un breve repaso de los principales hallazgos en los estudios que utilizan estas medidas.

La mayoría de los estudios coinciden en que las estructuras cerebrales directamente implicadas en el aprendizaje de nuevas palabras son el hipocampo y el neocortex. Tradicionalmente, las estructuras hipocampales han sido relacionadas con la rápida codificación de las nuevas palabras mientras que la consolidación de las huellas de memoria para las nuevas palabras parece llevarse a cabo en un proceso relativamente más lento y gradual, mediante la participación de estructuras neocorticales (McClelland, McNaughton, & O'reilly, 1995). Sin embargo, en los últimos tiempos se han realizado diversos estudios de neuroimagen en los que se sugiere que es posible la rápida formación de huellas de memoria neocorticales sin necesidad de una consolidación a largo plazo (Shtyrov, 2012).

Por ejemplo, (Breitenstein et al., 2005) llevaron a cabo una tarea de entrenamiento de nuevas palabras mediante su asociación repetida a dibujos durante aproximadamente una hora. Se evaluaron los cambios en la actividad hemodinámica cerebral mediante iRMf durante el curso del entrenamiento y encontraron cambios en

diversas estructuras corticales (giro parietal inferior izquierdo, giro fusiforme izquierdo y giro frontal inferior derecho) además de en el hipocampo. En otro estudio de iRMf se evaluó la actividad generada por un grupo de pseudopalabras inmediatamente después de ser entrenadas mediante repetición y al día siguiente (M. H. Davis, Di Betta, Macdonald, & Gaskell, 2009). Se encontró que las pseudopalabras entrenadas inmediatamente antes (sin consolidación) mostraban mayor actividad que las palabras reales en el giro temporal superior, en regiones premotoras y frontales inferiores y en el cerebelo derecho, actividad cortical que se veía reducida para las pseudopalabras entrenadas el día antes (con periodo de consolidación). Otros estudios también mediante iRMf han mostrado que el entrenamiento semántico de las pseudopalabras en contextos significativos también genera activación de regiones corticales, como en el giro frontal inferior izquierdo y en el giro temporal medio izquierdo, aparte de estructuras hipocampales (Mestres-Missé, Càmara, Rodríguez-Fornells, Rotte, & Münte, 2008).

En estudios realizados con TEP se han encontrado resultados similares. Por ejemplo, Paulesu et al. (2009) llevaron a cabo el entrenamiento de pseudopalabras y observaron que el aprendizaje no solo provocaba cambios en la activación de estructuras parahipocampales sino también en regiones corticales como lóbulo temporal, el giro frontal inferior izquierdo y la unión temporoparietal.

En general, los estudios de neuroimagen ponen de manifiesto que el aprendizaje de nuevas palabras puede llevarse a cabo de forma muy rápida a partir de cambios en la plasticidad cerebral ocurridos de manera inmediata, lo cual coincide con lo que concluyen muchos de los estudios conductuales y de electrofisiología. Así, la breve exposición a las nuevas palabras es capaz de generar huellas de memoria para los nuevos estímulos mediante la intervención tanto de estructuras hipocampales implicadas en la codificación como de una gran variedad de áreas corticales relacionadas con la consolidación de estas huellas, entre las que destacan fundamentalmente el lóbulo temporal izquierdo, el giro frontal inferior izquierdo y las regiones premotoras. Por tanto, los estudios de neuroimagen reflejan la capacidad del cerebro humano para llevar a cabo la formación de huellas de memoria corticales para las nuevas palabras de manera muy rápida, sin necesidad de largos periodos de consolidación.

1.4.3. Estudios de electrofisiología

En primer lugar, merece la pena destacar cuales son los beneficios del uso del electroencefalograma y, más concretamente, de la técnica de potenciales relacionados con eventos, frente a otras medidas conductuales o de neuroimagen en el estudio de la lectura y la formación de representaciones léxicas. El electroencefalograma o EEG es una técnica capaz de medir, en orden de milisegundos, los cambios de voltaje que se

producen de manera espontánea en la actividad eléctrica cerebral como consecuencia de la despolarización e hiperpolarización de grandes conjuntos neuronales. Para llevar a cabo esta medición se colocan una serie de electrodos en el cuero cabelludo de la persona que registran las fluctuaciones en la actividad eléctrica cerebral.

Habitualmente se sigue el sistema internacional 10/20 de colocación de electrodos (Jasper, 1958), en el que se parte de la identificación de dos puntos anatómicos de referencia, el nasión y el inión, para colocar los electrodos a distancias fijas del 10 o del 20% de la distancia total entre esos dos puntos (ver figura 3). Los electrodos son a su vez conectados a un amplificador, que amplifica y digitaliza la señal eléctrica, la cual es almacenada para su posterior visualización.

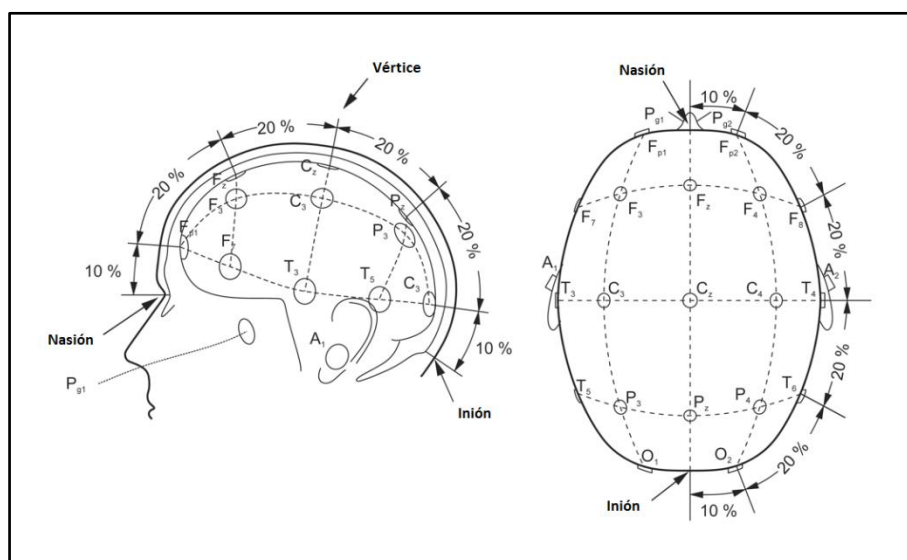


Figura 3. Colocación de los electrodos en el cuero cabelludo de acuerdo al sistema 10/20 (adaptado de Nicolás-Alonso & Gómez-Gil, 2012).

La técnica de potenciales relacionados con eventos o PRE, como se denominará en adelante, utiliza el registro electroencefalográfico para detectar los cambios en la actividad eléctrica cerebral (en términos de latencia y amplitud de las ondas eléctricas) provocados por la presentación de un evento o estímulo, los cuales se consideran reflejo del procesamiento cognitivo puesto en marcha por la persona en relación a ese estímulo (Núñez-Peña, Corral, & Escera, 2004; Picton & Hillyard, 1988). Por tanto, la diferencia fundamental entre la técnica de EEG y la de PRE es que en esta última se da una manipulación experimental (presencia de un estímulo o realización de una tarea concreta) con el objeto de suscitar una operación cognitiva concreta, registrarla y someterla a análisis. A priori, resulta imposible distinguir las fluctuaciones provocadas en el registro electroencefalográfico por la presentación del estímulo en cuestión, ya que la amplitud del voltaje de los PRE (de entre 1 y 20 microvoltios) es muy inferior a la que se observa en el registro de EEG (de entre 50 y 100 microvoltios). Por lo tanto, para poder distinguir con claridad estas pequeñas fluctuaciones en el registro de EEG se hace necesario presentar múltiples veces el estímulo que provoca el procesamiento cognitivo de interés y llevar a cabo un promediado de la señal generada por todos los estímulos en un número suficientemente elevado de participantes. Así, se consigue que todo el ruido y la actividad no relacionada con el procesamiento del estímulo (que fluctúa aleatoriamente a lo largo de las presentaciones) tienda a cero al promediarse y se obtenga la actividad únicamente relacionada con la presentación del estímulo, que se mantendrá constante a lo largo de las presentaciones (ver figura 4). Por tanto, es

imprescindible la presentación de un número elevado de ensayos para obtener una buena definición de la señal y una menor presencia de ruido.

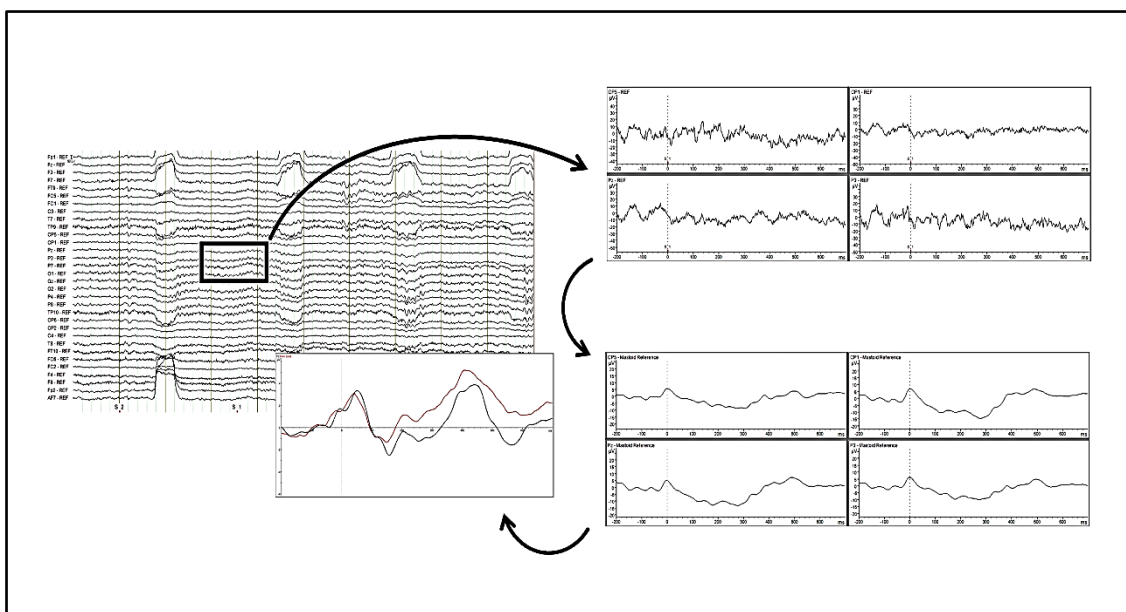


Figura 4. Obtención del PRE. Tras la segmentación, limpieza y filtrado de la señal de EEG se lleva a cabo el promediado de la señal eléctrica generada por todos los estímulos presentados, lo que permite eliminar las fluctuaciones aleatorias y aislar el potencial relacionado con el estímulo presentado.

La gran resolución temporal de esta técnica permite medir el fenómeno sometido a estudio de manera directa y prácticamente en tiempo real, lo cual supone una gran ventaja en comparación con técnicas conductuales o de neuroimagen que, en definitiva, miden cambios que son posteriores a los disparos neuronales. En este sentido, medidas que recogen cambios acerca del tiempo que se tarda en leer una palabra, o incluso acerca de la actividad metabólica cerebral, proporcionan

información que es posterior al procesamiento cognitivo de la palabra y por tanto no son idóneas, por sí solas, para investigar los cambios en dicho procesamiento. Sin embargo, la técnica de PRE proporciona una medida continua de los cambios de actividad ocurridos en el sistema cognitivo del lector desde que se presenta el estímulo hasta que finaliza la respuesta al mismo, dando cuenta del curso temporal y el orden de los distintos procesos cognitivos que se ponen en marcha durante la lectura.

Se ha observado que ante la presentación de un determinado estímulo o manipulación experimental aparecen de forma consistente en el promediado del registro electroencefalográfico modulaciones o patrones característicos. Se trata de *componentes electrofisiológicos*, definidos como picos o conjuntos de picos cuya aparición se considera reflejo de la puesta en marcha de un determinado proceso cognitivo (Coles, Gratton, Fabiani, 1990). La nomenclatura de estos componentes electrofisiológicos es definida teniendo en cuenta la polaridad y la latencia de la onda generada, fundamentalmente. Así, atendiendo a la polaridad, los componentes se suelen etiquetar con la letra P si su polaridad es positiva o con la letra N si su polaridad es negativa. En cuanto a la latencia, se toma el tiempo en milisegundos desde la presentación del estímulo hasta el punto de máxima amplitud del pico o valle de la onda. Por ejemplo, el componente P300 es definido así por ser una onda positiva y cuya máxima amplitud se da a los 300 milisegundos posteriores a la aparición del estímulo. Sin embargo, dado que en muchas ocasiones la latencia en la que aparece un componente puede presentar grandes variaciones dependiendo del tipo de estímulo,

de la tarea o de los participantes (p.ej., la latencia del citado componente P300 puede abarcar un rango muy amplio, de entre los 500 y los 700 milisegundos), algunos autores prefieren nombrar al componente en función del orden de aparición del pico más que en función de su latencia (según lo cual, el componente P3 sería un pico positivo que aparece en tercer lugar).

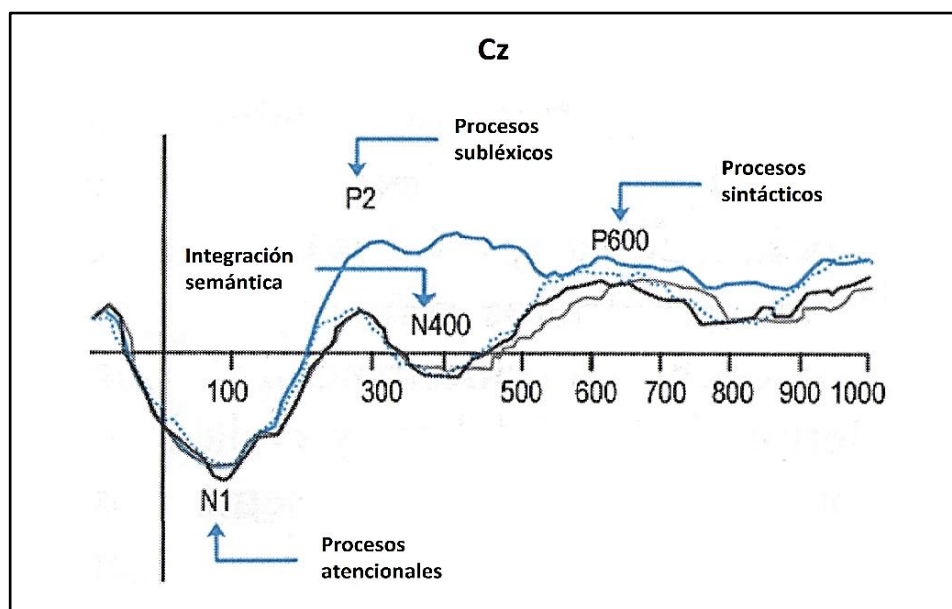


Figura 5. Curso temporal de los principales procesos cognitivos implicados en el procesamiento de la lectura (adaptado de Cuetos, 2011)

En relación al curso temporal de la lectura, se han descrito diversos componentes electrofisiológicos que indican la puesta en marcha de operaciones cognitivas específicas cuando una palabra es leída (ver figura 5). Así, se ha observado que alrededor de 100 milisegundos posteriores a la presentación de la palabra se

ponen en marcha procesos atencionales y de análisis visual de los patrones ortográficos del estímulo, los cuales se ven reflejados en el denominado *componente N100*. Así, se ha comprobado sistemáticamente que los estímulos visuales que son atendidos generan mayores amplitudes en este componente que aquellos que no lo son (Hillyard, Mangun, Woldorff, & Luck, 1995). Se ha señalado que este componente es sensible al procesamiento ortográfico y que diferencia los estímulos ortográficos de aquellos que no lo son, ya que presenta mayores amplitudes ante estímulos como palabras, pseudopalabras o cadenas de letras que ante cadenas símbolos alfanuméricos u otros patrones visuales no legibles (S. Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 1999; Proverbio, Čok, & Zani, 2002). Posteriormente se ponen en marcha procesos subléxicos que tienen que ver con el procesamiento de las unidades que componen la palabra, específicamente las sílabas y los morfemas, procesos que son reflejados por el *componente P200* (Barber, Vergara, & Carreiras, 2004; Domínguez, De Vega, & Barber, 2004; Domínguez, Alija, Cuetos, & de Vega, 2006). En torno a los 400 milisegundos posteriores a la aparición de la palabra se observa otra onda negativa, el *componente N400*, relacionada con el procesamiento semántico y el acceso al significado de la palabra. Se ha comprobado que las palabras que son incongruentes respecto al contexto oracional o que carecen de significado generan mayores amplitudes en este componente (Marta Kutas & Hillyard, 1984). Finalmente, entran en juego procesos de análisis sintáctico en los que se lleva a cabo la integración de la palabra dentro de la estructura gramatical de la oración así como el

reanálisis de la misma, los cuales se ven reflejados en el *componente P600*. Así, las palabras que no encajan en la estructura gramatical de la oración generan mayores amplitudes en este componente (Osterhout & Holcomb, 1992). En definitiva, esta técnica ha permitido conocer el progreso temporal de los distintos procesos cognitivos implicados en la lectura, atendiendo a los distintos componentes electrofisiológicos. Más adelante serán descritos en detalle los dos componentes electrofisiológicos que poseen mayor relevancia para el estudio del aprendizaje de nuevas palabras y la formación de nuevas representaciones.

Por lo tanto, la técnica de PRE resulta una herramienta adecuada para estudiar los cambios que se producen en la actividad eléctrica cerebral de los lectores y, por extensión, en su procesamiento cognitivo, como consecuencia del entrenamiento visual y semántico de las nuevas palabras. Sin embargo, es importante puntualizar que, si bien proporciona una medida adecuada de *cuándo* se producen esos cambios, esta técnica no es capaz de indicar *dónde*, en qué áreas cerebrales se originan los cambios en la actividad, lo cual es una desventaja frente a otras medidas como la resonancia magnética funcional o la topografía por emisión de positrones, que cuentan con una buena resolución espacial. La técnica de PRE proporciona información acerca de la topografía, sobre el cuero cabelludo, en la cual se registra el cambio de voltaje. Sin embargo, la actividad neuronal que genera esa fluctuación no tiene por qué provenir de la región cerebral subyacente y, de hecho, la actividad que es registrada en un punto del cuero cabelludo puede haber sido generada en un área cerebral muy alejada

de dicho punto. Dado que existen múltiples configuraciones de fuentes neurales que podrían generar la distribución de la actividad eléctrica que se registra en el cuero cabelludo, resulta imposible determinar de manera inequívoca cuál es el generador intracerebral de la actividad partiendo de la distribución obtenida en superficie, lo cual es conocido como *problema inverso*. Sin embargo, se han desarrollado diversos métodos matemáticos que, mediante el uso de algoritmos, tratan de dar una solución a este problema (Michel et al., 2004). Los métodos de búsqueda de fuentes parten de una serie de asunciones previas acerca de cómo son generadas las señales eléctricas. Algunos de estos métodos, como el implementado en los experimentos llevados a cabo en esta tesis doctoral, se basan en restricciones biofísicas acerca del funcionamiento cerebral para determinar la localización más probable de las fuentes neurales responsables de los cambios de potencial registrados en el cuero cabelludo. Aunque se trata de una herramienta de análisis complementaria, su uso permite combinar información sobre los cambios en la actividad cerebral tanto a nivel temporal como espacial, lo que seguramente contribuye a un mayor conocimiento acerca de la función cerebral.

Los estudios que exploran la formación de nuevas representaciones ortográficas mediante la técnica de PRE se han centrado en evaluar los cambios ocurridos en la actividad eléctrica cerebral de los lectores tras el entrenamiento semántico de las nuevas palabras. Hasta el momento, no se han llevado a cabo estudios que, de forma específica, determinen si un entrenamiento exclusivamente

visual de las nuevas palabras es capaz de generar cambios en la actividad eléctrica de los lectores que indiquen la formación de nuevas representaciones y que discutan acerca de la naturaleza, léxica o episódica, de las mismas. Este hecho contrasta con la literatura conductual donde sí se han reportado hallazgos interesantes en relación al efecto de este tipo de entrenamiento en la lexicalización de las nuevas palabras.

Así, los estudios de PRE que exploran el aprendizaje de nuevas palabras llevan a cabo una combinación de ambos tipos de entrenamientos, mediante la presentación visual de las palabras en contextos significativos. En estos estudios se ha encontrado que el entrenamiento visual y semántico de las nuevas palabras provoca la modulación de dos componentes electrofisiológicos concretos: el componente positivo tardío o LPC (*Late Positive Component*) y el componente N400. Por tanto, se trata de dos componentes de interés para el estudio de la formación de nuevas representaciones léxico-semánticas. A continuación, se describen las características de cada uno de estos componentes, así como los principales hallazgos en los distintos estudios.

Componente LPC

El componente LPC se trata de una onda con polaridad positiva y que aparece entre los 500 y los 700 milisegundos posteriores a la aparición del target, con una distribución topográfica parietal (ver Figura 6). Es un componente que ha sido tradicionalmente estudiado en la literatura especializada en memoria, donde ha sido

relacionado directamente con procesos episódicos y de recuerdo consciente de información presentada previamente (Michael D. Rugg & Curran, 2007). En este ámbito, diversos trabajos han mostrado que la exposición visual repetida a los estímulos genera cambios en este componente. Sin embargo, es importante puntualizar que se trata de trabajos que estudian procesos relacionados con la memoria de reconocimiento más que procesos lingüísticos. Por tanto, no se centran en el estudio del procesamiento de la lectura ni tienen como objetivo explorar la formación de nuevas representaciones ortográficas. Así, mediante el uso del llamado paradigma de reconocimiento *old/new*, se ha observado que las palabras que ya han sido presentadas previamente en la tarea y que se categorizan como estímulos *viejos* generan amplitudes del componente LPC más positivas que aquellas palabras que no han sido vistas anteriormente en la tarea y que por tanto se categorizan como estímulos *nuevos* (Curran, 2000; Michael D Rugg, 1995). También se ha observado que las amplitudes del componente LPC aumentan cuanto más seguros están los participantes de recordar la palabra y cuanto más confianza muestran en sus juicios a la hora de categorizar una palabra como ya vista (Rubin, Petten, Glisky, & Newberg, 1999; M. E. Smith, 1993), lo cual apoya la idea de que el aumento de amplitud en este componente indica la recuperación consciente de la información previa de manera detallada o eficiente. La mayoría de estos estudios llevan a cabo la repetición de palabras, aunque el efecto *old/new* y los cambios en el componente LPC se han visto también a partir de la repetición de pseudopalabras (Swick & Knight, 1996) y de otro

tipo de estímulos no lingüísticos como por ejemplo dibujos (Friedman, 1990; Michael D Rugg & Doyle, 1994) o patrones visuales (Cyma Petten, Senkfor, & Newberg, 2000).

En definitiva, se considera que el aumento en la amplitud de este componente ante la presentación repetida de los estímulos refleja un proceso de recuperación de información episódica a partir de la memoria a largo plazo. En cuanto a los estudios que se han centrado en la evaluación del aprendizaje y lexicalización de nuevas palabras, han encontrado que la presentación visual repetida de nuevas palabras en contextos significativos provoca el aumento de la amplitud del componente LPC. Este efecto ha sido considerado un reflejo de la codificación y fortalecimiento de huellas de memoria episódicas para las nuevas palabras como consecuencia de las repeticiones, las cuales facilitan su posterior recuperación y reconocimiento.

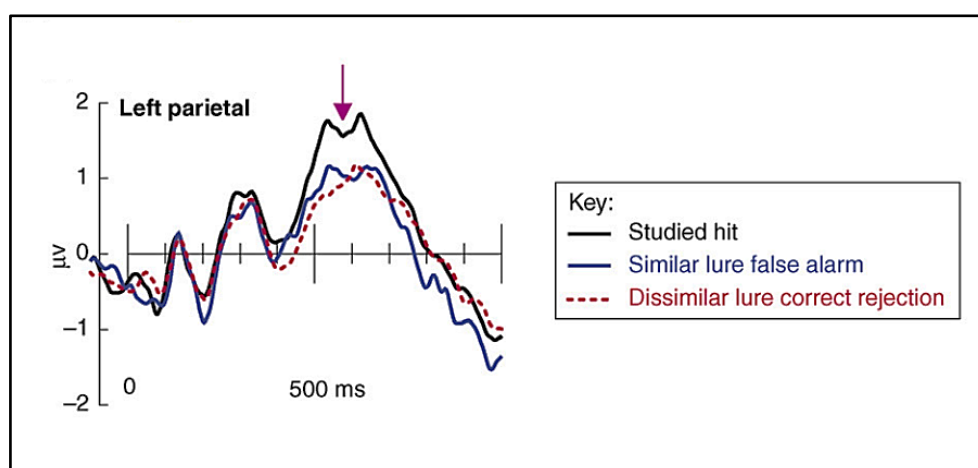


Figura 6. Componente LPC (adaptado de Rugg & Curran, 2007).

Componente N400

Por su parte, el componente N400 es quizás el componente electrofisiológico mejor estudiado en relación con el procesamiento lingüístico. Se trata de una onda de polaridad negativa y cuya máxima amplitud se produce en torno a los 400 milisegundos posteriores a la aparición del target en regiones centro-parietales (ver Figura 7). Ha sido tradicionalmente relacionado con el procesamiento semántico y la integración de los estímulos y se ha comprobado que es sensible a factores como el estatus léxico o la frecuencia de las palabras (Shlomo Bentin, 1987; Marta Kutas & Hillyard, 1980; C. V. Petten, 1993). Dada la existencia de un correlato cerebral del procesamiento semántico tan robusto como el componente N400, no es de extrañar que los estudios de PRE sobre el entrenamiento de nuevas palabras se hayan centrado en evaluar los cambios provocados en esta onda tras la exposición no solo visual sino también semántica a los nuevos estímulos, obteniendo así una medida específica del procesamiento subyacente.

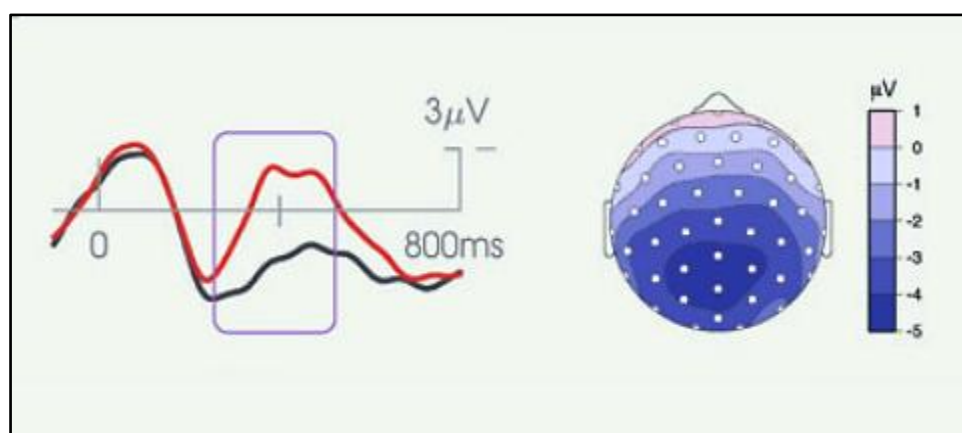


Figura 7. Componente N400 (adaptado de Kutas & Federmeier, 2011).

El componente N400 fue descrito por primera vez por Kutas y Hillyard (1980; 1984), quienes en una tarea de lectura de oraciones observaron que la aparición en posición final de una palabra semánticamente incongruente con respecto al contexto oracional dado (p.ej.: *“tomo café con crema y perro”*) generaba mayores negatividades en este componente que aquellos que sí eran congruentes con la oración (p.ej.: *“me afeité el bigote y la barba”*). Posteriormente, una gran cantidad de estudios han encontrado que este componente es elicitado no solo ante palabras sino ante una amplia variedad de estímulos en modalidad tanto visual como auditiva, como por ejemplo pseudopalabras, dibujos, caras, sonidos o acciones y no solo en contextos oracionales sino también de forma aislada (Marta Kutas & Federmeier, 2011). Así, las palabras que se presentan de manera incongruente con respecto al contexto previo, que carecen de significado, son desconocidas para el lector o cuyo uso es muy infrecuente, muestran mayores amplitudes en este componente, lo cual se ha relacionado con la dificultad para acceder al significado de estos estímulos o para integrar este en el contexto oracional dado.

Como ya se ha indicado, las pseudopalabras generan amplitudes más negativas en el componente N400 que las palabras reales, con representación léxica y que sí poseen un significado, por lo que refleja las diferencias en el acceso léxico-semántico entre ambos tipos estímulos (S. Bentin et al., 1999; Neville, Coffey, Holcomb, & Tallal, 1993; Ziegler, Besson, Jacobs, Nazir, & Carr, 1997). Por esta razón, los estudios de PRE que exploran el aprendizaje de nuevas palabras habitualmente llevan a cabo el

entrenamiento semántico de pseudopalabras para simular este proceso de aprendizaje y toman el cambio en el componente N400 como un marcador del acceso léxico-semántico de estos nuevos estímulos. En este sentido, la reducción en la amplitud del componente N400 tras el entrenamiento visual de las pseudopalabras en contextos significativos es tomada como un indicador del aprendizaje del significado de estos estímulos y de su integración en el sistema léxico-semántico de los lectores.

Lectura de nuevas palabras y PRE: Principales hallazgos encontrados

Los estudios de PRE sobre la lexicalización de nuevas palabras han mostrado que cuando una pseudopalabra es asociada de forma repetida a un estímulo significativo, por ejemplo a una definición, un dibujo o un contexto oracional, se producen modulaciones en la actividad eléctrica cerebral que parecen indicar la integración de estos estímulos en el sistema léxico-semántico de los lectores.

Por una parte, diversos estudios defienden que para que las nuevas palabras sean aprendidas por los lectores y adquieran una representación léxico-semántica es necesario llevar a cabo un entrenamiento intensivo y prolongado de las mismas. Así, en uno de estos primeros estudios se evaluó el aprendizaje de nuevas palabras francesas por un grupo de participantes ingleses en tres sesiones de evaluación repartidas a lo largo de nueve meses de entrenamiento (McLaughlin et al., 2004). Durante estas sesiones de evaluación, los participantes llevaban a cabo una tarea de

decisión léxica en la que se presentaban pares de las palabras francesas que habían sido aprendidas previamente. El estímulo target podía ser una palabra francesa relacionada, no relacionada o una "pseudopalabra" francesa (construida a partir de palabras francesas reales a las que se cambiaba una o dos letras). Se observó que, tras aproximadamente 14 horas de entrenamiento, las "pseudopalabras" francesas generaban mayor amplitud en el componente N400 que las palabras francesas entrenadas, tanto las relacionadas como las no relacionadas. La generación de este efecto de lexicalidad se tomó como un indicador del estatus léxico de las palabras entrenadas, las cuales acumularon información tanto de la forma del estímulo como de su significado. Por otro lado, se observó que las palabras francesas precedidas por otra palabra francesa relacionada semánticamente generaban menores amplitudes en el componente N400 que las precedidas por una palabra francesa no relacionada, aunque este efecto sólo fue observado en la segunda sesión de evaluación, tras 63 horas de entrenamiento. Por tanto, la integración semántica de las nuevas palabras tardó aún más tiempo en producirse, tal como indicó este efecto de priming en N400.

En otro de los estudios que evalúan el aprendizaje de nuevas palabras en un segundo idioma se investigó el efecto del entrenamiento intensivo en alemán mediante una tarea de comprensión de nombres (Stein et al., 2006). Los participantes, hablantes nativos del inglés, debían decidir si conocían o no el significado de los nombres presentados. La tarea se realizó antes del aprendizaje y tras cinco meses de entrenamiento. Los autores encontraron diferencias topográficas en el potencial

eléctrico generado por las palabras alemanas antes y después del entrenamiento en la ventana temporal relativa al componente N400, lo cual fue interpretado como un cambio en la rapidez de procesamiento de las palabras entrenadas. Además, estos autores también exploraron las fuentes neurales responsables de los cambios ocurridos como consecuencia del entrenamiento de las palabras. Así, tras los cinco meses de entrenamiento se observó que las palabras del segundo idioma mostraban menor activación en el giro frontal inferior izquierdo, lo cual se asoció con una menor dificultad para acceder al contenido semántico de las palabras tras el entrenamiento. Merece la pena destacar que tanto la implementación de medidas topográficas como la búsqueda de fuentes suponen una novedad con respecto al resto de estudios de PRE que investigan los efectos del entrenamiento de nuevas palabras.

En otros trabajos en los que se explora el efecto del entrenamiento intensivo de nuevas palabras se pone de manifiesto no solo la importancia de un número relativamente elevado de exposiciones sino también de la presencia de un periodo de consolidación entre las sesiones. Así Bakker et al. (2015) compararon los efectos del entrenamiento de nuevas palabras con y sin un periodo de consolidación. Llevaron a cabo el entrenamiento de un grupo de nuevas palabras y de palabras conocidas mediante su asociación a una definición durante diecisiete exposiciones (día 1). Tras 24 horas llevaron a cabo el entrenamiento de otro grupo de palabras nuevas y conocidas (día 2) y, a continuación, realizaron una tarea de categorización semántica en la que los participantes debían decidir si un par de palabras estaban semánticamente

relacionadas o no. El estímulo target presentado era una de las palabras entrenadas (nueva o ya conocida) bien en la sesión previa o bien en la sesión reciente (con o sin periodo de consolidación). La presentación de estos estímulos era precedida por una palabra familiar que podía guardar una relación semántica o no con el target. Analizaron dos efectos, el de lexicalidad y el de priming. En cuanto al efecto de lexicalidad, encontraron que las diferencias entre las palabras entrenadas y las conocidas desaparecían en el componente N400 pero sólo cuando había un periodo de consolidación, lo cual indica que lexicalización de las nuevas palabras solo es posible si existe un periodo que permita consolidar el aprendizaje. La amplitud del componente LPC aumentó más para las palabras que presentaban un periodo de consolidación, aunque en este caso el efecto de lexicalidad no llegó a desaparecer, lo cual puede indicar cierta dificultad para recuperar de forma explícita el significado de la palabra que había sido entrenado en la sesión previa. En cuanto al efecto de priming, se encontró que la amplitud de ambos componentes N400 y LPC era más positiva para las nuevas palabras que eran precedidas por un prime relacionado tanto si presentaban periodo de consolidación como si no. Por lo tanto, este efecto semántico no requiere que la representación de las nuevas palabras haya sido completamente lexicalizada. Por el contrario, tal como refleja el efecto de priming, las huellas de memoria episódicas de las nuevas palabras, así como sus características semánticas, pueden activarse para llevar a cabo la categorización semántica a partir de un proceso de recuerdo controlado que es independiente de que la representación sea léxica o

episódica. Este estudio muestra que el procesamiento semántico de las nuevas palabras puede darse inmediatamente después de su entrenamiento, aunque su lexicalización solo se produzca tras un periodo de consolidación, tal como indica el efecto de lexicalidad en N400. Se trata, por tanto, de una crítica a los estudios que se basan en el efecto de priming en N400 para determinar la lexicalización de las representaciones de las nuevas palabras en lugar de fundamentarlo en el efecto de la lexicalidad, ya que en este estudio se comprueba que la lexicalización no es necesaria para que el efecto de priming semántico se produzca en este componente.

Otro tipo de estudios, en cambio, han demostrado que las nuevas palabras pueden adquirir propiedades léxico-semánticas tras un entrenamiento relativamente breve. Por ejemplo, Perfetti, Wlotko & Hart (2005) llevaron a cabo el entrenamiento de palabras raras (caracterizadas por una frecuencia de uso muy baja) durante una sesión de 45 minutos en la que eran asociadas a una definición. Posteriormente, las palabras eran presentadas como primes de palabras familiares en una tarea de juicio de significado en la que los participantes debían decidir si ambos estímulos mantenían una relación semántica. Se encontró que cuando se presentaba como prime una palabra rara cuyo significado entrenado estaba semánticamente relacionado con el de la palabra target, esta última generaba menores amplitudes en el componente N400 que cuando se presentaba como prime una palabra rara no entrenada o una palabra familiar. Este efecto de priming en N400 indicó que el entrenamiento de las palabras raras permitió al lector adquirir su significado y activarlo, lo cual a su vez facilitó el

procesamiento semántico de aquellas palabras familiares que se relacionaban semánticamente con la palabra entrenada. Además, se observó que las palabras raras presentadas como primes mostraban un aumento en la amplitud del componente LPC, así como en la del componente N1, efectos que no se observaron para las palabras raras no entrenadas o para las palabras familiares. En cuanto al efecto LPC, fue tomado como un indicador de la adquisición de una huella de memoria episódica para los estímulos, que permite recuperar la forma ortográfica de la palabra y llevar a cabo la tarea de asociación semántica. Por su parte, el efecto en el componente temprano fue relacionado con un proceso de análisis ortográfico más que episódico, en el que la atención es focalizada en las características de un estímulo que ha sido visto recientemente.

Algunos de los estudios que exploran el aprendizaje de nuevas palabras han llevado a cabo el entrenamiento de estas mediante su asociación con dibujos. Así, Dobel et al. (2009) presentaron un grupo de pseudopalabras asociadas de forma repetida a dibujos de objetos ya conocidos durante un total de una hora y media. El entrenamiento fue llevado a cabo en cinco sesiones tras las cuales los participantes realizaban una tarea de categorización semántica de dibujos. Se observó que los dibujos que eran precedidos por una de las palabras entrenadas previamente y con la que mantenían una relación semántica generaban una mayor reducción en el componente N400 que cuando eran precedidos por una palabra no entrenada. De hecho, el efecto de priming que generaban en N400 era idéntico al generado cuando

los dibujos eran precedidos por una palabra familiar relacionada. Los autores concluyen que unas pocas sesiones de entrenamiento asociativo con periodos intermedios de sueño son suficientes para conseguir que las nuevas palabras adquieran un estatus léxico y sean integradas en la red semántica de los participantes, facilitando el procesamiento semántico de los objetos presentados a partir de su activación previa.

El entrenamiento de palabras nuevas mediante su asociación a dibujos ha demostrado ser un procedimiento eficaz para conseguir el aprendizaje de estos estímulos, aunque ha sido una estrategia mucho menos utilizada en el estudio de la formación de nuevas representaciones ortográficas. De hecho, en el mencionado estudio de Dobel, los estímulos fueron presentados de manera auditiva con lo que no es posible generalizar totalmente los resultados a la lectura de nuevas palabras. Cabe destacar algunas de las ventajas que presenta esta estrategia en el estudio del aprendizaje y representación de nuevas palabras. En primer lugar, proporciona un contexto más natural en el que evaluar el aprendizaje. En este sentido, el emparejamiento sistemático entre nuevas palabras y objetos imita el proceso llevado a cabo durante los primeros años del desarrollo del lenguaje, así como durante la inmersión en una segunda lengua, por el cual niños y adultos aprenden nuevas palabras para conceptos dados. Por otro lado, se trata de una estrategia que implica una menor demanda cognitiva durante el entrenamiento en comparación con otras estrategias como la presentación de la nueva palabra dentro de una definición o

contexto oracional, las cuales requieren el desarrollo de un procesamiento semántico en mayor profundidad. El uso de esta estrategia como paradigma para el entrenamiento semántico de nuevas palabras será explorada en varios de los trabajos que se presentan en esta tesis doctoral.

En línea con lo descrito anteriormente, la gran mayoría de los estudios que han llevado a cabo un entrenamiento breve de las nuevas palabras lo han hecho mediante su exposición en contextos oracionales. Por ejemplo, Mestres-Missé et al. (2007) entrenaron a sus participantes en la forma y el significado de un grupo de pseudopalabras mediante una tarea de lectura de oraciones con alta y baja restricción de significado. Se observó que, tras tres exposiciones, la amplitud del componente N400 generado por las pseudopalabras se igualaba al de las palabras reales, reducción del efecto de lexicalidad que solo se encontró cuando las pseudopalabras eran presentadas en un contexto oracional que permitía inferir su significado (alta restricción semántica). Por tanto, este estudio proporciona una medida *online*, durante el curso del entrenamiento, que indica la lexicalización de las pseudopalabras tras la adquisición de su significado en contextos oracionales significativos. En una tarea de decisión semántica posterior al entrenamiento se observó que las palabras familiares que eran precedidas por una pseudopalabra entrenada en un contexto de alta restricción semántica y cuyo significado estaba relacionado con el de la palabra familiar generaban una menor amplitud en el componente N400 que cuando eran precedidas por una pseudopalabra entrenada en un contexto no significativo. Este

efecto de priming en el componente N400 fue tomado como un indicador de la integración semántica de las pseudopalabras entrenadas en el contexto oracional significativo.

En otro estudio similar se llevó a cabo la exposición de nuevos estímulos en contextos oracionales con alta y baja restricción semántica (Frishkoff et al., 2010). En este caso se trataba de palabras reales de muy baja frecuencia que se presentaban en tres ocasiones dentro de uno de los dos contextos oracionales. Tras cada presentación, se pedía a los participantes que proporcionasen un sinónimo de la nueva palabra entrenada. Dos días después del entrenamiento se examinó el aprendizaje de las palabras mediante una tarea de juicio semántico en la que los participantes debían decidir si dos palabras estaban relacionadas. Los estímulos target eran palabras familiares que podían presentar o no una relación semántica con el prime, que podía ser una palabra raras entrenada, no entrenada o una palabra familiar no entrenada. De nuevo, se observó un efecto de priming en N400. Es decir, las palabras target mostraban una mayor reducción en la actividad del componente N400 cuando eran precedidas por palabras raras con las que estaban relacionadas semánticamente y que además habían sido entrenadas en un contexto con alta restricción semántica, efecto que era menor cuando eran precedidas por palabras raras entrenadas en un contexto con baja restricción semántica. Por tanto, las palabras raras habían adquirido un significado gracias al contexto semántico restringido, el cual era activado por el lector

provocando así la facilitación en el procesamiento de las palabras familiares relacionadas.

Otros autores han encontrado resultados similares mediante la exposición visual repetida a nuevas palabras dentro de textos (Batterink & Neville, 2011). En este caso, los participantes debían leer de forma comprensiva una serie de historias de ficción en las que se presentaban pseudopalabras en diez ocasiones. La presentación de las pseudopalabras se realizaba dentro de un contexto significativo que permitía extraer su significado o dentro de un contexto no significativo, en el que no era posible extraer el significado de la pseudopalabra. Se encontró que las pseudopalabras inmersas dentro del contexto significativo mostraban mayores reducciones en el componente N400 que las inmersas dentro del contexto no significativo o que las palabras reales, aunque el efecto de lexicalidad no llegó a desaparecer. Este efecto fue tomado como un indicador de la integración semántica de estos estímulos como consecuencia de la adquisición de su significado. Además, se encontró un aumento del componente LPC conforme se llevaban a cabo las presentaciones de las pseudopalabras en el contexto significativo. Este efecto fue relacionado con un proceso de codificación, integración y recuperación de información semántica y episódica de la pseudopalabra presentada previamente para conectarla con el contexto de la oración actual y así acceder a su significado, proceso que contribuye a la formación de las representaciones de estos nuevos estímulos. Sin embargo, este proceso no se produce para las palabras reales ni para las pseudopalabras repetidas en

el contexto no significativo. En el caso de las palabras este proceso no es necesario, puesto que ya han sido bien establecidas en la memoria mientras que en el caso de las pseudopalabras este proceso no es útil, ya que su recuperación no contribuye a la comprensión del texto.

En general, lo que estos estudios muestran es que con un número relativamente bajo de exposiciones a las nuevas palabras en contextos significativos es posible observar efectos que indican la integración de estos estímulos en la memoria léxica y semántica de los lectores, sin necesidad de un entrenamiento intensivo y prolongado en el tiempo, en contraposición a los primeros estudios descritos. De hecho, algunos trabajos defienden que incluso con una sola exposición a una nueva palabra en un contexto significativo esta puede integrarse en el sistema de procesamiento del lector (Borovsky, Elman, & Kutas, 2012; Borovsky et al., 2010). Así, Borovsky et al., (2010) llevaron a cabo una única exposición visual de pseudopalabras, bien en un contexto oracional con alta restricción semántica, en el que el lector podía inferir su significado, o bien en un contexto con baja restricción semántica donde la inferencia de significado era más difícil. Después de cada contexto, presentaban la pseudopalabra en una oración en la que el uso del verbo podía ser plausible o no con respecto al significado de la pseudopalabra. Observaron que el verbo generaba una menor amplitud en el componente N400 cuando su uso era plausible que cuando no lo era, diferencia que solo se daba si la pseudopalabra había sido presentada en un contexto oracional con alta restricción semántica. Este estudio indica que una sola

exposición a una nueva palabra en un contexto con alta restricción semántica es suficiente para formar una representación mental de la misma en el sistema léxico-gramatical del lector, que le permita determinar si el uso de un verbo es plausible o no con respecto al significado de la palabra.

En definitiva, teniendo en cuenta los hallazgos descritos se puede decir que existe una buena cantidad de información acerca de los cambios en la actividad cerebral de los lectores producidos como consecuencia del entrenamiento visual y semántico de las nuevas palabras. En este tipo de estudios se encuentran de manera sistemática modulaciones en dos componentes electrofisiológicos específicos, cada uno de ellos reflejando un efecto diferente del entrenamiento visual y semántico de las nuevas palabras. Por un lado, el componente N400 parece estar relacionado con la integración léxico-semántica de los nuevos estímulos en el sistema de procesamiento de los lectores. Por su parte, el componente LPC parece estar más relacionado con el procesamiento episódico de los nuevos estímulos y se caracteriza, además, por reflejar un procesamiento más controlado de recuperación de información previamente presentada acerca del estímulo entrenado. De hecho, en todas las tareas en las que se encuentra efecto en este componente tardío se requiere la recuperación consciente de la palabra entrenada para llevar a cabo la tarea, habitualmente la categorización semántica del estímulo (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Charles A. Perfetti et al., 2005).

Sin embargo, quedan aún algunas cuestiones por resolver en relación a los efectos que el entrenamiento de nuevas palabras genera en la actividad electrofisiológica de los lectores. En primer lugar, merece la pena destacar que no se encuentran en esta revisión de la literatura sobre el tema estudios de PRE que exploren de manera específica el efecto que tiene el entrenamiento exclusivamente visual de las nuevas palabras en la formación de representaciones ortográficas. En todos los estudios comentados se lleva a cabo la exposición visual de los nuevos estímulos en contextos significativos utilizando diversas estrategias (inmersión en contextos oracionales, asociación a definiciones y, en menor medida, asociación a dibujos). La modulación provocada por el entrenamiento semántico es comparada con la ausencia de entrenamiento (Dobel et al., 2009; Charles A. Perfetti et al., 2005) o con el efecto del entrenamiento en contextos incongruentes en cuanto a la información semántica proporcionada (Batterink & Neville, 2011; Borovsky et al., 2010; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007). Sin embargo, ninguno de estos estudios evalúa el efecto del entrenamiento exclusivamente ortográfico de las nuevas palabras como sí ocurre en los estudios conductuales, ni se compara el efecto del entrenamiento semántico con el exclusivamente ortográfico.

En segundo lugar, cabe destacar que la mayoría de estudios de PRE en los que se realizó el entrenamiento conjunto de nuevas palabras evaluaban el efecto de este en tareas posteriores a dicho entrenamiento. Exceptuando algunos trabajos (Batterink & Neville, 2011; Mestres-Missé et al., 2007), el interés general se focaliza en evaluar el

efecto del entrenamiento de las nuevas palabras en tareas posteriores, de manera que no es posible recoger los cambios que se producen en la actividad eléctrica de los lectores durante el curso del aprendizaje. Además, estos estudios se centran fundamentalmente en la adquisición del significado de nuevas palabras mediante su exposición repetida en contextos oracionales. Por tanto, no se evalúa el efecto del entrenamiento exclusivamente visual de las nuevas palabras.

Por último, existe relativa controversia acerca de la necesidad de un entrenamiento intensivo y prolongado en el tiempo para que el lector sea capaz de reconocer la forma ortográfica de la palabra y de acceder a su significado. Así, no existe un acuerdo claro acerca de la extensión del entrenamiento conjunto para que sea posible el aprendizaje tanto visual como semántico de las nuevas palabras. Algunos estudios afirman que con pocas exposiciones a la nueva palabra en un contexto significativo es suficiente para que el aprendizaje se produzca, mientras que otros muestran efectos que reflejan la necesidad de un entrenamiento prolongado en el tiempo, con un mayor número de sesiones y periodos de consolidación entre ellas.

Por lo tanto, son necesarios estudios de PRE que exploren los cambios en la actividad eléctrica cerebral de los lectores provocados por el entrenamiento exclusivamente visual de las nuevas palabras, que permitan conocer si tal entrenamiento favorece la lexicalización de las nuevas palabras, así como determinar la naturaleza de las representaciones formadas. Por otro lado, conviene desarrollar

estudios que lleven a cabo el entrenamiento semántico de los nuevos estímulos y que comparen los efectos de este entrenamiento con el exclusivamente visual. Además, la utilización de un paradigma de entrenamiento breve de las nuevas palabras y que no requiera una alta demanda cognitiva por parte del sujeto arrojarían algo de luz acerca de la integración de los nuevos estímulos en el sistema léxico-semántico de los lectores.

2. Objetivos e hipótesis generales

Partiendo de la revisión de los distintos estudios acerca de la formación de nuevas representaciones ortográficas, esta tesis doctoral plantea cinco grandes cuestiones u objetivos generales de investigación, a las que se trata de dar respuesta mediante la realización de tres experimentos diferentes utilizando la metodología de PRE. El primero de estos experimentos ya ha sido publicado, el segundo experimento está siendo revisado para su publicación y el tercero está actualmente en preparación para ser enviado.

Objetivo 1: Comprobar si el entrenamiento exclusivamente visual de un grupo de pseudopalabras es capaz de generar cambios conductuales (en la velocidad y la precisión con la que los estímulos son leídos) y electrofisiológicos (en la actividad eléctrica cerebral de los lectores) que denoten la formación de representaciones ortográficas. Con este fin se llevó a cabo una tarea de decisión léxica en la que las pseudopalabras fueron repetidas en seis bloques mientras se registraba la actividad electrofisiológica de un grupo de participantes. Diversos estudios conductuales han observado que una breve exposición visual a los nuevos estímulos (entre 4 y 6 repeticiones) es suficiente para que estos formen una representación ortográfica.

Objetivo 2: Comprobar si el uso de medidas electrofisiológicas permite determinar la naturaleza de las representaciones ortográficas formadas mediante el entrenamiento visual llevado a cabo en la tarea de decisión léxica. Existe cierto debate entre los

estudios conductuales acerca de si la naturaleza de las representaciones ortográficas formadas tras el entrenamiento visual es léxica o únicamente episódica. El uso de una medida que explora de forma directa los cambios dados en el procesamiento cognitivo del lector durante el entrenamiento visual de los nuevos estímulos arrojaría algo de luz sobre esta cuestión. Más específicamente, la evaluación el impacto de este entrenamiento en componentes electrofisiológicos relacionados con el procesamiento léxico y episódico, así como las fuentes neuronales responsables de estos efectos, podría dar respuesta a este interrogante.

Objetivo 3: Comparar el efecto del entrenamiento exclusivamente visual de las pseudopalabras con el efecto del entrenamiento visual y semántico de estos estímulos, a nivel tanto conductual como electrofisiológico. Para ello se llevó a cabo una segunda tarea de decisión léxica compuesta por seis bloques, donde las pseudopalabras eran repetidas visualmente (entrenamiento exclusivamente visual) o eran repetidas y además asociadas a un dibujo (entrenamiento visual y semántico) mientras se registraba la actividad electrofisiológica de los lectores. Esta comparación pretende determinar si la naturaleza de las representaciones ortográficas difiere tras cada uno de estos dos entrenamientos. En este sentido, algunos autores han argumentado que la formación de representaciones léxicas de los nuevos estímulos y, por lo tanto, su completa lexicalización, sólo es posible a través de un entrenamiento más profundo que la mera exposición visual.

Objetivo 4: comprobar si el breve entrenamiento semántico de los nuevos estímulos a través de un paradigma asociativo permite generar cambios en la actividad eléctrica cerebral de los lectores que reflejen la adquisición de significados. Algunos estudios han argumentado que este proceso requiere de múltiples sesiones de entrenamiento, así como de periodos de tiempo intermedios que permitan consolidar el aprendizaje mientras que otros trabajos apuntan a que el aprendizaje semántico puede llevarse a cabo de manera muy rápida y sin necesidad de una consolidación.

Objetivo 5: Determinar si el tipo de tarea utilizada durante ambos entrenamientos, esto es, la decisión léxica, es un factor determinante en la formación de nuevas representaciones ortográficas y en la naturaleza de estas. Para ello se realizó una tarea de lectura silenciosa compuesta por seis bloques de repetición, en la que se desarrollaron ambos entrenamientos de la misma forma que en la tarea de decisión léxica descrita anteriormente, a fin de comparar los resultados obtenidos en cada una de ellas. La tarea de decisión léxica requiere que el participante realice una categorización de los estímulos en función de la lexicalidad de estos, lo cual puede generar varios inconvenientes. Por un lado, los propios procesos de decisión inherentes a la tarea pueden introducir efectos que son ajenos a la lectura y la formación de representaciones ortográficas. Por otro lado, el requerimiento de esta tarea (la decisión léxica) puede resultar conflictivo con respecto al propio objetivo del entrenamiento (la lexicalización) ya que las pseudopalabras deben ser categorizadas por el participante como estímulos *no léxicos*. En cambio, la tarea de lectura

proporciona un contexto de entrenamiento más similar al contexto natural de la lectura, donde no son necesarios procesos de decisión o categorización de los estímulos. Además, esta tarea tampoco requiere que los participantes hagan una evaluación de las pseudopalabras en función de sus características léxicas, con lo que probablemente no se produce una incongruencia entre el objetivo del entrenamiento y el procesamiento puesto en marcha en relación a los estímulos entrenados.

A continuación, se describen las hipótesis planteadas en relación a cada uno de los objetivos descritos anteriormente.

-En relación al Objetivo 1:

Hipótesis 1: la breve exposición visual a las pseudopalabras durante la tarea de decisión léxica provocará cambios conductuales que reflejarán la formación de nuevas representaciones ortográficas. Tanto los tiempos de lectura como los errores cometidos durante la tarea descenderán a lo largo de las exposiciones visuales, tal como ya han mostrado distintos estudios conductuales (Maloney et al., 2009; Bowers Davis & Hanley, 2005; Kwok & Ellis, 2015; Kwok, Cuetos, Avdylis & Ellis 2016; Suárez-Coalla & Cuetos, 2016). En este sentido, las diferencias entre las palabras familiares y las pseudopalabras entrenadas deberían ser menores en el sexto bloque de repetición que en el primero (reducción del efecto de lexicalidad).

Hipótesis 2: la exposición visual repetida a las pseudopalabras provocará cambios electrofisiológicos indicativos de la formación de representaciones ortográficas para estos estímulos. La amplitud de aquellos componentes electrofisiológicos sensibles a la repetición de las pseudopalabras se verá modulada a lo largo de la tarea, provocando la disminución de las diferencias entre estos estímulos y las palabras familiares a lo largo de las repeticiones, desde la primera exposición hasta la sexta.

-En relación al objetivo 2:

Hipótesis 1: la evaluación de los cambios electrofisiológicos generados a través de la exposición visual repetida de las pseudopalabras permitirá determinar la naturaleza de las representaciones formadas. Concretamente, la mera exposición visual a las pseudopalabras resultará una estrategia necesaria pero insuficiente para la completa lexicalización de estos estímulos, tal como argumentan algunos de los estudios conductuales descritos (Quiao et al., 2009; Quiao & Forster, 2012). En este sentido, la repetición visual de las pseudopalabras provocaría cambios en componentes electrofisiológicos relacionados con la formación de huellas o representaciones para las pseudopalabras de carácter episódico (p.ej., componente LPC), en lugar de en componentes relacionados con el procesamiento léxico de estos nuevos estímulos (p.ej., componente N400).

Hipótesis 2: la modulación de las fuentes cerebrales a consecuencia de la repetición de las pseudopalabras será encontrada únicamente asociada a la actividad de componentes electrofisiológicos relacionados con el procesamiento episódico de estos estímulos (componente LPC), en áreas relacionadas con procesos de recuerdo episódico y de reconocimiento. No se encontrará una modulación de fuentes neuronales asociada a la actividad de componentes relacionados con el procesamiento léxico de los estímulos (componente N400), ya que estos no se verán afectados por la exposición visual de las pseudopalabras.

-En relación al Objetivo 3:

Hipótesis 1: a nivel conductual, el entrenamiento conjunto de las pseudopalabras (esto es, su exposición visual repetida en asociación a un dibujo) provocará un mayor aumento en la velocidad y la precisión lectora de estos estímulos a lo largo de los bloques de presentación que la observada para las pseudopalabras sometidas a un entrenamiento exclusivamente visual, indicando la mayor facilitación en el procesamiento de estos estímulos.

Hipótesis 2: a nivel electrofisiológico, los efectos indicarán que la naturaleza de las representaciones ortográficas formadas tras cada uno de los entrenamientos realizados es diferente. Así, el entrenamiento conjunto (visual y semántico) provocará la modulación del componente N400, indicando la naturaleza léxico-semántica de las representaciones formadas para las pseudopalabras. Por el contrario, la mera exposición visual de las pseudopalabras sólo provocará la modulación del componente LPC, indicando los cambios en el procesamiento episódico de los nuevos estímulos como consecuencia de la repetición y reflejando la naturaleza episódica de las representaciones formadas, de forma similar a lo hipotetizado para la primera tarea de decisión léxica. Estos resultados mostrarán que la completa lexicalización de las pseudopalabras solo es posible tras un entrenamiento conjunto, tal como han defendido otros autores en estudios conductuales (Qiao et al., 2009; Qiao & Forster, 2013).

Hipótesis 3: en línea con los resultados electrofisiológicos, la modulación de las fuentes neuronales será diferente tras cada uno de los dos entrenamientos realizados. Por un lado, el entrenamiento conjunto provocará la modulación de fuentes neuronales relacionadas con el procesamiento léxico-semántico de pseudopalabras, mientras que el entrenamiento visual causará la modulación de fuentes neuronales relacionadas con procesamiento episódico y el reconocimiento de estos estímulos.

-En relación al Objetivo 4:

Hipótesis 1: el entrenamiento semántico de las pseudopalabras llevado a cabo en la condición de entrenamiento conjunto (visual y semántico) provocará una reducción en la amplitud del componente N400 generado por estos estímulos, indicando la asociación semántica y la facilitación en el procesamiento de los mismos. Este resultado indicaría que es posible que las nuevas palabras adquieran un significado tras un breve entrenamiento semántico de carácter asociativo (dibujo – pseudopalabra), tal como han defendido otros estudios de PRE utilizando otro tipo de contextos de entrenamiento (Batterink & Neville, 2011; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007; Charles A. Perfetti et al., 2005).

En relación al Objetivo 5:

Hipótesis 1: la tarea de lectura favorecerá en mayor medida la formación de nuevas representaciones para las pseudopalabras que la tarea de decisión léxica. Por un lado, la lectura no requiere que las pseudopalabras sean categorizadas como estímulos *no léxicos*, por lo que el proceso de lexicalización debería verse favorecido en esta tarea. Por esta razón, el entrenamiento conjunto (visual y semántico) de las pseudopalabras durante la tarea de lectura provocará una mayor modulación en el componente N400 que la observada en la tarea de decisión léxica. Por otra parte, durante la lectura tampoco es necesario que los participantes pongan en marcha procesos relacionados con la decisión, por lo que la recuperación de una huella episódica acerca de los estímulos no es necesaria. Por esta razón, el entrenamiento exclusivamente visual de las pseudopalabras durante la tarea de lectura provocará una menor modulación en el componente episódico LPC que la generada en la tarea de decisión léxica.

Hipótesis 2: la estimación de las fuentes neurales para la tarea de lectura silenciosa debería mostrar la modulación de áreas cerebrales relacionadas con el aprendizaje visual y semántico de las pseudopalabras entrenadas en la condición de entrenamiento conjunto, demostrando la eficacia del entrenamiento en este contexto a la hora de lexicalizar estos estímulos.

3. Methods

Study 1

Repeated Exposure to “meaningless” Pseudowords Modulates LPC, but Not (FN)400

1. Introduction

Pseudowords are invented linguistic stimuli not previously seen by readers. They can be read out correctly, just like unknown real words, by transforming the sublexical units, such as letters or syllables, into sounds (phonological recoding). However, familiar words and pseudowords are clearly processed in different ways; this is known as the lexicality effect. Words are read more quickly and accurately than pseudowords because readers are familiar with, and have semantic knowledge of, words but not of pseudowords. The most probable causes for this lexicality effect are therefore the differences between the two types of stimuli in terms of their familiarity (pseudowords are unfamiliar to readers) and semantic value (pseudowords are meaningless to readers).

Because all words can be considered to be like pseudowords before they are learned, that is, unfamiliar and meaningless, these stimuli could be used to emulate the processes of word acquisition and consolidation. Training readers in these stimuli, either by means of repeated exposure (improving familiarity) or by repeated association with a meaning (providing semantic features), should promote their integration as new entities in the reader’s memory, therefore removing the lexicality

effect of pseudowords. Some behavioral studies have shown that familiarity and semantic training in pseudowords are associated to effects that indicate their integration into the reader's lexicon. For example, both reductions of the length effect for pseudowords (Maloney et al., 2009) and increases of lexical competition between words and pseudowords (Dumay & Gaskell, 2007) have been observed after repeated exposure to the latter stimuli. Furthermore, interference effects were found in a picture naming task when pseudowords, previously associated with a picture, were presented embedded in pictures (as distractors) that belonged to the same semantic category as the pictures with which the distractor pseudowords were associated (Clay et al., 2007). Pseudowords previously associated with pictures also yielded priming effects when presented as primes on a categorization task of these pictures (Breitenstein et al., 2007). These effects are only possible if the trained pseudowords had been integrated in the lexicon and the semantic system of readers, thus causing interference or facilitation on processing of other words with lexical representation.

Studies using ERP methodology have found a signature pattern of brain activity for the lexicality effect. N400, a negative component which peaks around 400 ms, with a posterior scalp distribution, is the ERP component most frequently studied in relation with the processing of contextual and lexical meaning. It is generated by several types of visual and auditory stimuli such as written or spoken words, pseudowords, drawings, faces, sounds or actions (Marta Kutas & Federmeier, 2011; Marta Kutas & Hillyard, 1980). Specifically, meaningless stimuli, like pseudowords, have been found to

produce more negative amplitudes than meaningful stimuli, such as words, on the N400 component. This differential effect of the two types of stimuli has been observed in different tasks such as semantic categorization (Ziegler et al., 1997), semantic decision (S. Bentin et al., 1999), and lexical decision tasks (Carreiras, Vergara, & Barber, 2005; Fonseca, Tedrus, & Gilbert, 2006; Wang & Yuan, 2008). It can thus be concluded that the N400 component reflects differences in semantic processing between words and pseudowords.

Providing meaning to pseudowords by associating them with pictures and definitions or by embedding them in meaningful sentences modulates N400 amplitude (Borovsky et al., 2010; Dobel et al., 2009; Frishkoff et al., 2010; Charles A. Perfetti et al., 2005). For instance, Mestres-Missé et al. (2007) have shown that readers were able to assign meaning to pseudowords when they repeatedly appeared in appropriate and restrictive sentence contexts. Indeed, at the end of the repetitions, “meaningful pseudowords” and words differed from “meaningless” pseudowords on the N400 component (2011). Similar N400 effects were also found in second language acquisition: words and pseudowords from a second-language differed on N400 amplitude in a lexical decision task, indicating that learners discriminated the lexical status of both stimuli after semantic training (McLaughlin et al., 2004); also topographic differences on N400 were found for second-language nouns after learning as an index of second language proficiency increased (Stein et al., 2006). What these studies show is that the changes in activity observed on the N400 component after

semantic training could be used as a sign of the construction of semantic features for these new stimuli.

Regarding familiarity, the effect of repeated exposure to unfamiliar stimuli has also been investigated in ERP studies using repetition and old/new paradigms. In this latter paradigm, participants are asked to report whether a word has been seen in a previous learning phase. This manipulation elicits a particular type of N400, an FN400 (Frontal N400), which starts around 300 ms but is distributed frontally (FN), unlike the typical centro-posterior N400. Because old/new paradigms and other recognition tests produce modulation of FN400, there is support for seeing this component as not exclusively related to semantic processes—it could also be a product of visual similarity between study and test items, and function as a marker of familiarity processes. However, the exact role of the FN400 in recognition memory remains unclear (Groh-Bordin, Zimmer, & Ecker, 2006; Michael D. Rugg & Curran, 2007; Van Strien, Hagenbeek, Stam, Rombouts, & Barkhof, 2005; Joel L. Voss & Federmeier, 2011). In particular, there is no agreement about whether the FN400 component is exclusively related to the semantic processes involved in association or contextual tasks, or if it is also modulated by the increased familiarity of repeated stimuli, and as such should be seen as a separate component, different from N400. If the latter is true, changes in FN400 should be observed after repetition of new stimuli, confirming the relation between this component and changes to familiarity processes following repetition.

Furthermore, FN400 has been dissociated from the Late Positive Complex (LPC), another ERP component with a central-posterior distribution traditionally related to episodic memory processes and recollection of previously presented information (Michael D. Rugg & Curran, 2007; Michael D Rugg & Yonelinas, 2003). It has been stated that both familiarity and recollection processes contribute to recognition memory performance. In particular, using repetition and old/new paradigms, the amplitude of this late component (500–700 ms after stimulus onset) with a central-posterior distribution has been found to be associated with encoding and strengthening of memory traces, which allow for the retrieval and recognition of previously encoded information (Batterink & Neville, 2011; P. F. Mitchell, Andrews, & Ward, 1993; C. Petten, Kutas, Kluender, Mitchiner, & Mclsaac, 1991; Van Strien et al., 2005).

The present study aims to determine whether increased contextual familiarity of pseudowords leads to a matching cerebral activity for words and pseudowords as indicated by a decrease in the lexicality effect. The increase in familiarity was achieved by repeating exposure to pseudowords in a lexical decision task. In particular, we aimed to test whether the decrease in the lexicality effect occurs on FN400 or LPC components. It was expected that repeated experience with pseudowords and the resulting increase in familiarity with those items would allow the reader to pass from a sublexical reading procedure, based on activation of letters, syllables or other structures, to a strategy in which these units would be directly connected to a word-

like trace. On the one hand, it was expected that FN400 would not change after repetition of meaningless pseudowords, with the lexicality effect persisting in this component despite repetition, thereby ruling the FN400 component out as an index of familiarity processes. If, on the contrary, there was a link between FN400 and familiarity processes, the lexicality effect should decrease in this component due to the improved familiarity of stimuli following repetition. On the other hand, it was expected that the LPC component would show an increase of amplitude across repetitions as other studies have reported. The consequent decrease in the lexicality effect would indicate that repetition leads to the reinforcement of the memory trace associated to pseudowords and thereby to the improvement of the retrieval and recognition of these meaningless stimuli. To address these hypotheses on the modulation of the lexicality effect, we adopted the “classical” ERP approach of studying amplitude differences between conditions, using a cluster-based random permutation method (Maris & Oostenveld, 2007). With this approach, we were able to determine which ERP components (FN400 and/or LPC) were sensitive to the lexicality effect (difference in amplitude between words and pseudowords) and to variations in this effect as a result of the repeated exposure to the same pseudowords.

A second aim of the present study was to estimate the topography (and underlying neural sources) that best co-varied with the increase in pseudowords familiarity. To that end, we combined Topographical analysis of the covariance (TANCOVA) and Local Auto-Regressive Average (LAURA) source estimation methods

(Koenig, Melie-García, Stein, Strik, & Lehmann, 2008). Unlike the above classical approach, the TANCOVA method allowed us to deduct which specific scalp field configurations (topography) were varying linearly in response to repeated exposition to the same pseudoword stimuli. Furthermore, covariance maps provided by this method could be interpreted as representing the scalp field produced by the intracerebral sources that account for the effects of repetition, thus allowing us to can submit these maps directly to source localization methods to estimate the specific set of likely neural generators that account for these effects. Our specific predictions for this approach were the following. First, FN400 topography and its neural sources were not expected to be modulated by increasing familiarity of repeated meaningless pseudowords, which would allow us to discard the claim that this component is related to familiarity processes. Second, we did expect that LPC topography and its neural sources would be affected by repetition of these items, in keeping with the hypothesis that there is a link between this component and memory and recollection processes.

2. Materials and Methods

2.1. *Participants*

Twenty-three undergraduate Psychology students (6 males) at La Laguna University took part in the experiment for course credit. All of them were right-handed native speakers of Spanish with an average score of 0.76 in the reduced version of the

Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Their mean age was 21.04 years. All participants had normal or corrected-to-normal vision and reported no neurological or psychiatric disorders.

2.2. Stimuli

Two hundred and twenty-four stimuli were presented to each participant in six different blocks. Sixty-four of them were experimental words consisting of familiar words taken from the Spanish lexicon and presented in two experimental blocks—half of them were presented in the first block and the other half in the last one, and therefore, no words were repeated. One hundred twenty-eight stimuli were filler words consisting of familiar words taken from the Spanish lexicon which formed part of four control blocks, from the second to the fifth. Finally, thirty-two stimuli were pseudowords observing the phonotactic and orthotactic rules of Spanish, and these were repeated, forming part of all six blocks of the task. Experimental words and pseudowords were matched in length (i.e., number of letters and syllables), number of orthographic neighbors, lexical frequency (Sebastián-Gallés, 2000), bigram frequency (token type) and frequency (token type) of first syllable (C. Davis & Perea, 2005), as shown in Table 1. This matching avoided the influence of sublexical variables on other early electrophysiological components, such as the N1/P1 complex or P200 which are sensitive to attentional and orthographic processing of visual stimuli (Allison,

McCarthy, Nobre, Puce, & Belger, 1994; S. Bentin et al., 1999; Hillyard, Teder-Sälejärvi, & Münte, 1998; Nobre, Allison, & McCarthy, 1994).

Table 1. Matching means of each variable through the experimental conditions (Words in the first and sixth block and Pseudowords) and means of each variable controlled through the filler blocks (Words in the second, third, fourth and fifth block)

	Length (letters)	Length (syllables)	Orthographic neighbors	Lexical frequency	Bigram frequency	1st syllable frequency
Words 1st Block	5.38	2.25	2.03	67.44	511.03	296.89
Words 6th Block	5.47	2.25	2.03	63.28	523.48	296.84
Pseudowords	5.34	2.26	2.16		509.01	291.35
Words 2nd Block	5.03	2.37	5.3	67.67	747.32	2,059.79
Words 3th Block	5.2	2.1	4.73	53.86	1,004.46	933.11
Words 4th Block	5.07	2.17	2.53	54.51	743.96	668.33
Words 5th Block	5.31	2.34	4.09	60.26	868.26	2,225.31

2.3. Procedure

Participants were seated in a silent room in the Neurocog laboratory at the University of La Laguna. After receiving verbal information, participants read the task instructions on the screen. They were allowed to take a break after each block. To prevent motor artifacts, participants were advised to avoid eye blinks only after the fixation point at each trial. Once the instructions were understood by participants, five words and five pseudowords were presented as training trials in a randomized order.

Immediately afterwards and without transition, the experimental trials started. Participants had to decide if the stimulus presented was a word (pressing with their right hand a key labeled “SI”) or not (pressing with their left hand a key labeled “NO”). Stimuli were displayed in black Verdana 18 point letters at the center of the screen, over white background, with the experimental software E-prime 2.0 (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002).

Time responses and accuracy for each participant were registered during this lexical decision task. Each block consisted of a total of sixty-four trials and lasted approximately 5 min. The sequence of events in all trials was as follows. Each trial began with a fixation point presented for 1000 ms. Then, a stimulus (experimental word, filler word or pseudoword) appeared and remained on the screen until the participant responded. At that moment, a blank screen was displayed for 500 ms followed by the instruction “parpadea” (blink now) lasting 1000 ms and another blank screen for 500 ms. The duration of each trial depended on the time the participant took to respond, but lasted approximately 4 s. All stimuli were presented randomized within each block.

2.4. EEG Recording and Preprocessing

EEG and EOG signals were recorded using 64 Ag/AgCl electrodes mounted in elastic Quick-caps (Neuromedial Supplies, Compumedics, Inc., Charlotte) according to

the system 10/20 (Jasper, 1958). A cephalic reference was taken (all electrodes were referenced to vertex), and two other electrodes were placed on mastoid bones. The EEG signal was re-referenced off-line to the mean activity in these two mastoid electrodes in keeping with the montage most typically used to evaluate N400 and LPC components. In order to monitor ocular movements and blinks, additional electrodes were placed on the external canthus of both eyes and on the left infra-orbital and supraorbital canthus. The inter-electrodes impedance was kept below 10 k Ω . EEG and EOG signals were amplified and digitized at a 500 Hz sampling rate using a SynAmps2 amplifier (NeuroMedial Supplies, Compumedics, Inc., Charlotte). High and low pass filters were set at 0.05 and 100 Hz, respectively. An additional 50 Hz Notch filter was applied.

EEG data pre-processing was conducted using Edit 4.5 (Neuroscan, Compumedics Inc., Charlotte). EEG data epochs between -200 to 800 ms poststimulus onset were extracted and submitted to the following artifact rejection procedure. First, epochs showing amplitude values exceeding ± 70 μ V in vertical and horizontal EOG channels were automatically removed. Further, a manual cleaning was carried out to ensure the complete removal of all artifacts. ERPs were then computed by averaging remaining epochs per subject and condition. The number of epochs used to compute ERPs was practically the same for all experimental conditions (from the first to the sixth experimental block, pseudowords: 26, 28, 30, 25, 29, and 26; words: 29, 24, 31,

27, 27, and 28). Baseline correction was carried out using the 200-ms period preceding stimulus onset.

2.5. Statistical Analyses

2.5.1. Behavioral Analysis

For behavioral data, mean reaction times (RTs) and errors were analyzed with repeated-measures ANOVAs with Lexicality (experimental words vs. pseudowords) and Block (first vs. sixth) as within-subject factors. Additionally, for pseudowords, a regression coefficient (R^2) was computed to estimate the amount of variance of each behavioral measure (RTs and errors) that was explained by repetitions. This regression analysis explores, beyond the ANOVAs, the causal relation between pseudoword repetition throughout the blocks and RTs and errors, clarifying how the speed and accuracy achieved by participants are modified as result of repetitions. Trials in each block with incorrect responses, or with response latencies over 2 standard deviations were excluded from all these analyses. In addition, one item from the first experimental block was eliminated because its incorrect presentation caused participants to err.

2.5.2. ERP Analysis

Lexicality effects on ERPs were studied by analyzing the differences between words and pseudowords occurring in the first and the last experimental block. The resulting 2×2 design, with lexicality (word, pseudoword) and experimental block (first, sixth block) as within-subject factors, was evaluated using the cluster-based random permutation method implemented in Fieldtrip (Maris (Maris & Oostenveld, 2007; Oostenveld, Fries, Maris, & Schoffelen, 2010). This method deals with the multiple comparisons in space and time by identifying, over the whole ERP segment (here, 400 time points \times 62 channels = 24,800 sample points), clusters of significant differences between conditions (sample points in close spatial and temporal proximity), while effectively controlling for type 1 error. Here is a brief description.

In a first step, cluster-level statistics are computed as follows. For every sample (time by electrode) point, the difference between conditions is quantified by means of a dependent sample t test. From this comparison, all sample points below or equal to a predetermined threshold (e.g., α level of 0.05) are selected, and clusters formed on the basis of spatial and temporal adjacency. For each cluster with a minimum of spatially adjacent sample points (here, 3), a single measure of the observed cluster effect size (the cluster-level statistic) is finally calculated by taking the sum of all the individual t values within it. Next, in a second step, a null distribution of cluster-level statistics is computed using a random partition procedure. With this procedure,

subject ERPs segments are randomly assigned to experimental conditions a number of times (here, 2,000). After each randomization, cluster-level statistics are then calculated as above, and the one with the largest effect size (sum of t values) enters into the null distribution. The proportion of cases in which the values of this distribution are larger than the observed cluster-level statistic represents the probability of the null hypothesis, which is computed for each observed cluster. If this probability is below or equal to a predetermined threshold (here, 5 %) then the null hypothesis is rejected, and the observed cluster considered significant.

This statistical method allows only for pair-wise comparisons. Therefore, certain prior calculations were performed in order to evaluate the main effects and the interaction of the 2×2 design. Regarding the main effects, an average of the two conditions corresponding to the same level of each of the two factors was calculated for each subject, and comparisons performed using these two averages. For example, for the main effect of lexicality, the average between the words in the first block and the words in the sixth block formed the level 'word' of the factor, and was compared to the one calculated for the level 'pseudoword'. For testing the interaction, word minus pseudoword difference waveforms were computed for each block separately. Then, these difference waveforms were statistically compared to each other. Additional comparisons were also conducted to decompose the outcome (significant clusters) of the two main effects and the interaction. In these comparisons, mean

amplitudes over the time windows of the significant cluster/s served as input to the test.

2.5.3. Topographical Analysis of Covariance

TANCOVA, introduced by Koenig et al. (2008), was used to identify the significant time points in which global scalp field potentials for pseudoword covaried with the external variable repetition (six levels). This analysis determines whether such covariance between ERP topography and an external variable is above chance levels. Unlike “classical” ERP analyses based on amplitude differences, this approach was expected to provide information on which scalp field configurations (topographies) were linearly varying their strength across repetition. Next is a brief description of this statistical method.

In a first step, the covariance between the potentials at each electrode and the external variable is computed, and an appropriate measure of effect size for the resulting covariance map calculated. Since the higher the association between source activity and external variable, the higher the global strength of the covariance map, the global field power (GFP, Lehmann and Skrandies 1980) of the covariance map serves as effect size. GFP represents a single, reference-independent measure of the strength of the scalp potentials field, which is statistically equivalent to the standard deviation of the potentials at all electrodes (Murray, Brunet, & Michel, 2008). In a second step, a

null distribution of covariance maps and their corresponding GFP is obtained by randomly assigning (here, 5,000 times) ERP segments to the external variable. The percentage of cases in which the GFP obtained after randomization is larger than the observed GFP represents the probability of the null hypothesis. This null hypothesis is finally evaluated, so that if its probability is equal or below a determined threshold then it is rejected, and consequently the alternative hypothesis accepted—that is, the observed effect size (GFP of the covariance map) is considered significant.

This method is applied for each time point of the ERP segments separately (400 time points), and hence it does not directly address the multiple comparisons. To effectively control for the type 1 error related to these multiple comparisons, the threshold used to evaluate the probability of the null hypothesis was estimated based on the false discovery rate (FDR), with a FDR criterion of 5 % (Genovese, Lazar, & Nichols, 2002). The FDR threshold was obtained by comparing the distribution of observed p values with the distribution of accepted “false positives” (incorrect rejections of the null hypothesis), which was estimated by multiplying the expected distribution of the p values under the null hypothesis by the FDR criterion. Once the two distributions were ordered from the smallest to the largest value, the first observed p value below or equal to the corresponding value of the distribution of accepted “false positives” was taken to represent the FDR threshold such that only observed p values below this threshold were considered to represent “true discoveries” (correct rejections of the null hypothesis).

2.5.4. Source Localization

The covariance maps obtained with TANCOVA analysis represent a linear transformation of the original ERP topography, and hence can be directly submitted to source localization methods (Koenig et al., 2008; Pedroni, Langer, Koenig, Allemand, & Jäncke, 2011). Brain sources of the covariance maps were estimated using the distributed source estimation method LAURA (de Peralta Menendez, Andino, Lantz, Michel, & Landis, 2001), implemented in Cartool software (Brunet, Murray, & Michel, 2011). Distributed localization algorithms are generally preferred to more classical dipole modelling when there is no clear prediction about the location and the number of involved neural sources, as it is the case in the present study (Michel et al., 2004). The choice for LAURA source estimation was motivated by its extensive and successful use in prior research and its localization precision, which has been evaluated in modelling (de Peralta Menendez & Andino, 1999) and epileptic patient research (Groening et al., 2009).

The solution space was calculated on a realistic head model that included 4,025 nodes, defined in regular distances within the gray matter of a standard MRI (Montreal Neurological Institute's average brain). Current density magnitudes (ampere per square millimeter) at each node were calculated for the time windows showing significant results in the TANCOVA analysis. The resulting magnitudes represent the

intracerebral generators of the scalp field data accounting for the effects of the variable repetition in each time window.

3. Results

3.1. Behavioral Results

Mean reaction times and errors are presented in Table 2. ANOVAs across participants F1 and items F2 were carried out on latencies. Regarding item based ANOVAs, the analyses were run across the averages of all individual test items in order to control for the items' variability so that results could be generalized to the entire set of items as well as participants (Clark, 1973). The analysis revealed a main significant effect of Lexicality, showing that mean RTs for pseudowords were longer than for words. A main effect of Block was also obtained, because latencies for first presentation of stimuli were longer than for the sixth. In addition, the interaction between Lexicality and Block was statistically significant. Follow up pair-wise comparisons tested by one way ANOVAs revealed that the 26.17 ms difference between words presented in the first and sixth block was not statistically significant, in contrast with the 256.66 ms difference between first and sixth block for pseudowords which was significant. Additionally the difference between RTs for words and pseudowords was significant both in the first block (680.38 and 976.68 ms respectively) and in the last block after five repetitions of pseudowords (654.21 and

720.02 ms, respectively). Although in the sixth block there remains a difference between words and pseudowords, the interaction of Lexicality by Block indicates a significant reduction on RTs for pseudowords (see Table 3 for detailed statistical result).

Table 2. Mean RTs for Words and Pseudowords presented in the first and in the sixth block (analysis by participants). Mean of errors for the same stimuli and conditions is showed in brackets

	Mean RTs and errors	
	1st	6th
Words	680.38 (0.26)	654.22 (0.47)
Pseudowords	976.69 (1.26)	720.03 (0.52)

The ANOVAs on errors revealed a main effect of Lexicality and a significant Lexicality by Block interaction. No Block effect emerged. Follow up analyses revealed that participants committed more errors on pseudowords in the first block than in the sixth (1.26 vs. 0.52) although this result was only found in the analysis by participants. This effect was not found for words in the first and sixth block (0.26 vs. 0.47). Additional comparisons revealed significant differences between errors on words and pseudowords displayed in the first block (0.26 vs. 1.26) but not in the sixth block (0.47 vs. 0.52). Therefore, participants are equally competent for both types of stimuli in the last block (see Table 3).

Table 3. Statistical results (both participants and items analyses) of the behavioral data: general ANOVAs (Lexicality and Block factors, and Lexicality by Block interaction) and follow up comparisons (Words in the first vs. sixth block, Pseudowords in the first vs. sixth block and Words vs. Pseudowords in the first and in the sixth block)

	Participants				Items			
	F1(1,22)	p	η^2	1- β	F2(1,124)	p	η^2	1- β
Mean RTs (2x2 ANOVA)								
Lexicality	17.45	<0.001	0.44	0.97	280.65	<0.001	0.69	1
Block	10.88	<0.01	0.33	0.88	170.49	<0.001	0.57	1
Interaction	11.39	<0.01	0.34	0.89	118.43	<0.001	0.48	1
Follow up comparisons					F2(1,62)			
Words 1st vs. 6th block	2.17	>0.05	0.09	0.29	3.77	>0.05	0.05	0.48
Pseudowords 1st vs. 6th block	11.57	<0.01	0.34	0.90	208.5	<0.001	0.77	1
Words vs. Pseudowords 1st block	15.04	<0.01	0.40	0.95	282.23	<0.001	0.82	1
Words vs. Pseudowords 6th block	17.14	<0.001	0.43	0.97	26.62	<0.001	0.3	0.99
Mean of Errors (2x2 ANOVA)					F2(1,124)			
Lexicality	5.56	<0.05	0.20	0.61	5.47	<0.05	0.04	0.64
Block	2.09	>0.05	0.08	0.28	0.95	>0.05	0.00	0.16
Interaction	17.17	<0.001	0.43	0.97	5.47	<0.05	0.04	0.64
Follow up comparisons					F2(1,62)			
Words 1st vs. 6th block	1.50	>0.05	0.06	0.21	1.71	>0.05	0.02	0.25
Pseudowords 1st vs. 6th block	9.08	<0.01	0.29	0.82	3.77	>0.05	0.05	0.48
Words vs. Pseudowords 1st block	14.05	<0.01	0.39	0.94	9.46	<0.05	0.13	0.85
Words vs. Pseudowords 6th block	0.03	>0.05	0.002	0.05	0	>0.05	0.00	0.05

The regression analysis conducted on pseudowords' mean RTs of each participant across the six blocks of the task revealed a significant linear trend [R2 = 0.118, F(1,136) = 19.28, p < 0.001]. Similarly, a significant linear trend was obtained for errors made by participants on pseudowords across the six blocks [R2 = 0.057, F(1,136) = 9.31, p < 0.01]. The improvement in speed and accuracy for pseudowords is thus explained by the variable Repetitions (See Fig. 1).

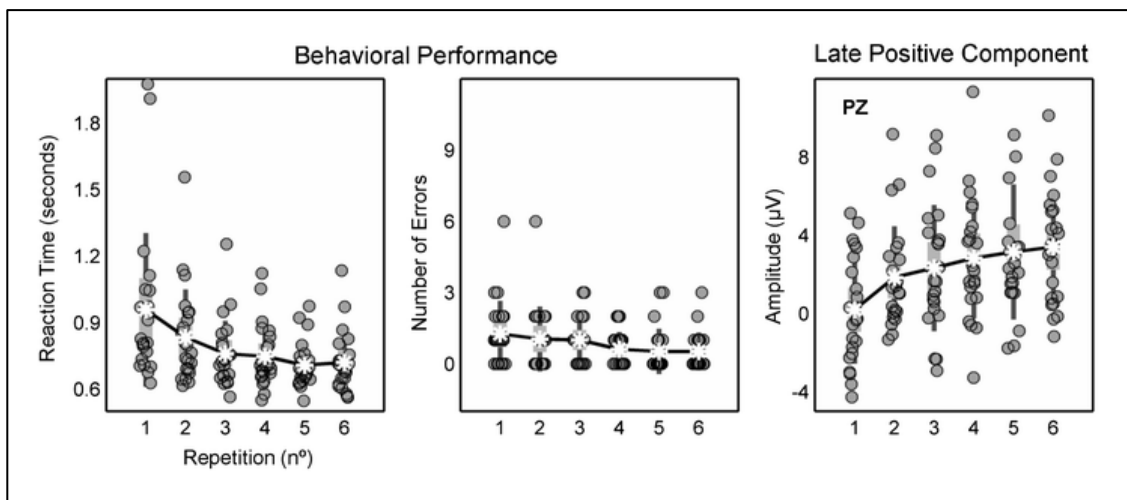


Figure 1. Mean values for reaction times (RTs), number of errors, and amplitudes at a representative electrode (PZ) of the late positive component amplitude (LPC, between 468 and 634 ms). *Grey shaded dots* represent mean values for each participant. *White asterisks* represent total mean values. As shown by *dark lines*, both RTs and number of errors tend to reduce across repetitions, while LPC amplitudes tend to increase with repetitions

3.2. ERP Results

Figure 2 displays waveforms (panel a) and results of the ERP analyses with the cluster-based random permutation procedure (panel b). Tests on the main effect of lexicality resulted in one significant cluster ($p < 0.001$, Fig. 2b). This cluster extended approximately between 302 and 520 ms, showing a fronto-central distribution, and revealed less positive amplitude for pseudowords than for words. Follow up comparisons (using mean amplitude during the cluster time window, 302–520 ms) confirmed the difference between words and pseudowords occurring within both the first ($p < 0.005$) and the last experimental block ($p < 0.005$). Latency and topographic

characteristic of the cluster suggest this cluster is probably reflecting a modulation of the N400-like component.

Testing of the main effect of block also yielded one significant cluster ($p < 0.001$). In this case, the cluster extended between 468 and 634 ms, showing a central-posterior distribution, and revealed less positive amplitude for the first block stimuli than the last block stimuli. However, further comparisons showed that amplitude differences between blocks reached significance only for pseudowords ($p < 0.001$). Latency and topographic characteristics suggest that this effect is likely to affect the LPC component.

Testing of the interaction produced a significant cluster ($p < 0.005$, Fig. 2b) with latency (between 500 and 618 ms) and topographic characteristics (central and posterior sites) similar to those for the main effect of block. This similarity suggests the interaction is probably also reflecting a modulation of the LPC component, and thereby qualifying the main effect of block. Follow up comparisons revealed the effects in this cluster were due to the less positive amplitude of pseudowords in the first block than of the other conditions (see Fig. 1). Such reduced LPC amplitude was responsible for the appearance of both an effect of lexicality in the first block ($p < 0.001$) and an effect of block for pseudowords ($p < 0.001$).

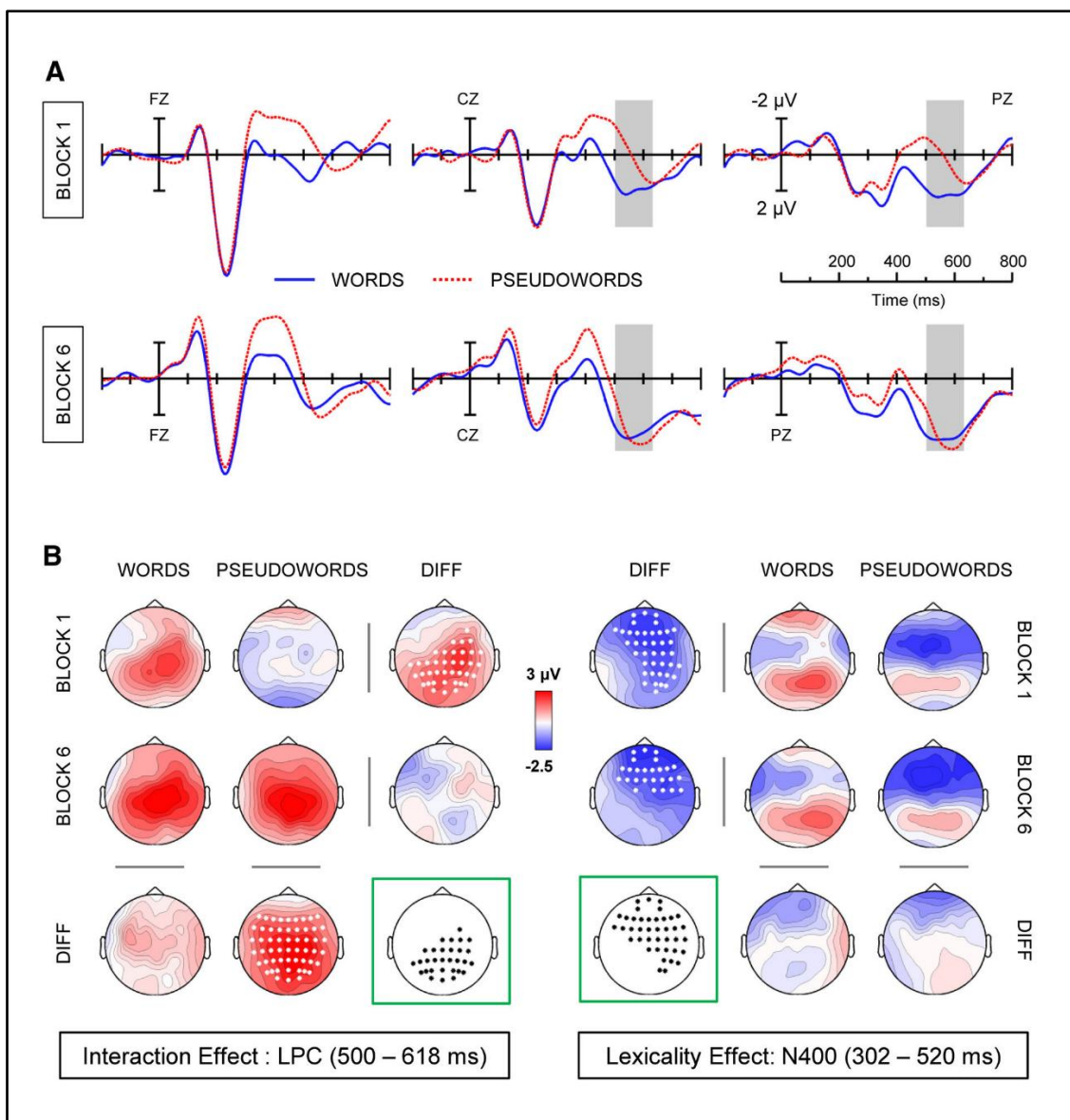


Figure 2. *Upper half A*: Averaged ERP waveforms at medial scalp sites (FZ, CZ, PZ electrodes) for words and pseudowords in the first and sixth experimental block. *Grey shaded areas* highlight the time window of the significant interaction between stimuli and block type. Follow-up comparisons confirmed differences during this time window (500–618 ms) between words and pseudowords in the first block but not in the sixth block, due to pseudoword amplitude changes across blocks. Comparisons showed amplitude differences between first and sixth block for pseudowords but not for words; pseudowords were more positive in the last block than in the first. *Lower half B*: overview of cluster analysis results. Maps framed in green represent the sites belonging to the significant clusters for the interaction and for the lexicity effect. Maps under (or to the left/right of) the label DIFF depict scalp distribution of the differences between conditions. *White points* highlight the scalp sites corresponding to the significant cluster for these differences. All other maps represent the topography of the ERP activity for each condition (Color figure online)

In sum, two spatiotemporal loci of effects emerged after the statistical analyses of ERPs. In the first one, which appeared in a cluster between 302 and 520 ms (reflecting the unfolding of a N400-like component), similar differences between words and pseudowords were found for both the first (first presentation of pseudowords) and the last experimental block (sixth repetition of pseudowords). In the second one, which appeared in a cluster between 468 and 634 ms (LPC component), pseudowords showed a shift in amplitude (more positive) from the first to the sixth repetition, which contributed to the absence of the lexicality effect in the last experimental block.

3.3. ERP-Repetition Covariance Maps: Topography and Neural Sources

The above ERP analyses suggest that the repetition of pseudowords likely modulated the activity of the LPC component. Nevertheless, to better evaluate the impact of repetition on the electrophysiological brain response to pseudowords, we conducted a topographical analysis of the covariance between the repetition of pseudowords and the ERP activity (Fig. 3a, where p values represent, inversely, the significance level of the covariance map), and estimated the likely sources of the time periods with significant topographic covariance (Fig. 3b). The TANCOVA analysis revealed significantly covarying (below FDR threshold, $p < 0.004$, Fig. 3a) ERP topographies in the time windows of 110–142 ms and 570–630 ms, indicating that, as the number of repetitions increased (from the first to the sixth block), so did the

strength (global field power, GFP) of the scalp field configuration (topography) observed in these two periods. The topography of the early window revealed that the repetition variable covaried with negative ERP activity at anterior sites and with positive ERP activity at right posterior sites. This topography, along with the time period of the effect, suggests the covariance reflects changes in the activity of the N1/P1 ERP complex. Points of maximal current source magnitude for the covariance map in this time window (Fig. 3b) were found in the right lingual gyrus (GL, maximum at $x = 17, y = -65, z = -4$ mm using the coordinate system of Talairach and Tournoux, 1988; corresponding to BA 19) and the right middle temporal gyrus (MTG, maximum at $x = 58, y = 3, z = -9$ mm; BA 21). Positive central and posterior ERP activity characterized the later window with significant covariance. In accordance with the ERP analysis, this covarying topography revealed changes in the activity of the LPC component due to pseudoword repetition across blocks. Points of maximal current source magnitude were found for this time window (Fig. 3b) in the left anterior superior temporal gyrus (STG, maximum at $x = -31, y = 22, z = -38$ mm; BA 38), the left inferior frontal gyrus (LIFG, maximum at $x = -31, y = 29, z = -21$; BA 47), and the right superior frontal gyrus (SFG, maximum at $x = 30, y = 70, z = -12$; BA 10).

The TANCOVA analysis was also conducted for words in order to discard the possibility that covarying ERP maps of pseudowords were related to a general change in activity, and consequently not directly associated to repetitions. Unlike pseudowords, words were different for each experimental block and hence, should not

show changes in brain activity due to stimulus repetition. As the distribution of p values from Fig. 3a shows, there was no significant period in which words' ERP activity covaried with the variable block. Thus, TANCOVA results for pseudowords can be specifically and reliably attributed to the influence of repetition (see "Discussion").

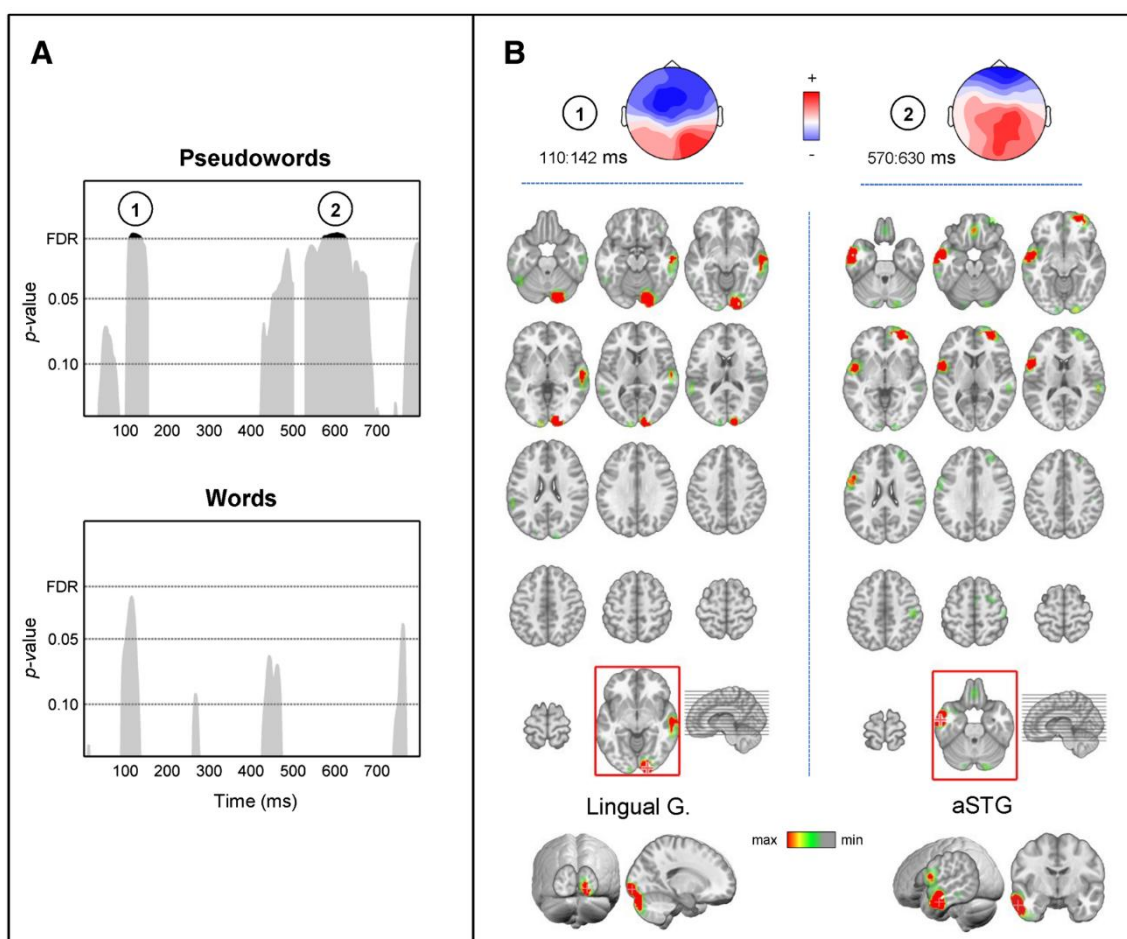


Figure 3. TANCOVA results overview. On the *left (a)*, time-point by time-point significance levels of the TANCOVA analyses for pseudowords and words. The height of the area represents, inversely, the p values (probability) of the null hypothesis. *Black shaded areas* indicate the periods in which the covariance between ERP topography and the variable repetition reached significance values below the estimated FDR threshold ($p < 0.004$). Only pseudowords showed periods of significant covariance, reflecting the variation in the strength (global field power) of the scalp field configuration during these periods as a function of the repeated exposure to these stimuli. On the *right (b)*, map topographies of the significant periods and their corresponding source estimations. The loci of maximal current source magnitudes (representing the maximal contribution to the covariance topography) are framed in *red*. Topography and timing of the second significant period are consistent with the typical topography of the LPC component. Sources in the left anterior superior temporal gyrus (aSTG), left inferior frontal gyrus (LIGF) and right superior frontal gyrus (SFG) contribute to this LPC-like covariance topography (Color figure online)

4. Discussion

The present study aimed to test whether pseudoword repetition leads to a decrease in the lexicality effect, and whether this is accompanied by a modulation in the activity of the FN400 and the LPC. Behavioral data showed that, for pseudowords, reaction times and errors were reduced by repetition, but this manipulation did not completely eliminate the lexicality effect. Thus, the repetition of meaningless pseudowords improved their processing so that they reached a processing level equivalent to that of words in terms of response accuracy but not entirely in terms of speed. At the beginning of the lexical decision task, pseudoword discrimination was difficult and more errors were committed because words and pseudowords were matched on their sublexical composition (bigrams and syllables frequency) which prevented pseudoword facilitation through bottom-up processes; however, memory trace formed across repetitions seems to have improved the discrimination and lexical categorization of pseudowords up to a level of accuracy similar to that of words. With regards to speed in the processing of pseudowords, the lexicality effect was maintained across the task because the semantic facilitation through top-down processes only affected words but not pseudowords. It is probable that semantic training in addition to visual repetition is needed to achieve a direct visual recognition that would decrease the pseudoword decision time enough to remove the lexicality effect completely.

Electrophysiological data also showed a modulation prompted by pseudoword repetition which was characterized by two different patterns. First, a negative component with a fronto-central distribution, FN400, showed a lexicality effect which remained unaffected by the repetition of pseudowords. This result confirms the hypothesis that FN400 is not affected by variations in familiarity produced by the repetition of stimuli and suggests that this component may only be sensitive to differences in stimuli based on their semantic features in memory as other authors have already argued (Joel L. Voss & Federmeier, 2011). Second, LPC showed a central and posterior distribution and a larger amplitude for pseudowords after each repetition (block effect), approaching the amplitude measured for words in the last presentation and, therefore, causing the lexicality effect to disappear. To the best of our knowledge, past studies reporting an increase in LPC amplitude after repetition do not report this similarity between words and pseudowords (Batterink & Neville, 2011; Renault, Wang, Calcagno, Prévost, & Debrulle, 2012; Van Strien et al., 2005). The remaining lexicality effect in the Batterink and Neville study was explained by the semantic demands of the task and by the contribution of the memory trace formed given the task requirements (learning of pseudoword meaning). In such a task with a semantic demand, the memory trace built by repetition of meaningful pseudowords contributed to the comprehension of these stimuli to a greater extent than words. The reason is that pseudowords implied more active retrieval processes and, therefore, elicited larger LPC amplitudes than words because words have already well established

meanings and do not require such processes. However, in the present task, where the task is orthographic, the LPC amplitudes for repeated pseudowords increased until they reached the amplitude of words. This result shows that the LPC component may be related to the formation and strengthening of memory traces, which in the present study would have contributed to reach a level of recognition and lexical decision for the repeated pseudowords similar to that observed for words (as reflected in the improvement of speed and accuracy for these stimuli).

Although some authors report a repetition effect on FN400, relating this component more to familiarity than to semantic processes (Bridger (Bridger, Bader, Kriukova, Unger, & Mecklinger, 2012; Laszlo & Federmeier, 2007; Laszlo, Stites, & Federmeier, 2012), our results do not support this claim. Instead, repetition only affected LPC up to the point where the lexicality effect was not evident, reflecting the process of formation and strengthening of a memory trace for repeated pseudowords which improves recognition and association of these pseudowords with a given response in a lexical decision task.

It is probable that FN400 modulations could be obtained through the semantic manipulation of pseudowords. However, adding meaning to repeated pseudowords confounds the interpretation of repetition effects on FN400 preventing us from clarifying the relation between this component and familiarity processes. In this sense, the preservation of the lexicality effect on FN400 found in this study after pseudoword

repetition contrasts with other studies which reported N400 effects. In those experiments, semantic training is provided for pseudowords and, as a result, N400 decreases to the point where the lexicality effect ultimately disappears (Batterink & Neville, 2011; Mestres-Missé et al., 2007). This inconsistency is not surprising given that, in the present study, pseudowords were meaningless stimuli not associated with semantic information (this was done in order to ensure the familiarity effects were not biased by semantic effects). Similarly to previous studies, we found that pseudowords produced deeper memory traces with each repetition. These traces probably involve sub-lexical units at the beginning of the task and representations of whole words at the end. Although readers were exposed only to visual stimuli in a lexical decision task, it is possible that these traces involve phonological rather than visual representation. Overall, our findings suggest that there is some dissociation between the two electrophysiological components, FN400 and LPC, as reflected by the lexicality effect. Whereas LPC shows similar processing for words and repeated pseudowords due to the construction and reinforcement of visual memory traces for new stimuli, FN400 reflects differences in stimulus processing which were not reduced after familiarity training, probably due to the non-resolution of semantic uncertainty over the course of the experiment.

Further to previous studies related to repetition effects of new stimuli, novel and complementary data were obtained by means of topographical and neural source analyses. A covariance map showed changes in LPC caused by the repetition of

pseudowords to be compatible with probable neural sources in the left inferior frontal gyrus, left superior temporal gyrus and right superior frontal gyrus, consistent with other studies examining the neural sources of LPC modulations by repetition effects (Kim, Lee, Shin, Kwon, & Kim, 2006; Taha & Khateb, 2013). Interestingly, these regions have traditionally been related to phonological and control processes and are thought to be involved in the use of the grapheme-to-phoneme recoding mechanism (G–P), responsible for reading low-familiarity stimuli like pseudowords (Herbster, Mintun, Nebes, & Becker, 1997; Joubert et al., 2004; Juphard et al., 2011; Levy et al., 2009; Newman & Twieg, 2001; Price, 1998; Ripamonti et al., 2014; Rumsey et al., 1997). Spanish is a completely regular language in terms of its G–P rules. When a pseudoword is read for the first time, the only possible way for it to be read is by applying a phonological recoding to pronounce it. However, when the stimulus becomes familiar, its processing is facilitated and the use of this mechanism is reduced. A possible interpretation of this result is that readers passed from the use of this recoding mechanism at the beginning of the lexical decision task to the direct association throughout repetition between the memory trace developed for pseudowords and the particular response to these stimuli in the task. In fact, the anterior STG has been identified as a responsible region for associations between letters and speech sounds (van Atteveldt, Formisano, Goebel, & Blomert, 2007). The mechanism underlying these associations showed less activation after repetition. This effect is probably due to top-down visual effects on mapping the pseudowords to their representations,

(representations whose phonological nature is not completely discarded). As can be seen in our data, the recognition of pseudowords was automated through repetition; however, this automatization did not activate the left fusiform region, specialized on visual word recognition (Cohen & Dehaene, 2004). This lack of activation suggests that repetition of meaningless pseudowords is not enough to reach automatic recognition and the activation of the Visual Word Form Area exhibited by real words, which have been encountered by readers far more often and, crucially, carry semantic content.

Another significant covariance map between repetition and pseudoword ERP activity was found at the P1/N1 ERP complex, with the lingual gyrus as one of the probable neural sources for this covariance. This visual region has been related to the visual processing required for reading, in particular to the whole shape processing that is activated when attention is directed to overall forms, such as word profiles (Fink et al., 1997; Mechelli, Humphreys, Mayall, Olson, & Price, 2000). In this line, our results indicate a better and stronger discrimination of the visual trace developed for pseudowords through repetition.

In conclusion, our results support a functional dissociation between the two FN400 and LPC components and the respective underlying processes involved in achieving word-like processing for new stimuli after repetition. Contrary to previous assumptions, FN400 is not sensitive to familiarity processes arising from the repetition of meaningless pseudowords. A different processing of words and pseudowords

persisted on this component despite repetition; which could be explained by the influence of semantic features of both meaningful and meaningless stimuli. In contrast, pseudoword repetition did affect LPC, a component that reflects the formation of memory traces, which led to improved recognition of new stimuli over the course of the task to the point that the difference between pseudowords and words was virtually eliminated. The LPC topography varied across the repetitions, with neural generators located on areas related to a phonological recoding mechanism for reading unfamiliar stimuli. Given these results, it can be said that the visual memory trace obtained by repetition improves the processing of repeated new stimuli. However, this is not enough to establish a functional role for these stimuli similar to that of words, in the linguistic system, as was reflected by the maintenance of the lexicality effect on the FN400 component and on behavioral data. The final step to completing the neural network underlying word representations in the linguistic system, besides the improvement of the visual memory traces of the new stimuli, should be the activation of semantic features. New studies that manipulate the meaning of novel stimuli apart from their visual repetition are necessary to observe the evolution of FN400 and LPC components in relation to the construction of new semantic and visual memory traces.

Study 2

Brain signatures of *meaningless* and *meaningful* training of new words: a regression-based ERP study

1. Introduction

Lexical reading is a process of visual recognition of well-known words that is characterized by great accuracy and speed, as letter identification is achieved by means of direct, parallel processing. Sublexical reading, for its part, which is typically activated by infrequent or unknown words, entails more cognitive effort and leads to more errors, as it requires a serial, letter-by-letter decodification (Ellis et al., 2009; Weekes, 1997). To pass from this sublexical reading to the use of direct visual recognition, a repeated exposure to words seems necessary. Thus, after a new word has been decoded from its graphemes to its phonemes several times, an orthographic representation of that word is formed in the reader's lexicon, which becomes essential for reading it more efficiently in later encounters (Dumay & Gaskell, 2007; Maloney et al., 2009; David L. Share, 1995). Nonetheless, the quality of these orthographic representations depends not only on repeated visual exposure to words but also on other important factors, such as their association with a meaning. In this sense, the establishment of a semantic association between a word and a specific concept contributes to the more efficient reading of that word, probably by facilitating the

direct route. This study aimed to explore the contribution of these two factors – repeated visual exposure and semantic association – to the creation of orthographic representations which lead to a direct route for reading, comparing their effects on brain activity by means of the EEG.

The formation of new orthographic representations can be simulated by repeated visual exposure to word-like stimuli, or pseudowords. Pseudowords and known words are processed quite differently, mainly due to the unfamiliarity and meaninglessness of the former. The so-called lexicality effect reflects these differences in cognitive processing, either in behavioral (Forster & Chambers, 1973; Glushko, 1979) or in electrophysiological measures (S. Bentin et al., 1999; Carreiras et al., 2005; Fonseca et al., 2006; Wang & Yuan, 2008; Ziegler et al., 1997). Nonetheless, the processing of pseudowords can imitate that of unknown real words, which are also unfamiliar and meaningless and therefore likely to be read by phonological decoding. Accordingly, pseudowords can be used to examine the processes underlying the reading and learning of new words, and especially the factors that facilitate the transition from an indirect phonological route to a direct visual reading route.

To explore these processes, there are two critical ERP components that should be taken into account. On the one hand, the late positive component (LPC), a middle-posterior distributed potential which peaks around 500-700 ms post-stimulus onset, has been related to episodic memory processes and recollection of previously

presented stimuli (Michael D. Rugg & Curran, 2007). Amplitude increases on the LPC after repetition of stimuli are thought to reflect the development and strengthening of stimuli memory traces which facilitate further recollection, and possibly improve their visual familiarity. On the other hand, the N400, a negative ERP component that peaks around 400 ms post-stimulus onset, has been traditionally related to semantic memory processes, with increased amplitudes reflecting difficulty (or effort) in accessing this long-term storage (Marta Kutas & Federmeier, 2011; Marta Kutas & Hillyard, 1980). Accordingly, the activity of this component is greater for pseudowords and unknown words, which is likely due to their poor (or inexistent) representation in semantic memory. Indeed, reduced N400 amplitude after semantic association has been considered as an index of meaning acquisition for new, meaningless stimuli. Therefore, these two ERP components could inform us about the processes involved in forming new visual memory traces and their association with a meaning, respectively.

In this sense, some electrophysiological studies have reported effects that indicate the formation of memory traces after repeated exposure to pseudowords. Thus, in visual repetition and old/new tasks, enhanced LPC amplitude has been found in response to previously seen (old) stimuli, compared to unseen (new) ones (Batterink & Neville, 2011; Charles A. Perfetti et al., 2005; C. Petten et al., 1991; Van Strien et al., 2005). Similarly, in a previous ERP study, we found that LPC amplitude covaried positively with pseudoword repetition, allowing for better recognition and categorization of these stimuli in a lexical decision task (Bermúdez-Margaretto,

Beltrán, Domínguez, & Cuetos, 2015). Critically, this co-variation was accompanied by a reduction of the lexicality effect on the LPC component but not in the N400 component, which remained similar for pseudowords regardless of repetition. We concluded that repeated exposure to “meaningless” pseudowords modulates brain activity related to the acquisition of an episodic memory trace, but not activity linked to semantic processing.

Most electrophysiological studies in this area have specifically focused on the semantic learning of new word-like stimuli by associating them arbitrarily with pictures or definitions or embedding them in meaningful contexts. The main finding of these studies is that previous presentation of meaningful stimuli might transfer semantic content to meaningless pseudowords, leading to reductions in N400 amplitude (Angwin, Phua, & Copland, 2014; Bakker et al., 2015; Balass, Nelson, & Perfetti, 2010; Batterink & Neville, 2011; Borovsky et al., 2010; Dobel et al., 2009; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007; Charles A. Perfetti et al., 2005). In this sense, the word-picture association paradigm imitates the associative processes that are at the basis of natural word meaning acquisition. For instance, Dobel et al. (2009) found that pseudowords repeatedly trained by association with pictures in an auditory priming task elicited reductions in the N400 amplitude. Also, in a recent ERP study (Angwin et al., 2014), new words were repeatedly associated with pictures of novel objects by means of visual presentations. In a subsequent picture-word judgment task, a reduced N400 effect was found after presentation of semantically trained words as compared

to words trained without additional semantic information, indicating a stronger semantic association after the training.

In sum, prior research indicates that enhanced memory traces for new word-like stimuli are achieved after visual repetition, as is reflected by modulations of the LPC component, along with efficient stimuli categorization and reading. This improvement is likely a requisite for reaching a lexical-semantic representation, since it allows for better recognition of and discrimination between repeated and non-repeated pseudowords. However, it might not be enough to activate the functional network that underlies the processing of known words (e.g., the N400 component remains unaffected after this repeated visual exposure), which likely requires the association of the stimulus with a meaning. Only after such an association would pseudowords start to entail a lexico-semantic processing.

The current study differs in some respects from the prior research discussed above. First, we focused here on changes in brain activity over the course of learning, and more specifically during repeated visual exposure to new word-like stimuli (pseudowords). In particular, as in our prior study (Bermúdez-Margaretto et al., 2015), we addressed tracing the on-line changes in N400 and LPC activity induced by visual repetition of pseudowords, rather than measuring the response of these components in a further, off-line test session. Second, we aimed to compare training by means of simple visual repetition with training involving a semantic-associative condition in

which the visual repetition of the pseudoword was preceded by a picture. This semantic priming implicitly provides a meaningful context in which to improve not only visual familiarity but also semantic processing of pseudowords. In the condition involving semantic priming, the pseudowords were referred to as *meaningful*, because of their training context. In contrast, in the condition of simple repetition where participants only received visual information about the pseudowords, they were referred to as *meaningless*, since no semantic association was provided during this training. Prior studies made no comparison between different types of training, and hence offered no chance of directly testing the changes in brain activity linked to semantic and non-semantic training.

Our hypothesis was that a progressive reduction in the amplitude of the N400 component would be observed for meaningful pseudowords repeatedly presented under the semantic priming condition. This N400 effect would indicate the semantic association and facilitation in the processing of these stimuli. Also, in keeping with our previous results, we expected to find a different N400 modulation in the simple visual condition, given that this condition does not involve semantic processing. Regarding the LPC component, it was expected that we would observe the same pattern of results that we had previously found, with meaningless pseudowords showing an increased positivity during their repetition under the simple visual condition.

To test these hypotheses, we used a multiple linear regression analysis of the EEG data to estimate ERP waveforms (Hauk, Davis, Ford, Pulvermüller, & Marslen-Wilson, 2006; Hauk, Pulvermüller, Ford, Marslen-Wilson, & Davis, 2009; Miozzo, Pulvermüller, & Hauk, 2015; N. J. Smith & Kutas, 2015). Unlike classical ERP averaging, this method allows us to include continuous variables in the design, such as the number of repetitions in the current study, and also leads to higher statistical sensitivity, as it considers the individual variability in data. Another advantage of this new approach is that it disentangles simultaneous modulations on ERP data by extracting independent estimates of relevant effects. Furthermore, since regression-based ERPs are linear transformations of EEG data, their neural generators can be directly extracted using source estimation algorithms (N. J. Smith & Kutas, 2015). For this purpose, the LAURA source estimation method was used to localize the points of maximal activation underlying the effects produced by pseudoword repetition in each type of training (de Peralta Menendez et al., 2001). Overall, the ERP regression and source localization methods carried out in the present study entail a certain methodological novelty over other studies focused on the formation of new orthographic representations, given that they provide information not only about the functional modulation of N400 and LPC, but also about the likely neural processes involved.

2. Method

2.1. Participants

Twenty-two students of Psychology (18 females; mean age of 22.09) from the University of Oviedo took part in the experiment for course credits. All were native Spanish speakers, had normal or corrected-to-normal vision and were right-handed according to Oldfield's Handedness Inventory (Oldfield, 1971), which revealed a quotient of 75.04. No neurological or psychiatric disorders were reported by participants.

2.2. Materials

Four hundred and forty-eight stimuli were included in a lexical decision task divided into six blocks. Sixty-four were experimental pseudowords, presented repeatedly (once in each block) from the first to the sixth block of the task. The remaining three hundred and eighty-four stimuli were filler words, each presented one time only in sets of sixty-four through the six blocks of the task. Therefore, each task block consisted of one hundred and twenty-eight stimuli (half experimental pseudowords and the other half filler words). The filler words served exclusively to construct the lexical decision task implemented in the study and were not included in the analyses.

In addition, half of the stimuli (both words and pseudowords) were associated with a meaning by means of a preceding picture, forming the group of primed stimuli presented under the semantic priming condition (meaningful training context). The other half of the words and pseudowords were preceded by a hash mark (#), and formed the group of non-primed stimuli presented under the simple visual condition (meaningless training context). All primes (two hundred and twenty-four pictures and two hundred and twenty-four hash marks) had similar aspect and dimensions (15 x 10 cm). Each task block included stimuli from the four conditions (primed and non-primed words or pseudowords), each containing thirty-two stimuli. Using the two training contexts – namely, visual repetition both with and without semantic association – allowed us to test the effect of orthographic and semantic exposure in comparison to simple orthographic exposure on the visual recognition of new stimuli. To avoid the influence of sublexical effects on the earliest ERP components, primed and non-primed pseudowords were matched on bigram frequency (token type), first syllable frequency (token type), number of orthographic neighbors, and length of letters and syllables by means of the BuscaPalabras database (C. Davis & Perea, 2005), as shown in Table 1.

Table 1. Matching means of each variable through the experimental conditions (primed and non-primed pseudowords)

	Bigram Frequency	1st Syllable Frequency	Orthographic Neighbors	Length of Letters	Length of Syllables
Primed Pseudowords	516.28	271.44	2.68	5.12	2.18
Non-Primed Pseudowords	515.32	306.66	1.31	5.56	2.45

2.3. Procedure

Participants were seated in a silent room, in front of a computer screen, in the Laboratory of Experimental Psychology at the Faculty of Psychology of the University of Oviedo. Firstly, an electrode cap was mounted on the participant's scalp for recording their cerebral activity during the lexical decision task. Then, they received verbal instructions about the task, being told to read silently each stimulus presented at the center of the screen and press the key "SI" (Yes) if a real word appeared, or the key "NO" if a non-real word (pseudoword) appeared. The correspondence between keys and hands was counterbalanced across participants: half pressed the key "SI" with their right hand and the other half did the same with their left hand. Before starting the experiment, participants once again read the task instructions on the computer screen and performed eight training trials (two trials per condition: primed and non-primed words and pseudowords). Both verbal and visual instructions advised participants to avoid blinks or other movements in order to prevent signal artifacts. In addition, it was suggested participants take a break after each task block in order to maintain their attention throughout the experiment.

Stimuli were displayed in black, 18-point, Courier New letters (words and pseudowords) or in black lines (primes) over a white background at the center of the computer screen, by means of the experimental software E-Prime 2.0 (Schneider et al., 2002). Pictures were selected from the Snodgrass and Vanderwart set of 260 pictures

(Snodgrass & Vanderwart, 1980). The sequence of stimuli presented in each trial was as follows: first, a fixation point was presented on the screen for 1000 ms. Then, the prime stimulus (a picture or a hash mark) was presented for 150 ms, followed by a blank screen which remained for 200 ms. Next, the target stimulus (an experimental pseudoword or a filler word) was displayed until the participant responded. Finally, another blank screen was presented for 500 ms after the participant response. The duration of each trial was around 2500 ms, depending on the reaction times of the participant. All trials were presented in a randomized manner within each task block. Behavioral (reaction times and errors) and electrophysiological data were recorded from each participant during the lexical decision task for further analyses.

2.4. EEG recording and pre-processing

An electrode cap with 62 Ag/AgCl actiCAP electrodes (Brain Products GmbH, Gilching) was mounted on the scalp of each participant according to the 10/20 system (Jasper, 1958) to record their electroencephalographic activity during the task. Two other actiCAP electrodes were placed on the mastoid bones. The FPz electrode was used as ground electrode and the Cz electrode was used as on-line reference. The EEG recording was later re-referenced off-line to the mean activity at the mastoids and the activity in the on-line reference (Cz) recovered. In order to monitor ocular activity and identify possible blinks and artifacts, two conventional electrodes were placed on the

supraorbital and infra-orbital canthus of the left eye. Given that the actiCAP electrodes possess active circuits and convert the impedance, enabling recording at high transition resistances, the inter-electrode impedance was kept below 25 k Ω . The EEG and EOG signals were amplified and digitized by an actiCHamp amplifier system at a 1000-Hz sampling rate. High and low pass filters at 0.1 and 100 Hz respectively, and a notch filter at 50 Hz, were applied. The BrainVision PyCorder 1.0.2 software controlled the amplifier system and recorded and stored the digitized EEG and EOG signals on a computer.

The pre-processing of the EEG data was implemented in MATLAB software (The Mathworks, Inc.). First, a visual inspection was carried out in order to exclude trials with amplitude values exceeding ± 100 μ V. Second, an independent component analysis (ICA) was applied to identify and correct ocular artifacts. Next, an artifact rejection was carried out to remove any remaining artifacts. The signal was then segmented from 600 ms before to 1000 ms after the target onset, and the baseline was corrected using the 250 ms preceding the prime onset. The mean activity of the mastoid electrodes was used to calculate the new reference, which was applied to the 62 scalp electrodes. A new sampling rate was established at 256 Hz. The ERP averaging of segments was obtained per subject and per condition and a low pass band filter at 30 Hz was applied. The extraction of these ERP segments was carried out exclusively to construct graphics and to run complementary analyses on traditional ERP components (see Figure 2). Main analyses were carried out taking the ERP estimation based on

multiple regression analysis. A more detailed description of this procedure is provided below (see section 2.6).

2.5. Analysis of behavioral data

Mean reaction times from each subject were submitted to repeated measures ANOVAs with the priming (primed and non-primed pseudowords) and the repetition (first vs. sixth block) as within-subject factors. In subsequent follow-up comparisons, the repetition effect was evaluated separately for pseudowords under both meaningful and meaningless training contexts. Trials with latencies exceeding ± 2 standard deviations or with incorrect responses were excluded from these analyses. Regarding the accuracy data, error analyses were excluded from this study after verifying that the total mean of errors committed by participants across the task conditions was very low (2.37 %).

2.6. Analysis of regression-based ERPs

EEG data segments were analyzed following a regression-based ERPs (rERPs for short) framework where, for each subject, activity at every data point (latency and electrode) is regressed to relevant predictors on a single-trial basis (Smith & Kutas, 2015). Within this framework, traditional ERPs, obtained by averaging all segments

corresponding to a particular condition, are reformulated as representing the least square solution to the simple equation $y_i = \beta + \text{noise}_i$, where y stands for raw EEG activity at i trial and β is the neural activity we are trying to estimate (that related to the stimulus). An important advantage of this approach is that it can be readily extended to estimate effects for a wide variety of designs, including those combining categorical and non-categorical variables. In this way, in the current study, we used rERPs to estimate in a single model the effects of Priming (categorical variable) and Repetition (continuous variable), as well as of the interaction between them. The resulting effect-related beta-coefficients (or rERPs) were then submitted to statistical analysis using the cluster-based random permutation approach implemented in Fieldtrip (Maris & Oostenveld, 2007; Oostenveld et al., 2010), which allowed us to identify when and where the effects represented by these rERPs reached significance. Below we detail the procedure followed to implement this regression-based analysis.

First, using the least square principle, we estimated the beta coefficients for the following multiple regression model:

$$y_i = \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + \text{noise}_i$$

where y_i stands for the amplitude value in trial i , x_i for the code of the predictors in the same trial, and β for the values (or beta-coefficients) to estimate. To define the

different predictors within this model, we followed a treatment-coding strategy (Smith (N. J. Smith & Kutas, 2015), where the first predictor or intercept, x_1 , was coded always as 1, serving thereby as reference for other predictors, which in turn represented different treatment options or effects. More specifically, these other predictors set the following ERP effects: predictor x_2 (coded as 0 or 1), which is the difference between primed and non-primed trials regardless of the block number (or repetition), that is, the global priming effect; predictor x_3 (coded in five steps of 0.2 each from 0 to 1), which is the repetition effect for the reference condition (e.g. primed trials); and predictor x_4 (resulting from multiplying x_2 and x_3), which is the difference between repetition effects for primed and non-primed trials (interaction effect). The model was applied for correct pseudowords, involving on average a total of 282 trials (73.43 %).

The resulting rERPs (or beta-coefficients) for the priming (predictor x_2) and the interaction effect (predictor x_4) were submitted to further statistical analysis using the cluster-based random permutation approach, which allowed us to identify where (electrodes) and when (time periods) there were reliable differences (Maris & Oostenveld, 2007; Oostenveld et al., 2010). More specifically, this approach was applied to identify, over all the 'priming' and 'interactive' segments (here, 441 time points x 60 channels = 24,660 sample points), those clusters in which the activity of these effect-related rERPs differed significantly from zero. As described elsewhere (Bermúdez-Margaretto et al., 2015), this cluster-based approach controls the error type I that comes about from the multiple comparisons in time and space. Note that to

correctly decompose the significant interaction effect, we needed to estimate rERPs corresponding to the repetition effect for both primed and non-primed stimuli. This means that the regression model had to be computed twice: once with primed pseudowords as reference, and another with non-primed pseudowords. This additional regression estimation allowed us to clarify the interaction by conducting additional contrasts on the identified cluster/s. In particular, once we had detected a significant interactive cluster, its time interval and representative electrodes were used to average separately the rERP representing the repetition effects (beta-coefficients for predictor x_3) for both primed and non-primed pseudowords. Three statistical contrasts were then conducted. The first two compared the respective repetition effects (for primed and non-primed pseudowords) against zero. This allowed us to determine whether the repetition effects were significant on that cluster, as well as the direction of the effect (either positive or negative amplitude increase). The third contrasted directly the two repetition effects, using a paired sample t-test in order to confirm the reliability and direction of the difference between the two repetition effects.

2.7. Neural source estimation

The rERPs obtained by regressing EEG data to predictors in a linear model represent a linear transformation of raw data, and hence can be directly submitted to

source localization methods (Hauk et al., 2009; N. J. Smith & Kutas, 2015). In the current study, brain sources of the repetition effect for both primed and non-primed pseudowords were estimated using the LAURA distributed source estimation method (de Peralta Menendez et al., 2001), implemented in Cartool software (Brunet et al., 2011). A realistic head model, including 4,011 nodes defined in regular distances within the gray matter of a standard MRI (Montreal Neurological Institute's average brain), was used to calculate the solution space. Values of current source density (ampere per square millimeter) were calculated at each node for the rERP representing the interaction effect at each time window/s showing significant result/s in the scalp level analysis. These values were also extracted for each repetition effect on primed and non-primed pseudowords in order to detect the direction of differences in neural source activation caused by the interactive effects. Therefore, the resulting magnitudes represent activity sources associated with interactive effects described in the rERP, caused by the different influence of the repetition effect on both meaningful and meaningless training contexts.

3. Results

3.1. Behavioral data

Figure 1 shows mean reaction times for primed and non-primed pseudowords repeated under the meaningful and meaningless training contexts. The analysis for

reaction times found a significant interaction between priming and repetition effects in analyses both by participants ($F(1,21)=25.1, p<0.001, \eta^2=0.54, 1-\beta=0.99$) and by items ($F(1,127)=79.9, p<0.001, \eta^2=0.39, 1-\beta=1$). Therefore, a different repetition effect emerged for pseudowords trained under semantic priming and simple visual conditions.

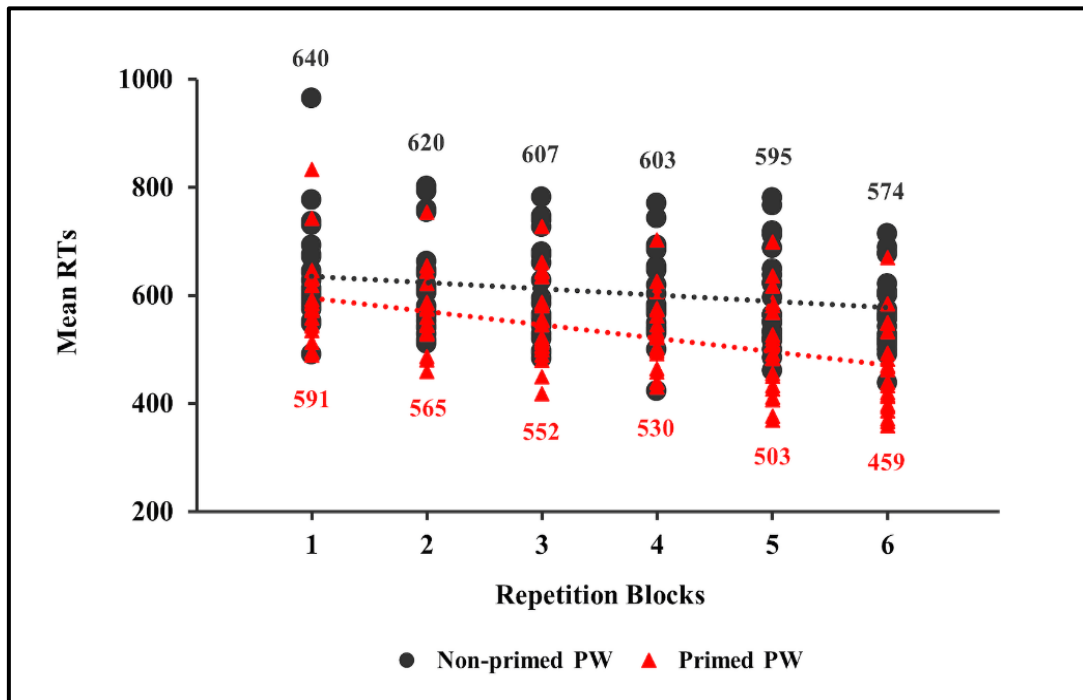


Figure 1. Scatterplots of reaction times obtained for pseudowords. Each marker indicates the mean reaction time obtained by each participant under the simple visual and the semantic priming condition through the six repetition blocks. Dotted lines indicate the linear trend followed by reaction times under each condition. Numbers at the top and bottom of the scatterplots show the mean reaction times obtained at each repetition block for pseudowords under the simple visual and the semantic priming condition, respectively.

Pseudoword repetition under the simple visual condition caused a significant reduction in reaction times across the task blocks ($F(1,21)=15.87, p<0.01, \eta^2=0.43, 1-$

$\beta=0.96$; $F2(1,127)=66.71$, $p<0.001$, $\eta^2=0.51$, $1-\beta=1$), from 640 ms in the first block to 574 ms in the sixth block. However, this reduction was greater when pseudowords were associated with a semantic prime ($F1(1,21)=49.78$, $p<0.001$, $\eta^2=0.7$, $1-\beta=1$; $F2(1,127)=562.56$, $p<0.001$, $\eta^2=0.9$, $1-\beta=1$), from 591 ms in the first block to 459 ms in the last one. As a consequence, significant differences between primed and non-primed pseudowords increased from the first block (mean of 48 ms; $F1(1,21)=23.21$, $p<0.001$, $\eta^2=0.52$, $1-\beta=0.99$; $F2(1,127)=37.36$, $p<0.001$, $\eta^2=0.37$, $1-\beta=1$) to the sixth (mean of 115 ms; $F1(1,21)=102.5$, $p<0.001$, $\eta^2=0.83$, $1-\beta=1$; $F2(1,127)=325.86$, $p<0.001$, $\eta^2=0.84$, $1-\beta=1$), causing the interaction. Therefore, pseudoword repetition in the meaningful context of semantic priming produced a greater reduction in response times across blocks than in the meaningless context of simple repetition.

3.2. Regression-based ERPs (rERPs)

In Figure 2, grand averaged ERP waveforms for pseudowords under both semantic priming and non-priming conditions at the first and sixth repetition blocks are displayed on representative electrodes for N400-like and LPC-like components. Two amplitude changes across blocks are readily observed. First, at around 400 ms post-stimulus onset, there seem to be reductions in N400 amplitude for meaningful pseudowords under the semantic priming condition, with apparently smaller decreases in magnitude for non-primed pseudowords. In contrast, at a later time

interval (around 600 ms), increased LPC amplitude is observed only for pseudowords under the meaningless training condition involving no priming.

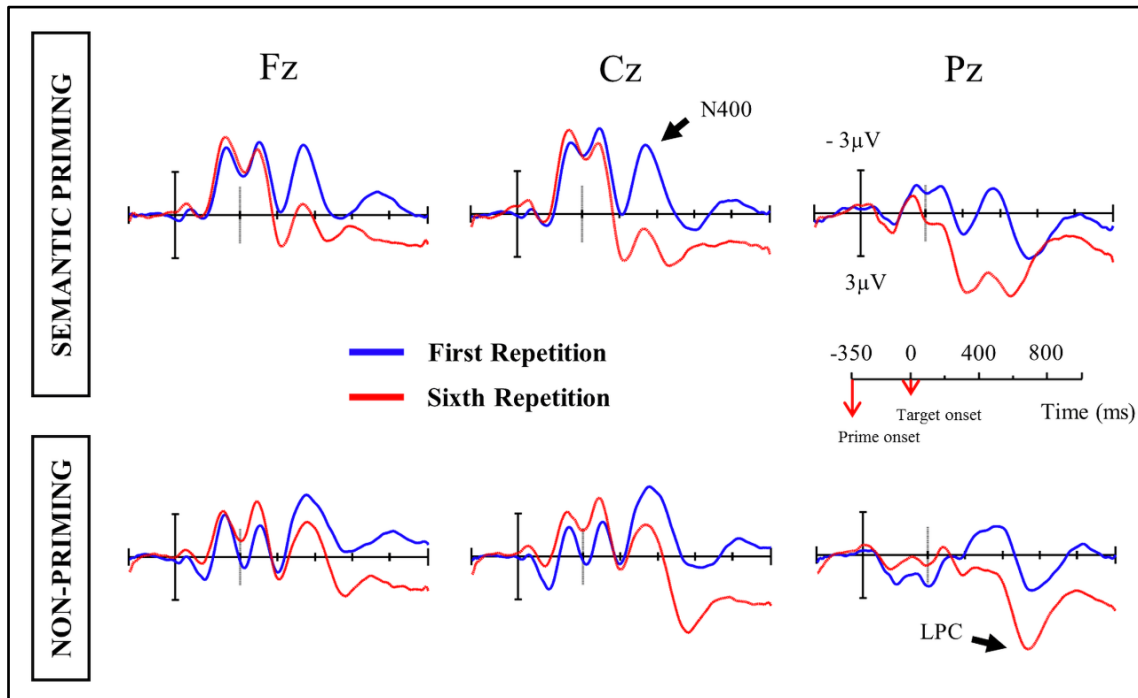


Figure 2. Grand averaged ERP waveforms for pseudowords at midline scalp sites (Fz, Cz and Pz electrodes). A different modulation of the ERP waveforms can be seen for primed and non-primed pseudowords across repetition blocks. For pseudowords under the semantic priming condition, an amplitude decrease around 400 ms can be noted, whereas for pseudowords under the non-priming condition, an amplitude increase is observed around 600 ms; these correspond to the N400 and LPC components, respectively (black bold arrows).

As described above, in order to statistically analyze the full design, we computed regression-based ERPs instead of classical averaged ERPs. Figure 3 represents the root mean square waveforms (RMS) for regression-based ERPs elicited

by the three effects included in the multiple linear regression model for pseudowords (see section 2.6). The RMS was calculated to examine the latency in which effect-related rERPs were strong globally (across the whole scalp). In line with Figure 2, the RMS for interaction-related rERPs suggests that repetition and type of training interacted in time windows coinciding with N400 and LPC components. To test the reliability of the interactions, the rERPs were submitted to statistical analysis using the cluster-based random permutation approach implemented in Fieldtrip (for details see section 2.6).

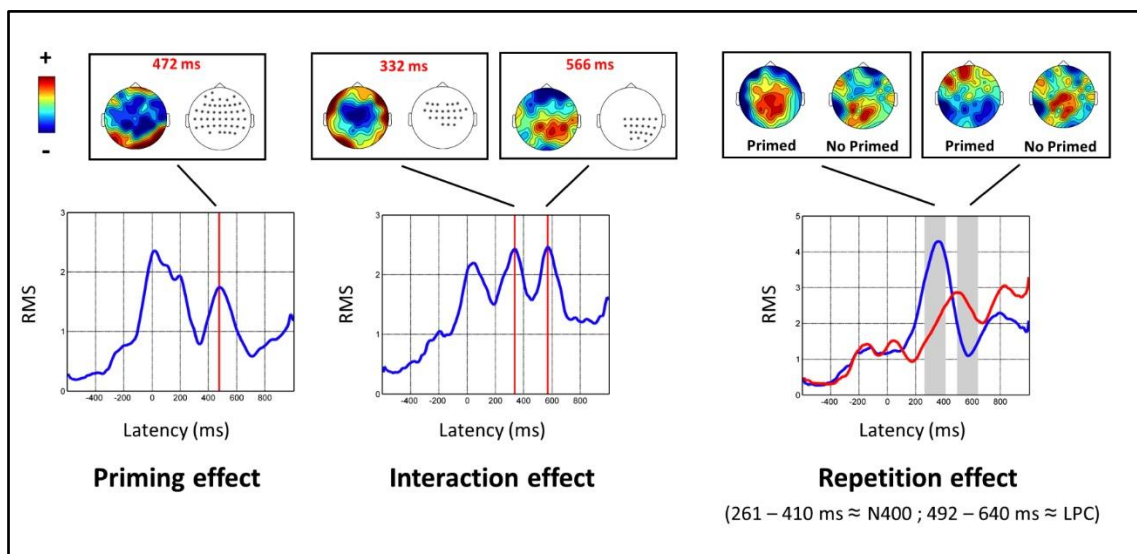


Figure 3. Root mean square (RMS) waveforms of regression-based ERPs for pseudowords. The effects included in the multiple linear regression model – namely, priming, repetition, and the interaction between the two – are plotted separately. The latency where maximal effects were found is indicated by numbers and lines in red. Topographical maps and electrode masks show the distribution of the maximal activation for each effect. The interactive effect found on each time window is decomposed, showing the effect of repetition on both primed and non-primed pseudowords.

Statistical analysis on rERPs representing the priming effect (beta-coefficients for predictor x_2) identified a significant cluster at fronto-central sites, which extended from 394 to 546 ms ($p < 0.05$). This cluster effect was reflecting that, regardless of repetition, primed pseudowords under the meaningful, semantic priming condition showed globally less negative amplitude than non-primed pseudowords under the meaningless, simple visual condition. The analysis for interaction-related rERPs (beta-coefficients for predictor x_4) revealed different effects of repetition for primed and non-primed pseudowords. In particular, it identified two temporo-spatial clusters of effects: one emerging between 261 and 410 ms from target stimulus onset and showing a fronto-central distribution ($p < 0.05$), and another covering a later time period, from 492 to 640 ms, and with a different topography, mostly on left temporo-parietal sites ($p < 0.05$). The latency and scalp distribution of the two clusters suggest that the interaction between repetition and priming modulated instances of both the N400 and LPC components. To better clarify the meaning of these interactions, follow-up comparisons were conducted separately for each cluster (see section 2.6).

For the earlier, N400-like cluster (261–410 ms time window), the effect of repetition was found to be significant for both primed ($t(21)=4.5$, $p < 0.001$) and non-primed pseudowords ($t(21)=3.33$, $p < 0.005$), but greater for primed (mean of 4.57 μV) than for non-primed pseudowords (mean of 1.56 μV ; $t(21)=2.91$, $p < 0.01$). Thus, for the N400-like cluster, stimulus repetition increased positive amplitudes globally, but with stronger increases for primed pseudowords under the meaningful training context. In

contrast, for the latter, LPC-like cluster, only non-primed pseudowords under the meaningless, simple visual condition showed a significant effect of repetition, with more positive amplitudes after repetition ($t(21)=3.27$, $p<0.005$). In addition, the repetition effect for non-primed pseudowords ($2.84 \mu\text{V}$) differed significantly from that for primed pseudowords ($-0.32 \mu\text{V}$; $t(21)=-4.05$, $p<0.005$). These results seem to indicate that repetition modulates differently the brain activity associated with meaningful and meaningless stimulus processing, with an enhanced N400-like amplitude reduction for pseudowords under the meaningful priming condition, and enhanced LPC-like amplitude for pseudowords under the meaningless condition of simple visual repetition.

This pattern of results for both N400-like and LPC-like components was confirmed by traditional ERP analyses using the averaged activity at electrodes where interactive clusters reached significance, namely, at the corresponding 261–410 ms and 492–640 ms time windows. The aim of these complementary analyses was to verify whether the effects detected by taking the repetition as a continuous variable, in the context of regression analyses, can be also found considering this variable as categorical. Repeated measures ANOVAS with priming (primed vs. non-primed pseudowords) and block (first vs. sixth block) as within-subject factors found the interaction to be significant for both N400-like ($F(1,21)=5.69$, $p<0.05$, $\eta^2=0.21$, $1-\beta=0.62$) and LPC-like components ($F(1,21)=16.10$, $p<0.01$, $\eta^2=0.43$, $1-\beta=0.96$). For the N400-like component, no differences between the two types of primed and non-

primed pseudowords were found at the first block ($F(1,21)=0.026$, $p>0.05$, $\eta^2=0.01$, $1-\beta=0.05$). However, differences appeared at the sixth block of the task ($F(1,21)=7.9$, $p<0.05$, $\eta^2=0.27$, $1-\beta=0.76$) as a consequence of the greater activity reduction for primed ($F(1,21)=18.59$, $p<0.001$, $\eta^2=0.47$, $1-\beta=0.98$) than for non-primed pseudowords ($F(1,21)=12.38$, $p<0.01$, $\eta^2=0.37$, $1-\beta=0.91$) after repetition. Regarding the LPC-like component, the increase in the differences between the two types of stimuli from the first ($F(1,21)=1.79$, $p>0.05$, $\eta^2=0.07$, $1-\beta=0.24$) to the sixth block of the task ($F(1,21)=5.20$, $p<0.05$, $\eta^2=0.19$, $1-\beta=0.58$) was produced by the opposite effect. In this case, repetition caused an increase in positivity for non-primed pseudowords ($F(1,21)=12.23$, $p<0.01$, $\eta^2=0.36$, $1-\beta=0.91$), whereas the activity related to primed pseudowords was not affected by repetition ($F(1,21)=0.056$, $p>0.05$, $\eta^2=0.003$, $1-\beta=0.05$).

3.3. Brain source analysis

Points of maximal current source density for the interaction effect at the N400-like component (time window 261–410 ms) were found at the left Middle Temporal Gyrus (leMTG, maximum at $x=-56.85$, $y=-23.33$, $z=-7.35$, using the coordinate system of Talairach and Tournoux, 1988, corresponding to BA 21), left Precentral Gyrus (lePG, maximum at $x=-50.16$, $y=-0.94$, $z=46.72$, BA 6) and left Lingual Gyrus (leLG, $x=-16.72$, $y=-75.69$, $z=-4.73$, BA 18). In these neural sources, primed pseudowords showed a

greater activation than non-primed pseudowords as a consequence of repetition, with the maximal activation differences found at the temporal region (see Figure 4). Another point of maximal current source density was found at the left Inferior Frontal Gyrus (leIFG, $x=-43.47$, $y=48.94$, $z=-5.29$, BA 10) showing the opposite pattern of activation: non-primed pseudowords exhibited greater activity than primed pseudowords after repetition.

For the LPC-like cluster (time window 492–640 ms), points of maximal current source density were found at the right Precentral Gyrus (rPG, $x=16.72$, $y=25.55$, $z=51.62$, BA 6) and at the right Middle Temporal Gyrus (rMTG, $x=56.85$, $y=-3.69$, $z=-8.33$, BA 21), with repetition producing greater activation for primed than for non-primed pseudowords. Two more regions were identified with points of maximal current source density: the left Precentral Gyrus (lePG, $x=-16.72$, $y=-0.32$, $z=59.14$, BA 6) and the left Lingual Gyrus (leLG, $x=-10.03$, $y=-75.41$, $z=0.93$, BA 18), both showing greater activation for non-primed pseudowords in comparison to primed pseudowords under the semantic priming condition. These two areas were previously activated for primed pseudowords at the N400 time window, suggesting that these regions are affected by the repetition of both types of stimuli, albeit in different latencies (see Figure 4).

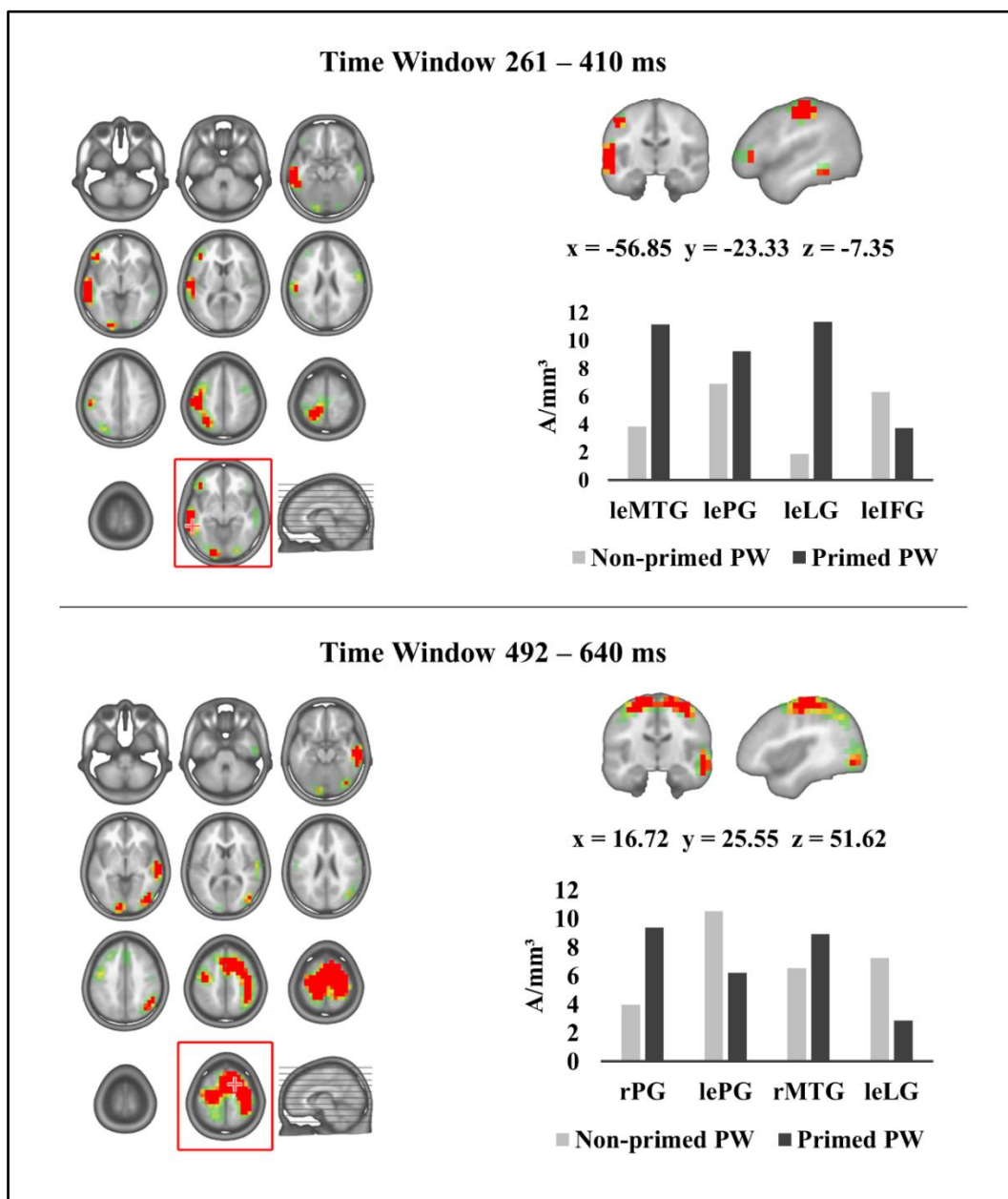


Figure 4. Estimation of the neural generators of the interaction effects found for pseudowords. For the early time window (at the left), the activation for the primed pseudowords across repetitions was found to be the greatest at the left Middle Temporal Gyrus (leMTG), left Precentral Gyrus (lePG), and left Lingual Gyrus (leLG). Non-primed pseudowords showed greater activation through repetition at the left Inferior Frontal Gyrus (leIFG). For the late time window (at the right), primed pseudowords showed the greatest activation across repetitions at the right Precentral Gyrus (rPG) and right Middle Temporal Gyrus (rMTG), while the maximal activation for the non-primed pseudowords was observed at the left Precentral Gyrus (lePG) and left Lingual Gyrus (leLG). Coordinates of maximal source activation for each time window (red crosses displayed within each red frame) correspond to the leMTG and rPG, respectively.

4. Discussion

In the present regression-based ERP study, the repetition effect of word-like stimuli (pseudowords) was tested under two different training conditions: in a semantic *meaningful* condition, in which pseudowords were preceded by a picture referring to a known concept, and in a simple visual *meaningless* context, in which pseudowords were preceded by a hash mark without meaning. The aim was to compare the impact of “meaningful” and “meaningless” repetition of pseudowords on two factors thought to be involved in the rapid access and recognition of words: stimulus familiarity and semantic association. For that purpose, and in line with prior research (Angwin et al., 2014; Bermúdez-Margaretto et al., 2015), we hypothesized that the ERP component N400, consistently linked to semantic memory processing, would be modulated differently by each training context, resulting in a priming effect after repetition in the form of smaller negative amplitudes for *meaningful* than for *meaningless* trained pseudowords. In contrast, the LPC component, typically linked to episodic memory and recollection, was expected to show enhanced amplitudes after pseudoword repetition, regardless of the type of training context. Overall, the results confirmed our hypotheses, though with some additional considerations regarding modulation of LPC activity. In what follows, the N400 and LPC findings are discussed and their relationship with behavioral data and likely brain sources considered.

Pseudoword repetition and N400-like activity

Amplitude reductions in an N400-like component were observed after pseudoword repetition in the semantic priming condition. Similar reductions were also observed following the repetition of meaningless pseudowords presented in the simple visual condition. Nonetheless, this latter repetition effect was significantly lower than that obtained for meaningful pseudowords and could be considered an additive effect similar to those found in comparable lexical repetition studies (Batterink & Neville, 2011; Besson, Kutas, & Van Petten, 1992; C. Petten et al., 1991). Furthermore, as was revealed by complementary ERP analyses in this temporal-spatial cluster, while there were no differences between primed and non-primed pseudowords in the first presentation (block 1), they did differ from each other after the full cycle of repetitions was completed (block 6), with primed pseudowords showing more positive amplitudes than non-primed pseudowords. This suggests a possible facilitation in the semantic processing of pseudowords associated with meaningful stimuli, which is consistent with findings of similar N400 reductions when new words are associated with pictures or definitions, or embedded in sentences with a constrained semantic context (Balass et al., 2010; Batterink & Neville, 2011; Borovsky et al., 2010; Dobel et al., 2009; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007). In this sense, the N400-like modulation found in this study could be interpreted in terms of a semantic association arising between the concept given by the prime and the new orthographic label related to that concept over the course of the repetitions. This

association would enhance the visual recognition and posterior categorization of these stimuli, whose response could be predicted more quickly from the previous presentation of the picture-prime. Behavioral data support this idea, given that reductions in reaction times were found to be greater for pseudowords repeated under the semantic priming condition than for pseudowords repeated but not associated with a concept. Indeed, the difference in response times between the two types of repeated pseudowords increased from the first repetition to the sixth due to the greater facilitation exhibited by primed pseudowords. Therefore, the visual recognition and categorization of these stimuli improved as a consequence of the semantic association provided over the course of the repetitions.

The interpretation in associative terms for the N400 modulation is also supported by findings at the neural source estimation. During this time window, the main difference between the repetition effect for both primed and non-primed pseudowords was reflected in the activation at the left Middle Temporal Gyrus. This area has been related to associative processes between stimuli, since it is typically found to be activated in lexical-semantic retrieval tasks where a word is activated from the previous associated concept (Indefrey & Levelt, 2000). In this sense, the greater activation found in this area for meaningful pseudowords compared to meaningless pseudowords is likely a consequence of their repeated association with a known concept. Additionally, meaningful pseudowords also exhibited greater activations at the left Lingual and Precentral Gyri, related to visual processing (Grill-Spector, Kourtzi,

& Kanwisher, 2001; Mechelli et al., 2000) and action selection and planning (Richard Ridderinkhof, Forstmann, Wylie, Burle, & van den Wildenberg, 2011), respectively. These patterns of activation could be related to enhanced recognition of visual information after stimulus repetition, which provides the appropriate motor response for the final lexical decision. Therefore, greater activations in areas typically related to linguistic processes point to a more associative and automatized processing after repeated semantic priming of pseudowords, in consonance with behavioral and scalp data. The more controlled and demanding processing of meaningless pseudowords is reflected in the greater activation at the left Inferior Frontal Gyrus, related to control and monitoring responses and particularly to the evaluation of self-generated information in demanding tasks (Christoff & Gabrieli, 2000; Ramnani & Owen, 2004). Given that these pseudowords were not preceded by a specific stimulus, their recognition could not be unequivocally predicted by the prime, resulting in a slower processing caused by the greater monitoring required as compared to the primed pseudowords.

Pseudoword repetition and LPC-like activity

The opposite pattern of results was found in a later time window. In this case, the repetition of meaningless pseudowords presented under the simple visual condition caused an increase in the LPC-like activity, whereas no repetition effect was

found for meaningful pseudowords presented under the semantic priming condition. Results from complementary ERP analyses were consistent with this pattern: whereas there were no differences between primed and non-primed pseudowords at the first presentation (block 1), these differences appeared after six repeated presentations, in the last block of trials. This enhancement observed in the LPC amplitude could be related to the construction and strengthening of episodic memory traces for repeated stimuli, facilitating their recognition and decision processes, as other authors have already pointed out (Batterink & Neville, 2011; Bermúdez-Margaretto et al., 2015; Van Strien et al., 2005). In fact, the enhanced recognition of pseudowords under the simple visual condition was reflected in this study by progressive reductions in reaction times observed across repetitions.

Enhanced LPC activity has been observed following repetition of pseudowords embedded in semantic, meaningful contexts (Bakker et al., 2015; Balass et al., 2010; Batterink & Neville, 2011; Charles A. Perfetti et al., 2005). The difference between those findings and the results observed in the present study, where no LPC effect emerged for meaningful pseudowords, could be due to the amount of semantic demand involved in the respective tasks. In this sense, LPC enhancements are usually found in tasks where an explicit semantic judgment about trained stimuli is always required, as in comprehensive reading tasks and semantic decision tasks. Even though the present lexical decision task can reflect an implicit semantic processing, as is indicated by the priming effect found in the N400 component, the lexical

categorization carried out for pseudowords does not involve the elaboration of an explicit semantic judgment about the stimuli. Therefore, the lack of an explicit semantic processing in this task, along with the association between picture-primers and pseudowords, seem to reduce the burden at retrieval and recognition processes thought to underlie LPC activity.

However, neural source data could be pointing to the occurrence of these processes at an earlier stage of processing. In this sense, the left Lingual and Precentral areas related to visual recognition and categorization were strongly activated by repetition of meaningless pseudowords at the LPC stage, whereas repetition of meaningful pseudowords activated these same areas at the earlier, N400 time window. Taken cautiously, these results would seem to indicate that retrieval and recognition processes of the visual trace could be common – albeit in a different latency – for pseudowords repeated under both meaningful and meaningless contexts, and serve to categorize the stimuli. The delay in the activation of these processes for meaningless pseudowords is likely caused by the lack of an associative process which facilitates their faster recognition and categorization. As a consequence, their processing is more focused on the retrieval of the previously presented information in order to categorize them, as is reflected by their greater LPC enhancement.

In line with the aforementioned differences between the present study and others, it is worth noting that the cognitive demands involved in the task, and

therefore the effects reflecting these demands, could be different depending on the task requirements. Regarding the present lexical decision task, the categorization of the primed and non-primed pseudowords was carried out in terms of their lexicality and not depending on the associated meaning, which would entail an implicit evaluation of the acquired semantic association. This characteristic differentiates this task from others cited above, in which the categorization of the stimuli is explicitly based on their semantic properties. In addition, the judgment about the lexicality of the new stimuli makes it more difficult to deal with these stimuli as real words and is probably not present during the natural learning of new words. Taking into account these characteristics, to address the suitability of learning new words in meaningful and meaningless conditions, it would be interesting to test the effects found under this same paradigm but in a different task context, where lexical categorization is not explicitly required. Such a task comparison would allow us to determine which effects are due to the explicit requirements of the task and which effects are a direct consequence of the orthographic and semantic manipulations carried out during the task.

5. Conclusions

The multiple linear regression applied here, along with the neural source estimation, have allowed us to determine the different effects of episodic, meaningless

repetition as compared to associative, meaningful repetition in the visual recognition of new word-like stimuli. The two types of pseudoword repetition were found to have a different influence on two factors involved in the acquisition and enhancement of the visual recognition of these stimuli. On the one hand, simple visual repetition leads to an improvement in the visual familiarity of pseudowords that involves an explicit process of episodic retrieval for these stimuli, as is reflected by the LPC-like modulation. On the other hand, visual repetition accompanied by semantic priming contributes to a semantic association between pictures and orthographic labels that elicits implicit associative processes, as is suggested by the N400-like modulation. Overall, a general advantage is found in the processing of pseudowords under the meaningful training context, as could be observed in the larger decrease in reaction times and in the N400 amplitude, along with the activation of different neural generators related to the enhancement of the visual and semantic processing of these stimuli throughout the task. The multiple linear regression analyses applied to the EEG data confirm the usefulness of this approach in disentangling the effects of different but inter-correlated variables in brain response such as those manipulated in this study. However, the extent to which some of these effects could have been influenced by the use of a lexical decision task is not yet clear. Given that participants had to categorize the trained pseudowords as non-real stimuli, these lexical decisions could be influencing the training and causing uncertain effects. To clarify this question, new studies are needed in which the effects of the visual and semantic training of

pseudowords are tested in tasks not involving decision making about the lexicality of the stimuli.

Study 3

Meaningless and meaningful training of new words on different task contexts

1. Introduction

Lexical reading is characterized as direct visual recognition of words with high rates of accuracy and speed. It has been claimed that this fluent reading is acquired by means of repeated visual exposure to words (Dumay & Gaskell, 2007; Maloney et al., 2009; David L. Share, 1995). Specifically, the self-teaching hypothesis (David L. Share, 1995) has proposed that successive use of grapheme-to-phoneme correspondence during first encounters with novel words enables readers to establish specific orthographic representations for those words. Therefore, the repeated visual exposure to words seems to be essential for fluent reading, as it allows the progression from serial letter-by-letter word processing to a more efficient reading strategy lead by direct access to word forms (Ellis et al., 2009; Weekes, 1997).

Despite this assumption, lexical reading should depend not only on the acquisition of orthographic knowledge about words but also on the development of some other processing levels – such as the phonological and semantic levels – which leads to more interactive reading, and consequently is more proficient and fluent. In this sense, it has been stated that word knowledge is critical for reading, given that the more information acquired about words, the more skilled the reading (Charles A

Perfetti & Hart, 2002). Therefore, training new words at different levels of processing could allow the complete integration of these stimuli at lexical and semantic levels. The present study compares the effect of the simple visual exposure to new words to a deeper training strategy in which not only visual but also semantic information about new words is provided.

The processes of new word learning may be simulated by training readers to recognize new word-like stimuli, as for example pseudowords. Pseudowords can only be read through letter-by-letter decoding and their orthographic and semantic properties are unknown for readers. These characteristics make the reading of these stimuli resemble the reading of unknown real words. An appropriate index of pseudoword learning could be the modulation of the lexicality effect. This effect reflects the differences between the cognitive processing of familiar words that have well-established lexical representations, and non-lexical stimuli like pseudowords or unfamiliar real words (Forster & Chambers, 1973; Glushko, 1979). Accordingly, tracking changes in the lexicality effect through repeated exposure to pseudowords could provide valuable information about the lexicalization of these stimuli, given that the decrease or absence of this effect would reflect the achievement of a similar processing between trained stimuli and familiar words.

Most word learning studies using ERP methodology have been particularly focused on modulations over the N400 component, a negative peak elicited around

200-500 ms post stimulus onset and with a centro-parietal distribution on the scalp. The N400 component has been traditionally related to semantic processing of words and is also considered to be a marker of the lexical status of the stimuli (Shlomo Bentin, 1987; Marta Kutas & Federmeier, 2011; Marta Kutas & Hillyard, 1989; C. V. Petten, 1993). Several studies have found more negative N400 amplitudes for incongruent or meaningless stimuli, as pseudowords, than for congruent or meaningful stimuli, as words, using different task modalities such as lexical decision (Wang & Yuan, 2008), semantic categorization (Ziegler et al., 1997) or semantic decision (S. Bentin et al., 1999). These results reflect the differences in lexico-semantic access for both types of stimuli and point to the N400 component as a neural correlate of the lexicality effect. Regarding the studies about new word learning, reductions in the N400 amplitude have been found after the association of new stimuli (pseudowords or very rare or infrequent words) to pictures (Angwin et al., 2014; Dobel et al., 2009), to definitions (Bakker et al., 2015; Charles A. Perfetti et al., 2005), or after embedding them in meaningful sentence contexts (Batterink & Neville, 2011; Borovsky et al., 2010; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007). These findings are thought to reflect the meaning acquisition of new stimuli as a consequence of their semantic training. Indeed, the absence of the lexicality effect on the N400 after semantic training of new stimuli clearly evidences the achievement of the lexico-semantic status of these stimuli, as reported by Bakker et al., (2015), Batterink & Neville (2011) and Mestres-Missé et al. (2007).

There is another ERP component, the Late Positive Component (LPC) which usually emerges following the N400, around 500-700 ms post stimulus onset and with centro-posterior scalp topography. This component has been less studied in relation to new word learning than the N400 component since it involves episodic rather than lexico-semantic processes. Specifically, the enhancement of the LPC amplitude has been related to recollection and episodic retrieval processes of previously presented stimuli (Michael D. Rugg & Curran, 2007). Some of the cited studies about new word learning have also found the increase of the LPC amplitude after training new stimuli under meaningful contexts besides the N400 effect (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Charles A. Perfetti et al., 2005). In these studies, the LPC effect is taken as an index of the encoding and recollection process engaged during the establishment of new memory traces for meaningful trained stimuli. Moreover, in a recent study we found that simple visual repetition of pseudowords during a lexical decision task affected the LPC amplitude until the lexicality effect was eliminated on this component, while the amplitude of the N400 remained unaffected (Bermúdez-Margaretto et al., 2015). These results reflect the fact that visual repetition allows the creation of episodic memory traces for new stimuli, although this meaningless exposure does not modify their lexico-semantic status.

Therefore, two main conclusions can be highlighted from the previous research about new word learning. On the one hand, simple visual repetition of pseudowords allows the formation and enhancement of new episodic memory traces, which leads to

better recognition and categorization of these stimuli, as is reflected by the LPC effect found in our previous study (Bermúdez-Margaretto et al., 2015). However, this strategy seems not to be enough to achieve the complete lexicalization of these stimuli, as the N400 component remains unaffected after visual training. On the other hand, the visual repetition of new stimuli under meaningful contexts allows a deeper integration of these stimuli into the processing system of readers, as is indicated by the modulations not only of the episodic LPC component but also – and more importantly – on the lexico-semantic N400 component. However, none of the studies about new word learning have demonstrated the benefits of both visual and semantic training in comparison to the simple visual training of new stimuli. This is precisely the main objective of the present study.

Thus, our main purpose was to explore whether brain activity differences between words and pseudowords could be reduced as a consequence of repeated exposure to pseudowords, taking the decrease of the lexicality effect on N400 and LPC components as evidence of equivalent cognitive processing. Specifically, we aimed to compare on-line modulations of the lexicality effect during the course of two different training conditions. In one training condition, pseudoword training was carried out at both visual and semantic levels by mean of the repeated visual presentation of these stimuli in association with pictures. This *meaningful training condition* was intended to allow not only the improvement of the visual recognition of the new stimuli but also the establishment of semantic associations between the orthographic features and

picture meanings. In the other, participants were repeatedly exposed to pseudowords, but in this case no semantic information was provided about the stimuli. The aim of this *meaningless training condition* was to improve just the visual knowledge about the stimuli, acting as a baseline to determine the advantage of the concurrent visual and semantic training carried out during the *meaningful training condition*.

Regarding our hypothesis, it was expected that we would find a progressive reduction in the amplitude of the N400 component during repeated visual exposure to pseudowords under the meaningful training condition, which would be taken as an index of semantic association and facilitation in the lexico-semantic access of these stimuli. Therefore, a decrease in the lexicality effect should be found on the N400 component as a consequence of this semantic effect in line with other previously reported findings (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Dobel et al., 2009; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007; Charles A. Perfetti et al., 2005). Additionally, an increase of the LPC amplitude was also hypothesized during the visual and semantic training of pseudowords, as other new word learning studies have already reported (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Charles A. Perfetti et al., 2005). This result would indicate the formation and enhancement of memory traces for the pseudowords as a consequence of repetitions, which would allow the better recognition for these stimuli and consequently the reduction of the differences between them and real words. However, it was expected that the simple visual repetition of pseudowords would only cause modulation of the LPC component with

no effect on the N400 component, in line with our previous results about meaningless repetition of pseudowords (Bermúdez-Margaretto et al., 2015).

A critical point about visual recognition of new words concerns the context in which their training is carried out. In this sense, several studies have shown that the effects on ERP signals are modulated by dependent-task variables (Shlomo Bentin, Kutas, & Hillyard, 1993; Shlomo Bentin & McCarthy, 1994; Chwilla, Brown, & Hagoort, 1995; Martha Kutas & Van Petten, 1988; Marí-Beffa, Valdés, Cullen, Catena, & Houghton, 2005; Roehm, Bornkessel-Schlesewsky, Rösler, & Schlesewsky, 2007). For instance, Shlomo Bentin et al. (1993) reported that the N400 semantic priming effect, characterized as the reduction of the N400 negativity when a word is preceded by a semantically related stimulus, was higher under a memorize task than under an account task. In the memorize task, participants were required to carefully attend to words in order to further recognize them, whereas in the account task participants were just asked to count nonwords interspersed in the list of words. Therefore, less attention to semantic characteristics of words was required to carry out this account task in comparison to the memorize task. These findings indicate that depth of cognitive processing during visual word recognition varies depending on the task-related strategies and on the amount of explicit attention to the stimuli's characteristics required in order to perform the task.

Thus, a second aim of this study was to determine whether the type of task where the new word training is carried out affects the lexicalization of these stimuli. To address this question, we compared brain activity changes that occurred during the two training conditions described above (namely, the repeated exposure to pseudowords during the *meaningful* and the *meaningless* training conditions) in two separate task contexts with different attention demands to lexical characteristics of trained stimuli. On the one hand, we implemented a lexical decision task as a context for both types of trainings where readers were asked to determine whether the stimulus was or was not a known word. This task involved the explicit evaluation of lexical characteristics of the stimuli in order to categorize them, among other post-access processes such as those related to decision making or response execution. Therefore it can be assumed that access to lexical memory was required during this task (Rubenstein, Garfield, & Millikan, 1970). On the other hand, we carried out the repetition of pseudowords under both meaningful and meaningless training conditions with a simple silent reading task. In this case, the lexical properties of the stimuli would be implicitly evaluated by participants, since neither lexical categorization nor explicit decisions about the stimuli were involved during the reading task. In addition, it is possible that lexical access to stimuli was not needed during this reading task, in contrast to the lexical decision task. Spanish shows a completely transparent reading system with a high consistency between orthography and phonology mapping and therefore reading can be performed just by using grapheme-to-phoneme

correspondence (Seymour, Aro, & Erskine, 2003). Regardless, it was considered that this reading task would provide a more natural context of learning which would facilitate the acquisition of lexical-semantic features of new stimuli given that no lexical categorization or explicit decisions were involved. In this sense, it was hypothesized that the repeated exposure to pseudowords under both meaningful and meaningless training conditions would cause a higher reduction of the lexicality effect at the N400 and LPC components when these training conditions were carried out in the reading task than in the lexical decision task.

Changes produced in the amplitude differences between words and pseudowords as a consequence of training carried out at both lexical decision and reading tasks were evaluated by means of a cluster-based random permutation method (Maris & Oostenveld, 2007). This procedure allowed us to determine when (time period) and where (electrodes), over the whole ERP segment of each task, the lexicality effect varied as a result of the meaningless and meaningful training of pseudowords. Additionally, the underlying neural sources responsible for the effects found at the scalp level were also examined by means of the local auto-regressive average (LAURA) source estimation method (Koenig et al., 2008). Particularly, we were focused on finding the brain areas responsible for the highest reduction of the lexicality effect after pseudoword training. It is worth noting that brain electrical changes, and consequently the estimation of the brain neural sources, were evaluated on-line during the course of both tasks. This strategy contrasts to that carried out by

the majority of previous studies where the effects were measured on further, off-line tasks.

2. Materials and methods

2.1. Participants

Two groups of undergraduate psychology students from the University of Oviedo took part in the experiments for course credits. A group of twenty-two participants performed the lexical decision task (18 females; mean age of 22.09) whereas the reading task was carried out by a different group of twenty-five participants (23 females; mean age of 21.48). All of them were native Spanish speakers, had normal or correct-to-normal vision and were right-handers according to the Oldfield's Handedness Inventory (Oldfield, 1971), which revealed an average score of 75.04 for the lexical decision task group and an average of 70.37 for the reading task group. No psychiatric or neurological disorder was disclosed by any participant.

2.2. Materials

Both lexical decision and reading tasks were divided into six blocks and the same set of four hundred and forty-eight stimuli was used for each task. Sixty-four of these stimuli were pseudowords, repeatedly presented from the first to the sixth block

of the tasks. Another sixty-four stimuli were real words, one half of them presented in the first block and the other half in the sixth block of the tasks. Therefore, these stimuli were not repeated during the tasks and were only presented in the experimental blocks, namely the first and sixth blocks, in order to evaluate the lexicality effect at the beginning and at the end of the tasks. The remaining three hundred and twenty stimuli were filler words presented in sets of sixty-two stimuli from the second to the fifth block of the tasks. In sum, both tasks were composed of six blocks, each of them containing one hundred and twenty-eight stimuli, half of them pseudowords and the other half real words.

Additionally, half of the stimuli (both words and pseudowords) of each task were repeatedly associated with a known meaning by means of the previous presentation of a picture, forming the group of primed stimuli presented during the meaningful training condition. The other half of the stimuli were preceded by the presentation of a hash mark (#) not related to a known meaning, forming the group of non-primed stimuli presented during the meaningless training condition. All of the primes (a total of two hundred and twenty-four pictures and two hundred and twenty-four hash marks) had similar appearance and dimensions (10x15 cm). Picture primes were obtained from the Snodgrass and Vanderwart set of pictures (Snodgrass & Vanderwart, 1980). Therefore, each task block for both lexical decision and reading tasks contained four different types of stimuli (namely, primed and non-primed words and pseudowords) with thirty-two stimuli for each of these four categories. The stimuli

presented on the first and sixth experimental blocks were matched in length of letters and syllables, orthographic neighbors, imageability, lexical frequency, first syllable frequency token type and bigram frequency token type (C. Davis & Perea, 2005) in order to avoid sublexical effects in the earliest ERP components (see Table 1).

Table 1. Matching means of each psycholinguistic variable through the experimental conditions

		Length of Letters	Length of Syllables	Orthographic Neighbors	Imageability	Lexical Frequency	1st Syllable Frequency	Bigram Frequency
Primed	Words 1st block	5.28	2.81	3.38	5.46	61.09	291.37	590.46
	Words 6th block	4.84	3.19	2.47	6.15	61.34	255.45	598.30
	Pseudowords	5.13	2.19	2.69	-1.00	-	271.45	516.28
Non-primed	Words 1st block	5.19	2.31	3.16	5.22	61.54	284.85	574.12
	Words 6th block	4.72	2.06	4.78	5.45	60.59	376.05	562.29
	Pseudowords	5.56	2.45	1.31	-1.00	-	306.67	515.32

2.3. Procedure

Participants were seated in a silent room in the laboratory of experimental psychology at the faculty of Psychology. The electrode cap was mounted on their scalp in order to record the EEG activity during the corresponding task. Then verbal instructions were given to participants: namely, for the lexical decision task, to carefully read each stimulus presented on the screen and press the key “SI” (Yes) if a known word appeared or the key “NO” if a unknown word (pseudoword) appeared; or, for the reading task, to pay attention and silently read each stimuli presented on the

screen. The correspondence between keys and hands was counterbalanced across participants for the lexical decision task – half of them pressed the key “SI” with their right hand and the other half did the same with their left hand. The researcher emphasized to participants from both experiments to avoid blinks and muscular movements during the task, and encouraged them to take breaks after each task block in order to prevent artifacts and fatigue. Before the start of the experiments, the corresponding task instructions appeared on the computer screen followed by eight training trials.

All the stimuli were presented in black Verdana 18 point letters (words and pseudowords) or in black line drawings (pictures and hash marks) over a white background at the center of the screen by means of the E-Prime 2.0 software (Schneider et al., 2002). The sequence of stimuli presentation was as follow. First, a fixation point was displayed for 1000 ms and then a prime stimulus (a picture or a hash mark) was presented for 150 ms. Next, the target stimulus (a primed or a non-primed word or pseudoword) was presented, either until the participant responded (in the lexical decision task), or for 700 ms (in the reading task). Both prime and target stimuli were intermediated by a blank screen which was presented for 200 ms. The sequence finished with another blank screen lasting for 500 ms. The duration of both tasks was similar (approximately thirty-five minutes) and all target stimuli were presented in randomized order within each task block.

2.4. Recording and preprocessing of the EEG data

EEG signals were recorded through the lexical decision task and the reading task by means of 62 Ag/AgCl actiCAP electrodes (Brain Products GmbH, Gilching) mounted in an elastic cap according to the 10/20 system (Jasper, 1958). Two additional actiCAP electrodes were placed on each mastoid bone. The inter-electrode impedance of active electrodes was kept under 25k Ω . Additionally, two electrodes were placed on the infraorbital and supraorbital canthus of the left eye in order to monitor ocular activity. During the online recordings, the EEG signal was referenced to the activity of the vertex electrode (Cz). The EEG and EOG signals were digitalized and amplified by an actiCHamp amplifier system (Brain Products GmbH, Gilching) at a 1000 Hz sampling rate. A notch filter at 50Hz was applied and 0.1 and 100Hz high and low pass filters were set. The BrainVision PyCorder 1.0.2 software (Brain Products GmbH, Gilching) was used to control the amplifier system and to record and store the digitalized signal in the computer.

Pre-processing of EEG signals collected from both experiments was implemented in MATLAB software (The Mathworks Inc.). First an artifact rejection was carried out in order to eliminate trials with amplitude values exceeding $\pm 100 \mu\text{V}$. Next, an independent component analysis (ICA) was run to detect and correct visual artifacts and then a new artifact rejection was applied to ensure the total rejection of artifacts in data. The signal was then segmented in periods of 1600 ms for the lexical decision

task (from -600 to 1000 ms post target onset) and in periods of 1500 ms for the reading task (from -600 to 900 ms post target onset). The baseline was corrected using the 250 ms preceding the prime onset. A new reference was calculated using the mean activity of the mastoid electrodes, applied to 62 electrodes with the activity of the online reference (Cz) recovered. A new sampling rate was established at 256 Hz and a low pass band filter was applied at 30Hz. ERPs were computed by averaging segments per subject and per condition (primed words and pseudowords at first and sixth block).

2.5. ERP analysis and source localization

A cluster-based random permutation method was implemented in Fieldtrip (Maris & Oostenveld, 2007; Oostenveld et al., 2010) to explore the ERP differences between words and pseudowords through the training conditions at both experiments. The 2 x 2 design with Lexicality (words vs. pseudowords) and Block (first vs. sixth) as within-subject factors was separately tested for the meaningful and for the meaningless training conditions at the lexical decision and reading tasks.

This method identifies clusters of significant differences between conditions (namely, sample points in close spatial and temporal proximity) by means of multiple comparisons in space and time over the whole ERP segment. Therefore, the main advantage offered by this non-parametric approach is that it solves the multiple comparisons problem which increases type 1 errors in the analysis of data.

Comparisons were carried out through 24,660 sample points for the lexical decision task (411 time points x 60 electrodes) and through 23,100 sample points for the reading task (385 time points x 60 channels). Firstly, calculations were carried out in order to evaluate the main effects of Lexicality and Block as well as the interaction between them. Then follow up comparisons were tested, taking mean amplitudes over the time windows and channels where significant clusters for the main effect or for the interactive effect were shown. For a more detailed description of this statistical procedure implemented in the same 2 x 2 design, see Bermudez-Margaretto et al. (2015).

Regarding the source localization analysis, the distributed estimation method LAURA (de Peralta Menendez et al., 2001) was implemented in Cartool software (Brunet et al., 2011) in order to determine the possible neural generators for the Block by Lexicality interaction. The solution space was calculated using a realistic head model which included 4,011 nodes displayed in regular distances within the gray matter of a standard MRI (Montreal Neurological Institute's average brain). Values of current source density (ampere per square millimeter) at each node were calculated for each participant and each condition (words and pseudowords at the first and sixth blocks) over the temporal windows where the interactive effects showed significance at the cluster analysis. As the main interest of this analysis was focused on the brain generators responsible for the lexicalization of pseudowords (reduction of the lexicality effect), the estimation of the brain sources was carried out on the interactive

time window where the decrease of differences between words and pseudowords was found maximal.

In order to detect the direction of the effects causing the interaction, several calculations were implemented. First, paired t-tests were carried out between each pair of conditions in order to detect nodes in which the differences of current source density were maximal. Next, mean values of current source density for each condition were extracted from regions of interest (ROIs) where differences between conditions were found maximal at the previous paired t-test analysis. Finally, mean values of current source density extracted from each ROI were submitted to repeated-measures ANOVAs with lexicality (words and pseudowords) and block (first and sixth). The resulting magnitudes represent activity sources associated with interactive effects described in the ERP analysis.

3. Results

3.1. ERP results

Lexical decision task

Figure 1 shows ERP waveforms and cluster-based permutation results for the meaningful training condition of the lexical reading task (displayed at panels A and B, respectively). Tests on the main effect of lexicality during this training condition

showed a significant cluster ($p < 0.005$). This cluster extended from 246 to 453 ms with a widespread topography over the whole scalp and maximal differences at posterior sites, showing less positive amplitude for pseudowords than for words. The latency and topographical characteristics of this cluster clearly suggest it is likely affecting the N400 component. Follow up comparisons (taking the mean amplitude at the time window and channels where the cluster reached significance) indicated that differences between primed words and pseudowords were significant at both the first ($p < 0.001$) and the sixth blocks of this task ($p < 0.05$).

Tests on the main effect of block indicated a significant cluster extending between 171 to 531 ms. This cluster also showed a widespread topography over the whole scalp and maximal differences at posterior sites, revealing less negative amplitude for the sixth than for the first block. Both the latency and topography of this cluster suggest this block effect is also likely to affect the N400 component. Follow up comparisons detected a change in the amplitude of both types of stimuli across the task blocks, although this block effect was found to be stronger for pseudowords ($p < 0.001$) than for words ($p < 0.005$).

Testing the interaction effect revealed a significant cluster ($p < 0.001$), extending from 230 to 480 ms post stimulus onset with a spread topography over the whole scalp, showing maximal differences at posterior sites (see figure 1b). No other significant cluster was found for the interaction. The latency and topography of this

cluster, similar to those found for the main effects of lexicality and block, suggests that this effect is likely affecting the N400 component. Follow up comparisons indicated that the interactive cluster was caused by the higher amplitude reduction shown by pseudowords across the task blocks ($p < 0.001$) than that shown by words ($p < 0.005$), which contributed to the decrease of the differences between words and pseudowords along the task. In this sense, the lexicality effect was found to be reduced from the first ($p < 0.001$) to the sixth block of the task ($p < 0.05$). Although the lexicality effect decreased as a consequence of the repeated meaningful training of pseudowords, differences between primed words and pseudowords remained at the end of this lexical decision task.

Regarding the analysis of the meaningless training condition for this lexical decision task (see Figure 2), tests on the main effect of lexicality indicated a significant cluster extending from 250 to 472 ms ($p < 0.05$). This cluster showed a frontal distribution and revealed less positive amplitude for pseudowords than for words. The latency and topography of this cluster suggest that this effect is affecting the frontal instead of the typical posterior N400 component. Follow up comparisons indicated that differences between non-primed words and pseudowords were significant at the first block ($p < 0.001$) but this difference did not reach significance at the sixth block of the task ($p > 0.05$).

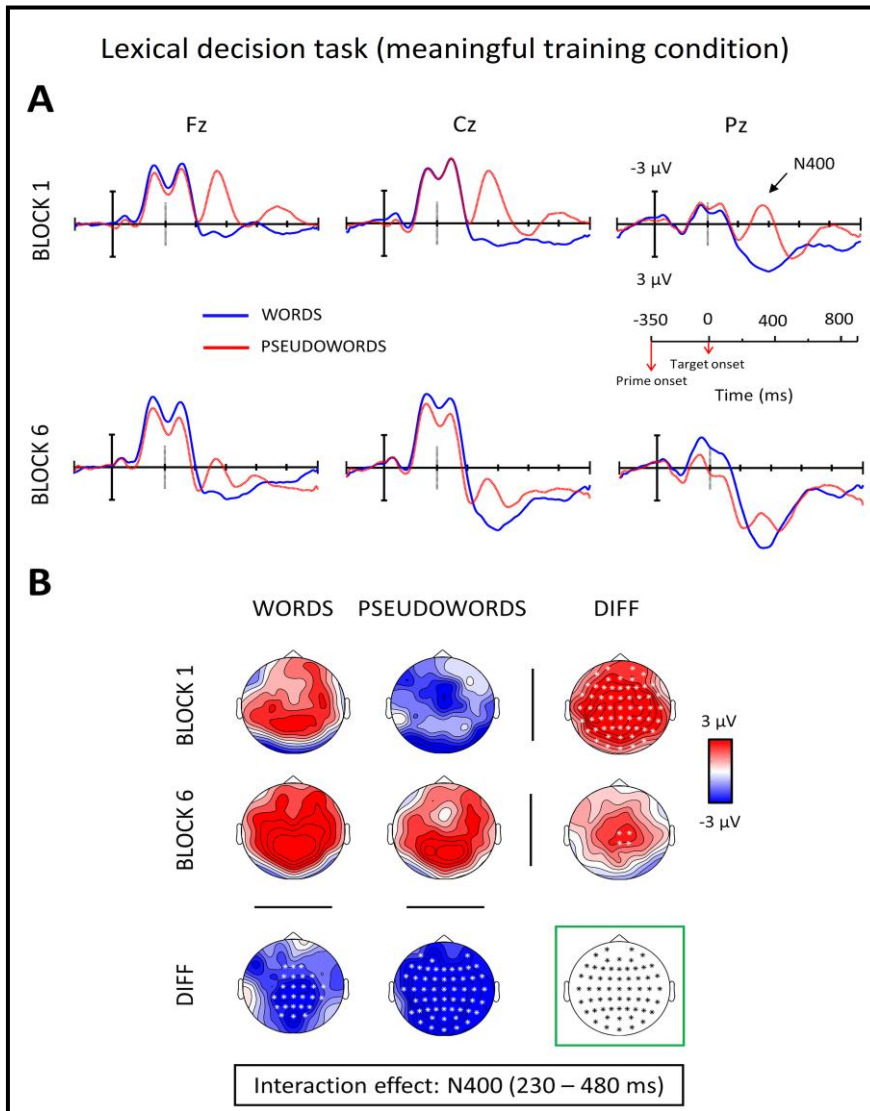


Figure 1. *Upper half A*: Averaged ERP waveforms at electrodes from the medial scalp sites for primed words and pseudowords at the first and sixth task block. An interaction effect between types of stimuli and block was detected during the 230 – 480 ms time window. Pseudowords showed an N400 amplitude decrease from the first to the sixth block (black bold arrow) whereas a lower decrease can be noted for words. As a consequence, differences between words and pseudowords were reduced across task blocks. *Lower half B*: Cluster analysis results. Map framed *in green* shows the scalp sites where the cluster for the interaction resulted significant. Maps under or to the right of the DIFF label represent the scalp distribution of the differences between conditions, with the *white points* highlighting the scalp sites where differences emerged. The remaining four maps represent the topography of the ERP activity for each condition.

Testing the main effect of block also yielded a significant cluster ($p < 0.001$), extending from 312 to 644 ms and showing a widespread topography over the whole scalp, with maximal differences at centro-posterior sites. In this case, the cluster revealed more positive amplitude for the sixth than for the first block. Both the topography and the latency of this cluster, as well as the waveforms, suggest that this effect is likely affecting the LPC component (see figure 2a). Follow up comparisons for this block effect indicated that amplitude differences across blocks were significant for both words ($p < 0.005$) and pseudowords ($p < 0.001$).

Testing the interaction effect showed a significant cluster between 339 to 472 ms ($p < 0.05$) with a frontal topography (see figure 2b). No other cluster was found significant for the interaction. Both the latency and the topographical characteristics of this cluster are similar to those found for the main effect of lexicality and would suggest that these effects are likely affecting the frontal N400 component. It is worth noting that the frontal topography of these two effects contrasts to that found during the meaningful training condition in which the N400 topography was found maximal at the typical posterior sites. Follow up comparisons indicated that the interactive effect was caused by the higher amplitude decrease across the task blocks shown by pseudowords ($p < 0.005$) than by words ($p < 0.05$). This effect produced the decrease of the differences between the non-primed words and pseudowords from the first block ($p < 0.001$) to the last block of the task ($p > 0.05$).

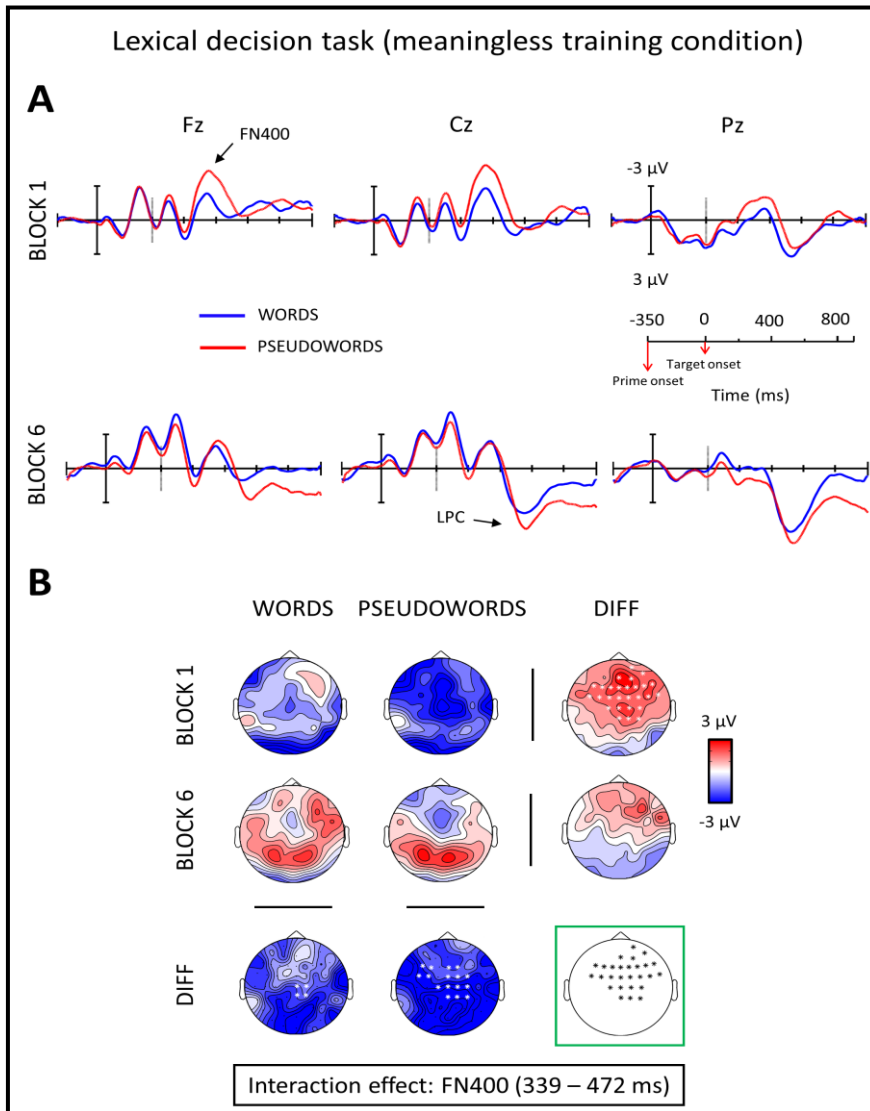


Figure 2. *Upper half A*: Averaged ERP waveforms at electrodes from the medial scalp sites for non-primed words and pseudowords at the first and sixth block. A lexicality-by-block interaction emerged during the 339 - 472 ms time window. Pseudowords showed a higher decrease in the FN400 amplitude across task blocks than that observed for words and therefore differences between both types of stimuli were found eliminated at the last block of the task. A block effect was observed during 312 - 644 ms where a similar increase of the LPC amplitude was found for words and pseudowords across task blocks. *Lower half B*: Cluster analysis results. Map framed in green shows the scalp sites where the interaction cluster showed a significant result. Maps under or to the right of the DIFF label represent the scalp distribution of the differences between conditions. *White points* highlight the scalp sites where differences emerged. The remaining four maps represent the topography of the ERP activity for each condition.

Reading task

ERP waveforms and cluster-based permutation results for the meaningful training condition during the reading task can be seen in Figure 3. Tests on the main effect of lexicality indicated a significant cluster, extending from 241 to 405 ms ($p < 0.005$). This cluster showed a centro-posterior topography and revealed less positive amplitude for pseudowords than for words. Both latency and topographical characteristics of this cluster suggest that this lexicality effect is likely to affect the N400 component. Follow up comparisons indicated that differences between primed words and pseudowords reached significance at the first block of the task ($p < 0.001$), whereas no lexicality effect was found at the last block of the task ($p > 0.05$). No clusters were found significant for tests on the main effect of block ($p > 0.05$).

Statistical analysis for the interaction effect revealed a significant cluster ($p < 0.001$) which was extended from 221 to 456 ms post stimulus onset and showed a spread topography over the whole scalp, with maximal differences at posterior sites (see figure 3b). No other significant cluster was found for the interaction. As for the results from the meaningful training condition carried at lexical decision task, the latency and topography of this cluster suggests that the interactive effect is likely reflecting a modulation of the N400 component. Follow up comparisons confirmed that this interactive cluster was caused by the reduction of pseudoword amplitude across the task blocks ($p < 0.005$), whereas this repetition effect was not found for words

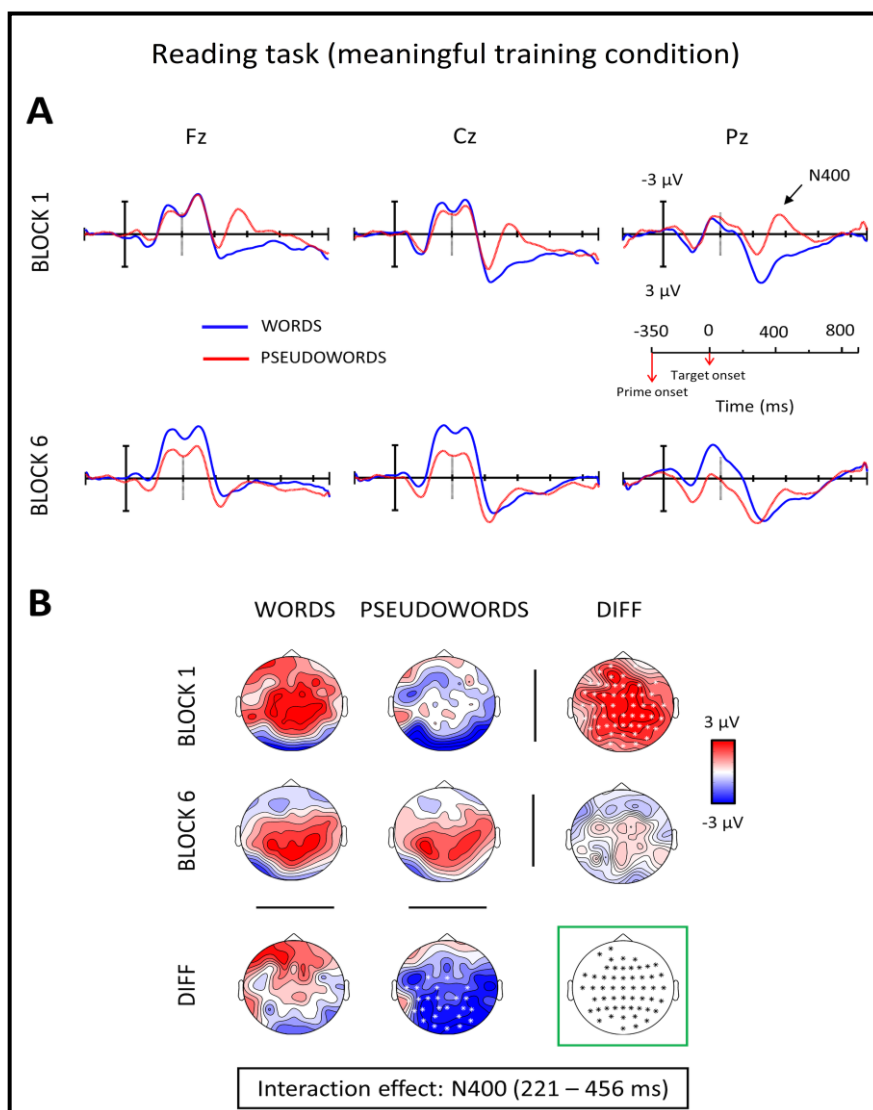


Figure 3. *Upper half A*: Averaged ERP waveforms at electrodes from the medial scalp sites for primed words and pseudowords at the first and sixth block. A lexicality-by-block interaction emerged during the 221 - 456 ms time window where pseudowords showed a decrease in the amplitude of the N400 component across the task blocks which was not observed for words (black bold arrow). Consequently, differences between words and pseudowords found at the first block were found eliminated at the last block of the task. *Lower half B*: Cluster analysis results. Map framed *in green* shows the scalp sites where the interaction cluster showed significant results. Maps under or to the right of the DIFF label represent the scalp distribution of the differences between conditions. *White points* highlight the scalp sites where differences emerged. The remaining four maps represent the topography of the ERP activity for each condition.

($p > 0.05$). As a consequence, differences between primed words and pseudowords found at the first block ($p < 0.001$) decreased until the lexicality effect disappeared at the sixth block of the task ($p > 0.05$). Therefore, differences between words and pseudowords were eliminated at the end of this reading task as a consequence of the meaningful training carried out for pseudowords, which contrasts with those effects found for this same training condition at the lexical decision task, where the lexicality effect remained at the last block.

Regarding the analysis of the meaningless training condition during the reading task, two clusters were found to be significant for the testing of the main effect of block, one of them extending from 104 to 143 ms ($p < 0.05$) and the other from 0 to 69 ms ($p < 0.05$). Both clusters showed a fronto-central distribution and revealed less positive amplitude for the sixth than for the first block (see Figure 4a). The latency of these clusters and the inspection of the waveforms suggest that these effects are likely to affect the P1/N1 complex (see Figure 4a). Follow up comparisons for the cluster extending from 0 to 69 ms showed that only the amplitude of words changed across the task blocks ($p < 0.005$), with no block differences found for pseudowords ($p > 0.05$). Similar results were found for the second cluster at the 104-143 ms time window, in which the comparisons indicated that only the amplitude for words changed across the task blocks ($p < 0.005$), with pseudowords showed no block effect at this latency ($p > 0.05$). No significant clusters were found either for the tests on the main effect of lexicality ($p > 0.05$) or for the interaction ($p > 0.05$).

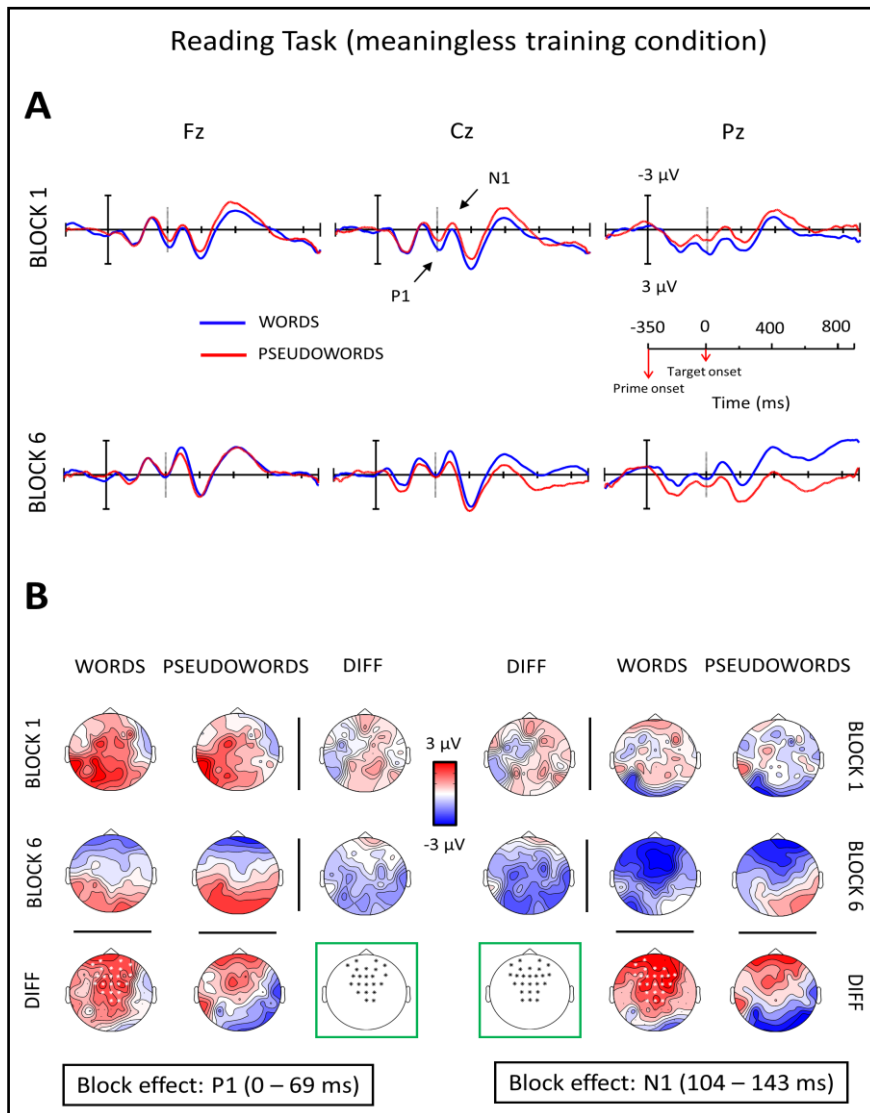


Figure 4. *Upper half A*: Averaged ERP waveforms at electrodes from the medial scalp sites for non-primed words and pseudowords at the first and sixth block. Two clusters were found to be significant for the block effect, the first extended from 0 – 69 ms and the second extended from 104 – 143 ms, corresponding to the P1/N1 complex (black bold arrows). Both cluster effects showed the increase of the negativity exhibited for words from the first to the sixth block of the task. *Lower half B*: Cluster analysis results. Maps framed *in green* show the scalp sites where both clusters of block effects showed significant results. Maps under or to the left or to the right of the DIFF labels represent the scalp distribution of the differences between conditions. *White points* highlight the scalp sites where differences emerged. The remaining maps represent the topography of the ERP activity for each condition.

3.2. Neural source estimation

The meaningful training condition carried out during the silent reading task caused the highest reduction of the differences between words and pseudowords, as revealed by follow up comparisons for the interaction effect found on the typical N400 component (time window 221-456 ms). Therefore, neural sources estimation was carried out at this interactive time window in order to detect the loci of the neural activity changes responsible for the N400 modulation found at the scalp level. Three different regions of interest were identified and analyzed (see Figure 5a): the left superior temporal gyrus (leSTG, maximum at $x = -36.78$, $y = 8.84$, $z = -20.33$ using the coordinate system of Talairach and Tournoux, 1988, corresponding to BA 38), the left inferior frontal gyrus (leIFG,, maximum at $x = -30.09$, $y = 9.10$, $z = -14.66$, corresponding to BA 47) and the right posterior cingulate gyrus (rCing, maximum at $x = 16.72$, $y = -54.54$, $z = 24.51$, corresponding to BA 31).

The analysis of the lexicality x block interaction at these ROIs (see figure 5b) indicated that the highest significance of the interaction was found at the rCing ($F = 8.56$, $p < 0.01$). At this source, the neural activity of pseudowords showed a reduction from the first to the sixth block of meaningful repetitions ($p < 0.05$), an effect that was not found for words. As a consequence, the activity differences shown between words and pseudowords during the first block in this brain region ($p < 0.005$) were reduced until the lexicality effect reached insignificance during the sixth block of

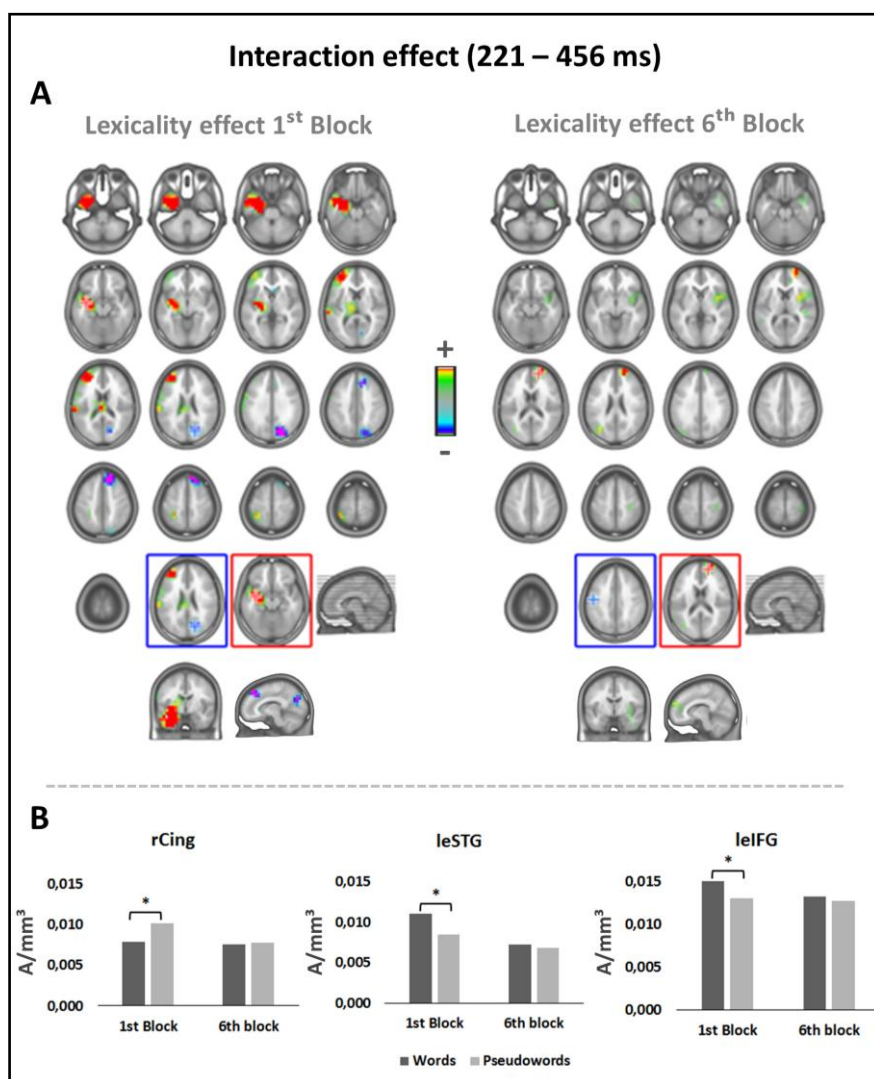


Figure 5. *Upper half A*: Estimation of the neural generators of the N400 interaction effect found in the meaningful training condition carried out during the silent reading task. Three different regions of interest were identified as responsible for the reduction of differences between words and pseudowords found across training blocks at the scalp level: right Posterior Cingulate Gyrus (rCing), left Superior Temporal Gyrus (leSTG) and left Inferior Frontal Gyrus (leIFG). Crosses displayed within each red and blue frame show the maximal source activation for the differences between words and pseudowords at the first and at the sixth block of the task. *Lower Half B*: Analysis of the lexicality by block interaction at each ROIs. Asterisks show significant differences between conditions.

the task. Regarding the interaction effect found in the leSTG ($F=7.42$, $p<0.05$), follow up comparisons revealed that the activity differences between words and pseudowords shown during the first block ($p<0.005$) decrease until the absence of the lexicality effect during the last block of the task. Although the activity of pseudowords decreased within this topography from the first to the sixth block ($p<0.05$), this block effect was found to be higher for words ($p<0.001$), therefore causing the interaction effect. Finally, comparisons for the interaction found at the leIFG ($F=6.40$, $p<0.05$) indicated a similar pattern to that found at the temporal region, with words and pseudowords decreasing their activity differences from the first block ($p<0.005$) to the last block of the task as a consequence of the activity reduction showed by words at this neural source ($p<0.05$). However, pseudoword activity was not found reduced at this neural source.

4. Discussion

The present study compared the brain activity changes during repeated visual exposure to pseudowords under a meaningful and a meaningless training condition, attending to modulations on the N400 and LPC components. The main objective was to determine which of these two different training conditions caused a higher decrease on the differences between trained pseudowords and familiar words and therefore resulted in a more appropriate strategy for the lexicalization of pseudowords.

Furthermore, to test the influence of the training context demands, reductions in the lexicality effect through both types of training conditions were separately explored in two different tasks, namely in a lexical decision task and in a silent reading task.

Overall, results confirmed our previous hypothesis, given that the meaningful training of pseudowords, carried out by means of their repeated association to pictures, was found to be a more advantageous strategy for the lexicalization of these stimuli than the meaningless training condition, where pseudowords were repeated without semantic information. In addition, the effects produced by both meaningful and meaningless exposure varied depending on the task in which the training conditions were carried out, with the reading task found to be a more facilitative context for the acquisition of lexico-semantic properties of new stimuli. To our knowledge, this is the first ERP study that evaluates the on-line modulations on the lexicality effect produced by simple visual exposure to pseudowords and compares them to those found during the concurrent visual and semantic exposure to these stimuli through two different task contexts, providing both within- and between-tasks comparisons. Next, a detailed discussion is provided about the effects caused by each meaningful and meaningless condition and about the variations in these effects as a consequence of the task contexts.

Meaningful training effect on different task contexts

The repeated visual exposure to pseudowords under a semantic-associative condition caused the reduction of differences between these stimuli and real words on the N400 component, both at the lexical decision and reading tasks. These results indicate the semantic association and the facilitation of lexico-semantic access to these stimuli throughout the repeated meaningful exposures, in agreement with other previous findings (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Dobel et al., 2009; Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007; Charles A. Perfetti et al., 2005). Therefore, the effect of the visual and semantic training of pseudowords was replicated in both task contexts, with a similar N400 effect found for both of them. Interestingly, the facilitation of lexico-semantic processing of pseudowords was found to be greater during the silent reading task than during the lexical decision task, reflecting the larger decrease of the lexicality effect found on the N400 in the reading task. To the best of our knowledge, no other word learning study compares the effects of the semantic training of pseudowords in the process of lexicalization in two separate task contexts and shows a different modulation of the lexicality effect on the N400 component.

In the *lexical decision task*, the meaningful training of pseudowords produced a decrease on the N400 amplitude across repetitions. However, the lexicality effect remained significant on this component at the last training block despite the reduction

of the differences between trained stimuli and real words across this task. Therefore, the influence of this meaningful training in the lexicalization of the stimuli was found to be lower and therefore quantitatively different in the lexical decision task than in the reading task.

Regarding the *silent reading task*, the meaningful training of pseudowords caused a similar reduction on the N400 amplitude through repetitions as that observed during the lexical decision task. However, in this task context the differences between these stimuli and real words were found to be eliminated at the last block of the task, as occurs in other studies about new word learning where the lexicality effect is removed after semantic training of pseudowords (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Mestres-Missé et al., 2007). Therefore, this finding indicates the achievement of a similar lexico-semantic processing between both types of stimuli after repeated visual and semantic exposure to pseudowords during the silent reading task. This idea is also supported by neural source data.

Thus, the activity of the right posterior cingulate was modulated as a consequence of pseudoword repetition under the meaningful training condition carried out during the reading task until the lexicality effect was eliminated. It has been well established that this brain area, which maintains reciprocal connections to temporal memory structures, plays a key role in memory processes (Morris, Pandya, & Petrides, 1999; Suzuki & Amaral, 1994; Vogt, Finch, & Olson, 1992) and supports the

integration of association between stimuli (Gabriel, 1991; Molchan, Sunderland, McIntosh, Herscovitch, & Schreurs, 1994; Paperna & Malach, 1991). Consequently, this area could be contributing to the establishment of the stimuli association between semantic-primers and orthographic labels through repeated training. Moreover, the meaningful training carried out during the silent reading task caused modulation of the left superior temporal gyrus across task blocks until the activity differences between words and pseudowords were eliminated at this neural source, typically related to lexico-semantic and associative processing (DeWitt & Rauschecker, 2012; Scott, Blank, Rosen, & Wise, 2000; Visser, Jefferies, & Ralph, 2010). Although the highest modulation of this source was produced by words, pseudowords showed a similar pattern of modulation at this brain area, which indicates the similar associative processing between picture primes and orthographic labels for both words and pseudowords. Therefore, the modulation produced on these two different brain areas supports the idea of semantic facilitation produced on pseudoword processing as a consequence of picture association during the silent reading task. On the other hand, the meaningful training during the reading task also produced a decrease of activity at the left inferior frontal region for words across the task blocks, until it was found to be similar to that exhibited for pseudowords. This brain source has been typically related to control and monitoring responses (Christoff & Gabrieli, 2000; Ramnani & Owen, 2004). Therefore, the higher activity found at this region for words at the beginning of the task could be explained by the participant's knowledge of real words in comparison

to unknown pseudowords, producing a higher monitoring on these stimuli. Despite the fact that real words were not repeated across this reading task, the previous presentation of the picture-prime likely enabled participants to predict the presentation of these stimuli in a similar way as occurred with pseudowords, causing the decrease on monitoring across task blocks.

Differences found between both tasks in the reduction of the lexicality effect on the N400 component are likely a consequence of the specific requirements involved for each of them. In this sense, each task implied a different strategy to deal with the stimuli depending on the task requirements, which likely produced a different processing of the stimuli during the course of each task, leading to a different effect in their lexicalization. During the lexical decision task, readers were instructed to carry out explicit lexical judgements about the stimuli. Given that pseudowords should be categorized as unknown stimuli, the differences between these stimuli and real words were emphasized through the task, which likely made it difficult to deal with these stimuli as real words. Therefore, this task-related strategy likely interfered with the training of pseudowords and contributed to maintaining the lexicality effect. In addition, the categorization carried out during this task affected the processing of words, which also exhibited a decrease on the N400 amplitude. This effect could be explained by the picture associative paradigm in which the previous presentation of a picture allowed readers to predict whether the next stimulus was a word (in cases where the previous stimulus was a new picture, not repeated during the task) or a

pseudoword (in cases where the previous stimulus was an already-seen picture, repeated across task blocks). Although this N400 effect was found to be smaller for words than for pseudowords it likely contributed to the lower reduction of differences between both types of stimuli and to the maintenance of the lexicality effect. By comparison, participants in the reading task were only required to passively read new orthographic labels. Thus, the stimuli were not categorized during this task in terms of their lexicality and therefore the lexico-semantic differences between trained pseudowords and real words were not emphasized. Consequently, this task provided a more natural and appropriate context of learning, likely contributing to the higher reduction of differences between both types of stimuli through the meaningful training. This result also demonstrates that silent reading is sensible to the lexicalization process of new stimuli despite the fact that lexical access to the stimuli is not explicitly required during the performance of this task. Therefore, although facilitation was achieved in the processing of pseudowords during both the lexical decision and the reading task, the lexicalization process of these stimuli seems to be more effective when decisions about the lexical status of stimuli are not requested. These results are consistent with other studies which show the effect of the task requirements in the processing of stimuli (Shlomo Bentin et al., 1993; Shlomo Bentin & McCarthy, 1994; Chwilla et al., 1995; Marí-Beffa et al., 2005; Roehm et al., 2007) and indicates that paying explicit attention to lexical characteristics of new stimuli is a less advantageous strategy for their lexicalization.

Contrary to our initial hypothesis about the LPC component, no effects were found on this component during visual and semantic training of pseudowords, neither in the lexical decision task nor in the reading task. These results differ from other studies in which increased LPC amplitude was found after training new words under meaningful contexts (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Charles A. Perfetti et al., 2005). In those studies, semantic categorization or comprehension of new stimuli is explicitly required to participants. Consequently, the resulting LPC enhancements are considered to reflect the formation of episodic memory traces that allow the recollection of previously presented semantic information about new stimuli in order to carry out these semantic requirements. However, during the meaningful training of pseudowords carried out in the current lexical decision and reading tasks, the processes that are thought to underlie the LPC modulations seem not to be involved. Two main factors could be contributing to these results. First, the elaboration of an explicit semantic categorization of the stimuli was not required during these tasks even though a semantic processing of stimuli was implicitly involved, as is reflected by the N400 modulations. Therefore, the formation and recollection of episodic memory traces about the meaningful trained stimuli could be unnecessary under both the lexical decision and reading task contexts. Second, the previous presentation of the picture-prime during the meaningful training condition possibly allowed readers to predict the subsequent presentation of stimuli. Then, the previous presentation of these stimuli likely contributed to further reduce the burden on

recollection processes. It is also possible that an acceleration of the recollection of stimuli was produced as a consequence of the semantic priming effect, which would cause these recollection processes not to be observed in the late component.

Meaningless training effect on different task contexts

The simple visual repetition of pseudowords produced modulations on different ERP components depending on the context where the training was carried out. In this sense, the meaningless training of pseudowords carried out in the lexical decision task produced effects on the LPC and FN400 components whereas this same training carried out in the reading task caused modulation on the N1 and P1 components. Therefore, the effect of meaningless training of pseudowords was found to be qualitatively different for both lexical decision and reading tasks, in contrast to those results found during the meaningful training condition where the effects were restricted to the N400 component for both task contexts.

Regarding the *lexical decision task*, the simple visual repetition of pseudowords caused a modulation on two different ERP components, namely the LPC and the FN400. For the LPC, the amplitude of this component was found to be increased both for words and pseudowords through the task blocks, reflecting the formation and recollection of episodic memory traces for these stimuli through the task. These results contrast to those of the meaningful training condition, where no LPC effect was found.

Contrary to this meaningful condition, the meaningless training condition does not allow participants to make predictions about the subsequent presentation of stimuli, given that both words and pseudowords were preceded by the same hash mark. Therefore, the formation and recollection of episodic memory traces – and consequently LPC modulations – were involved in this condition in order to categorize the stimuli from their lexical properties. These results indicate that formation and recollection of episodic memory traces, which allow the categorization of stimuli, are mainly required when this categorization cannot be facilitated by the presentation of previous stimuli, as is the case of words and pseudowords presented in this meaningless condition. This idea is also supported by results from our previous lexical decision task in which the meaningless repetition of pseudowords with no preceding stimuli caused the enhancement on the LPC for these stimuli across task blocks (Bermúdez-Margaretto et al., 2015). As a consequence of that effect, differences between words and pseudowords were removed at the last task block. However, the LPC modulation in the present lexical decision task did not produce changes in the lexicality effect, given that both words and pseudowords showed a similar block effect on this component.

On the contrary, changes in lexicality effect were found in this lexical decision task as a consequence of the meaningless repetition of pseudowords on a frontal N400 component, in which differences between these stimuli and real words decreased across blocks until their absence at the end of the task. Thus, dissociation between the

posterior and the frontal N400 components have been found in the present study, elicited under both a meaningful and a meaningless context, respectively. The interpretation of this frontal N400 effect is uncertain, given that different and controversial claims can be found about the underlying process of this component. On the one hand, different recognition memory studies have found that visual repetition of stimuli produced a modulation of this component, relating this effect to familiarity processes, and consider this component to be functionally different from the posterior-elicited N400, labeled as FN400 (Bridger et al., 2012; Groh-Bordin et al., 2006; Laszlo & Federmeier, 2007; Laszlo et al., 2012; Michael D. Rugg & Curran, 2007; Van Strien et al., 2005). Additionally, the repetition effect on the FN400 is usually found followed by an LPC modulation, so it has been established that both familiarity and recollection processes contribute to recognition memory performance. On the other hand, some other authors claim that the modulation of the FN400 reflects the semantic processing of the repeated stimuli given that the stimuli used during recognition tasks are usually meaningful items. Therefore, this opposed view considers this FN400 component as a topographical variation of typical N400, elicited only by meaningful (and not by meaningless) items (Bermúdez-Margaretto et al., 2015; Joel L. Voss & Federmeier, 2011; Joel L Voss & Paller, 2007). The present results about the FN400 contradict this idea, given that the visual repetition of meaningless pseudowords produced the modulation of this frontal component.

Two different explanations can be provided for the underlying processes of the present FN400 effect. On the one hand, given that the modulation of the FN400 was produced as a consequence of the visual repetition of pseudowords causing the decrease of the lexicality effect, it could be assumed that this component reflects not the semantic differences between stimuli but the improvement of their visual familiarity in consonance with the first proposal. However, this assumption is questionable taking into account the results from our previous lexical decision task, in which the FN400 amplitude was found unaffected regardless of the meaningless repetition of pseudowords, indicating that this component is sensible to semantic differences between stimuli and is not affected by the increase of visual familiarity of pseudowords (Bermúdez-Margaretto et al., 2015). The constructions of that task and the present lexical decision task were very similar (the number of blocks of repetition, the number of stimuli per condition and the experimental variables controlled through the tasks were identical). Indeed, the only experimental difference was the presentation of the prime stimuli (the hash mark) that preceded both word and pseudoword targets during the present lexical decision task. Therefore, the presentation of this mark could introduce some variation in the cognitive processing of targets, leading to a different modulation of the FN400 between both tasks. This idea is especially remarkable considering that not only repeated pseudowords but also words showed a significant effect on FN400, which were not repeated across the blocks and whose visual familiarity was not increased during the task. An alternative

explanation could be taken from previous studies which have found modulations in the frontal N400 after semantic training of pseudowords and related this effect to the difficulty or effort of carrying out the integration or semantic association of the stimuli (Frishkoff et al., 2010; Mestres-Missé et al., 2007). Therefore, it could be stated that the modulation of the FN400 found during the meaningless training of pseudowords could be reflecting the difficulty of carrying out an association of these stimuli to a concept in a similar way as was achieved in the meaningful training condition. In this sense, the higher amplitude shown for pseudowords in this component would reflect the greater effort involved in carrying out this association, especially during their first encounters with these stimuli, as a result of the lack of previous information. This attempt was not required for words to the same extent as it was for pseudowords since these stimuli have a meaning and therefore carrying out a semantic association between primes and targets during the task was not so indispensable. As a result of the pseudoword repetition under this condition, the attempt of carrying out the association became more unnecessary and decreased until the processing of these stimuli and real words were equal. However, more research is needed to clarify the exact role of the FN400 in the learning process of new words.

Regarding the *reading task*, a strikingly different pattern of results was found during the meaningless training condition given that only words showed a block effect on the N1/P1 complex, wherein amplitude became more negative across the task blocks. These early electrophysiological components have been related to attentional

processes and to the analysis of orthographic patterns of the stimulus carried out at the initial automatic stages of linguistic processing (Allison et al., 1994; Hillyard et al., 1998; Nobre et al., 1994). In line with this, attended stimuli have been found to produce more negative amplitudes at these components than unattended stimuli (Hillyard et al., 1995). Therefore, the modulation found for words on these components would reflect the increasing attention to these stimuli across the task blocks. Given that words were not repeated across the task blocks this modulation should be due to the novel presentation of these stimuli at each block, which, moreover, could not be predicted by the presentation of the previous stimulus. In contrast, the attention to pseudowords did not vary across the task, likely due to the fact that these stimuli were the same at each block.

Taken together, the results of the meaningless training condition showed that the simple visual repetition of pseudowords did not produce any effect that reflects the lexicalization of these stimuli, neither during the lexical decision task, nor during the reading task. Instead, the effects were found to be dependent on the specific requirements of the tasks and not intrinsically related to the visual or semantic training of these stimuli. On the one hand, modulations on the FN400 and LPC components were found during the simple visual repetition of pseudowords at the lexical decision task. These effects seem to reflect the attempt to create a meaning association for the stimuli and the formation of their episodic memory traces respectively, both directly related to the categorization processes required in this task. Indeed, these effects were

not found during the meaningless training carried out at the silent reading task, where the categorization of stimuli was not involved. On the other hand, the meaningless training carried out at the reading task only produced the N1/P1 modulation. This modulation was related to the attention given to real words because of their novelty across blocks and the difficulty of predicting their presentation from previous stimuli. These effects produced by the meaningless training condition contrast to those found during the meaningful training condition where modulation of the N400 was found at both lexical decision and reading tasks. Therefore, the visual and semantic manipulation of the stimuli throughout this training caused effects that reflected changes in the lexico-semantic processing of pseudowords and which were observed independently of the task context.

5. Conclusions

Training readers not only to recognize the visual form of the new words but also to associate them to a specific semantic concept by means of a picture-word association paradigm was found to be an adequate strategy through which to achieve lexico-semantic processing. Compared to simple orthographic training of new stimuli, this visual and semantic training engaged a processing which is more associative and less dependent on episodic recollection processes. In addition, the silent reading task was found to be a more suitable context for training new words compared to the

lexical decision task. In this task where the conditions were closer to the natural implicit learning of new words, the brain activity elicited for trained stimuli and familiar words resulted in greater similarity at the end of the training, which would indicate better lexicalization of new stimuli under this task context.

4. Discusión general

El principal objetivo de esta tesis doctoral era estudiar las bases electrofisiológicas que subyacen al desarrollo de la lectura léxica. Más concretamente, se pretendía determinar cuáles son los cambios que se dan en la actividad eléctrica cerebral de los lectores como consecuencia de la formación de nuevas representaciones ortográficas.

En líneas generales, el primer estudio desarrollado en esta investigación se encaminó a determinar si la exposición visual repetida de nuevas palabras permite formar representaciones ortográficas y cuál es la naturaleza de las mismas. Los resultados demostraron que la formación de representaciones ortográficas es posible tras un periodo de exposición relativamente breve (apenas seis repeticiones). Sin embargo, se observó que la naturaleza de las representaciones formadas era episódica y no léxico-semántica. Por este motivo, se planteó un nuevo estudio con el que poder determinar si un entrenamiento semántico de las palabras nuevas permitiría formar representaciones cuya naturaleza fuera diferente a las conseguidas tras el entrenamiento visual. Los resultados confirmaron que los dos tipos de entrenamientos generaban representaciones ortográficas cuya naturaleza era funcionalmente distinta, con efectos que indicaban la mayor facilitación en el procesamiento de las palabras entrenadas semánticamente y que denotaban la naturaleza léxico-semántica de sus representaciones. Aun así, se consideró que el contexto en el que se llevaban a cabo

ambos entrenamientos (esto es, la tarea de decisión léxica) podía provocar efectos contrarios a la lexicalización de las palabras entrenadas. Por ello, se decidió desarrollar un último estudio en el que comparar los efectos obtenidos tras ambos tipos de entrenamientos en dicho contexto y en otro más natural (una tarea de lectura en silencio). De nuevo, se comprobó la ventaja del entrenamiento conjunto, tanto visual como semántico, a la hora de facilitar el procesamiento de las palabras nuevas y la formación de representaciones léxico-semánticas, en comparación con el entrenamiento exclusivamente visual. Sin embargo, se observó que cuando dicho entrenamiento se produce en un contexto más natural y ecológico con respecto al proceso de aprendizaje de palabras nuevas, se producen efectos que indican la completa lexicalización de estas palabras y su integración en el sistema léxico-semántico de los lectores.

Estos datos han permitido aclarar algunas cuestiones en relación al proceso de formación de nuevas representaciones ortográficas. Así, en la literatura relacionada con la lectura de nuevas palabras, se ha discutido que la naturaleza de las representaciones ortográficas formadas tras un breve entrenamiento visual sea realmente léxica, sino más bien episódica (Leach & Samuel, 2007; Qiao et al., 2009; Qiao & Forster, 2013). Algunos autores consideran que el entrenamiento visual repetido de las palabras nuevas no permite la completa lexicalización de las mismas ya que no es capaz de generar efectos que denoten la interacción entre las representaciones formadas y aquellas ya existentes en el léxico del lector, que

muestren un nivel similar de procesamiento entre las palabras entrenadas y las familiares. Por el contrario, proponen que es necesario un entrenamiento más profundo de las nuevas palabras, no solo a nivel visual sino también semántico, para que esa interacción sea observada y se pueda asegurar la lexicalización de estos estímulos.

Por lo tanto, si bien se asume que el entrenamiento visual repetido permite la formación de nuevas representaciones ortográficas, existe cierto debate en torno a la naturaleza de estas representaciones. Los resultados obtenidos tras el entrenamiento visual llevado a cabo en el primer estudio de esta tesis doctoral han permitido arrojar algo de luz acerca de esta cuestión, especialmente los relativos a la actividad electrofisiológica, ya que hasta el momento no se tenían datos sobre la influencia de este tipo de entrenamiento en la actividad cerebral de los lectores. Así, se observó que la exposición visual repetida a los nuevos estímulos (pseudopalabras) durante una tarea de decisión léxica provocaba efectos que denotaban un procesamiento más eficiente de los mismos, a juzgar por la reducción en los tiempos de reacción y en los errores cometidos a lo largo del entrenamiento, en consonancia con otros resultados conductuales descritos anteriormente (Bowers et al., 2005; Kwok et al., 2016; Kwok & Ellis, 2015; Maloney et al., 2009; Suárez-Coalla et al., 2016). Sin embargo, estos resultados no reflejaron la completa lexicalización de estos estímulos, ya que la facilitación observada en su procesamiento fue parcial. En este sentido, el entrenamiento visual de las pseudopalabras provocó que su procesamiento se igualase

al de las palabras familiares, pero solo en cuanto a la precisión con la que ambas eran procesadas, manteniéndose las diferencias en la velocidad de sus respuestas. Además, la actividad electrofisiológica generada por ambos tipos de estímulos se asemejó como consecuencia del entrenamiento visual repetido, aunque únicamente en el componente LPC, directamente relacionado con el procesamiento episódico y la recuperación de información relativa a los estímulos presentados previamente. Estos resultados indican que si bien la exposición visual repetida de estímulos nuevos permite formar huellas de memoria que contribuyen a una lectura y categorización más precisas de los mismos, la naturaleza de estas huellas parece ser de carácter episódico y no léxico-semántico. Esta idea es apoyada por la estimación de las fuentes cerebrales moduladas como consecuencia de la repetición de las pseudopalabras. Así, únicamente se vieron implicadas regiones que mostraban la mejor discriminación visual de las huellas formadas para estos estímulos a través de las repeticiones (giro lingual derecho) y la asociación directa entre estas huellas y las respuestas de categorización requeridas (giro temporal superior izquierdo), pero no se encontró modulación de fuentes relacionadas con la adquisición de un procesamiento léxico-semántico para estos estímulos.

Además de este hallazgo, se ha observado que la formación de estas huellas episódicas está directamente relacionada con el propio requerimiento de la tarea en la que se daba el entrenamiento visual, esto es, la decisión léxica. Así, cuando la tarea no implica la puesta en marcha de procesos de categorización o decisión acerca de los

estímulos, la amplitud del componente LPC no se ve modificada, tal como se observó en el tercer estudio de esta investigación en donde únicamente se requería la lectura de los estímulos. Parece que es la necesidad de recuperar la información relativa al estímulo a fin de realizar una adecuada categorización del mismo la que provoca la formación de estas huellas de memoria. De hecho, el segundo estudio mostró que si existe información previa a la presentación del estímulo que permita predecir su aparición y por consiguiente su respuesta, los procesos subyacentes al efecto LPC relacionados con la formación y recuperación de las huellas episódicas de los estímulos no parecen verse implicados. Sin embargo, cabe mencionar la posibilidad de que estos procesos continúen presentes, aunque en una etapa anterior del procesamiento de los estímulos, debido precisamente a la presentación de esa información previa.

Por lo tanto, estos resultados apoyan la idea de que la repetición visual de las palabras nuevas no permite, por sí sola, la formación de huellas léxicas y pone de manifiesto la necesidad de un entrenamiento que abarque otros niveles de procesamiento aparte de los ortográficos, que favorezcan un procesamiento más interactivo de las nuevas palabras y que posibiliten la lexicalización de las mismas. Así, diversos estudios, tanto conductuales (Clay et al., 2007; Qiao & Forster, 2013) como electrofisiológicos (Bakker et al., 2015; Batterink & Neville, 2011; Borovsky et al., 2010; Dobel et al., 2009; Mestres-Missé et al., 2007; Charles A. Perfetti et al., 2005) han demostrado que el entrenamiento semántico de las palabras nuevas sí permite la integración léxico-semántica de estos estímulos en el sistema de procesamiento de los

lectores, favoreciendo tanto su reconocimiento visual como el acceso a su significado. Aun así, ninguno de estos estudios proporciona una comparación entre el efecto de este entrenamiento semántico y el provocado por un entrenamiento exclusivamente ortográfico de los estímulos, ni a nivel conductual ni electrofisiológico. Además, existe relativo desacuerdo en cuanto a la necesidad de que este entrenamiento semántico sea intensivo y prolongado en el tiempo para poder producir efectos que denoten dicha integración semántica.

Los resultados obtenidos en el segundo y en el tercer estudio de esta tesis doctoral demuestran que la combinación del entrenamiento visual y semántico, en comparación con el exclusivamente visual, provoca una mayor facilitación en el procesamiento de las pseudopalabras y permite la integración de estos estímulos en el sistema léxico-semántico de los lectores a un nivel similar al mostrado por las palabras familiares. Además, ponen de manifiesto que un breve entrenamiento semántico de estos estímulos a través de un paradigma asociativo es capaz de generar cambios que denotan la adquisición de significados, indicando que este proceso puede desarrollarse de manera relativamente rápida.

Así, la regresión múltiple llevada a cabo en el segundo estudio permitió distinguir el efecto de cada uno de estos dos tipos de entrenamientos en el reconocimiento visual de las pseudopalabras. Por un lado, se observó que el entrenamiento exclusivamente visual de las pseudopalabras supone la formación y

fortalecimiento de huellas de memoria episódicas para estos estímulos, tal como indicó la modulación del componente LPC y la activación de fuentes cerebrales relacionadas con el procesamiento visual y la categorización de estos estímulos (giro lingual y precentral izquierdos), en consonancia con las conclusiones obtenidas tras el primer estudio. Por otro lado, el entrenamiento semántico permite el establecimiento de una asociación entre la etiqueta ortográfica y el concepto que facilita el procesamiento semántico de estos estímulos, tal y como mostró la mayor reducción en sus tiempos de reacción, así como la modulación en la amplitud del componente N400 y en fuentes neurales directamente relacionadas con la mejora del procesamiento no solo visual (giro lingual y precentral izquierdos) sino también semántico (giro temporal medio izquierdo). Estos resultados ponen de manifiesto que la naturaleza de las representaciones ortográficas formadas es cualitativamente distinta tras un entrenamiento visual –episódica– y tras un entrenamiento asociativo –léxico-semántica– e indican la ventaja que supone este último en el reconocimiento visual y el acceso al significado de los nuevos estímulos.

De hecho, los resultados obtenidos en el tercer estudio confirmaron que el entrenamiento conjunto supone la integración de las nuevas palabras en el sistema léxico-semántico de los lectores hasta el punto de que la actividad generada por estos estímulos se asemeja a la generada por palabras reales en el componente N400, efecto que no es observado tras el entrenamiento exclusivamente visual. Estos resultados parecen apoyar la idea introducida por algunos autores acerca de que el

entrenamiento ortográfico de las palabras nuevas es necesario, aunque insuficiente para que estas se puedan considerar estímulos léxicos (Leach & Samuel, 2007; Qiao et al., 2009; Qiao & Forster, 2013) ya que su procesamiento solo se asemeja al de las palabras familiares cuando han sido sometidas a un entrenamiento más completo, no solo a nivel visual sino también semántico.

Además, este proceso de lexicalización se ve favorecido cuando las pseudopalabras son entrenadas en un contexto similar al de la lectura natural, que no requiere de la puesta en marcha de procesos relacionados con la decisión o categorización de los estímulos ni la evaluación de sus características léxicas. En este sentido, el entrenamiento visual y semántico de las pseudopalabras durante una tarea de decisión léxica posibilita que las diferencias entre estos estímulos y las palabras familiares se reduzcan significativamente en el componente N400, aunque estas no llegan a desaparecer. Sin embargo, cuando este entrenamiento se lleva a cabo en una tarea de lectura, la actividad electrofisiológica de estos estímulos se hace indistinguible de la generada por palabras familiares en dicho componente. Además, las regiones cerebrales subyacentes a esta modulación son aquellas directamente relacionadas con el aprendizaje y mantenimiento de la asociación entre la forma ortográfica de los estímulos y el concepto proporcionado a lo largo del entrenamiento, tales como el giro cingulado posterior derecho y el giro temporal superior izquierdo.

Así, estos resultados ponen de manifiesto que, si bien el entrenamiento conjunto de las pseudopalabras permite la asociación semántica y el acceso léxico-semántico de estos estímulos tanto en la tarea de decisión léxica como en la de lectura, la facilitación conseguida en su procesamiento puede verse favorecida o interferida por el contexto en el que se desarrolle el aprendizaje. Así, cuando el contexto requiere que los estímulos sean evaluados en función de sus características léxicas, como ocurre en la decisión léxica, la facilitación que muestran es menor. Este hecho se debe probablemente a que la decisión acerca de la lexicalidad de las pseudopalabras interfiere en el proceso de lexicalización de estos estímulos al poner de manifiesto las diferencias que presentan con respecto a las palabras a nivel léxico. Sin embargo, cuando la tarea no requiere que las pseudopalabras sean categorizadas como estímulos no léxicos, como ocurre en la tarea de lectura, la facilitación en el procesamiento léxico-semántico de estos estímulos es mayor, hasta el punto de que su actividad electrofisiológica es indistinguible de la que muestran las palabras familiares, con representaciones bien establecidas en el léxico. La idea acerca de la interferencia provocada por los procesos postléxicos presentes en la tarea de decisión léxica, en contraposición a la tarea de lectura, ha sido ampliamente discutida en la literatura (Balota & Chumbley, 1984; Grainger, 1990; Monsell, Doyle, & Haggard, 1989). Así, algunos autores han argumentado que las diferencias observadas entre estas dos tareas (fundamentalmente en lo referido al mayor efecto de frecuencia mostrado por la tarea de decisión léxica), se deben a los procesos de decisión inherentes a la tarea

de decisión léxica y que interfieren en los resultados (Balota & Chumbley, 1984)(Balota & Chumbley, 1984, 1985; McCann et al., 1988). Nuestra argumentación es similar a la aportada por estos autores en cuanto a que son los procesos de decisión los que parecen estar influyendo en el efecto de lexicalidad observado en ambas tareas. Así, el mayor efecto de lexicalidad obtenido en la tarea de decisión léxica podría deberse a la propia decisión léxica sobre los estímulos, la cual lleva a focalizar la atención en las diferencias léxicas entre las palabras nuevas y las ya representadas en el léxico. La tarea de lectura, por su parte, también presenta ciertos inconvenientes para el estudio del acceso léxico de los nuevos estímulos. Dado que la lectura en español puede llevarse a cabo únicamente mediante un proceso de decodificación de grafemas en fonemas, existe la posibilidad de que los procesos de acceso léxico no se vean implicados durante esta tarea (Charles A Perfetti, Bell, & Delaney, 1988; Seymour et al., 2003). Aunque ninguna de las dos tareas está exenta de problemas, los resultados encontrados en esta investigación parecen favorecer a la tarea de lectura, al menos en lo que se refiere a la obtención de un procesamiento más similar entre las palabras entrenadas y aquellas con representaciones léxicas bien establecidas.

En definitiva, el uso de medidas que evalúan los cambios en la actividad eléctrica de los lectores durante el entrenamiento de palabras nuevas ha proporcionado información valiosa acerca del proceso de formación de nuevas representaciones ortográficas y, más específicamente, acerca de la naturaleza de estas representaciones. Así, los hallazgos encontrados a lo largo de esta investigación

demuestran que la formación de nuevas representaciones ortográficas es posible tras un breve entrenamiento visual. Sin embargo, para que las palabras nuevas alcancen un procesamiento similar al de las palabras familiares y sean, por tanto, lexicalizadas, es necesario un entrenamiento más profundo, que permita no solo el reconocimiento visual de estos estímulos sino, al menos, su asociación a un concepto. Además, es necesario tener en cuenta el contexto en el que se lleva a cabo el entrenamiento. En este sentido, es posible obtener una mayor facilitación en el proceso de lexicalización de los nuevos estímulos si su entrenamiento se desarrolla en un contexto más natural, que favorezca la similitud entre su procesamiento y el de los estímulos léxicos.

5. Conclusiones

- El entrenamiento visual repetido de pseudopalabras permite formar huellas de memoria para estos estímulos que favorecen la velocidad y precisión en su lectura.
- La naturaleza de estas huellas no es léxico-semántica sino más bien episódica y su formación responde a la necesidad de llevar a cabo procesos de categorización o decisión acerca de los estímulos.
- El entrenamiento semántico provoca la formación de representaciones cerebrales que indican la adquisición de un procesamiento léxico-semántico, funcionalmente diferente del obtenido tras el entrenamiento visual.
- Las pseudopalabras entrenadas a nivel visual y semántico muestran un procesamiento cognitivo similar al de las palabras familiares, con representaciones léxicas bien establecidas.
- El proceso de lexicalización de las pseudopalabras se ve facilitado cuando el contexto del entrenamiento no requiere la evaluación de las características léxicas de estos estímulos.

6. Consideraciones futuras

Si bien la investigación llevada a cabo a lo largo de esta tesis doctoral ha proporcionado respuesta a diferentes interrogantes acerca del proceso de formación de nuevas representaciones ortográficas aún quedan ciertas cuestiones que merece la pena tener en cuenta de cara a futuras investigaciones en este ámbito.

En primer lugar, merece la pena destacar la necesidad de llevar a cabo estudios de PRE en los que se tomen medidas que evalúen de forma más específica la interacción entre las palabras entrenadas y aquellas con representaciones léxicas bien establecidas en el léxico de los lectores. La evaluación del efecto de lexicalidad del prime permite explorar dicha interacción. Así, si durante una tarea de decisión léxica la presentación previa de las palabras entrenadas provoca la interferencia en el procesamiento de otras palabras familiares, entonces es posible afirmar que el entrenamiento ha permitido que las palabras nuevas adquieran un procesamiento similar al de las palabras familiares, provocando la competición léxica entre ambas. Por esta razón, se considera este efecto un potente indicador de la lexicalidad de las nuevas palabras (Qiao et al., 2009; Qiao & Forster, 2013). Sin embargo, los estudios desarrollados en esta tesis han utilizado como indicador de la lexicalización de las palabras entrenadas la disminución del efecto de lexicalidad. Si bien las reducciones en este efecto permiten observar las semejanzas entre el procesamiento de las nuevas palabras y el de las palabras familiares como consecuencia del entrenamiento, no

proporciona información acerca de dicha interacción entre ambos tipos de estímulos. Por tanto, es posible que la desaparición del efecto de lexicalidad como consecuencia del entrenamiento de las palabras nuevas sea un indicador menos sensible acerca la integración de los nuevos estímulos en el léxico de los lectores. Ninguno de los estudios de PRE se ha centrado en evaluar el efecto de lexicalidad del prime, ya que la mayoría exploran efectos de priming en el componente N400 (Borovsky et al., 2010; Frishkoff et al., 2010; Charles A. Perfetti et al., 2005) o los cambios en el efecto de lexicalidad como consecuencia del entrenamiento semántico de los nuevos estímulos (Batterink & Neville, 2011; Mestres-Missé et al., 2007). Por lo tanto, es preciso tener en cuenta medidas que examinen la competición léxica entre los estímulos entrenados y las palabras familiares a fin de examinar la lexicalización de las palabras nuevas de forma más específica.

Por otro lado, la cuestión acerca del mantenimiento y la consolidación de las huellas ortográficas tampoco ha sido tratada en a lo largo de esta investigación. Los efectos encontrados en los distintos estudios realizados denotan que la formación de representaciones para las palabras entrenadas es posible tras un entrenamiento relativamente breve, sin necesidad de una exposición intensiva ni prolongada en el tiempo. Sin embargo, el mantenimiento de estas huellas a lo largo del tiempo no ha sido evaluado en estos estudios, con lo que no es posible saber si los lectores eran capaces de retener las representaciones formadas ni si el mantenimiento de las mismas era diferente en función del tipo de entrenamiento llevado a cabo. A nivel

conductual, distintos estudios han mostrado que los efectos provocados tras un entrenamiento relativamente breve de las palabras nuevas pueden ser encontrados tras periodos relativamente largos, demostrando el mantenimiento de las representaciones ortográficas formadas (Kwok et al., 2016; Kwok & Ellis, 2015; Suárez-Coalla et al., 2016). Sin embargo, a nivel electrofisiológico no hay un acuerdo claro acerca de esta cuestión. Mientras algunos autores proponen que es necesario un entrenamiento prolongado en el tiempo que favorezca la consolidación del aprendizaje y que permita observar efectos relativos a la lexicalización de los estímulos (Bakker et al., 2015; McLaughlin et al., 2004), otros muestran que estos efectos pueden encontrarse de manera inmediata, sin necesidad de periodos de consolidación (Borovsky et al., 2010). Sin embargo, no se examina el mantenimiento de los efectos a lo largo del tiempo en los estudios de PRE descritos. Por lo tanto, resultaría conveniente determinar si las huellas formadas tras un entrenamiento relativamente breve de las pseudopalabra y que parecen favorecer el procesamiento léxico-semántico de estos estímulos son mantenidas en el tiempo o si por el contrario estos efectos se desvanecen, necesitándose un mayor número de sesiones o de periodos de consolidación entre las mismas para observar dicho mantenimiento.

Otra cuestión importante acerca de la formación de nuevas representaciones es el efecto que supone el conocimiento previo que el lector tiene acerca de las palabras en la posterior formación de representaciones ortográficas. Los participantes de los estudios llevados a cabo a lo largo de la presente investigación no poseían

información previa acerca de los estímulos entrenados, ya que se trataba de estímulos inventados cuya pronunciación y significado eran desconocidos. La ventaja del entrenamiento previo viene dada porque las representaciones adquiridas a otros niveles de procesamiento pueden favorecer la lectura de la nueva palabra. Si, por el contrario, el lector no dispone de conocimiento previo sobre la nueva palabra y debe comenzar a desarrollarlo durante su lectura, entonces la formación de sus representaciones ortográficas probablemente se vea menos favorecida. Distintos estudios han explorado esta cuestión. Por ejemplo, (McKay, Davis, Savage, & Castles, 2008) encontraron que el entrenamiento previo semántico y fonológico de las nuevas palabras favorecía la lectura posterior de estas, pero solo cuando se trataba de palabras irregulares. Sin embargo, Suárez-Coalla & Cuetos (2017) mostraron que la lectura de nuevas palabras regulares también puede verse favorecida por el entrenamiento previo. En este estudio se comprobó que la posterior formación de las representaciones ortográficas de las palabras, medidas mediante la reducción del efecto de longitud, se veía favorecida por el entrenamiento previo semántico y fonológico y que esta ventaja era mayor que cuando el entrenamiento era únicamente fonológico. Además, estos efectos se mantenían en el tiempo. A nivel electrofisiológico, Balass et al. (2010) examinaron si palabras nuevas que habían sido previamente entrenadas en distinto tipo de información (bien en su fonología y ortografía, en su fonología y significado o en su ortografía y significado) facilitaban el procesamiento de otras palabras familiares al ser presentadas como primeras en una

tarea de decisión semántica. Encontraron efectos de facilitación en ambos componentes N400 y LPC que reflejaban la ventaja del aprendizaje de las palabras nuevas cuando su significado había sido entrenado junto con su ortografía en lugar de junto con su fonología. Resultaría interesante profundizar en esta cuestión y examinar de forma directa la actividad electrofisiológica generada durante la lectura de palabras que han recibido un entrenamiento previo en comparación con otras que no lo han recibido, así como determinar qué tipo de entrenamiento previo supondría una mayor ventaja para su posterior lectura. Asimismo, merecería la pena desarrollar tareas que informen de forma específica sobre la lexicalización de las nuevas palabras sometidas a un entrenamiento previo. En este sentido, sería conveniente el uso de tareas de decisión léxica que indiquen posibles efectos de competición léxica entre las palabras entrenadas previamente y otras ya conocidas y con representación léxica, en lugar de utilizar tareas de decisión semántica que indiquen efectos facilitadores.

Por último, sería interesante examinar los efectos electrofisiológicos ocurridos durante el proceso de formación de nuevas representaciones ortográficas en poblaciones que presentan dificultades específicas para el desarrollo de la lectura, como es el caso de los sujetos disléxicos. Existen pocos estudios en español que evalúen la lectura de disléxicos mediante PRE y los resultados obtenidos son bastante dispares. Algunos estudios apuntan a que la actividad electrofisiológica de los sujetos disléxicos muestra mayores amplitudes en componentes relacionados con la detección de inconsistencias ortográficas (como N200) y con el procesamiento fonológico (como

N380), que reflejan problemas en el mecanismo de conversión grafema-fonema los cuales afectan a la disponibilidad de representaciones ortográficas (Gómez-Velázquez, González-Garrido, & Vega-Gutiérrez, 2013). Otros estudios concluyen que los sujetos disléxicos muestran problemas atencionales que provocan a su vez dificultades en el procesamiento semántico, tal como refleja la ausencia de efectos en los componentes P200 y N400, respectivamente (Fernández, Silva-Pereyra, Prieto-Corona, Rodríguez-Camacho, & Reynoso-Alcántara, 2014). Por el contrario, otros autores (Silva-Pereyra et al., 2003) no encuentran diferencias en el componente N400 que reflejen un procesamiento semántico diferente entre los sujetos disléxicos y los controles; en cambio, concluyen que los disléxicos sí se ponen en marcha estrategias atencionales, aunque estas son más demandantes y por tanto menos eficientes, dada la mayor amplitud y latencia de P200, las cuales llevan a una evaluación y actualización de la información en la memoria más pobre, como refleja la menor amplitud en P300. En general, no hay un acuerdo claro acerca de cuál es la naturaleza de las dificultades mostradas por este grupo de lectores. Las tareas utilizadas son bastante diferentes entre sí y ninguna se centra en evaluar de forma específica la adquisición de la lectura léxica ni se manipulan variables como la lexicalidad, longitud o la frecuencia. Por tanto, merece la pena llevar a cabo estudios que evalúen los cambios en la actividad electrofisiológica de los lectores disléxicos durante el entrenamiento de nuevas palabras y que permitan determinar la existencia de problemas en la formación de representaciones ortográficas o en el acceso a las mismas.

7. Referencias

- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A., Puce, A., & Belger, A. (1994). Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cerebral cortex*, *4*(5), 544-554.
- Angwin, A. J., Phua, B., & Copland, D. A. (2014). Using semantics to enhance new word learning: An ERP investigation. *Neuropsychologia*, *59*(0), 169-178. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.002>
- Bakker, I., Takashima, A., van Hell, J. G., Janzen, G., & McQueen, J. M. (2015). Tracking lexical consolidation with ERPs: Lexical and semantic-priming effects on N400 and LPC responses to newly-learned words. *Neuropsychologia*, *79*, 33-41.
- Balass, M., Nelson, J. R., & Perfetti, C. A. (2010). Word learning: An ERP investigation of word experience effects on recognition and word processing. *Contemporary educational psychology*, *35*(2), 126-140.
- Balota, D. A., & Chumbley, J. I. (1984). Are lexical decisions a good measure of lexical access? The role of word frequency in the neglected decision stage. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *10*(3), 340.
- Barber, H., Vergara, M., & Carreiras, M. (2004). Syllable-frequency effects in visual word recognition: evidence from ERPs. *Neuroreport*, *15*(3), 545-548.
- Batterink, L., & Neville, H. (2011). Implicit and Explicit Mechanisms of Word Learning in a Narrative Context: An Event-related Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(11), 3181-3196. doi:10.1162/jocn_a_00013

- Bentin, S. (1987). Event-related potentials, semantic processes, and expectancy factors in word recognition. *Brain and language, 31*(2), 308-327.
- Bentin, S., Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1993). Electrophysiological evidence for task effects on semantic priming in auditory word processing. *Psychophysiology, 30*(2), 161-169.
- Bentin, S., & McCarthy, G. (1994). The effects of immediate stimulus repetition on reaction time and event-related potentials in tasks of different complexity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 20*(1), 130.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M., Echallier, J., & Pernier, J. (1999). ERP Manifestations of Processing Printed Words at Different Psycholinguistic Levels: Time Course and Scalp Distribution. *Cognitive Neuroscience, Journal of, 11*(3), 235-260. doi:10.1162/089892999563373
- Bermúdez-Margaretto, B., Beltrán, D., Domínguez, A., & Cuetos, F. (2015). Repeated exposure to “meaningless” pseudowords modulates LPC, but not N (FN) 400. *Brain topography, 28*(6), 838-851.
- Besson, M., Kutas, M., & Van Petten, C. (1992). An event-related potential (ERP) analysis of semantic congruity and repetition effects in sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience, 4*(2), 132-149.
- Borovsky, A., Elman, J. L., & Kutas, M. (2012). Once is enough: N400 indexes semantic integration of novel word meanings from a single exposure in context. *Language Learning and Development, 8*(3), 278-302.
- Borovsky, A., Kutas, M., & Elman, J. (2010). Learning to use words: Event-related potentials index single-shot contextual word learning. *Cognition, 116*(2), 289-296.

- Bowers, J. S., Davis, C. J., & Hanley, D. A. (2005). Interfering neighbours: The impact of novel word learning on the identification of visually similar words. *Cognition*, *97*(3), B45-B54.
- Breitenstein, C., Jansen, A., Deppe, M., Foerster, A.-F., Sommer, J., Wolbers, T., & Knecht, S. (2005). Hippocampus activity differentiates good from poor learners of a novel lexicon. *Neuroimage*, *25*(3), 958-968.
- Breitenstein, C., Zwitserlood, P., de Vries, M. H., Feldhues, C., Knecht, S., & Dobel, C. (2007). Five days versus a lifetime: Intense associative vocabulary training generates lexically integrated words. *Restorative neurology and neuroscience*, *25*(5, 6), 493-500.
- Bridger, E. K., Bader, R., Kriukova, O., Unger, K., & Mecklinger, A. (2012). The FN400 is functionally distinct from the N400. *Neuroimage*, *63*(3), 1334-1342.
- Brunet, D., Murray, M. M., & Michel, C. M. (2011). Spatiotemporal analysis of multichannel EEG: CARTOOL. *Computational intelligence and neuroscience*, *2011*, 2.
- Carreiras, M., Vergara, M., & Barber, H. (2005). Early Event-related Potential Effects of Syllabic Processing during Visual Word Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(11), 1803-1817. doi:10.1162/089892905774589217
- Christoff, K., & Gabrieli, J. D. (2000). The frontopolar cortex and human cognition: Evidence for a rostrocaudal hierarchical organization within the human prefrontal cortex. *Psychobiology*, *28*(2), 168-186.
- Chwilla, D. J., Brown, C. M., & Hagoort, P. (1995). The N400 as a function of the level of processing. *Psychophysiology*, *32*(3), 274-285.
- Clark, H. H. (1973). The language-as-fixed-effect fallacy: A critique of language statistics in psychological research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *12*(4), 335-359.

- Clay, F., Bowers, J. S., Davis, C. J., & Hanley, D. A. (2007). Teaching adults new words: the role of practice and consolidation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*(5), 970.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage*, *22*(1), 466-476.
- Coltheart, M. (1981). Disorders of reading and their implications for models of normal reading. *Visible language*, *15*(3), 245.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological review*, *108*(1), 204.
- Cuetos, F., González, J., & De Vega, M. (2015). Psicología del lenguaje. *Madrid: Ed. Médica-Panamericana*.
- Cunningham, A. E. (2006). Accounting for children's orthographic learning while reading text: Do children self-teach? *Journal of experimental child psychology*, *95*(1), 56-77.
- Curran, T. (2000). Brain potentials of recollection and familiarity. *Memory & cognition*, *28*(6), 923-938.
- Davis, C., & Perea, M. (2005). BuscaPalabras: A program for deriving orthographic and phonological neighborhood statistics and other psycholinguistic indices in Spanish. *Behavior Research Methods*, *37*(4), 665-671. doi:10.3758/BF03192738
- Davis, M. H., Di Betta, A. M., Macdonald, M. J., & Gaskell, M. G. (2009). Learning and consolidation of novel spoken words. *Journal of cognitive neuroscience*, *21*(4), 803-820.

- de Peralta Menendez, R. G., & Andino, S. G. (1999). Distributed source models: standard solutions and new developments. In *Analysis of neurophysiological brain functioning* (pp. 176-201): Springer.
- de Peralta Menendez, R. G., Andino, S. G., Lantz, G., Michel, C. M., & Landis, T. (2001). Noninvasive localization of electromagnetic epileptic activity. I. Method descriptions and simulations. *Brain topography*, *14*(2), 131-137.
- DeWitt, I., & Rauschecker, J. P. (2012). Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(8), E505-E514.
- Dobel, C., Junghöfer, M., Breitenstein, C., Klauke, B., Knecht, S., Pantev, C., & Zwitserlood, P. (2009). New Names for Known Things: On the Association of Novel Word Forms with Existing Semantic Information. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(6), 1251-1261. doi:10.1162/jocn.2009.21297
- Dominguez, A., De Vega, M., & Barber, H. (2004). Event-related brain potentials elicited by morphological, homographic, orthographic, and semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(4), 598-608.
- Domínguez, A., Alija, M., Cuetos, F., & de Vega, M. (2006). Event related potentials reveal differences between morphological (prefixes) and phonological (syllables) processing of words. *Neuroscience letters*, *408*(1), 10-15.
- Dumay, N., & Gaskell, M. G. (2007). Sleep-Associated Changes in the Mental Representation of Spoken Words. *Psychological Science*, *18*(1), 35-39.
- Ehri, L. C., & Saltmarsh, J. (1995). Beginning readers outperform older disabled readers in learning to read words by sight. *Reading and Writing*, *7*(3), 295-326.

- Ehri, L. C., & Wilce, L. S. (1983). Development of word identification speed in skilled and less skilled beginning readers. *Journal of educational psychology, 75*(1), 3.
- Ellis, A. W., Ferreira, R., Cathles-Hagan, P., Holt, K., Jarvis, L., & Barca, L. (2009). Word learning and the cerebral hemispheres: from serial to parallel processing of written words. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 364*(1536), 3675-3696.
- Fernández, T., Silva-Pereyra, J., Prieto-Corona, B., Rodríguez-Camacho, M., & Reynoso-Alcántara, V. (2014). Event-related brain potentials during a semantic priming task in children with learning disabilities not otherwise specified. *PloS one, 9*(8), e105318.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R., & Dolan, R. J. (1997). Neural mechanisms involved in the processing of global and local aspects of hierarchically organized visual stimuli. *Brain, 120*(10), 1779-1791.
- Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Shankweiler, D. P., Katz, L., Liberman, I. Y., Stuebing, K. K., . . . Shaywitz, B. A. (1994). Cognitive profiles of reading disability: Comparisons of discrepancy and low achievement definitions. *Journal of Educational Psychology, 86*(1), 6.
- Fonseca, L. C., Tedrus, G. M. A. S., & Gilbert, M. A. P. (2006). Event related potentials during the visual discrimination of words and pseudowords by children. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria, 64*, 553-558.
- Forster, K. I., & Chambers, S. M. (1973). Lexical access and naming time. *Journal of verbal learning and verbal behavior, 12*(6), 627-635.
- Friedman, D. (1990). Cognitive Event-Related Potential Components During Continuous Recognition Memory for Pictures. *Psychophysiology, 27*(2), 136-148.

- Friedrich, M., & Friederici, A. D. (2008). Neurophysiological correlates of online word learning in 14-month-old infants. *Neuroreport*, *19*(18), 1757-1761.
- Frishkoff, G. A., Perfetti, C. A., & Collins-Thompson, K. (2010). Lexical Quality in the Brain: ERP Evidence for Robust Word Learning From Context. *Developmental Neuropsychology*, *35*(4), 376-403. doi:10.1080/87565641.2010.480915
- Gabriel, M. (1991). Functions of anterior and posterior cingulate cortex during avoidance learning in rabbits. *Progress in brain research*, *85*, 467-483.
- Genovese, C. R., Lazar, N. A., & Nichols, T. (2002). Thresholding of statistical maps in functional neuroimaging using the false discovery rate. *Neuroimage*, *15*(4), 870-878.
- Glushko, R. J. (1979). The organization and activation of orthographic knowledge in reading aloud. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, *5*(4), 674.
- Goswami, U., & Bryant, P. (1990). *Phonological skills and learning to read*: Wiley Online Library.
- Grainger, J. (1990). Word frequency and neighborhood frequency effects in lexical decision and naming. *Journal of memory and language*, *29*(2), 228-244.
- Grill-Spector, K., Kourtzi, Z., & Kanwisher, N. (2001). The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision research*, *41*(10), 1409-1422.
- Groening, K., Brodbeck, V., Moeller, F., Wolff, S., van Baalen, A., Michel, C. M., . . . Stephani, U. (2009). Combination of EEG–fMRI and EEG source analysis improves interpretation of spike-associated activation networks in paediatric pharmaco-resistant focal epilepsies. *Neuroimage*, *46*(3), 827-833.

- Groh-Bordin, C., Zimmer, H. D., & Ecker, U. K. (2006). Has the butcher on the bus dyed his hair? When color changes modulate ERP correlates of familiarity and recollection. *Neuroimage*, *32*(4), 1879-1890.
- Gómez-Velázquez, F. R., González-Garrido, A. A., & Vega-Gutiérrez, O. L. (2013). Naming abilities and orthographic recognition during childhood an event-related brain potentials study. *Int. J. Psychol. Stud*, *5*, 55-68.
- Hauk, O., Davis, M. H., Ford, M., Pulvermüller, F., & Marslen-Wilson, W. D. (2006). The time course of visual word recognition as revealed by linear regression analysis of ERP data. *Neuroimage*, *30*(4), 1383-1400.
- Hauk, O., Pulvermüller, F., Ford, M., Marslen-Wilson, W., & Davis, M. H. (2009). Can I have a quick word? Early electrophysiological manifestations of psycholinguistic processes revealed by event-related regression analysis of the EEG. *Biological psychology*, *80*(1), 64-74.
- Herbster, A. N., Mintun, M. A., Nebes, R., & Becker, J. (1997). Regional cerebral blood flow during word and nonword reading. *Human brain mapping*, *5*(2), 84-92.
- Hillyard, S. A., Mangun, G. R., Woldorff, M. G., & Luck, S. J. (1995). Neural systems mediating selective attention.
- Hillyard, S. A., Teder-Sälejärvi, W. A., & Münte, T. F. (1998). Temporal dynamics of early perceptual processing. *Current opinion in neurobiology*, *8*(2), 202-210.
- Indefrey, P., & Levelt, W. J. (2000). The neural correlates of language production. In *The new cognitive neurosciences; 2nd ed.* (pp. 845-865): MIT press.
- Jasper, H. H. (1958). The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *10*, 371-375.

- Joubert, S., Beaugard, M., Walter, N., Bourgouin, P., Beaudoin, G., Leroux, J.-M., . . . Lecours, A. R. (2004). Neural correlates of lexical and sublexical processes in reading. *Brain and language, 89*(1), 9-20.
- Juphard, A., Vidal, J. R., Perrone-Bertolotti, M., Minotti, L., Kahane, P., Lachaux, J.-P., & Baciau, M. (2011). Direct evidence for two different neural mechanisms for reading familiar and unfamiliar words: an intra-cerebral EEG study. *Frontiers in human neuroscience, 5*, 101.
- Kim, Y. Y., Lee, B., Shin, Y. W., Kwon, J. S., & Kim, M.-S. (2006). Activity of left inferior frontal gyrus related to word repetition effects: LORETA imaging with 128-channel EEG and individual MRI. *Neuroimage, 29*(3), 712-720.
- Koenig, T., Melie-García, L., Stein, M., Strik, W., & Lehmann, C. (2008). Establishing correlations of scalp field maps with other experimental variables using covariance analysis and resampling methods. *Clinical Neurophysiology, 119*(6), 1262-1270.
- 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. doi:10.1146/annurev.psych.093008.131123
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology, 11*(2), 99-116. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0301-0511\(80\)90046-0](http://dx.doi.org/10.1016/0301-0511(80)90046-0)
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1989). An electrophysiological probe of incidental semantic association. *Journal of Cognitive Neuroscience, 1*(1), 38-49.

- Kutas, M., & Van Petten, C. (1988). Event-related brain potential studies of language. *Advances in psychophysiology*, 3, 139-187.
- Kwok, R. K. W., Cuetos, F., Avdyli, R., & Ellis, A. W. (2016). Reading and lexicalization in opaque and transparent orthographies: Word naming and word learning in English and Spanish. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1-25.
- Kwok, R. K. W., & Ellis, A. W. (2015). Visual word learning in skilled readers of English. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(2), 326-349.
- Laszlo, S., & Federmeier, K. D. (2007). Better the DVL you know: Acronyms reveal the contribution of familiarity to single-word reading. *Psychological Science*, 18(2), 122-126.
- Laszlo, S., Stites, M., & Federmeier, K. D. (2012). Won't get fooled again: An event-related potential study of task and repetition effects on the semantic processing of items without semantics. *Language and cognitive processes*, 27(2), 257-274.
- Leach, L., & Samuel, A. G. (2007). Lexical configuration and lexical engagement: When adults learn new words. *Cognitive psychology*, 55(4), 306-353.
- Lemoine, H. E., Levy, B. A., & Hutchinson, A. (1993). Increasing the naming speed of poor readers: Representations formed across repetitions. *Journal of experimental child psychology*, 55(3), 297-328.
- Levy, J., Pernet, C., Treserras, S., Boulanouar, K., Aubry, F., Démonet, J.-F., & Celsis, P. (2009). Testing for the dual-route cascade reading model in the brain: an fMRI effective connectivity account of an efficient reading style. *PLoS One*, 4(8), e6675.
- Maloney, E., Risko, E. F., O'Malley, S., & Besner, D. (2009). Tracking the transition from sublexical to lexical processing: On the creation of orthographic and phonological

- lexical representations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(5), 858-867. doi:10.1080/17470210802578385
- Manis, F. R. (1985). Acquisition of word identification skills in normal and disabled readers. *Journal of Educational psychology*, 77(1), 78.
- Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG-and MEG-data. *Journal of neuroscience methods*, 164(1), 177-190.
- 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), 293-305.
- McClelland, J. L., McNaughton, B. L., & O'reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychological review*, 102(3), 419.
- McKay, A., Davis, C., Savage, G., & Castles, A. (2008). Semantic involvement in reading aloud: evidence from a nonword training study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(6), 1495.
- McLaughlin, J., Osterhout, L., & Kim, A. (2004). Neural correlates of second-language word learning: Minimal instruction produces rapid change. *Nature neuroscience*, 7(7), 703-704.
- Mechelli, A., Humphreys, G. W., Mayall, K., Olson, A., & Price, C. J. (2000). Differential effects of word length and visual contrast in the fusiform and lingual gyri during. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 267(1455), 1909-1913.

- Mestres-Missé, A., Càmara, E., Rodríguez-Fornells, A., Rotte, M., & Münte, T. F. (2008). Functional neuroanatomy of meaning acquisition from context. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(12), 2153-2166.
- Mestres-Missé, A., Rodríguez-Fornells, A., & Münte, T. F. (2007). Watching the Brain during Meaning Acquisition. *Cerebral Cortex*, *17*(8), 1858-1866.
- Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of experimental psychology*, *90*(2), 227.
- Meyer, M. S., & Felton, R. H. (1999). Repeated reading to enhance fluency: Old approaches and new directions. *Annals of dyslexia*, *49*, 283-306.
- Michel, C. M., Murray, M. M., Lantz, G., Gonzalez, S., Spinelli, L., & de Peralta, R. G. (2004). EEG source imaging. *Clinical neurophysiology*, *115*(10), 2195-2222.
- Miozzo, M., Pulvermüller, F., & Hauk, O. (2015). Early parallel activation of semantics and phonology in picture naming: Evidence from a multiple linear regression MEG study. *Cerebral Cortex*, *25*(10), 3343-3355.
- Mitchell, A. M., & Brady, S. A. (2013). The effect of vocabulary knowledge on novel word identification. *Annals of dyslexia*, *63*(3-4), 201-216.
- Mitchell, P. F., Andrews, S., & Ward, P. B. (1993). An event-related potential study of semantic congruity and repetition in a sentence-reading task: Effects of context change. *Psychophysiology*, *30*(5), 496-509.
- Molchan, S. E., Sunderland, T., McIntosh, A., Herscovitch, P., & Schreurs, B. G. (1994). A functional anatomical study of associative learning in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *91*(17), 8122-8126.

- Monsell, S., Doyle, M., & Haggard, P. (1989). Effects of frequency on visual word recognition tasks: Where are they? *Journal of Experimental Psychology: General*, *118*(1), 43.
- Morris, R., Pandya, D. N., & Petrides, M. (1999). Fiber system linking the mid-dorsolateral frontal cortex with the retrosplenial/presubicular region in the rhesus monkey. *Journal of Comparative Neurology*, *407*(2), 183-192.
- Murray, M. M., Brunet, D., & Michel, C. M. (2008). Topographic ERP analyses: a step-by-step tutorial review. *Brain topography*, *20*(4), 249-264.
- Nation, K., Angell, P., & Castles, A. (2007). Orthographic learning via self-teaching in children learning to read English: Effects of exposure, durability, and context. *Journal of experimental child psychology*, *96*(1), 71-84.
- Nation, K., & Snowling, M. J. (2004). Beyond phonological skills: Broader language skills contribute to the development of reading. *Journal of research in reading*, *27*(4), 342-356.
- Neely, J. H. (1976). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Evidence for facilitatory and inhibitory processes. *Memory & Cognition*, *4*(5), 648-654.
- Neville, H. J., Coffey, S. A., Holcomb, P. J., & Tallal, P. (1993). The neurobiology of sensory and language processing in language-impaired children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(2), 235-253.
- Newman, S. D., & Twieg, D. (2001). Differences in auditory processing of words and pseudowords: An fMRI study. *Human brain mapping*, *14*(1), 39-47.
- Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, *372*(6503), 260-263.

- Núñez-Peña, M. I., Corral, M. J., & Escera, C. (2004). Potenciales evocados cerebrales en el contexto de la investigación psicológica: una actualización. *Anuario de Psicología*, 35(1), 3-22.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J.-M. (2010). FieldTrip: open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1992). Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of memory and language*, 31(6), 785-806.
- Paperna, T., & Malach, R. (1991). Patterns of sensory intermodality relationships in the cerebral cortex of the rat. *Journal of Comparative Neurology*, 308(3), 432-456.
- Paulesu, E., Vallar, G., Berlingeri, M., Signorini, M., Vitali, P., Burani, C., . . . Fazio, F. (2009). Supercalifragilisticexpialidocious: how the brain learns words never heard before. *Neuroimage*, 45(4), 1368-1377.
- Pedroni, A., Langer, N., Koenig, T., Allemand, M., & Jäncke, L. (2011). Electroencephalographic topography measures of experienced utility. *Journal of neuroscience*, 31(29), 10474-10480.
- Perfetti, C. A. (1977). Language comprehension and fast decoding: Some psycholinguistic prerequisites for skilled reading comprehension. *Cognition, curriculum, and comprehension*, 20-41.
- Perfetti, C. A. (1985). *Reading ability*: Oxford University Press.

- Perfetti, C. A., Bell, L. C., & Delaney, S. M. (1988). Automatic (prelexical) phonetic activation in silent word reading: Evidence from backward masking. *Journal of Memory and Language*, 27(1), 59-70.
- Perfetti, C. A., & Hart, L. (2002). The lexical quality hypothesis. *Precursors of functional literacy*, 11, 67-86.
- Perfetti, C. A., Wlotko, E. W., & Hart, L. A. (2005). Word Learning and Individual Differences in Word Learning Reflected in Event-Related Potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(6), 1281-1292. doi:10.1037/0278-7393.31.6.1281
- Petten, C., Kutas, M., Kluender, R., Mitchiner, M., & McIsaac, H. (1991). Fractionating the Word Repetition Effect with Event-Related Potentials. *Cognitive Neuroscience, Journal of*, 3(2), 131-150. doi:10.1162/jocn.1991.3.2.131
- Petten, C., Senkfor, A. J., & Newberg, W. M. (2000). Memory for drawings in locations: Spatial source memory and event-related potentials. *Psychophysiology*, 37(4), 551-564.
- Petten, C. V. (1993). A comparison of lexical and sentence-level context effects in event-related potentials. *Language and Cognitive Processes*, 8(4), 485-531.
- Picton, T. W., & Hillyard, S. A. (1988). Endogenous event-related potentials. *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology*, 3, 361-426.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi-regular domains. *Psychological review*, 103(1), 56.
- Price, C. J. (1998). The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends in cognitive sciences*, 2(8), 281-288.

- Proverbio, A. M., Čok, B., & Zani, A. (2002). Electrophysiological measures of language processing in bilinguals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(7), 994-1017.
- Qiao, X., Forster, K., & Witzel, N. (2009). Is banara really a word? *Cognition*, *113*(2), 254-257.
- Qiao, X., & Forster, K. I. (2013). Novel word lexicalization and the prime lexicality effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(4), 1064.
- Ramnani, N., & Owen, A. M. (2004). Anterior prefrontal cortex: insights into function from anatomy and neuroimaging. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(3), 184-194.
- Reitsma, P. (1983). Printed word learning in beginning readers. *Journal of experimental child psychology*, *36*(2), 321-339.
- Renoult, L., Wang, X., Calcagno, V., Prévost, M., & Debrulle, J. B. (2012). From N400 to N300: variations in the timing of semantic processing with repetition. *NeuroImage*, *61*(1), 206-215.
- Richard Ridderinkhof, K., Forstmann, B. U., Wylie, S. A., Burle, B., & van den Wildenberg, W. P. (2011). Neurocognitive mechanisms of action control: resisting the call of the Sirens. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *2*(2), 174-192.
- Ripamonti, E., Aggujaro, S., Molteni, F., Zonca, G., Frustaci, M., & Luzzatti, C. (2014). The anatomical foundations of acquired reading disorders: a neuropsychological verification of the dual-route model of reading. *Brain and language*, *134*, 44-67.
- Roehm, D., Bornkessel-Schlesewsky, I., Rösler, F., & Schlewsky, M. (2007). To predict or not to predict: Influences of task and strategy on the processing of semantic relations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*(8), 1259-1274.
- Rubenstein, H., Garfield, L., & Millikan, J. A. (1970). Homographic entries in the internal lexicon. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *9*(5), 487-494.

- Rubin, S. R., Petten, C. V., Glisky, E. L., & Newberg, W. M. (1999). Memory conjunction errors in younger and older adults: Event-related potential and neuropsychological data. *Cognitive Neuropsychology*, *16*(3-5), 459-488.
- Rugg, M. D. (1995). 50 Event-Related Potential Studies of Human Memory.
- Rugg, M. D., & Curran, T. (2007). Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(6), 251-257. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2007.04.004>
- 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): Springer.
- Rugg, M. D., & Yonelinas, A. P. (2003). Human recognition memory: a cognitive neuroscience perspective. *Trends in cognitive sciences*, *7*(7), 313-319.
- Rumsey, J., Horwitz, B., Donohue, B., Nace, K., Maisog, J., & Andreason, P. (1997). Phonological and orthographic components of word recognition. A PET-rCBF study. *Brain*, *120*(5), 739-759.
- Salasoo, A., Shiffrin, R. M., & Feustel, T. C. (1985). Building permanent memory codes: codification and repetition effects in word identification. *Journal of Experimental Psychology: General*, *114*(1), 50.
- Scarborough, D. L., Cortese, C., & Scarborough, H. S. (1977). Frequency and repetition effects in lexical memory. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *3*(1), 1.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). E-Prime (Version 2.0). *Computer software and manual*. Pittsburgh, PA: Psychology Software Tools Inc.
- Scott, S. K., Blank, C. C., Rosen, S., & Wise, R. J. (2000). Identification of a pathway for intelligible speech in the left temporal lobe. *Brain*, *123*(12), 2400-2406.

- Sebastián-Gallés, N. (2000). *LEXESP: Léxico informatizado del español*: Edicions Universitat Barcelona.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological review*, *96*(4), 523.
- Seymour, P. H., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of psychology*, *94*(2), 143-174.
- Shankweiler, D., Liberman, I. Y., Mark, L. S., Fowler, C. A., & Fischer, F. W. (1979). The speech code and learning to read. *Journal of Experimental Psychology: Human learning and memory*, *5*(6), 531-545.
- Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self-teaching: sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, *55*(2), 151-218. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)00645-2](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0277(94)00645-2)
- Share, D. L. (1999). Phonological recoding and orthographic learning: A direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of experimental child psychology*, *72*(2), 95-129.
- Shtyrov, Y. (2012). Neural bases of rapid word learning. *The Neuroscientist*, *18*(4), 312-319.
- Silva-Pereyra, J., Rivera-Gaxiola, M., Fernández, T. a., Díaz-Comas, L., Harmony, T. a., Fernández-Bouzas, A., . . . Marosi, E. (2003). Are poor readers semantically challenged? An event-related brain potential assessment. *International Journal of Psychophysiology*, *49*(3), 187-199.
- Smith, M. E. (1993). Neurophysiological manifestations of recollective experience during recognition memory judgments. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(1), 1-13.
- Smith, N. J., & Kutas, M. (2015). Regression-based estimation of ERP waveforms: I. The rERP framework. *Psychophysiology*, *52*(2), 157-168.

- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(2), 174-215. doi:10.1037/0278-7393.6.2.174
- Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1994). Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 24.
- Stein, M., Dierks, T., Brandeis, D., Wirth, M., Strik, W., & König, T. (2006). Plasticity in the adult language system: A longitudinal electrophysiological study on second language learning. *Neuroimage*, 33(2), 774-783.
- Suzuki, W. L., & Amaral, D. G. (1994). Perirhinal and parahippocampal cortices of the macaque monkey: cortical afferents. *Journal of comparative neurology*, 350(4), 497-533.
- Suárez-Coalla, P., & Cuetos, F. (2017). Semantic and phonological influences on visual word learning in a transparent language. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(4), 772-781.
- Suárez-Coalla, P., Álvarez-Cañizo, M., & Cuetos, F. (2016). Orthographic learning in Spanish children. *Journal of Research in Reading*, 39(3), 292-311.
- Swick, D., & Knight, R. T. (1996). Is prefrontal cortex involved in cued recall? A neuropsychological test of PET findings. *Neuropsychologia*, 34(10), 1019-1028.
- Taha, H., & Khateb, A. (2013). Resolving the orthographic ambiguity during visual word recognition in Arabic: an event-related potential investigation.

- van Atteveldt, N. M., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2007). Top-down task effects overrule automatic multisensory responses to letter-sound pairs in auditory association cortex. *Neuroimage*, *36*(4), 1345-1360.
- Van Strien, J. W., Hagenbeek, R. E., Stam, C. J., Rombouts, S. A. R. B., & Barkhof, F. (2005). Changes in brain electrical activity during extended continuous word recognition. *NeuroImage*, *26*(3), 952-959. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.03.003>
- Vega, F. C. (2011). *Neurociencia del lenguaje: bases neurológicas e implicaciones clínicas*.
- Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., & Tanzman, M. S. (1994). Components of reading ability: Issues and problems in operationalizing word identification, phonological coding, and orthographic coding.
- Visser, M., Jefferies, E., & Ralph, M. L. (2010). Semantic processing in the anterior temporal lobes: a meta-analysis of the functional neuroimaging literature. *Journal of cognitive neuroscience*, *22*(6), 1083-1094.
- Vogt, B. A., Finch, D. M., & Olson, C. R. (1992). Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions. *Cerebral cortex*, *2*(6), 435-443.
- von Koss Torkildsen, J., Sannerud, T., Syversen, G., Thormodsen, R., Simonsen, H. G., Moen, I., . . . Lindgren, M. (2006). Semantic organization of basic-level words in 20-month-olds: An ERP study. *Journal of Neurolinguistics*, *19*(6), 431-454.
- Voss, J. L., & Federmeier, K. D. (2011). FN400 potentials are functionally identical to N400 potentials and reflect semantic processing during recognition testing. *Psychophysiology*, *48*(4), 532-546. doi:10.1111/j.1469-8986.2010.01085.x

- Voss, J. L., & Paller, K. A. (2007). Neural correlates of conceptual implicit memory and their contamination of putative neural correlates of explicit memory. *Learning & Memory*, *14*(4), 259-267.
- Wang, Q., & Yuan, J. (2008). N400 lexicality effect in highly blurred Chinese words: evidence for automatic processing. *NeuroReport*, *19*(2).
- Weekes, B. S. (1997). Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *50*(2), 439-456.
- Ziegler, J. C., Besson, M., Jacobs, A. M., Nazir, T. A., & Carr, T. H. (1997). Word, Pseudoword, and Nonword Processing: A Multitask Comparison Using Event-Related Brain Potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(6), 758-775.
doi:10.1162/jocn.1997.9.6.758