

Estudio de la maduración de la respuesta visual durante el aprendizaje de la lectura

Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, orientación Neurociencias.

PEDECIBA

Montevideo, Agosto de 2019

Maestranda: Lic. Lucía Fernández Saldanha

CI: 4.749.697-3

Orientador: Dr. Juan Carlos Valle Lisboa

Co-orientador: Dr. Francisco Cervantes

Tribunal: Presidente: Dr. Leonel Gómez, Vocales: Dr. Ariel Cuadro y Dr. Juan Kamienkowski

Lugar de realización: Centro de Investigación Básica en Psicología, Facultad de Psicología, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Financiación: Comisión Académica de Postgrados (CAP).

Resumen

INTRODUCCIÓN. El componente N1 del potencial evocado (ERP) se caracteriza por una negatividad occipito-temporal con pico entre 150 a 200 ms luego de presentar un estímulo visual. El N1 es sensible a la distinción entre palabras y otros estímulos, siguiendo una mayor amplitud frente a la presentación de palabras en comparación con símbolos no alfabéticos, como ser cadenas de caracteres falsos. Este efecto se conoce como *coarse print tuning*, y se ha observado en niños desde el segundo año de aprendizaje de la lectura, pero no en niños pre-lectores, siendo escasa la evidencia de lo que ocurre durante el proceso de aprendizaje inicial. Por otra parte, se ha evaluado la presencia de activación diferencial de palabras respecto a pseudopalabras en N1 (efecto *fine print tuning*), pero la evidencia no ha sido consistente.

MÉTODOS. Se evalúan los efectos *coarse* y *fine print tuning* en 42 niños hispanohablantes al finalizar el primer año escolar mediante dos tareas de electroencefalografía (EEG). En la primera, siguiendo la literatura principal, los participantes debían presionar una tecla cada vez que dos estímulos, palabras, pseudopalabras, o fuentes falsas, se repetían (tarea *one-back*). En la segunda tarea -limitada a presentaciones de palabras y pseudopalabras, intercaladas con imágenes- debían presionar, ante la presentación de cada imagen, si la misma correspondía con la palabra presentada inmediatamente antes. De esta forma, se controló que los participantes tuvieran que acceder al significado de las palabras.

RESULTADOS. Se reporta un efecto *coarse print tuning* bilateral relativamente más pronunciado en el hemisferio izquierdo. El efecto es observable a nivel individual en la mayoría de los niños (76%) que participaron del estudio. Además, se encontró que el efecto *fine print tuning*, que no se encuentra consistentemente en la literatura, puede ser detectable al emplear métodos de análisis que toman en cuenta la variabilidad individual y la posibilidad de que los efectos estén presentes en otros electrodos que los usualmente considerados. No se encontró evidencia de un mayor efecto *fine print tuning* en la tarea en que se favorece el acceso semántico respecto a la

tarea *one-back*, pero sí un efecto de lateralización izquierda para palabras y pseudopalabras que no se observa en la tarea *one-back*.

CONCLUSIONES. Existe una especialización visual para palabras en niños que tienen un año de instrucción formal en la lectura. El efecto *fine print tuning* no se ve incrementado cuando se asegura el acceso al significado, lo que sugiere que podría deberse más bien a efectos de familiaridad léxica que de modulación semántica.

Contenidos

Resumen.....	2
Introducción y Antecedentes.....	6
Introducción.....	7
Bases neuronales y cognitivas de la lectura.....	7
El componente N1 y el efecto print tuning.....	10
Desarrollo del efecto print tuning.....	11
Incorporando la variabilidad al análisis clásico: nuevas herramientas.....	15
Modelos lineales mixtos.....	16
Análisis por filtro espacial.....	17
Objetivos e hipótesis.....	19
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos.....	20
Hipótesis.....	21
Materiales y Métodos.....	22
Diseño Experimental.....	23
Participantes.....	23
Evaluación electrofisiológica.....	24
Procedimiento general.....	24
Estímulos.....	26
Tareas.....	28
Preprocesamiento y Análisis de datos.....	32
Preprocesamiento.....	32
Potenciales evocados.....	34
Análisis estadístico.....	34
Análisis de resultados comportamentales.....	34
Análisis de los resultados electrofisiológicos.....	35
Resultados.....	38
Coarse print tuning.....	39
Resultados comportamentales.....	39
Resultados electrofisiológicos.....	39
Coarse tuning a nivel individual.....	41
Fine print tuning.....	41
Tarea <i>one-back</i>	42
Resultados comportamentales.....	42
Resultados electrofisiológicos.....	42
Tarea <i>semántica</i>	43

Resultados comportamentales.....	43
Resultados electrofisiológicos.....	44
Resultados 2: Modelización de la variabilidad y separación de fuentes adicionales.....	46
Modelos con efecto aleatorio de electrodo.....	47
Coarse print tuning.....	47
Fine print tuning.....	48
Tarea <i>one-back</i>	48
Tarea semántica.....	48
Análisis por filtro espacial.....	49
Fine print tuning.....	50
Tarea <i>one-back</i>	50
Tarea <i>semántica</i>	53
Discusión.....	55
Efecto coarse print tuning.....	56
Efecto fine print tuning.....	58
Conclusiones.....	62
Anexo.....	63
Referencias.....	66

Introducción y Antecedentes

Introducción

La lectura es una invención cultural de desarrollo reciente. Es una habilidad aprendida, que a diferencia de la lengua oral, requiere instrucción explícita y práctica. Según el modelo simple de la lectura (Tunmer & Chapman, 2012) la comprensión lectora puede dividirse en dos componentes principales: decodificación y comprensión oral. El primero implica el pasaje del código escrito al código oral, lo que requiere la conversión de grafemas a fonemas. En etapas tempranas del aprendizaje de la lectura, este es el componente más relevante. Posteriormente, a medida que se automatiza la decodificación, los esfuerzos cognitivos se centran en la comprensión (Castles, Rastle, & Nation, 2018; Landi, 2010). A pesar de que para lectores expertos la decodificación es un proceso que se realiza de forma automática (sin esfuerzo consciente), implica diversos procesos cognitivos subyacentes vinculados al reconocimiento visual de la palabra escrita y al acceso al sonido de dicha palabra (Seidenberg, 2017).

Como veremos, existe una red cerebral especializada en el procesamiento de la palabra escrita que involucra la unión temporo-occipital, el área perisilvica y el giro frontal inferior, entre otras (Jobard & Crivello, 2003). Dada la aparición reciente de la escritura en términos de la evolución humana, resulta poco probable que esta red neuronal esté precableada. Por ejemplo, en estudios que comparan la actividad neural en adultos analfabetos y adultos alfabetizados, se observan diferencias estructurales en estas áreas (Carreiras et al., 2009). En el mismo sentido, se encuentran diferencias funcionales en estas áreas en niños estudiados antes y después del aprendizaje de la lectura (Dehaene-Lambertz, Monzalvo, & Dehaene, 2018). Es pertinente entonces estudiar cómo se desarrolla este circuito en las etapas tempranas del aprendizaje de la lectura, y qué factores intervienen en el logro de la fluidez lectora.

Bases neuronales y cognitivas de la lectura

Desde el punto de vista cognitivo, la lectura implica acceder al procesamiento del lenguaje desde el sistema visual. Aunque la maquinaria de procesamiento sintáctico y semántico

son comunes al lenguaje oral y al lenguaje escrito, en el texto escrito pueden aparecer estructuras más complejas desde el punto de vista semántico y sintáctico que las que se utilizan en el habla. (Caplan, Waters, Bertram, Ostrowski, & Michaud, 2016; Chafe & Tannen, 1987). Por esta razón, sería posible que algunas estructuras escritas impongan diferentes requerimientos de memoria de trabajo en el procesamiento lingüístico respecto a la comprensión oral (Tindle & Longstaff, 2015). No obstante, la mayor diferencia entre el procesamiento del lenguaje oral y escrito ocurre a nivel de la modalidad sensorial (auditiva y visual respectivamente).

Se ha postulado la existencia de dos vías para la lectura de palabras: una vía léxica, que vincula la entrada visual con el lexicón ortográfico, y de éste al significado -sin necesidad de acceder a la forma fonológica- y una vía subléxica, que utiliza las reglas de conversión de grafemas a fonemas para pasar de la entrada visual a la forma fonológica, y de ésta al significado de la palabra (Pritchard, Coltheart, Palethorpe, & Castles, 2012). Parte de la evidencia que sustenta la existencia de una vía léxica está dada por la observación de que palabras diferentes son leídas con la misma velocidad independientemente de su longitud (Brennan & Booth, 2015; New, Ferrand, Pallier, & Brysbaert, 2006; Weekes, 1997; Zoccolotti et al., 2005). No obstante, durante la adquisición de la lectura, sí se observa una diferencia del tiempo de lectura con la longitud de la palabra (Zoccolotti et al., 2005) lo que muestra que se está pasando por un procesamiento de la estructura interna de la palabra. Dado que buena parte del vocabulario básico necesario para leer (pero por cierto no todo (Nagy & Anderson, 1984; Nagy, Herman, & Anderson, 1985) se adquiere antes de aprender a leer (Huttenlocher, Waterfall, Vasilyeva, Vevea, & Hedges, 2010), la forma de conectar un patrón visual con el significado es a través de la fonología, esto es del sonido de las palabras (Rayner, Foorman, Perfetti, Pesetsky, & Seidenberg, 2001). De hecho, se ha demostrado que el procesamiento fonológico ocurre incluso cuando se procesa directamente desde la información visual al significado (Rubenstein, Lewis, & Rubenstein, 1971). Aún en el caso de lectores expertos, la vía fonológica (subléxica) es la única disponible para la lectura de palabras desconocidas, ya que estas carecen de una representación en el lexicón ortográfico- si bien otros niveles como el morfológico podrían ayudar a reconocer las palabras directamente de forma visual (Marslen-Wilson, Bozic, & Randall, 2008). A medida

que la habilidad de lectura progresa, la información visual se vuelve suficiente para acceder al léxico. La manera detallada en que esto ocurre sigue siendo objeto de intenso debate (Goswami, 2015; Mano et al., 2013; Pritchard et al., 2012), siendo esa discusión ahora alimentada por la información acerca de los procesos neurales involucrados (Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005; Jobard et al, 2003; Seidenberg, 2017; Dehaene, 2014; Figura 1).

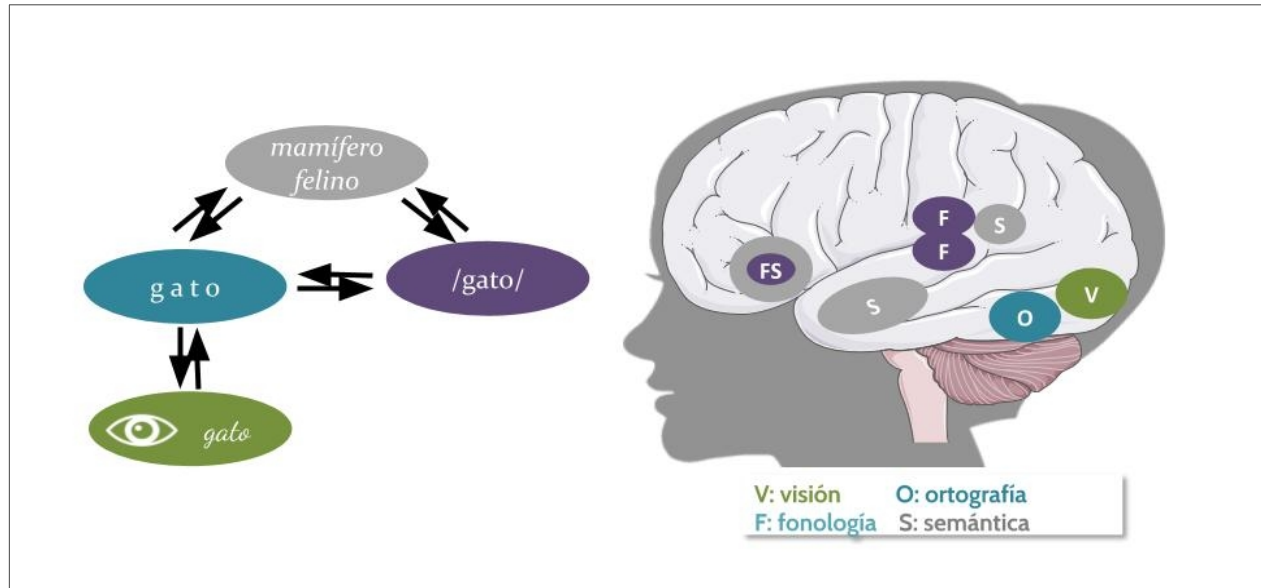


Figura 1. Modelo de la arquitectura cognitiva de las redes involucradas en la lectura (Joanisse & Seidenberg, 1999; Plaut, McClelland, Seidenberg, & Patterson, 1996). Los procesos visuales generales de entrada (verde) se conectan con los procesos que detectan específicamente las letras y palabras (azul) (Jobard et al, 2003; Dehaene, 2014). Estos procesos interactúan con la detección de fonemas y con el significado de las palabras (violeta y gris, respectivamente). La posible localización en el cerebro de las regiones involucradas se indican en el esquema (esquemas tomados Zugarramurdi, comunicación personal).

Se ha descrito un área visual, ubicada en la porción ventral de la unión occipito-temporal izquierda, especializada en el reconocimiento visual de palabras, que ha sido denominada el área de la forma visual de las palabras (VWFA, *visual word form area*, Cohen et al., 2000). Durante el aprendizaje de la lectura esta área comienza a responder selectivamente a palabras o conjuntos de caracteres por sobre otros estímulos visuales complejos, como por ejemplo rostros o formas geométricas (Dehaene et al., 2010). Al mismo tiempo, en el área

análoga del hemisferio derecho se observa un aumento de la sensibilidad de las respuestas a caras presentadas visualmente (Dehaene et al, 2010). La presencia de esta especialización lateral es entonces un indicador de los cambios que ocurren con el aprendizaje.

Si bien varios de los aspectos de cómo ocurre precisamente este proceso de especialización están en debate (ver por ejemplo Price & Devlin, 2011, Carreiras, Armstrong, Perea, & Frost, 2014) algunos aspectos de consenso son especialmente importantes a considerar para esta tesis. En particular, es claro que las respuestas neuronales involucradas se ajustan al estímulo lector, incluso las pertenecientes a las áreas visuales primarias (Chang et al., 2015; Dehaene et al., 2010). Esto implica que en el aprendizaje de la lectura, la respuesta de las redes neuronales cambia o “se recicla” (Dehaene & Cohen, 2007), como muestra evidencia de resonancia magnética funcional y magnetoencefalografía (p. ej. Caffarra et al., 2017; S. Dehaene et al., 2010; Monzalvo & Dehaene-lambertz, 2013). De particular relevancia, algunos reportes de electroencefalografía (EEG) apuntan a que el aprendizaje de la lectura conlleva cambios en las respuestas electrofisiológicas, y en particular en uno de los componentes del potencial evocado (ERP, *event related potential*), el componente N1 (Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 1999).

El componente N1 y el efecto print tuning

El componente N1 se caracteriza por una negatividad occipito-temporal y positividad frontocentral, con pico entre 150 y 200 ms luego de la presentación de un estímulo visual. En el caso de personas que aprendieron a leer, dicho componente presenta mayor amplitud frente a cadenas de letras (palabras o pseudopalabras) que frente a símbolos o cadenas de caracteres inventados (Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 1999; Maurer et al., 2006). A esta especialización neural para el reconocimiento visual de palabras se la denomina *efecto print-tuning*. Se ha reportado que este efecto se lateraliza a la izquierda en lectores que decodifican de forma fluida (Brem et al., 2005; Rossion, Joyce, Cottrell, & Tarr, 2003; Sacchi & Laszlo, 2016) lo que para algunos autores sería un marcador de la adquisición del código lector.

Sin embargo, existen algunas interrogantes acerca de cómo ocurre este proceso de lateralización, y si existen variantes de este proceso entre los sujetos.

La interpretación de por qué existe el efecto *print tuning* no es trivial, dado que a lo largo del aprendizaje de la lectura, su magnitud presenta una forma de “U” invertida: no se observa previo al aprendizaje de la lectura, aumenta en los primeros años escolares, y por último disminuye en lectores expertos (Maurer et al., 2006). Una posible interpretación es que antes de empezar a leer, las áreas visuales realizan el mismo volumen de procesamiento en el caso de cadenas de letras que en el caso de caracteres no alfabéticos. Al aprender a leer, algunas áreas visuales (posiblemente la VWFA) se especializan en reconocer letras. El pasaje a una lectura experta hace que finalmente el esfuerzo neural sea mucho menor, reduciendo nuevamente el potencial observado.

Desarrollo del efecto print tuning

Para ahondar en la comprensión de cuáles son los procesos subyacentes al efecto *print tuning*, es indispensable caracterizar su trayectoria de desarrollo. Algunos estudios evidencian su presencia en niños en segundo año escolar, luego de aproximadamente dos años de instrucción lectora, pero no en niños preescolares (ej. Maurer et al., 2006). Sin embargo, las evidencias actuales sobre el comportamiento del efecto *print tuning* en niños entre preescolar y segundo año de escuela primaria, son escasas. A nuestro entender, sólo existe un estudio que se centra en estudiar la especialización neural para el reconocimiento visual de palabras en este período, en etapas tempranas de instrucción y experiencia lectora (Eberhard-Moscicka, Jost, Raith, & Maurer, 2015). En este estudio los autores encuentran el efecto *print tuning* en niños de entre 6,7 y 8,5 años (media=7,6) que están hacia el final del primer año de educación primaria. Esto sugiere que esta especialización visual para el procesamiento de la palabra escrita (versus otros estímulos visuales) se desarrolla muy rápidamente, luego de menos de un año de instrucción y experiencia lectora.

Si bien existe acuerdo en que el efecto *print tuning* está asociado al aprendizaje de la lectura, no queda claro específicamente a qué aspectos de la lectura se asocia. Por ejemplo, si se vincula al conocimiento del nombre/sonido de las letras individuales, a la conversión grafema-

fonema, a la experiencia lectora, o a la fluidez con la que se lee. Además, en las etapas iniciales del aprendizaje de la lectura existen múltiples procesos fuertemente vinculados al desempeño lector, a destacar, el conocimiento de las letras y la conciencia fonológica (Georgiou, Parrila & Papadopoulos; 2008, Leppa, Aunola, Niemi, & Nurmi, 2008). Tampoco queda claro si el efecto *print tuning* depende particularmente de alguno de estos procesos. Por ejemplo, para asociar cada letra con su sonido, es necesario poseer una representación abstracta de los sonidos individuales de la lengua (fonemas). A la capacidad de identificar y manipular los sonidos de la lengua (en sus diferentes niveles de granularidad, por ejemplo a nivel de sílabas o a nivel de fonemas) se la conoce como conciencia fonológica, uno de los principales predictores del desempeño lector (Hulme et al., 2012). En cuanto al conocimiento de las letras, Brem y cols. (2010) no observan el efecto *print tuning* en niños que reconocen letras del alfabeto pero que aún no son capaces de decodificar, lo que sugiere que la familiaridad con la forma visual de las letras no es suficiente para dar lugar a dicho efecto. En este sentido, Maurer & McCandliss (2007) sugieren que hay una estrecha vinculación entre el efecto *print tuning* y el procesamiento fonológico. Esta hipótesis se basa en la observación de que este efecto se lateraliza a la izquierda, probablemente debido a que la decodificación implica formar conexiones entre el procesamiento ortográfico y el procesamiento fonológico, típicamente lateralizado a la izquierda. Más aún, Brem y cols. (2010), observan en niños preescolares que, luego de un breve entrenamiento en la correspondencia grafema-fonema, aparece un incipiente efecto *print tuning* que decrece luego de suspender el entrenamiento.

Teniendo en cuenta esta evidencia, (Eberhard-Moscicka, Jost, Raith, & Maurer, 2015) proponen que el efecto *print tuning* sería un marcador neurofisiológico de la fluidez lectora, y que existe una relación entre el nivel de conciencia fonológica y el tamaño del efecto *print tuning*. Para testear estas hipótesis, realizan un estudio de potenciales evocados utilizando una tarea *one-back*, en la que se presentan en bloques palabras, pseudopalabras y cadenas de fuente falsa. Los participantes, niños de final del primer año de instrucción lectora (media= 7,6 años), deben presionar una tecla cada vez que aparecen dos estímulos idénticos seguidos. Se evalúa la relación del efecto *print tuning* con medidas comportamentales relacionadas a la lectura que

incluyen fluidez lectora, conciencia fonológica y vocabulario, entre otras. Se encuentra una correlación positiva entre el nivel de fluidez lectora con la magnitud del efecto *print tuning* a nivel individual. Sin embargo, la única medida que explica varianza adicional (a la explicada por la fluidez lectora) es vocabulario. De acuerdo a estos resultados, los autores concluyen que habría una modulación *top-down* semántica, pero no fonológica. No obstante, algunos detalles del estudio ponen en duda esa conclusión. En primer lugar, respecto a la ausencia de modulación de la conciencia fonológica, es importante señalar que para evaluarla utilizan un total de sólo 15 estímulos. En este sentido, es posible que la falta de correlación entre la conciencia fonológica y el efecto *print tuning* encontrada se deba a que la medida de conciencia fonológica utilizada sea poco confiable. En relación a la modulación semántica, sería esperable que si la misma existiera, se encontrara una diferencia en el componente N1 entre palabras y pseudopalabras (las últimas carecen de significado), lo cual no ocurre en el mencionado estudio. De hecho, en otros estudios el hallazgo de diferencias entre palabras y pseudopalabras no ha sido consistente; algunos reportan diferencias en N1 (Coch & Meade, 2016; Mahé et al., 2012; Maurer et al., 2006; Zhao et al., 2013), mientras que otros no (Araújo et al., 2012; Hasko et al., 2013; Kast et al., 2010; Mahé, Zesiger, & Laganaro, 2015; Maurer, Brem, et al., 2005). Ver Tabla 1 para mayores detalles sobre las diferencias entre estudios.

Tabla 1. Estudios que analizan las diferencias entre palabras y pseudopalabras en el componente N1.

Referencia	Muestra e idioma	Tarea	Efecto en N1
Coch & Meade (2016)	- 24 adultos y 72 niños de 3°, 4° y 5° grado escolar (24 en cada grupo). - Inglés	Categorización semántica (presionar una tecla cuando aparece el nombre de un animal).	Mayor amplitud para palabras que pseudopalabras en adultos, pero no en los grupos de niños.
Zhao et al. (2013)	- 33 niños de entre 6.3 y 8 años (media=7.13 años). - Alemán	Presionar una tecla cuando el color del estímulo es el mismo en dos ensayos consecutivos.	Mayor amplitud para palabras que para pseudopalabras, en el hemisferio izquierdo, en el grupo de bajo rendimiento lector pero no en el de alto.

Mahé, Bonnefond, Gavens, Dufour, & Doignon-Camus (2012)	- 14 adultos disléxicos y 17 controles - Francés	Decisión léxica.	Mayor amplitud para palabras de baja frecuencia respecto a pseudopalabras, en el hemisferio izquierdo, en el el grupo control. Diferencias no significativas entre pseudopalabras y palabras en el grupo con dislexia. Tampoco entre palabras de alta frecuencia y pseudopalabras, en ninguno de los grupos.
Maurer et al., (2006)	- Niños de 2° grado escolar y adultos. - Alemán	<i>One-back</i> .	Mayor amplitud en N1 para palabras que para pseudopalabras en el grupo niños, pero no en el de adultos (datos presentados en Maurer at, al 2005)
Kast, Elmer, Jancke, & Meyer (2010)	- Niños de entre 8 y 12 años (36 disléxicos y 24 no disléxicos). - Alemán	Decisión léxica.	No encuentran diferencias palabras y pseudopalabras en ninguno de los grupos.
Araújo, Bramão, Faísca, Petersson, & Reis (2012)	- 40 pre adolescentes de entre 9 y 13 años (20 disléxicos y 20 controles pareados por edad). - Portugués	Luego de cada estímulo se presentan dos caracteres, y los participantes deben seleccionar cuál de ellos estaba presente en el estímulo presentado anteriormente.	No encuentran diferencias entre palabras de alta frecuencia, y palabras de baja frecuencia y pseudopalabras.
Hasko, Groth, Bruder, Bartling, & Schulte-Körne (2013)	- Niños de aprox. 8 años (52 disléxicos y 29 controles). - Alemán	Decisión léxica fonológica (responder si el estímulo presentado suena o no como una palabra real).	No encuentran diferencias entre palabras y pseudopalabras en el grupo control ni disléxico.

Una de las posibles razones para explicar estas inconsistencias tiene que ver con los distintos tipos de tarea empleadas. La mayoría de los estudios reportados emplean tareas que no implican necesariamente tener que acceder al significado. Esto podría disminuir el grado de modulación semántica, y de esta forma se podría explicar la ausencia de diferencias en el componente N1 entre palabras y pseudopalabras. Por esta razón, es necesario evaluar esta diferencia en el componente N1 en lectores incipientes utilizando una tarea que demande procesamiento semántico para su ejecución.

Otro aspecto particularmente relevante es el de las diferencias entre las lenguas escritas. Es conocido que las diversas ortografías difieren en el nivel de transparencia, esto es en la medida de qué tan consistente es el código que vincula grafemas y fonemas (Katz & Feldman, 1981, Goswami et al 1998). Se ha atribuido esta disparidad a que los códigos escritos varían en el nivel lingüístico que representan (Goswami, 1998, Ziegler y Goswami, 2005). Por ejemplo en el inglés a los efectos de representar la morfología, palabras que suenan de forma muy diferente se representan con escrituras similares, como por ejemplo *heal* (curar) y *health* (salud) que comparten la raíz morfológica pero suenan muy distinto. Dadas estas diferencias, cabe preguntarse hasta qué punto los efectos observados en la modulación del componente N1 en lenguas con escrituras más opacas (como el inglés) se mantienen en el español, que tiene una de las codificaciones más transparentes. Si bien hay varios trabajos que se basan en el alemán, que es transparente (ver Tabla 1), entendemos relevante realizar un estudio que amplíe y diversifique las lenguas estudiadas. Por último, es necesario revisar algunos aspectos metodológicos del análisis de estudios de potenciales evocados que podrían limitar la capacidad de encontrar el efecto y explicar así algunas inconsistencias.

Incorporando la variabilidad al análisis clásico: nuevas herramientas

El potencial evocado es la respuesta eléctrica que se obtiene frente a un tipo de estímulo. En el tratamiento usual, se realizan varios ensayos con estímulos que provocan la respuesta, de manera de poder promediarlos, eliminando el ruido a la vez que se aumenta la señal. En ese proceso se realizan varias instancias de promediado. Además del promedio entre los estímulos, usualmente se promedia en una ventana de tiempo de interés el voltaje obtenido. Por otro lado, los potenciales evocados tienden a estar distribuidos de manera no homogénea en el cuero cabelludo, por lo que se definen regiones o grupos de electrodos y se promedia la señal dentro de cada grupo. De esta forma, cada sujeto experimental aporta tantos promedios como grupos de electrodos y niveles de las condiciones experimentales y se evalúa si hay

diferencias entre condiciones. Asimismo, la respuesta puede variar en función de la persona, por lo que además se asume que no hay variedad espacial en las fuentes entre personas (o se desprecia la variedad). En los estudios de *print tuning*, se suelen analizar promedios de electrodos temporales, parietales y occipitales, que si bien son convencionales, en cada niño pueden recibir influencias de fuentes localizadas en lugares variables y filtradas de forma variable según la persona. Una de las interrogantes que surge es si parte de las inconsistencias experimentales (por ej. las diferencias entre Kast, Elmer, Jancke, & Meyer (2010) y Maurer et al., (2006) son producto de la variabilidad atribuida a diferencias individuales en la manera en que la actividad de las fuentes se ve reflejada a nivel de electrodos y del promedio de los mismos. A los efectos de incorporar esta variabilidad, es posible utilizar métodos recientes para el análisis de respuestas electroencefalográficas, que toman en cuenta el origen de la posible señal de interés, y su variabilidad, de forma dirigida por los datos (*data-driven*). Nos concentraremos en métodos que pueden dar cuenta de la variabilidad individual y entre electrodos (modelos lineales mixtos) y en aquellos que permitan detectar las señales de respuesta en aquellos electrodos en los que se presenten, sin restringirse a los señalados por la literatura (análisis por filtro espacial).

Modelos lineales mixtos

El análisis clásico de los potenciales evocados, equivale a ajustar un modelo lineal en el que los factores fijos son las condiciones experimentales y eventualmente los grupos de electrodos. Eso implica promediar juntas varias fuentes diversas de aleatoriedad, reduciendo la potencia del análisis en algunos casos. Una alternativa para no sacrificar la potencia es utilizar modelos lineales mixtos (MLM) (Amsel, 2011; Bates, Kliegl, Vasishth, & Baayen, 2018.). Si en lugar de promediar las señales de un clúster definido de electrodos, se preserva como variable dependiente la amplitud media en la ventana temporal de interés en cada uno de los electrodos que componen al clúster, es posible analizar las respuestas por electrodo simultáneamente y por ende aprovechar su variabilidad. Esta considera tanto diferencias individuales en la distribución anatómica de las fuentes de las señales, como en las propiedades de los tejidos que filtran la señal. Por ende, el uso de un posicionamiento fijo de los electrodos que forman parte del

clúster de interés puede concebirse como un muestreo de las posibles diferencias en torno a cada fuente en el sujeto y, a las fuentes entre los mismos sujetos.

En otras palabras, con el análisis MLM consideramos al N1 como una respuesta debida al factor fijo de la condición (p. ej. fuente falsa), y factores aleatorios que incluyen los electrodos en cada sujeto. La inclusión de un factor aleatorio de electrodos anidado por sujeto y no como un factor aleatorio cruzado se justifica porque puede sostenerse que cada electrodo se encuentra en un lugar relativo a las fuentes que varía en cada sujeto. De esta manera, utilizando los modelos mixtos es posible relajar un poco la rigidez que introducen las promediaciones (Frömer, Maier, & Rahman, 2018).

Análisis por filtro espacial

La otra dimensión que puede explicar las diferencias entre los resultados reportados refiere a la contribución de posibles fuentes ajenas a las consideradas a priori y su efecto sobre los electrodos. La señal EEG registrada por cada sensor contiene el resultado de la actividad de diferentes fuentes fisiológicas. Suponiendo la aditividad de las fuentes, cada sensor registra aproximadamente una suma ponderada de varias fuentes, a la vez que una fuente contribuye a la señal de varios sensores (Parra & de Cheveigné, 2014). Aunque se registran varios electrodos a la vez distribuidos por todo el cuero cabelludo, los análisis estadísticos de los efectos de interés se suelen basar en un electrodo o promedio de clúster de electrodos, definidos por lo general siguiendo estudios previos. Este enfoque resulta útil para comparar los resultados obtenidos con estudios anteriores; sin embargo, cada electrodo refleja de distinta manera la señal ya que por su distancia al origen fisiológico y tejido intermedio presentan diferentes razones entre señal y ruido. Asimismo, es posible que otros electrodos, además de los seleccionados en el clúster, contengan señales provenientes de una fuente alternativa, la cual a pesar de su relevancia pudiese verse reflejada de forma más débil en los electrodos. El uso de electrodos por fuera de los clásicamente empleados puede entonces revelar la presencia de actividades que diferencien mejor entre las condiciones de interés. Para ello, se han desarrollado técnicas espaciales de análisis de respuestas experimentales de EEG. El método DSS (Denoising Source Separation) (De

Cheveigné & Parra, 2014; de Cheveigné & Simon, 2008), tiene como objetivo extraer componentes que maximicen la relación señal-ruido (signal-to-noise ratio, SNR) en algún aspecto de interés al estudio, como puede ser la reproducibilidad entre ensayos (en estudios de potenciales evocados), o la reproducibilidad de la diferencia entre condiciones experimentales (en estudio de curvas de diferencia). En el presente estudio interesa optimizar la SNR de la actividad cerebral que difiera entre condiciones, cada una de las cuales involucra ensayos repetidos.

Objetivos e hipótesis

Objetivo General

Avanzar en la comprensión de las bases neuronales del aprendizaje de la lectura en las etapas iniciales del desarrollo de la especialización visual para palabras en niños hispanohablantes.

Objetivos Específicos

1. Determinar si la especialización gruesa para palabras (*coarse print tuning*) se ha desarrollado en niños hablantes de español, al final del primer año de enseñanza formal de la lectoescritura. Dado el caso, evaluar si tal efecto es observable a nivel individual.
2. Determinar si la especialización fina para palabras (*fine print tuning*) se ha desarrollado en niños hablantes de español al final del primer año de enseñanza formal de la lectoescritura.
3. Evaluar si el acceso al significado de las palabras modula el efecto *fine print tuning*.
4. Evaluar si existe lateralización en el procesamiento visual de palabras, pseudopalabras y cadenas de fuente falsa en niños que están terminando su primer año de instrucción lectora formal, y su relación con los efectos *coarse* y *fine print tuning*.
5. Utilizar métodos más robustos en el análisis de los datos que permitan detectar diferencias pequeñas y/o variables entre individuos y entre electrodos.

Hipótesis

1. El efecto *coarse print tuning* refleja la especialización visual para cadenas de letras, y se desarrolla tempranamente, en menos de un año de comenzar la instrucción lectora formal.
2. El efecto *fine print tuning* está modulado por el acceso al significado de las palabras, por lo que se espera que sea mayor en tareas que requieran acceder al significado de las palabras en comparación con tareas de lectura implícita.
3. La lectura implica conectar el procesamiento visual y el lingüístico, que está típicamente lateralizado a la izquierda. Durante la adquisición de la lectura, este proceso se desarrolla de manera incipiente lo que se reflejará en la sensibilidad diferencial de cada hemisferio a los diferentes tipos de estímulo.
4. Las contradicciones de los estudios previos en cuanto a las diferencias en N1 entre palabras y pseudopalabras se deben en parte, a que los métodos de análisis utilizados no toman en cuenta la variabilidad entre sujetos en el emplazamiento relativo de las fuentes.

Materiales y Métodos

Diseño Experimental

El estudio consistió en la realización de dos experimentos que involucraban la lectura de palabras, pseudopalabras y/o cadenas de fuente falsa con niños hispanohablantes a final de 1° grado escolar. Cada participante realizó dos tareas. La primera tarea (*one-back*) consistía en presionar una tecla cada vez que se presentaran dos estímulos idénticos seguidos (palabras, pseudopalabras o fuente falsa). Cada tipo de estímulo era presentado en un bloque diferente, de forma de ser consistentes con estudios previos (ej. Eberhard-Moscicka et al., 2015, Maurer et al., 2006). En la segunda tarea (*semántica*) además de palabras y pseudopalabras se presentaban imágenes, que podían corresponder o no con la palabra que aparecía antes. La tarea consistía en indicar, ante la aparición de cada imagen, si la misma correspondía o no con la palabra presentada antes. En el caso de la tarea *one-back*, para realizarla correctamente, es suficiente con que los participantes procesen los estímulos visuales, lo mantengan en memoria hasta el ensayo siguiente y comparen ambos estímulos; no es necesario que accedan al significado de las palabras ni a su forma fonológica. En cambio en la segunda tarea, además de procesar visualmente cada estímulo y mantenerlo en memoria hasta el ensayo siguiente, deben necesariamente acceder al significado de las palabras leídas para poder responder si corresponden o no con la imagen presentada. (ver subsecciones *Estímulos y Tareas* por más detalles sobre los mismos). En ambos casos, no obstante, lo que se evaluaba era si existían diferencias en la actividad cerebral de los niños (su componente N1) entre condiciones experimentales.

Participantes

Se invitó a participar del estudio a niños que estaban finalizando el primer año de primaria de escuelas públicas de Montevideo, participantes del proyecto *Lexiland* (Zugarramurdi, Fernández, Lallier, Valle Lisboa & Carreiras, 2019) y que no habían repetido ningún grado. En dicho estudio longitudinal se siguió el desempeño en tareas predictivas del desempeño lector y tareas de lectura de niños desde nivel 5 (edades entre 5 y 6 años) hasta que

cursaron segundo año escolar (edades entre 7 y 8 años). El registro electroencefalográfico ocurrió entre los meses de noviembre y febrero, donde el año lectivo transcurre de marzo a diciembre. Para participar en nuestro estudio verificamos además que en la tarea de decodificación de pseudopalabras del test de lectura *PROLEC-R* (Cuetos, 2012) tuvieran una tasa de aciertos mayor a 0.5 y un tiempo de reacción total menor a 180 segundos. En esta tarea se le presenta al niño una lista de 40 pseudopalabras, y se le pide que las lea en voz alta lo más rápido posible. Esta tarea fue realizada en la escuela del niño en el marco del proyecto *Lexiland*, entre los meses de setiembre y noviembre, cuando los niños estaban cursando 1° grado escolar.

De los 133 niños que cumplían los criterios de inclusión, 40 fueron excluidos: 10 de ellos porque estaban participando de otro estudio de EEG asociado, 6 porque no habían participado del estudio comportamental en 1° grado, y 24 porque no se contaba con un teléfono de contacto.

Se contactó telefónicamente a las familias de los 93 niños que cumplían con los criterios de inclusión a través de los datos disponibles en la base de datos del proyecto *Lexiland*. Se explicaron los objetivos del estudio y se los invitó a participar; en caso de aceptar, se acordaba un día y horario para asistir con su hijo/a al laboratorio. Con 10 de las familias no logramos comunicarnos. De los 83 restantes, 15 no aceptaron participar, ya sea porque los padres o el niño no lo deseaban, o porque no contaban con disponibilidad horaria. De las 56 familias que aceptaron participar, 8 no se presentaron el día acordado, 5 cancelaron, y 1 se presentó pero el niño decidió no participar. De esta manera, la muestra final se compuso de 42 niños (15 niñas; media 7.3 años, rango: 6.6 - 7.7 años). Todos eran hablantes nativos de español, tenían visión normal o corregida a normal, y eran diestros excepto 1 participante.

Evaluación electrofisiológica

Procedimiento general

Una vez que el participante llegaba al laboratorio, se les mostraba el laboratorio y equipo de electroencefalografía a los padres y al niño, y se les explicaba el procedimiento de colocación de electrodos, las características del registro, y las tareas a realizar, dejando espacio

para contestar las dudas que surgieran. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Psicología de la Universidad de la República, de acuerdo a la normativa vigente sobre investigación con seres humanos (Decreto CM/515). Previamente al inicio de la colocación de los electrodos, los padres leían la hoja de información y firmaban un consentimiento informado. Asimismo, se solicitaba el asentimiento informado por parte del niño. Luego de colocar los electrodos externos, se le mostraba a niños y padres la señal que estaba siendo registrada, llamando la atención en la variación de la misma cuando se movían, tocaban la gorra, pestañeaban, y movían los ojos. Esto tenía la doble finalidad de que resultara entretenido e informativo para los niños, y de llamar la atención sobre la importancia de que permanecieran lo más quietos posible durante el registro. Luego, se procedía a la colocación de los 64 electrodos, durante la cual los niños veían en la pantalla de estímulos la señal de los electrodos a medida que iban siendo conectados. Al finalizar la colocación de los electrodos, se explicaba nuevamente la primera tarea. Luego, se realizaba una práctica, la cual era repetida si el niño tenía algún tipo de duda o dificultad con la misma. Una vez que comprendía la tarea, se le solicitaba al niño que permaneciera relajado, fijara la mirada en el centro de la pantalla y permaneciera lo más quieto posible. Cuando el niño estaba listo, se daba comienzo a la tarea.

Ambas tareas fueron presentadas de forma lúdica a través de una narrativa, en la que se presentaba a un personaje llamado Alex, un extraterrestre que había quedado varado en el planeta Tierra. En la primera tarea, el niño debía ayudar a Alex a conseguir el mapa para volver a su planeta, y en la segunda ayudarlo a regresar (Figura 2).

El registro total duraba aproximadamente 30 minutos, y la sesión total, incluyendo la explicación del procedimiento y la colocación de electrodos tomaba aproximadamente una hora y quince minutos. Al finalizar el registro se le daba al niño una taza con la ilustración del personaje y un juego de crayolas.



Figura 2. Ejemplo del set-up. Se muestra a una participante del estudio luego de finalizar la tarea semántica. En el monitor se puede notar al personaje Alex que llegó a su planeta luego de que la niña completara la tarea. Se observan los electrodos dispuestos en la gorra elástica.

Estímulos

Se presentaron estímulos de tres condiciones: palabras (ej. RANA) , pseudopalabras (ej. SAMA), y cadenas de caracteres falsos (ej. ʔ1ʔ1). La lista de estímulos se compuso de 80 ítems diferentes de cada condición, de entre 3 y 4 caracteres cada uno (14 ítems de 3 caracteres). Para la selección de las *palabras* se utilizó la base de datos *Lexin* (Corral, Ferrero, & Goikoetxea, 2009), construida a partir de un corpus de libros ampliamente utilizados por lectores tempranos en España (jardín de infantes y primer grado), lo que resulta especialmente adecuado para la población estudiada, teniendo en cuenta la edad y experiencia lectora. Las palabras seleccionadas constaron de sustantivos de 3 o 4 caracteres con estructura silábica *cv-cv*, *vcv* o *cvc* (*c*=consonante, *v*=vocal), de alta frecuencia según la base de datos *Lexin* (frecuencia media por millón=434). Además, las palabras eran de alta concretitud e imaginabilidad (p. ej. dedo, bota) según la base de datos de ESPAL (imaginabilidad media=6.2, concretitud media= 5.7 en una escala del 1 al 7) (Duchon, Perea, Sebastián-gallés, Martí, & Carreiras, 2013).

Las *pseudopalabras* se construyeron a partir de las palabras a través del software libre *Wuggy* (Keuleer, 2010), equiparándolas una a una con las palabras en número de caracteres, fonemas y sílabas, y en estructura silábica (ej. DEDO-LESO, BOTA-LETA). Además, las palabras y pseudopalabras creadas no difieren en la densidad y tamaño de vecinos ortográficos; la diferencia media en el índice de distancia ortográfica de Levenshterin (OLD20) entre las palabras y pseudopalabras utilizadas en este estudio es igual a 0, siendo OLD20 el promedio de la distancia ortográfica entre el estímulo y las 20 palabras más similares. Los datos de la diferencia en OLD20 entre cada pseudopalabra y su palabra base fue obtenido con el software *Wuggy*.

Para las cadenas de *caracteres falsos*, se utilizó la pseudo-fuente BACS 1 (Vidal, Content, & Chetail, 2016). Estos pseudo-caracteres fueron creados de modo que compartieran a nivel general las características principales del alfabeto latino, ej. el conjunto de caracteres de la fuente BACS1 tiene en promedio el mismo número de trazos por caracter y el mismo número de trazos diferentes que el alfabeto latino. Los trazos utilizados fueron tomados de caracteres reales pertenecientes a diferentes sistemas de escritura. Los caracteres fueron creados ensamblando estos trazos o modificando las formas de caracteres existentes. Además, la pseudo-fuente BACS1 fue creada de modo que existan caracteres muy diferentes entre sí y otros muy similares, característica compartida por los sistemas de escritura existentes (Mueller & Weidemann, 2012). A cada caracter del alfabeto le corresponde un caracter falso (ej. A=†, R=⊖, E=⊥). Las cadenas de caracteres falsos utilizados en este estudio corresponden al equivalente a los 80 estímulos de la condición palabra, pero en la fuente BACS1.

Los estímulos en las tres condiciones estaban equiparados uno a uno en número de caracteres (ver ejemplos en Tabla 2 y anexo 1 para una lista completa de los estímulos y más detalles sobre los mismos).

Tabla 2. Ejemplos de estímulos utilizados

Palabras	Pseudopalabras	Fuente falsa
DEDO	LESO	ᄇᄇᄇ
BOTA	LETA	ᄇᄇᄇ
LUNA	FUSA	ᄇᄇᄇ
COPA	POBA	ᄇᄇᄇ

Los estímulos que aparecen en una misma fila corresponden al mismo “número de ítem”: para la palabra DEDO, la pseudopalabra creada a partir de ella es LESO, y su correspondiente en fuente falsa es ᄇᄇᄇ.

Tareas

Las dos tareas experimentales fueron programadas en Psychopy (Peirce, 2007).

Tarea 1: One-back

En la primera tarea se presentaron visualmente palabras, pseudopalabras, y cadenas de caracteres falsos. Cada estímulo se presentaba por 1000 ms en un monitor de computadora en el centro de la pantalla sobre fondo gris, seguido por un intervalo interestímulo (ISI) de duración variable de entre 1000 y 1330 ms, en el que se presentaba una cruz de fijación en el centro de la pantalla (Figura 3A) . Se presentó cada tipo de estímulo en un bloque, separados por descansos en los que se le otorgaba una recompensa al participante. Cada bloque se dividía a su vez en dos sub-bloques, separados por descansos. El orden en el que se presentaban los bloques, así como el orden de presentación de los estímulos dentro de cada bloque, estaba aleatorizado (Figura 3B).

Se presentaban un total de 80 estímulos diferentes más 20 repeticiones inmediatas en cada condición (40 estímulos + 10 repeticiones en cada sub-bloque), ordenados aleatoriamente, con la única restricción de que las repeticiones no se presentaban entre los primeros o últimos 3 estímulos de cada sub-bloque. Los estímulos que se repetían estaban prefijados, y correspondían al mismo “número de ítem” en cada condición. Por ejemplo, una de las 20

palabras que se repetían era BOTA, por lo que en el bloque de pseudopalabras una de las repeticiones era LETA, y en el de fuente falsa ㄣㄣㄣㄣ.

La tarea consistía en pulsar una tecla cada vez que ocurrieran dos estímulos idénticos consecutivos (conocida como tarea *one-back*) (Figura 3A). El motivo por el que se decidió realizar esta tarea en vez de simplemente pedirles a los niños que miraran los estímulos en el monitor, fue favorecer que los mismos mantuvieran la atención en los estímulos. Se midió la tasa de aciertos y el tiempo de reacción en la detección de las repeticiones. El tiempo total de la realización de la tarea no excedía los 15 minutos.

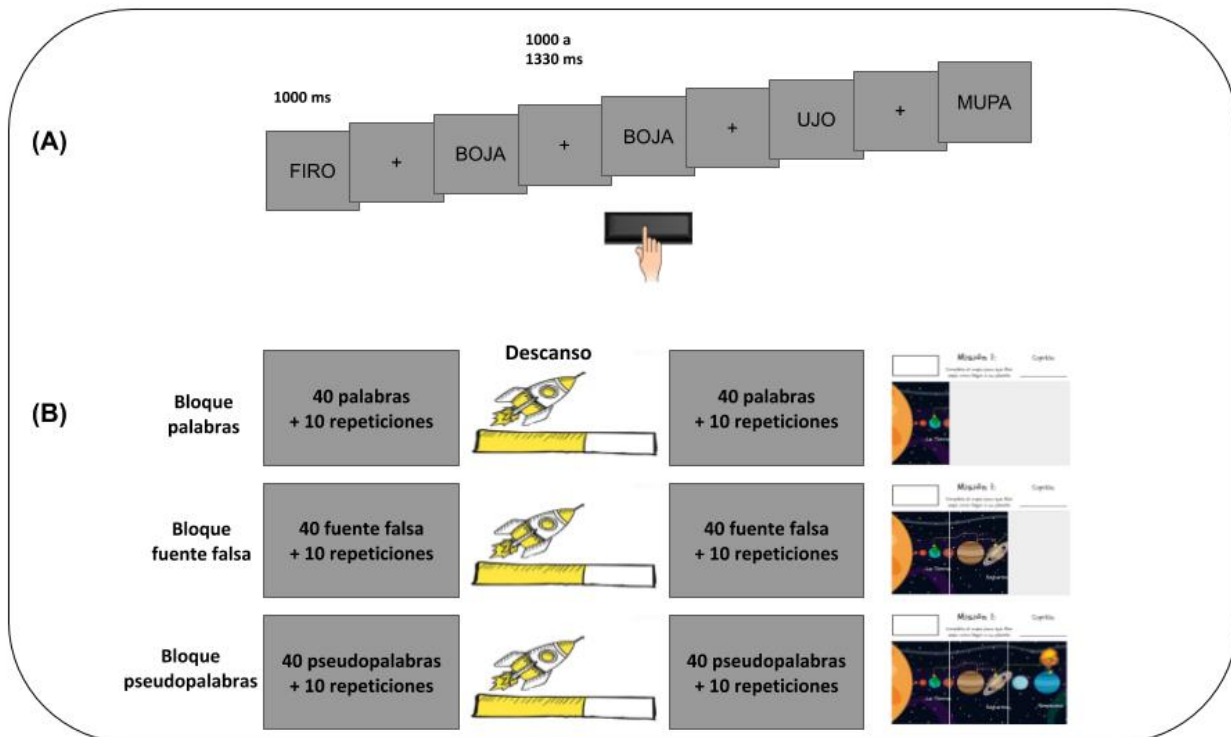


Figura3. Tarea *one-back*.

(A) Ejemplo de presentación de ensayos. La tarea consiste en presionar la barra espaciadora cada vez que se presente un mismo estímulo dos veces consecutivas. (ej. BOJA). Cada estímulo se presenta en el centro de la pantalla por 1000 ms, separado por un intervalo interestímulo (ISI) variable de entre 1000 y 1330 ms, en el que se presenta una cruz de fijación. El ejemplo ilustrado corresponde a 5 ensayos del bloque de pseudopalabras. **(B) Diagrama de bloques, descansos y recompensas.** Se presentan palabras, pseudopalabras y cadenas de fuente falsa en tres bloques. El orden en que se presentan los bloques y los estímulos a la interna de cada bloque es aleatorio. Al finalizar cada bloque, se le otorga al niño una parte del mapa como recompensa. Cada bloque está dividido en dos sub-bloques de 40 estímulos diferentes y 10 repeticiones, separados por un descanso.

Tarea 2: Semántica

En la segunda tarea se presentaron solamente los estímulos de palabras y pseudopalabras, en un mismo bloque, dividido en 4 sub-bloques separados por descansos. Al terminar el segundo y cuarto sub-bloque, Alex “avanzaba hacia su planeta”, y el niño recibía un pegotín (Figura 4B). Se presentaban un total de 80 palabras y 80 pseudopalabras de forma aleatoria, con una duración de 1000 ms e ISI variable entre 1000 y 1300 ms (Figura 4A). Además, intercaladas con las palabras y pseudopalabras, se presentaron un total de 40 imágenes, con una duración de 1000 ms, siempre precedidas de una palabra (Figura 4A). Un 50% de las imágenes eran congruentes y un 50% eran incongruentes con la palabra que había sido presentada antes. Las imágenes, así como las palabras que las precedían estaban prefijadas, pero el orden de aparición en la tarea estaba aleatorizado.

La tarea consistía en indicar, ante la aparición de la imagen, si la misma correspondía o no con la palabra presentada inmediatamente antes, presionando una de las dos teclas asignadas (Figura 4B). El motivo por el que se incluyó esta tarea, en la que para su correcta realización es necesario acceder al significado de las palabras, fue asegurarnos que los participantes estaban efectivamente leyendo las palabras y pseudopalabras y accediendo al significado de las primeras, lo cual no es posible con la tarea *one-back*. Se midió la tasa de aciertos y el tiempo de reacción. El tiempo total de la realización de la tarea no excedía los 10 minutos.

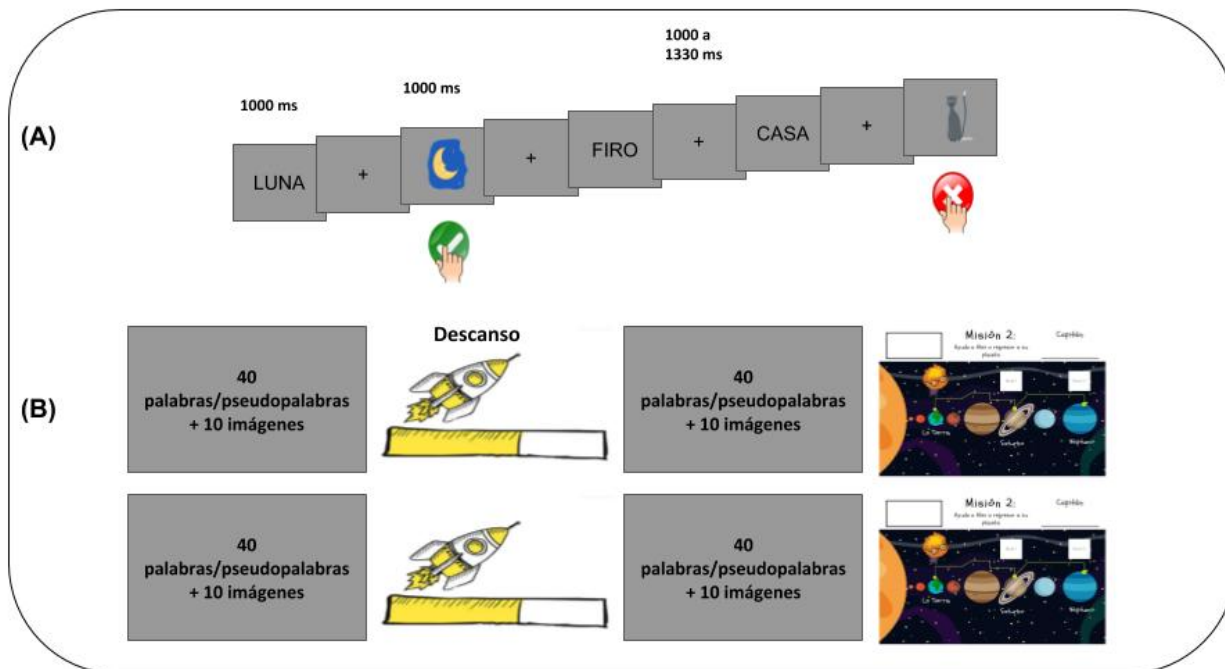


Figura 4. Tarea semántica

(A) Ejemplo de presentación de ensayos. La tarea consiste en presionar, cada vez que aparece una imagen, la tecla con el “tic” si la imagen corresponde con la palabra presentada anteriormente (ej. luna), y la tecla con la “cruz” si no corresponde (ej. gato). Cada estímulo (palabras, pseudopalabras e imágenes) se presenta en el centro de la pantalla por 1000 ms, separados por un intervalo interestímulo (ISI) variable de entre 1000 y 1330 ms, en el que se presenta una cruz de fijación.

(B) Diagrama de bloques, descansos y recompensas. Se presentan un total de 80 palabras/pseudopalabras y 40 imágenes presentadas de forma aleatoria. Los estímulos se dividen en cuatro sub-bloques de 40 estímulos (palabras/pseudopalabras) y 10 imágenes, separados entre sí por descansos. Además, al finalizar dos sub-bloques, se entrega al niño un pegotín como recompensa.

Registro electrofisiológico

Mientras los niños realizaban las tareas se registró de manera continua su señal de electroencefalografía, utilizando el equipo Biosemi Active Two disponible en el Centro de Investigación Básica en Psicología, Facultad de Psicología (UdelaR). Se registraron 64 electrodos activos, referenciados al *Common Mode Sense* (CMS, activo), con una frecuencia de muestreo de 512 Hz. Los electrodos estaban dispuestos en una gorra elástica según el sistema internacional 10/20. Asimismo, se registró el electrooculograma horizontal (utilizando un electrodo sobre el

lateral externo de cada ojo) y vertical (utilizando un electrodo en la región supraorbital del ojo izquierdo) y la señal de dos electrodos situados sobre los mastoides.

Preprocesamiento y Análisis de datos

Preprocesamiento

Los datos de electroencefalografía fueron preprocesados en Matlab (R2018, MathWorks Inc.) utilizando la herramienta *Fieldtrip* (Oostenveld, 2011). Se procesaron por separado los registros correspondientes a cada una de las tareas.

La señal fue filtrada *off-line* utilizando un filtro pasabanda de 0.1 a 35 Hz. Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Independientes (ICA) sobre la señal continua para detectar componentes correspondientes a pestañeos y a movimientos oculares laterales. Los componentes fueron inspeccionados visualmente, y se eliminaron aquellos cuya topografía era consistente con un pestañeo o un movimiento ocular (Luck, 2005), y la correlación entre el componente y la señal del electrooculograma era mayor a 0.15 (se consideró la señal del electrooculograma vertical para los componentes correspondientes a pestañeos y la resta de los electrooculogramas laterales para los correspondientes a movimientos laterales). La señal fue cortada en épocas de 800 ms de duración, definidas 200 ms antes de la presentación del estímulo y hasta 600 ms después de la misma. Cada época fue corregida por línea de base tomando los 200 ms previos a la presentación del estímulo. No fueron incluidos aquellos ensayos correspondientes a las repeticiones.

Para detectar canales y ensayos artefactuados, nos basamos en una adaptación de Junghöfer, Elbert, Tucker, & Rockstroh (2000). Aquellos electrodos que superaban el umbral de variabilidad (th) establecido en la ecuación 1 fueron sustituidos por el promedio de los electrodos vecinos, establecidos según el *template* de vecinos de BIOSEMI para 64 electrodos.

$$th = mstd + 3 \times \sqrt{\frac{\sum_i^N (std_i - mstd)^2}{N}} , \quad (1)$$

En la ecuación 1, std_i es el desvío estándar del voltaje para cada electrodo, tomando en cuenta todos los ensayos concatenados. $mstd$ es la mediana de los desvíos estándar de todos los electrodos, y N el número de electrodos. Fueron interpolados un máximo de 3 electrodos por sujeto (media=1.18). Los ensayos fueron re-referenciados al promedio de los 64 electrodos. Luego, se eliminaron aquellos ensayos en los que alguno de los electrodos superara el umbral de variabilidad ($thtrialStd$) y de voltaje máximo ($thtrialMax$) establecido por las ecuaciones 2 y 3 respectivamente.

$$thtrialStdE = mstdE + 3 \times \sqrt{\frac{\sum_i^{N_t} (stdtrial_i - mstdE)^2}{N_t}} , \quad (2)$$

En la ecuación 2, $stdtrial_i$ es el desvío estándar de cada trial i en el electrodo E , $mstdE$ es la mediana de todos los $stdtrial_i$, y N_t es el número de ensayos.

$$thtrialMaxE = mMaxE + 3 \times \sqrt{\frac{\sum_i^{N_t} (Mxtrial_i - mMaxE)^2}{N_t}} , \quad (3)$$

En la ecuación 3, $Mxtrial$ es el valor de voltaje máximo (valor absoluto) del ensayo i para el electrodo E , $MaxE$ corresponde a la mediana de los $Mxtrial$, y N_t es el número de ensayos.

Fueron eliminados un máximo de 30 ensayos por sujeto por condición. En la tarea 1, el promedio de ensayos conservados por condición fue de 64,5 en palabras (sd=7.4), 63,1 en pseudopalabra (sd=6.8) y 61.6 en fuente falsa (sd=7.1). En la tarea 2, se conservaron en promedio 63.9 ensayos en palabras (sd=5.4) y 63.5 (sd=5.8) en pseudopalabras.

Se descartaron 4 sujetos debido a problemas técnicos durante el registro (no se registraron los *triggers*, los electrodos permanecieron fuera de rango, o por olvido del experimentador no se registró parte del experimento). De esta forma, se utilizaron para el gran promedio en ambas tareas un total de 38 sujetos.

Potenciales evocados

Los ensayos conservados en cada condición fueron promediados para obtener el potencial evocado (ERP) por sujeto por condición. Se promediaron los ERP de los sujetos para cada condición para obtener el gran promedio. Como medida del componente N1 se tomó la amplitud media en la ventana temporal de 180 a 300 ms luego de la presentación del estímulo en dos clústers occipito-parietales, uno izquierdo y uno derecho. Los clúster fueron construidos con siete electrodos en cada lado (izquierdo: P3, P5, P7, P9, PO7, PO3, O1, derecho: P4, P6, P8, P10, PO8, PO4, O2). Tanto la ventana temporal como los electrodos que conforman los clústers fueron definidos teniendo en cuenta una adaptación de Eberhard-Moscicka et al (2015). El efecto *coarse-tuning* fue medido como la diferencia en el componente N1 del ERP entre palabras y cadenas de caracteres falsos. El efecto *fine-tuning* fue medido como la diferencia en el componente N1 del ERP entre palabras y pseudopalabras.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el paquete R (R-studio), a excepción del análisis del efecto *coarse tuning* a nivel individual, que fue realizado utilizando la función *timelockstatistics* de Fieldtrip. En todos los test estadísticos realizados, se utilizó un valor de significación de 0.05.

Análisis de resultados comportamentales

Como forma de verificar que los participantes estaban realizando la tarea *one-back*, se analizaron las respuesta comportamentales durante el registro electrofisiológico. En la primera tarea evaluamos el índice de sensibilidad (d') de la respuesta (Macmillan & Creelman, 1990). De

esta manera se pueden descartar casos de respuestas azarosas y de respuestas repetitivas, a diferencia de lo que ocurre si utilizamos la tasa de aciertos, que no penaliza por los falsos positivos.

El índice de sensibilidad d' se estima de acuerdo a:

$$d' = Z(\text{aciertos}) - Z(\text{falsos positivos})$$

donde $Z(\text{aciertos})$ y $Z(\text{falsos positivos})$ son los valores de la distribución normal estándar que corresponden a la tasa de aciertos (detección correcta de repeticiones) y de falsos positivos observados (detección incorrecta de repeticiones).

Para analizar si existían diferencias entre condiciones en la detección de repeticiones y en la velocidad de respuesta, se realizaron modelos lineales mixtos sobre el índice de d' y sobre el tiempo de reacción respectivamente, con factor fijo condición y factor aleatorio (intercepto) de sujeto.

Todos los modelos lineales fueron ajustados utilizando la función *lmer* del paquete lme4 de *R Studio*. Se utilizó el método de Satterthwaite para el cálculo de los grados de libertad, utilizando el paquete *lmerTest*.

Para evaluar si los participantes respondían al azar en la tarea semántica (tarea 2), se realizó un test de las proporciones de aciertos en la tarea, bajo la hipótesis nula de que la probabilidad de acierto era 0.5.

Análisis de los resultados electrofisiológicos

Análisis a nivel grupal tomando el promedio del grupo

Para investigar los efectos *coarse print tuning* y *fine print tuning* en niños de primer grado hispanohablantes a nivel de grupo, y para ser consistente con estudios previos, se tomó como variable dependiente la amplitud media del segmento N1 en el promedio de electrodos de cada grupo de electrodos occipitoparietales. Se ajustaron modelos lineales mixtos sobre la amplitud media del segmento N1 (promedio de electrodos de cada clúster), con efectos fijos *condición*, *lateralidad* e *interacción condición/lateralidad*, e intercepto aleatorio de *sujeto*. Se realizaron Análisis de Varianza (ANOVA) de tipo III sobre los modelos ajustados.

Para estudiar el efecto *coarse print tuning*, se ajustó un modelo sobre los datos de palabras y fuente falsa en la tarea *one-back*. Para estudiar el efecto *fine print tuning*, se ajustó un modelo para los datos de palabras y pseudopalabras en la *tarea one-back*, y otro para la *tarea semántica*.

Modelos lineales mixtos con efecto aleatorio de electrodo

El posicionamiento de los electrodos, aunque respeta las convenciones electroencefalográficas, puede concebirse como una muestra de las posibles posiciones en torno a cada fuente, ya que existe variabilidad interindividual en la distribución anatómica de las fuentes de las señales. Además, hay otro componente de variabilidad que se origina en las propiedades de los tejidos que filtran la señal. Para analizar estos datos, se ajustaron modelos lineales mixtos sobre la amplitud media del segmento N1 en cada electrodo que forma parte de los grupos, con efecto fijos condición, lateralidad e interacción condición/lateralidad, e interceptos aleatorios de sujeto, y de electrodo anidado en sujeto. Se realizaron Análisis de Varianza (ANOVA) de tipo III sobre los modelos ajustados.

Para estudiar el efecto *coarse print tuning*, se ajustó un modelo sobre los datos de palabras y fuente falsa en la tarea *one-back*. Para estudiar el efecto *fine print tuning*, se ajustó un modelo para los datos de palabras y pseudopalabras en la *tarea one-back*, y otro para la *tarea semántica*.

DSS

El método de DSS (De Cheveigné & Parra, 2014; de Cheveigné & Simon, 2008) es una aplicación en dos pasos del análisis de componentes principales (Wold, Esbensen, & Geladi, 1987). Para calcularlo, en primer lugar se realiza un análisis de PCA y una normalización para pasar de los datos EEG originales a un espacio de datos esféricos (es decir, con idéntica varianza en todas las dimensiones). A estos datos se les sesga (en términos de varianza) en la dirección del promedio entre ensayos y sujetos, con lo cual dejan de ser esféricos. El segundo PCA representa estos datos en una nueva base y sus vectores son los componentes DSS. Por

definición, el primer componente es la mejor combinación lineal que maximiza el sesgo (de Cheveigné & Simon, 2008).

En casos en que lo definido como señal es la actividad que es reproducible a través de los ensayos, y a la vez es distinta entre las condiciones, resulta óptimo aplicar primero la técnica DSS para extraer la parte de la señal original que más se asemeje al promedio, y luego aplicar nuevamente la técnica para extraer la parte de esa señal reducida que más se asemeje a la diferencia del promedio entre las condiciones. En tales casos se cuenta con un componente que refleja la mejor combinación lineal que maximiza la separación entre condiciones (De Cheveigné & Parra, 2014). En este segundo caso, se siguió el procedimiento descrito en De Cheveigné & Parra (2014), en donde se hace un primer DSS sesgado por la función de promedio (DSS evocado). Del subespacio resultante que contiene los 4 primeros componentes se efectuó un segundo DSS, sesgado por la función de diferencia entre condiciones (DSS diferencia). La topografía (distribución espacial) de cada componente de DSS corresponde a la distribución de correlaciones entre cada serie temporal por sensor, y la serie temporal única del componente DSS (de Cheveigné & Simon, 2008).

Para testear si existían diferencias entre palabras y pseudopalabras se realizaron pruebas t pareadas (dos colas) sobre la amplitud media del segmento N1 en el promedio del primer componente de DSS diferencia. Previamente, se utilizó el test de normalidad Lilliefors sobre los datos de cada tarea, pero en ningún caso se obtuvo evidencia para rechazar la hipótesis nula (que los datos provienen de una distribución normal).

Análisis a nivel individual

Para analizar el efecto *coarse print-tuning* a nivel individual se realizaron pruebas t de medidas independientes (una cola) para la amplitud media del segmento N1 en cada uno de los clústers, de forma independiente para cada sujeto, tomando en cuenta la variabilidad entre ensayos.

Resultados

Coarse print tuning

Resultados comportamentales

Para analizar si existían diferencias de precisión en la detección de repeticiones y en la velocidad de respuesta entre la condición de lectura de palabra versus fuente falsa se ajustaron modelos lineales mixtos separados sobre el índice de sensibilidad d' , y sobre los tiempos de reacción respectivamente. En los modelos se incluyó *condición* (palabra o fuente falsa) como factor fijo y *sujeto* como factor aleatorio.

Los participantes fueron más precisos en la detección de repeticiones de palabras que de cadenas de fuente falsa ($F_{1, 36,7}=99,6$, $p<0.001$), sin embargo, fueron igual de rápidos en responder en ambas condiciones ($F_{1, 35,0}=0.50$, $p=0.48$). (Figura 5A)

Resultados electrofisiológicos

Para estudiar la existencia de especialización neural para cadenas de texto en niños hablantes de español, se registró la actividad eléctrica en respuesta a palabras y a cadenas de fuente falsa, mientras los niños realizaban una tarea *one-back*.

En la ventana de N1 (0.18 a 0.30 s), tanto para palabras como para fuente falsa, la zona de actividad más intensa es la posterior (Figura 5B). Sin embargo, la distribución espacial en dicha ventana presenta diferencias cualitativas entre ambas condiciones: en la región posterior, la distribución topográfica es más lateralizada en la condición palabra que en la condición fuente falsa, y presenta polaridades opuestas; en la región frontocentral la actividad es más intensa en la condición palabra que en fuente falsa (Figura 5B).

Para estudiar la presencia del efecto *coarse print tuning* (diferencia entre palabras y fuente falsa) en estos niños, se ajustó un modelo lineal mixto sobre la amplitud media en la ventana de N1 en el promedio de los electrodos de cada clúster (occipitoparietal izquierdo y derecho). En el modelo se incluyeron como efectos fijos *condición* (palabra o fuente falsa), *lateralidad* (clúster izquierdo o derecho) y la *interacción entre condición y lateralidad*, y *sujeto*

como factor aleatorio. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de tipo III sobre el modelo ajustado.

El ANOVA realizado sobre el modelo lineal mixto ajustado reveló que la amplitud media era significativamente más negativa que la de las cadenas de fuente falsa (*condición*, $F_{1, 111}=115.13$, $p<0.001$) (Figura 5C). Ni el efecto principal de *lateralidad* ($F_{1, 111}=1.60$; $p=0.21$) ni la interacción entre condición y lateralidad ($F_{1, 111}=1.72$; $p=0.19$) resultaron estadísticamente significativos.

Estos resultados muestran una diferencia en el procesamiento de palabras y fuente falsa en la ventana de N1 en electrodos occipitoparietales, pero no muestra evidencia de una diferencia de lateralidad en el procesamiento de palabras y fuente falsa (Figura 5D).

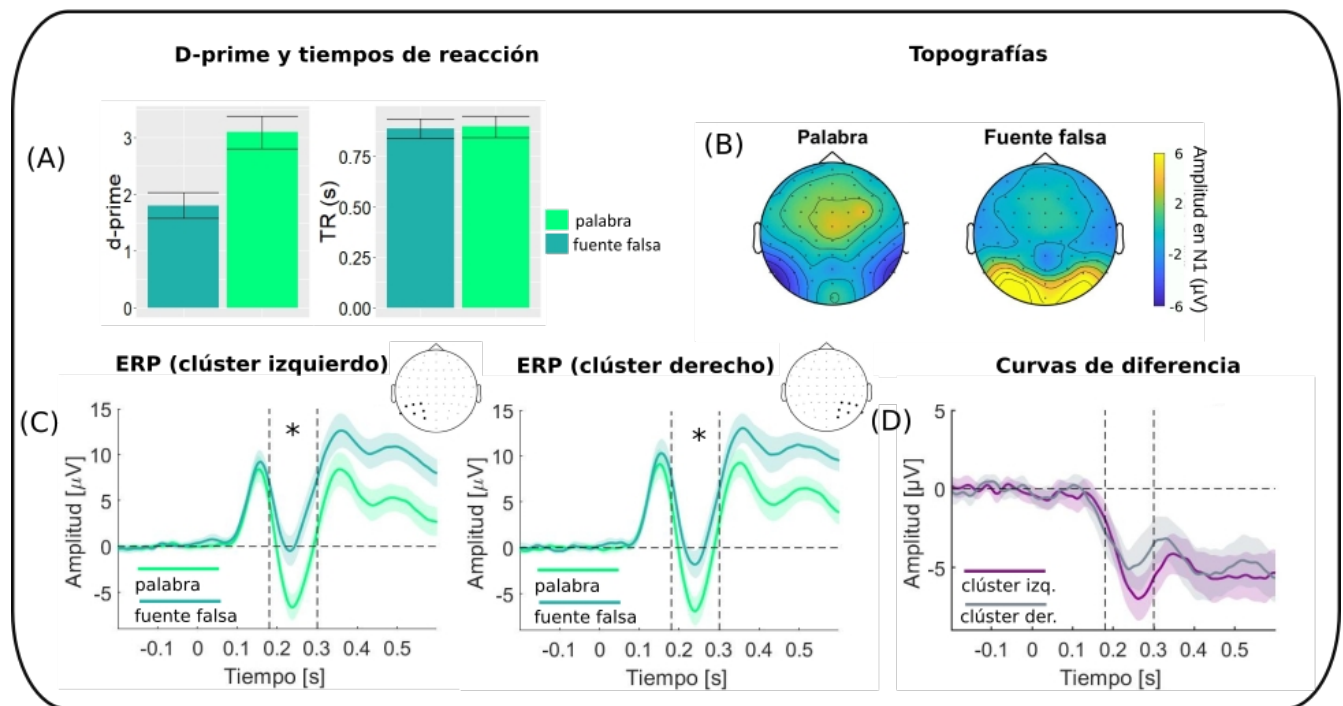


Figura 5. Efecto Coarse print tuning en tarea one-back. (A) D-prime y tiempos de reacción en tarea one-back. Los participantes fueron más precisos en la detección de repeticiones de palabras (verde) que de cadenas de fuente falsa (azul) (índice d-prime mayor en condición palabra que en fuente falsa, $p<0.001$, figura izquierda), sin embargo, fueron igual de rápidos en responder en ambas condiciones ($p=0.48$ figura derecha). Las barras indican el intervalo de confianza (IC) al 95%. (B) Mapas topográficos. En la ventana de N1 (0.18-0.3 s), la distribución espacial de la condición palabra (panel izquierdo) difiere de la fuente falsa (panel derecho): en la región posterior, la distribución topográfica es más lateral en la condición palabra que en la condición fuente falsa, y presenta polaridades opuestas; en la región frontocentral la actividad es más intensa en la condición palabra que en

fuerza falsa. Las unidades están en microvoltios (μV). **(C) Potenciales evocados.** En la ventana N1 (indicada en la líneas punteadas), el promedio de los electrodos del clúster izquierdo (indicados en el diagrama), presenta una amplitud más negativa en la condición palabra (verde) que en la condición fuerza falsa (azul). Después de esta ventana, la condición fuerza falsa presenta una amplitud más positiva que palabra. Se observa el mismo patrón para el promedio de los electrodos del clúster derecho (figura derecha). El sombreado indica el IC al 95%. **(D) Curvas de diferencia (palabra - fuerza falsa).** En la ventana N1, existe una diferencia significativa ($p < 0.001$) entre palabras y fuerza falsa tanto en el clúster izquierdo (curva violeta) como derecho (curva gris). El sombreado indica el IC 95 % de cada curva de diferencia.

Coarse tuning a nivel individual

Para analizar el efecto *coarse print tuning* a nivel individual, se evaluó la respuesta electrofisiológica para cada sujeto en ensayos en los que se presentaron palabras en comparación con ensayos en los que se presentaban fuentes falsas. Se realizó, para cada sujeto, una prueba *t* de medidas independientes (de una cola) sobre la amplitud media del segmento N1 en el promedio del clúster izquierdo y otra en el clúster derecho ($\alpha = 0.05$).

En el 76% de los sujetos ($n=29$) se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre la condición palabra y fuerza falsa en al menos uno de los clúster (todos los *p*-valores menores a 0,05). En 18 sujetos la diferencia resultó significativa en ambos clústers, en 10 sólo en el clúster izquierdo y en 1 sólo en el derecho.

Fine print tuning

Para estudiar la existencia de especialización neural fina para palabras (efecto *fine print tuning*) en niños hablantes de español, se comparó la actividad neural para palabras y para pseudopalabras en dos tareas: en una tarea *one-back*, para ser consistentes con estudios previos, y en una tarea novedosa que requiere acceso al significado de las palabras (*tarea semántica*).

A los efectos de analizar la presencia del efecto *fine print tuning* en cada caso, se ajustó un modelo lineal mixto para los datos de cada tarea por separado. La variable dependiente es la amplitud media en la ventana de N1 en el promedio de los electrodos de cada clúster

(occipitoparietal izquierdo y derecho). En cada modelo se incluyeron como factores fijos *condición* (palabra o pseudopalabra), *lateralidad* (clúster izquierdo o derecho) y la *interacción entre condición y lateralidad*, y *sujeto* como factor aleatorio. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de tipo III sobre cada modelo ajustado.

Tarea *one-back*

Resultados comportamentales

Al igual que en análisis de las condiciones palabra y fuente falsa, para analizar si existían diferencias de precisión en la detección de repeticiones y en la velocidad de respuesta entre la condición palabra y pseudopalabra se utilizaron MLM sobre el índice de d' , y sobre los tiempos de reacción respectivamente. En los modelos se incluyó *condición* (palabra o pseudopalabra) como factor fijo y *sujeto* como factor aleatorio.

No se encontraron diferencias significativas de precisión en la detección de repeticiones de palabras y de pseudopalabras ($F_{1,35}=0,18$, $p=0.68$). Los participantes tendieron a responder más rápido en la condición palabra que en la condición pseudopalabra, pero esta tendencia no alcanzó la significancia estadística ($F_{1,36}=3,93$ $p=0.06$). (Figura 6A)

Resultados electrofisiológicos

En la ventana de N1, tanto palabras como pseudopalabras presentan un patrón de actividad de polaridad negativa en la zona posterior lateral, y de actividad de polaridad positiva frontocentral. (Figura 6B).

El ANOVA realizado sobre el modelo lineal mixto ajustado para la amplitud media en N1 en la tarea *one-back* no reveló un efecto principal de condición ($F_{1,111}=1.10$; $p=0.30$), de *lateralidad* ($F_{1,111}=0.05$; $p=0.82$), ni una interacción entre condición y lateralidad ($F_{1,111}=0.09$; $p=0.77$).

Estos resultados no muestran diferencias entre el procesamiento de palabras y pseudopalabras, ni diferencias de lateralización en su procesamiento en la ventana de N1, en electrodos occipitoparietales (Figura 6D).

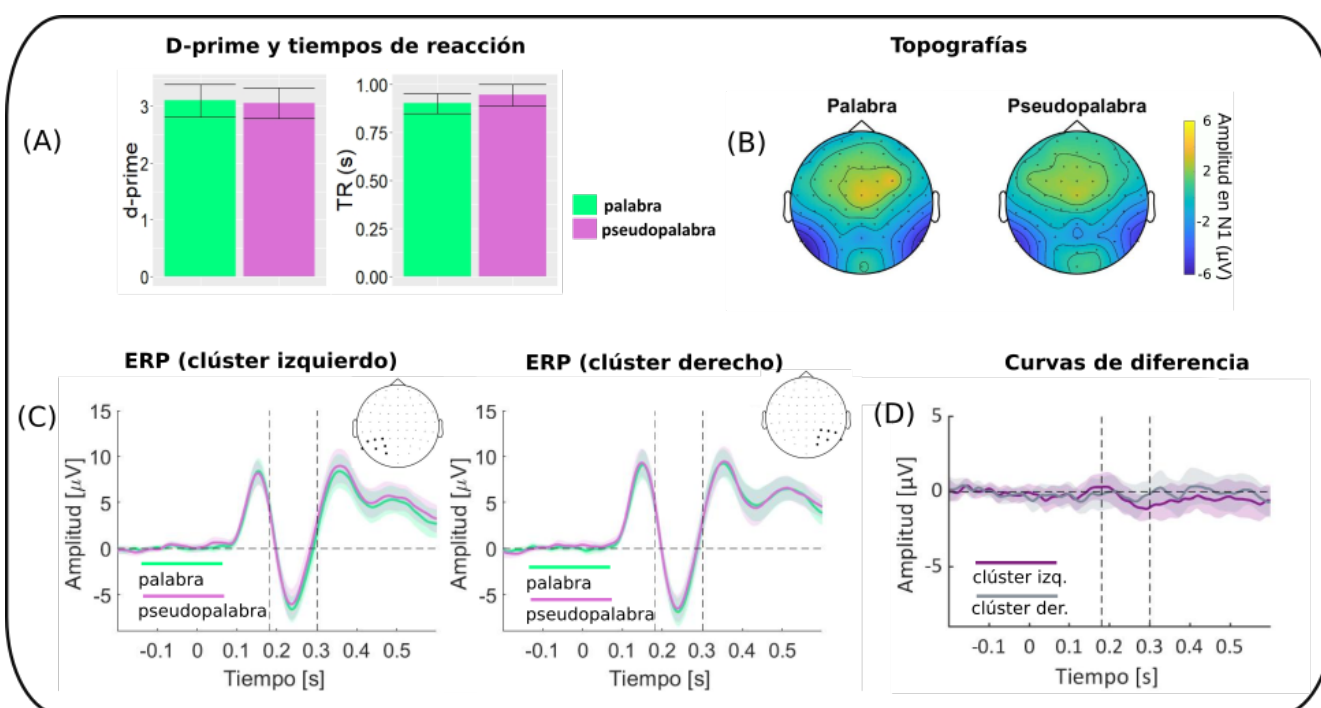


Figura 6. Efecto *Fine print tuning* en tarea *one-back*. (A) D-prime y tiempos de reacción en tarea *one-back*. No se encontraron diferencias de precisión en la detección de repeticiones de palabras (verde) y de pseudopalabras (lila) (diferencia en el índice d-prime $p=0.68$, figura izquierda), sin embargo, los participantes tendieron a responder más rápido en la condición palabra que en la condición pseudopalabra ($p=0.06$ figura derecha). Las barras indican el intervalo de confianza (IC) al 95%. (B) Mapas topográficos. En la ventana de N1, las condiciones palabra (panel izquierdo) y pseudopalabra presentan una distribución espacial similar. (C) Potenciales evocados. En la ventana de N1 (indicada en las líneas punteadas) no se observan diferencias de amplitud entre la condición palabra (lila) y pseudopalabra (azul) en el promedio de los electrodos del clúster izquierdo (figura izquierda) ni en el promedio de los electrodos del clúster derecho (figura derecha). El sombreado indica el IC al 95%. (D) Curvas de diferencia (palabra - pseudopalabra). En la ventana N1, no se observan diferencias significativas entre palabras y pseudopalabras ($p=0.30$) ni en el clúster izquierdo (curva roja, ni en el derecho (curva violeta). El sombreado indica el IC al 95% de cada curva de diferencia.

Tarea semántica

Resultados comportamentales

La Figura 7A muestra la tasa de aciertos y tiempos de reacción en la *tarea semántica*. La tasa de aciertos media de los participantes fue 0.8, significativamente por encima de la

respuesta al azar (test de proporciones, $z=23,39$, $p<0.001$), en la tarea consistente en decidir si las figuras correspondían o no con las palabras leídas.

Resultados electrofisiológicos

En la ventana de N1, al igual que se observó en la tarea *one-back*, tanto palabras como pseudopalabras presentan un patrón de actividad de polaridad negativa en la zona posterior lateral, y de actividad de polaridad positiva frontocentral (Figura 7B).

El ANOVA realizado sobre el modelo ajustado para para la amplitud media en N1 en la tarea *semántica* no reveló un efecto principal de *condición* ($F_{1,111}=2.4$; $p=0.12$) ni de interacción entre *condición* y *lateralidad* ($F_{1,111}=0.06$; $p=0.80$) (Figura 7C). Se encontró una tendencia no significativa de *lateralidad* ($F_{1,111}=2.99$; $p=0.09$). (Figura 7D).

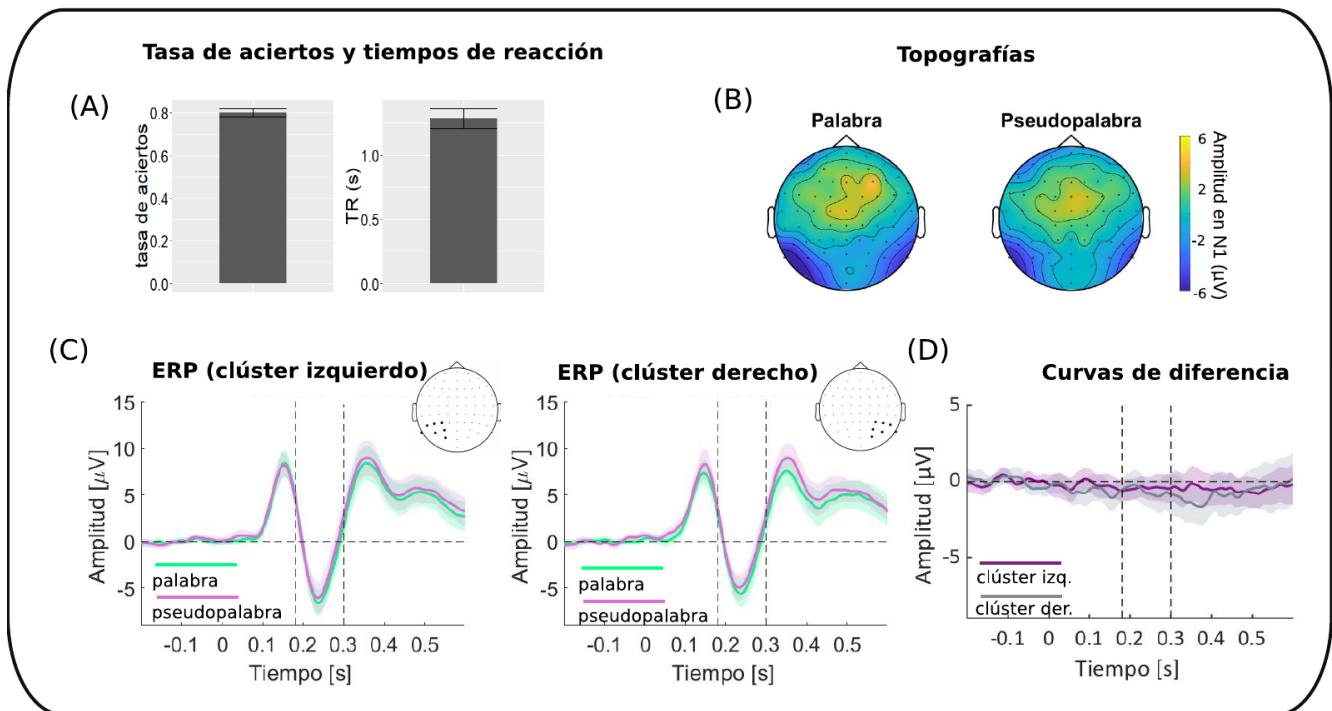


Figura 7. Efecto *Fine print tuning* en tarea *semántica*.

(A) Tasa de aciertos y tiempos de reacción en la tarea *semántica*. En promedio, los participantes respondieron mejor que el nivel de azar si las figuras correspondían o no con las palabras leídas. **(B) Mapas topográficos.** En la ventana de N1, las condiciones palabra (panel izquierdo) y pseudopalabra presentan una distribución espacial similar. **(C) Potenciales evocados.** En la ventana de N1 (indicada en la líneas punteadas) no se observan diferencias de amplitud entre la condición palabra (verde) y pseudopalabra (lila) en el promedio de los electrodos del clúster izquierdo (figura izquierda) ni en el promedio de los electrodos

del clúster derecho (figura derecha). El sombreado indica el IC al 95%. **(D) Curvas de diferencia (palabra - pseudopalabra).** En la ventana N1, no se observan diferencias significativas entre palabras y pseudopalabras ($p=0.12$) ni en el clúster izquierdo (curva violeta) ni en el derecho (curva gris). El sombreado indica el IC al 95 % de cada curva de diferencia.

Resultados 2: Modelización de la variabilidad y separación de fuentes adicionales

Modelos con efecto aleatorio de electrodo

Si bien en el análisis de ERP es usual tomar como variable dependiente la amplitud media promediada entre un conjunto de electrodos, no todos reflejan de igual forma la señal. Una forma de tomar en cuenta esta variabilidad es contemplarla en el modelo de análisis. Para esto, en vez de promediar la amplitud entre los electrodos de un clúster, se tomó como variable dependiente la amplitud media en N1 en cada uno de esos electrodos, y se introdujo en el modelo un factor aleatorio de electrodo anidado en sujeto.

Coarse print tuning

Se realizó un modelo lineal mixto sobre la amplitud media en la ventana N1 en cada electrodo que participa de los clústers occipitoparietales definidos (insets Figs. 5C,6C,7C). El modelo incluyó como factores fijos *condición* (palabra o fuente falsa), *lateralidad* (clúster izquierdo o derecho), y la *interacción* entre condición y lateralidad, y como factores aleatorios *sujeto*, y *electrodo* anidado en sujeto. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de tipo III sobre el modelo ajustado (Tabla 3a).

Se encontró un efecto principal de condición ($F_{1, 530}=356.60$; $p<0.001$), en el que la condición palabra presenta una amplitud media más negativa que la condición fuente falsa, y una interacción entre condición y lateralidad ($F_{1, 530}=5.35$; $p=0.02$), siendo la diferencia entre palabras y fuente falsa mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Análisis post hoc revelaron que la amplitud en N1 de la condición fuente falsa difiere significativamente entre hemisferios, con una amplitud más negativa en el hemisferio derecho ($t=-2.87$, $p<0.01$), mientras que la amplitud en la condición palabra no difiere entre hemisferios ($t=0.06$, $p=1$), ambos p-valores corregidos por Bonferroni). El efecto principal de *lateralidad* resultó marginalmente significativo ($F_{1, 493}=3.30$; $p=0.07$).

Fine print tuning

Tarea one-back

Se encontró un efecto principal de *condición* ($F_{1, 530}=6.35$; $p=0.01$) en el que la condición palabra presenta una amplitud media más negativa que la condición pseudopalabra (Tabla 3b). No se encontró un efecto estadísticamente significativo de *lateralidad* ($F_{1, 493}=0.06$; $p=0.81$), ni una interacción entre *lateralidad* y *condición* ($F_{1, 530}=0.49$; $p=0.48$).

Tarea semántica

Se encontró un efecto principal de *condición* ($F_{1, 516}=5.38$; $p=0.02$), con la condición palabra presentando una amplitud media más negativa que la condición pseudopalabra (Tabla 3c). Asimismo, se encontró un efecto principal de *lateralidad* ($F_{1, 480}=5.79$; $p=0.02$), con el clúster izquierdo presentando una amplitud media más negativa que el clúster derecho. No se encontró una interacción entre *lateralidad* y *condición* ($F_{1, 516}=p=0.65$).

Tabla 3. Análisis de Varianza (ANOVA) tipo III sobre los modelos lineales mixtos que incluyen factor aleatorio de electrodo. Método Satterthwaite. Sum Sq=suma de cuadrados, Mean Sq Valor medio de la suma de cuadrados, NumDr= Número de grados de libertad del numerados, DenDF=número de grados de libertad del Denominador, F= valor del estadístico F Pr(>F)=probabilidad de que el estadístico tiene valores más extremos.

a) Modelo ajustado en la tarea *one-back* en la comparación Palabra-Fuente falsa (*Coarse print tuning*)

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F	Pr(>F)
condición	6211.7	6211.7	1	530	356.6007	< 0.001 ***
lateralidad	57.3	57.3	1	493	3.2902	0.07030 .
Condición: lateralidad	93.1	93.1	1	530	5.3471	0.02114 *

b) Modelo ajustado en la tarea *one-back* en la comparación Palabra-Pseudopalabra (*Fine print tuning*).

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F	Pr(>F)
condición	36.422	36.422	1	530	6.3489	0.01204 *
lateralidad	0.332	0.332	1	493	0.0579	0.80994
Condición: lateralidad	2.812	2.812	1	530	0.4902	0.48412

c) Modelo ajustado en la tarea *Semántica* en la comparación Palabra-Pseudopalabra (*Fine print tuning*).

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F	Pr(>F)
condición	58.599	58.599	1	516	5.3822	0.02073 *
lateralidad	63.048	63.048	1	480	5.7908	0.01649 *
Condición: lateralidad	2.215	2.215	1	516	0.2035	0.65212

Análisis por filtro espacial

Para el aprovechamiento de electrodos por fuera de los clásicamente empleados, ponderados en función de la señal de interés que contengan potencialmente, se aplicó el análisis DSS (de Cheveigné & Simon, 2008)(ver Materiales y Métodos). Para extraer la señal que es reproducible a través de los ensayos, y que a la vez es distinta entre las condiciones experimentales, para cada tarea, aplicamos primero la técnica DSS para identificar el subespacio que favorezca la actividad reproducible a través de los ensayos, es decir buscamos extraer la

parte de la señal original que más se asemeje al promedio (*DSS evocado*). Luego, aplicamos nuevamente la técnica a los efectos encontrar las direcciones en ese subespacio que optimicen la diferencia entre las condiciones palabra y pseudopalabra, vale decir, se extrae la parte de la señal reducida que más se asemeja a la diferencia del promedio entre las condiciones (*DSS diferencia*) (De Cheveigné & Parra, 2014).

Fine print tuning

Tarea one-back

Topografías

La Figura 8A (panel izquierdo) presenta la distribución espacial de la señal que es más reproducible entre ensayos y sujetos, asemejándose al promedio (primer componente de *DSS evocado*). Se observa mayor actividad en la zona occipital de forma bilateral y limitada actividad del signo opuesto en la zona frontal. Este patrón presenta cierta analogía con las topografías de N1 (Figura 6B). Nótese que el signo en las topografías de N1 es opuesto al caso presente porque el primero sólo representa la polaridad de la ventana N1 mientras que la Figura 8A representa la polaridad en la ventana total. La Figura 8A (panel derecho) presenta la distribución espacial que más reproduciblemente distingue entre palabras y pseudopalabras (*DSS diferencia*). Esta distribución espacial es más posterior que la del componente *DSS evocado*.

Diferencia de condiciones

La Figura 8B muestra la serie temporal del primer componente de *DSS evocado* (izquierda) y del *DSS diferencia* (derecha) para la condición palabra (verde) y pseudopalabra (lila). Exhiben un perfil trifásico similar al de los potenciales evocados (Figura 6), si bien la ventana correspondiente al N1 muestra actividad disminuida en el *DSS diferencia* respecto al *DSS evocado*. Las señales correspondientes al procesamiento de palabras y pseudopalabras no aparentan ser muy diferentes, por lo cual realizamos una curva de diferencia para visualizar las regiones temporales en las que hay una mayor sensibilidad a las diferencias entre condiciones.

La Figura 8C muestra las curvas de diferencias para el componente DSS *evocado* (izquierda) y DSS *diferencia* (derecha). La curva de diferencia de la señal que más reproduciblemente distingue entre palabras y pseudopalabras (DSS *diferencia*, Figura 8C derecha) sugiere que la mayor diferencia entre condiciones está en la ventana de N1.

Para investigar si esta diferencia era significativa se realizó una prueba *t* pareada (dos colas) sobre la amplitud media en la ventana de N1 del promedio del componente DSS *diferencia*. Esta prueba reveló una amplitud media más negativa en la condición palabra que en la condición pseudopalabra ($t_{37} = -2.65$; $p = 0.01$).

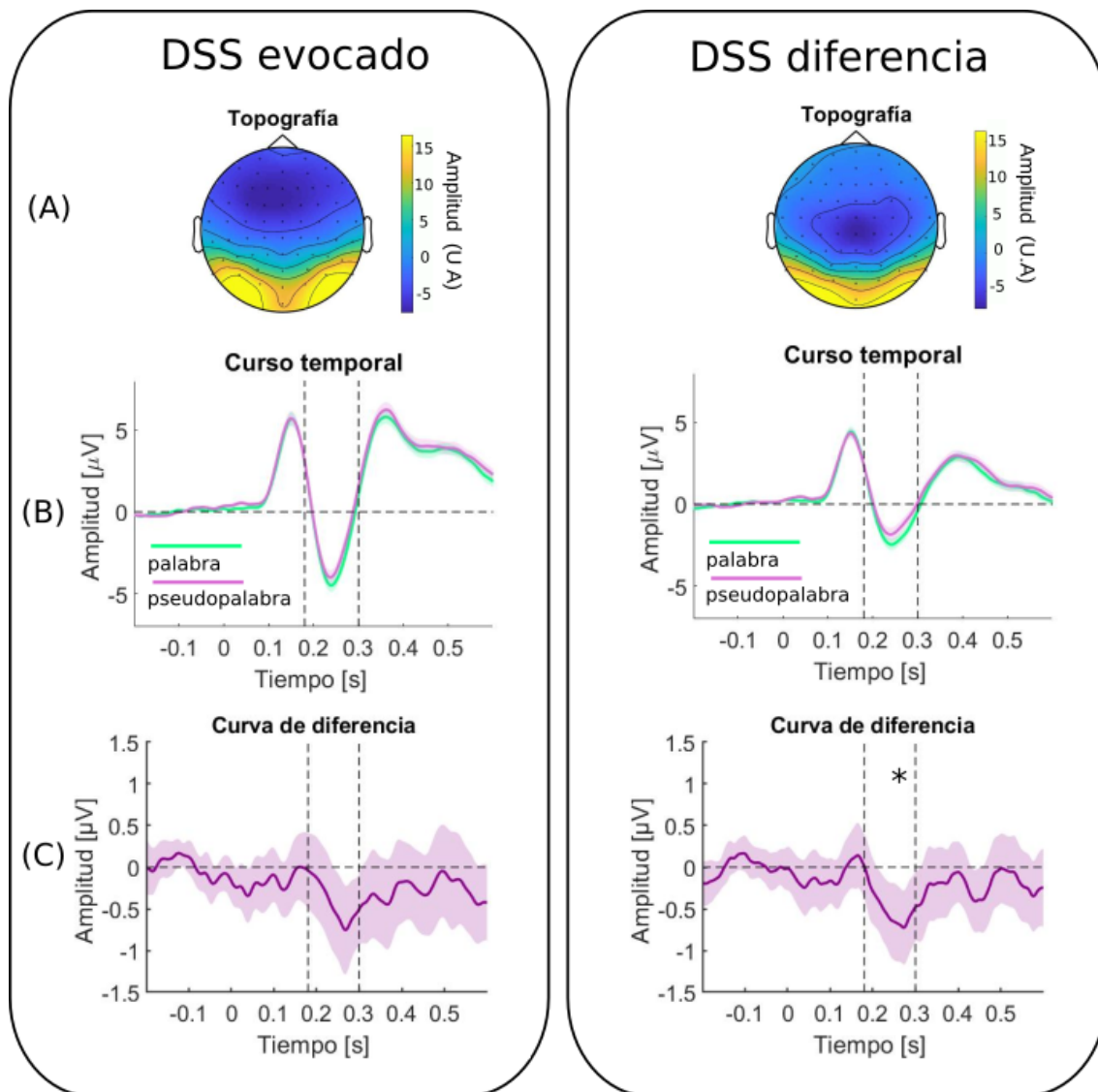


Figura 8. Análisis DSS en la tarea *one-back* para las condiciones palabra y pseudopalabra. (A) Mapas topográficos asociados al primer componente del DSS *evocado* (panel izquierdo) y del DSS *diferencia* (panel derecho). Ambos componentes exhiben mayor actividad en la zona occipital de forma bilateral y limitada actividad del signo opuesto en la zona frontal, si bien el DSS *diferencia* tiene una distribución espacial más posterior que la del componente DSS *evocado*. (B) Curso temporal del primer componente de DSS *evocado* (izquierda) y del DSS *diferencia* (derecha) para la condición palabra (verde) y pseudopalabra (lila). El sombreado indica ± 1 SEM. (C) Curvas de diferencia (palabra-pseudopalabra) para el componente DSS *evocado* (panel izquierdo) y DSS *diferencia* (panel derecho). Se observa una diferencia significativa entre condiciones en el DSS *diferencia* en la ventana de N1 ($p=0.01$).

Tarea *semántica*

Topografías

La Figura 9A muestra la distribución topográfica del primer componente de DSS *evocado* (izquierda) y del primer componente del DSS *diferencia* (derecha) para la tarea *semántica*. Las topografías de ambos componentes muestran un patrón similar al descrito para la tarea *one-back* (Figura 8A), si bien el DSS *diferencia* de la tarea *semántica* aparenta tener una topografía menos posterior.

Diferencia de condiciones

La Figura 9B muestra el curso temporal del primer componente DSS *evocado* (izquierda) y DSS *diferencia* (derecha) para las condiciones palabra y pseudopalabra en la tarea *semántica*. Al igual que en la tarea *one-back*, las curvas presentan un perfil trifásico. Las series temporales son muy similares en ambas condiciones, si bien parecen diferenciarse ligeramente luego de la ventana de N1. Para observar mejor las diferencias entre condiciones, se realizó la curva de diferencia (palabra - pseudopalabra) para cada componente (Figura 9C). En esta tarea, las regiones temporales de mayor diferencia entre condiciones, a diferencia de la tarea *one-back*, no parecen corresponder a la ventana del N1. Esto se evaluó mediante una prueba *t* pareada (de dos colas) sobre la amplitud media en N1 del promedio del componente de DSS *diferencia*. La misma no reveló diferencias estadísticamente significativas entre palabras y pseudopalabras ($t_{37}=-1.88$; $p=0.07$). Sin embargo, dado el perfil de la curva de diferencias (Figura 9C), es posible que ocurran diferencias entre las condiciones en una ventana temporal posterior. Para evaluar esta posibilidad analizamos la diferencia en la ventana de 0.3 a 0.5 s. La diferencia entre palabras y pseudopalabras resultó significativa en esta ventana ($t_{37}=-2.14$, $p=0.04$), con la condición pseudopalabra presentando mayor amplitud que palabra.

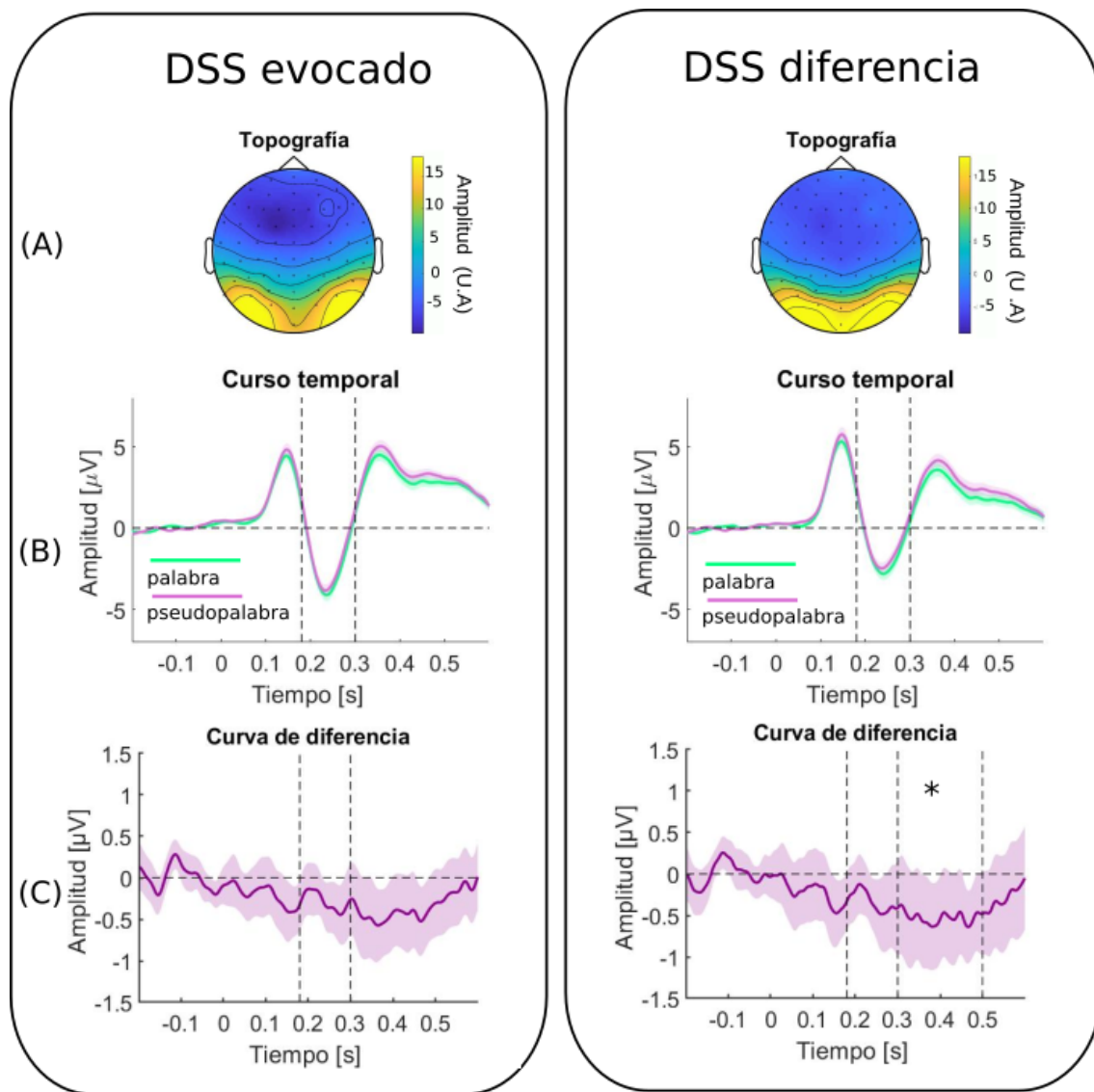


Figura 9. Análisis DSS en la tarea *semántica* para las condiciones palabra y pseudopalabra.

(A) Mapas topográficos asociados al primer componente del DSS *evocado* (panel izquierdo) y del DSS *diferencia* (panel derecho). Ambos componentes exhiben mayor actividad en la zona occipital de forma bilateral y limitada actividad del signo opuesto en la zona frontal, si bien el DSS *diferencia* tiene una distribución espacial más posterior que la del componente DSS *evocado*. **(B)** Curso temporal del primer componente de DSS *evocado* (izquierda) y del DSS *diferencia* (derecha) para la condición palabra (verde) y pseudopalabra (lila). El sombreado indica ± 1 SEM. **(C)** Curvas de diferencia (palabra-pseudopalabra) para el componente DSS *evocado* (panel izquierdo) y DSS *diferencia* (panel derecho). Se observa una diferencia significativa entre condiciones en el DSS *diferencia* en la ventana de 300 a 500 ms ($p=0.04$).

Discusión

Efecto coarse print tuning

Los resultados muestran que la amplitud en el componente N1 para palabras es mayor que para cadenas de fuente falsa en niños hablantes de español, al final del primer año escolar en el que se comienza la instrucción lectora formal. Esta diferencia aparece de forma robusta tanto al analizar la amplitud del promedio de los clúster como al considerar la variabilidad entre electrodos. Este resultado es consistente con estudios que encuentran mayor amplitud en el componente N1 en palabras respecto a cadenas de fuente falsa o símbolos, en lectores de diferentes lenguas, como inglés (Maurer, Brandeis, & Mccandliss, 2005), francés (Curziatti, Bonnefond, Staub, Vidailhet, & Doignon-camus, 2017), alemán (dialecto suizo) (Maurer, Brem, Bucher, & Brandeis, 2005), e inclusive en lenguas no alfabéticas (Qin, Maurits, & Maassen, 2016). A su vez, es consistente con estudios realizados en niños a partir de 2° grado escolar, en los que también se han encontrado diferencias entre palabras y fuente falsa/símbolos (ej. Maurer et al., 2006). Si bien se ha mostrado que este efecto no está presente en niños que aún no aprendieron a leer, pero sí lo está en el segundo año de instrucción lectora (Maurer et al., 2006), resulta importante establecer con mayor precisión en qué momento aparece. En este sentido, el presente estudio muestra que aproximadamente un año de instrucción lectora formal pudiera ser suficiente para que se refleje esta especialización de forma robusta. Por último, esto es también consistente con el único estudio que a nuestro entender analiza la presencia de este efecto en niños en la etapa comprendida entre educación inicial nivel 5 (no lectores) y 2° grado escolar, en este caso, en hablantes de alemán (dialecto suizo) (Eberhard-Moscicka et al., 2015).

Es importante recalcar, que a diferencia de otros estudios (ej. Bentin et al., 1999; Maurer, Brem, et al., 2005) que para estudiar la especialización para palabras las comparan con formas arbitrarias o símbolos (p.ej. “&@\$£”), en el presente estudio -así como en Eberhard-Moscicka y col (2015)- se utilizaron cadenas de caracteres falsos diseñados especialmente de forma de compartir características visuales con las letras. Se controló además que a cada letra del alfabeto le corresponda un carácter falso.

Por otra parte, si bien hay varios estudios que muestran el efecto *print tuning* a nivel grupal, sólo Eberhard-Moscicka y col (2015) a nuestro saber lo buscan también a nivel individual. En el presente estudio, el efecto *print tuning* es observable a nivel individual en el 76% de los sujetos, lo que muestra que es un efecto robusto.

En resumen, nuestro estudio es el primero que muestra que el efecto *print tuning* se desarrolla con sólo un año de instrucción lectora en niños hablantes de español. Dado que tanto el alemán como el español son idiomas con ortografías transparentes, resulta importante estudiar qué ocurre en lectores tempranos hablantes de lenguas más opacas (ej. inglés, francés).

Si nos enfocamos en aspectos más detallados de la respuesta encontrada, es de destacar que varios trabajos muestran un efecto de lateralización izquierda del efecto *print tuning* en lectores que logran decodificar de forma fluida (Brem et al., 2005; Rossion, Joyce, Cottrell, & Tarr, 2003; Sacchi & Laszlo, 2016). En el presente estudio, realizando el análisis sobre el promedio del clúster, no se encuentra un efecto de lateralización (la diferencia es significativa en ambos hemisferios). Esto es consistente con otros estudios en niños, en los que se observa un efecto bilateral (Eberhard-Moscicka et al., 2015; Hasko et al., 2013). Es importante señalar que se ha observado asimismo un efecto no lateralizado en lectores que adquieren la lectura siendo adultos (Sánchez-Vincitore, Avery, & Froud, 2017 , pero ver Boltzmann & Rüsseler, 2013) lo que ha llevado a hipotetizar que la lateralización sería un marcador de mayor habilidad lectora. En esta línea, el efecto bilateral encontrado en este estudio sugiere que aún no han adquirido un nivel de habilidad suficiente. Sin embargo, los resultados que consideran la variabilidad entre electrodos demuestran una interacción entre lateralidad y condición, siendo mayores las diferencias entre condiciones en el hemisferio izquierdo que en el derecho. El hecho de que se encuentre este efecto solamente en ese análisis sugiere que los participantes podrían exhibir lateralización incipiente con un tamaño del efecto pequeño que no es capturado al promediar todos los electrodos. También es posible que el efecto esté lateralizado en algunos niños pero no en otros. Esto es aparente en los análisis del efecto *print tuning* a nivel individual; el 34% de los niños que muestran este efecto a nivel individual (mayor amplitud para palabras

respecto a fuente falsa), lo presentan solamente en el hemisferio izquierdo, mientras que el 62 % presentan un efecto bilateral.

Un aspecto interesante es que el mayor efecto print tuning en el hemisferio izquierdo que en el derecho no está dado por una mayor activación para palabras en el hemisferio izquierdo, sino por una mayor activación para fuentes falsas en el hemisferio derecho que en el izquierdo. Esto sugiere que lo primero que ocurre durante el proceso de aprendizaje de la lectura -en términos de lateralización- es que los estímulos no alfabéticos comienzan a ser excluidos del hemisferio izquierdo. Las diferencias individuales observadas abren la interrogante de si estas diferencias se asocian a un mejor desempeño en la lectura.

Efecto fine print tuning

En cuanto al efecto *fine print tuning* (contraste entre palabras y pseudopalabras), se observa en términos generales un patrón de resultados similar en ambas tareas. Al realizar el análisis sobre el promedio de los clúster occipito-parietales, en ninguna de las dos tareas se observa una diferencia de amplitud entre palabras y pseudopalabras. Este resultado coincide con lo hallado por (Eberhard-Moscicka et al., 2015) con niños con similar grado de instrucción lectora. Asimismo, coincide con otros estudios que no encuentran diferencias en N1 entre palabras y pseudopalabras (Araújo et al., 2012; Hasko et al., 2013; Kast et al., 2010; Mahé, Zesiger, & Laganaro, 2015; Maurer, Brem, et al., 2005). Sin embargo, al considerar la variabilidad entre electrodos en el análisis, se encuentra evidencia de *fine print tuning* para ambas tareas. Asimismo, al realizar el análisis por filtro espacial (DSS) se encuentran diferencias significativas en la ventana de N1 en la tarea *one-back*, si bien en la *tarea semántica* esta diferencia resulta marginal para la misma ventana.

Estos resultados sugieren que existe una diferencia entre palabras y pseudopalabras en el componente N1 que por su magnitud pudiese no ser observable de forma robusta en el promedio de los electrodos del clúster. El hecho de que los análisis posteriores permitan detectar evidencia de *fine print tuning* se atribuye a la contribución de factores que incluyen la

variabilidad interindividual y entre electrodos (MLM con factor aleatorio de electrodo) y la participación de fuentes que reflejen mejor el efecto en otros electrodos, o diferencias asociadas al mismo en otras ventanas temporales (DSS). Esto podría explicar la falta de consistencia en la literatura, con algunos estudios que no encuentran un efecto *fine tuning* (Araújo et al., 2012; Hasko et al., 2013; Kast et al., 2010; Mahé, Zesiger, & Laganaro, 2015; Maurer, Brem, et al., 2005), mientras que otros sí (Coch & Meade, 2016; Mahé et al., 2012; Maurer et al., 2006; Zhao et al., 2013)

Una de las razones por la que sería esperable encontrar una diferencia de amplitud entre palabras y pseudopalabras, es que las palabras tienen un significado asociado, mientras que las pseudopalabras no. Dado que las tareas de lectura implícita (ej. *one-back*) utilizadas con frecuencia para estudiar el efecto *print tuning*, pueden ser llevadas a cabo sin necesidad de acceder al significado, no se garantiza que los participantes estén efectivamente accediendo al mismo. Si las potenciales diferencias de amplitud encontradas entre palabras y pseudopalabras en el componente N1 se deben al acceso al significado, esto podría explicar la ausencia de diferencias en estudios que solamente utilizan tareas que no fuerzan el acceso al significado (ej. Eberhard-Moscicka, Jost, Raith, & Maurer, 2015, Araújo, Bramão, Faísca, Petersson, & Reis, 2012).

Una vez que la lectura se automatiza posiblemente se acceda automáticamente al significado de forma pasiva, aunque la tarea no lo demande (Naccache & Dehaene, 2001). Sin embargo, en el caso de lectores incipientes, resulta mucho menos claro que se acceda de forma automática al significado (o incluso a la representación fonológica). Por esta razón, se diseñó una tarea en la que se favorece el acceso semántico. Se esperaba que de esta forma, en lectores tempranos, no se encontraran diferencias en la tarea *one-back*, o estas fueran muy pequeñas, mientras que al realizar una tarea que fuerza el acceso al significado se encontraran diferencias marcadas. No obstante, los resultados obtenidos no respaldan dicha hipótesis: al realizar los análisis sobre el promedio de los electrodos de cada clúster no se encuentran diferencias en ninguna de las tareas, mientras que al analizar tomando en cuenta el efecto de electrodo, se

encuentran diferencias de similar magnitud en ambas tareas. De hecho, al realizar el análisis de DSS se encuentran diferencias en N1 en la tarea *one-back* pero no en la semántica. Dicho de otro modo, no se encontró evidencia de una facilitación en la diferencia entre condiciones, en la ventana de N1, al imponer el acceso semántico. De esta forma, resulta difícil afirmar que las diferencias observadas en este componente se deban a una modulación semántica. Una interpretación alternativa es que si bien la tarea *one-back* no fuerza el acceso al significado, el hecho de realizar la tarea en bloques favorezca el acceso al mismo en las palabras. Por un lado, la tarea semántica mostraría un mayor efecto en virtud del requerimiento de acceso al significado, y por otro, la tarea *one-back* generaría un mayor efecto meramente por ser los estímulos presentados en bloque. Alternativamente, en la tarea *one-back* (en bloques) los niños sí acceden al significado a niveles comparables a los de la tarea semántica, y por ello no se encontrarían diferencias con respecto a la tarea semántica. Para poder decidir entre estas posibilidades será necesario realizar un nuevo experimento que implique una tarea *one-back* donde los estímulos no sean presentados en bloque, y compararla con la tarea *semántica*.

Además, los resultados muestran que, para la tarea *semántica*, el efecto *fine print-tuning* se ve seguido de procesamiento diferenciado entre palabra y pseudopalabra, en una ventana temporal posterior (0.3 a 0.5 s). Se concluye que en la tarea *semántica* esta ventana sea la principal contribuyente a la distribución espacial asociada a la distinción entre palabra y pseudopalabras. Dado que con el método de MLM sí se encontró un efecto en N1 (correspondiente al *fine print-tuning*) para la tarea *semántica*, se propone que en esta ventana más tardía la diferenciación inicial observada en N1 continuaría aunque expresada en regiones posteriores y más mediales que la distribución asociada a N1. Es de interés determinar si el procesamiento asociado a esta ventana posterior corresponde a un acceso a memoria (Polich, 2012), por ejemplo, facilitado en el caso de palabras, pero que requiere reevaluación o re-análisis en el caso de las pseudopalabras. También es posible que la diferencia de activación esté relacionada a los procesos de acceso semántico que se vinculan al componente N400 (Kutas & Federmeier, 2011). Queda por resolver cómo esta secuencia, de efecto *fine print-tuning* a nivel

N1, a diferenciación a nivel posterior por otra fuente, pueda verse mantenida durante el proceso de desarrollo de la habilidad lectora.

Alternativamente a la modulación semántica, las diferencias en N1 entre palabras y pseudopalabras podrían deberse a otra diferencia que tienen las palabras y pseudopalabras: su frecuencia léxica, la cual impacta sobre la familiaridad visual de los sujetos con esas cadenas de caracteres. Mientras que las pseudopalabras tienen por definición una frecuencia cero, las palabras utilizadas en este estudio fueron seleccionadas por encontrarse entre las más frecuentes en lectores tempranos (Corral, Ferrero, & Goikoetxea, 2009). Las palabras y las pseudopalabras utilizadas no difieren en la frecuencia de letras y de bigramas, por lo que las diferencias que restan son la frecuencia del ítem léxico y el significado. El que el acceso al significado no sea un factor que diferencie la actividad N1 entre tareas nos deja como interpretación que la diferencias encontradas en el componente N1 entre palabras y pseudopalabras reflejen un efecto de familiaridad visual.

Por otra parte, mientras en la tarea *one-back* no se observaron efectos de lateralidad, en la tarea *semántica* se observa que N1 tiene mayor amplitud en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Sin embargo, no se encuentra una interacción entre *lateralidad* y *condición* (es decir, el efecto de lateralización no es diferente para palabras y para pseudopalabras), por lo que no hay evidencia de que el sesgo encontrado se asocie con la relación entre patrón visual y el significado. Consideramos que el efecto de lateralización izquierda encontrado estaría relacionado al mapeo del patrón visual con la representación fonológica, lo cual es posible tanto en el caso de palabras como de pseudopalabras. El hecho de que esta lateralización sea observada en la tarea *semántica* pero no en la *one-back* podría explicarse por el mayor nivel de procesamiento requerido por la primera. Siendo lectores incipientes, es probable que para acceder al significado-requerido para realizar la tarea *semántica*- deban previamente realizar el procesamiento fonológico de los estímulos presentados. Sin embargo, en la tarea *one-back*, que no requiere necesariamente acceder al significado ni a la representación fonológica, es posible que el acceso fonológico haya sido inconsistente o en menor grado. Esto indicaría que la

imposición de tener que atender al significado puede modular la respuesta electrofisiológica en N1.

Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran por primera vez, en español, evidencia del efecto *coarse print tuning* en lectores incipientes antes de comenzar su segundo año de instrucción lectora. A su vez, de nuestro conocimiento, es el primer estudio que muestra la presencia de efecto *fine print tuning* en niños con menos de un año de instrucción lectora, si bien su magnitud es pequeña en comparación con la del efecto *coarse print tuning*. No se encontró evidencia de una mayor diferencia entre palabras y pseudopalabras en la tarea que favorece acceso al significado (*semántica*) respecto a la tarea de lectura implícita (*one-back*) en la ventana de N1, lo que sugiere que el efecto *fine print tuning* no se debería a una modulación semántica sino a un efecto de familiaridad léxica. Por otra parte, el hecho de que se haya encontrado un efecto de lateralización izquierda para palabras y pseudopalabras en la tarea *semántica* y no en la tarea *one-back*, indicaría que la tarea moduló la respuesta en N1. Dado que la lateralización izquierda observada no es diferente entre palabras y pseudopalabras, se propone que la misma estaría vinculada al mapeo del patrón visual con la fonología, en línea con la hipótesis de mapeo fonológico. Por último, en la tarea semántica se encontró evidencia de un procesamiento diferencial entre palabras y pseudopalabras en una ventana temporal posterior a la de N1, lo que podría reflejar procesos de acceso semántico más tardíos.

Anexo

Lista de estímulos utilizados

Palabra	Pseudopalabra	Fuente Falsa	Frecuencia por millón de palabras
ARO	EJO	ተፀረ	150,97
BAÑO	LAFO	ኮተዳረ	184,52
BESO	REDO	ኮፌፅረ	178,93
BOCA	LOGA	ኮረፅተ	391,41
BOTA	LETA	ኮረዓተ	452,92
BOTE	LOME	ኮረዓፌ	139,79
CAJA	MAVA	ፅተጸተ	346,68
CAMA	PAÑA	ፅተኮተ	559,16
CAPA	MAFA	ፅተፌተ	117,42
CARA	RAPA	ፅተፀተ	419,37
CASA	MABA	ፅተፅተ	2.639,25
CENA	CIRA	ፅፌዳተ	139,79
CINE	CEGE	ፅፑዳፌ	173,34
COPA	POBA	ፅረፌተ	139,79
CUBO	MUMO	ፅፂኮረ	257,21
CUNA	MUPA	ፅፂዳተ	324,31
DADO	LARO	ጎተጎረ	492,06
DEDO	LESO	ጎፌጎረ	452,92
FILA	GISA	ጎፑሰተ	184,52
FOCA	GOSA	ጎረፅተ	279,58
FOTO	VODO	ጎረዓረ	564,75
GATO	ZADO	ጸተዓረ	1.442,64
GOMA	HONA	ጸረኮተ	201,30
GOTA	DETA	ጸረዓተ	123,02

HUMO	NUGO	±፳ሆጊ	374,64
LAGO	RACO	ለተጸጊ	262,81
LANA	FALA	ለተዋተ	234,85
LATA	GACA	ለተዋተ	150,97
LEÑA	LIBA	ለጌዋተ	212,48
LOBO	BOGO	ለጊሆጊ	525,61
LORO	VONO	ለጊፀጊ	262,81
LUNA	FUSA	ለ፳ዋተ	1.487,37
LUPA	FUJA	ለ፳ፌተ	335,50
LUZ	CUZ	ለ፳፭	369,05
MAGO	CADO	ሆተጸጊ	206,89
MANO	PAMO	ሆተዋጊ	581,53
MAPA	PAZA	ሆተፌተ	313,13
MAR	SAR	ሆተፀ	967,35
MESA	CEVA	ሆጌፅተ	889,07
MONO	COBO	ሆጊዋጊ	313,13
MOTO	SOCO	ሆጊዋጊ	587,12
NIDO	GEDO	ዋፑ፭ጊ	598,30
NIÑO	GIJO	ዋፑዋጊ	1.040,04
NUBE	GUPE	ዋ፳ሆጌ	536,80
OJO	ENO	ጊጸጊ	195,71
OLA	EBA	ጊለተ	413,78
ORO	EPO	ጊፀጊ	268,40
OSO	UJO	ጊፅጊ	754,87
PALA	SABA	ጌተለተ	318,72
PALO	SAVO	ጌተለጊ	195,71
PAN	LAN	ጌተዋ	587,12
PATO	MADO	ጌተዋጊ	687,77
PELO	MECO	ጌጌለጊ	615,08
PEZ	SEZ	ጌጌ፭	262,81
PILA	SIBA	ጌፑለተ	156,57
PINO	MISO	ጌፑዋጊ	313,13

RAMA	SASA	ፀተህተ	301,95
RAMO	LACO	ፀተህረ	190,12
RANA	SAMA	ፀተዋተ	480,88
RATA	GADA	ፀተዋተ	324,31
RAYO	BAYE	ፀተኃረ	162,16
REY	VEY	ፀረኃ	637,44
ROCA	BOMA	ፀረፅተ	83,87
ROPA	BOJA	ፀረረተ	273,99
ROSA	FONA	ፀረፅተ	687,77
SAL	FAL	ፅተሰ	313,13
SAPO	TAVO	ፅተረረ	508,84
SOL	DOL	ፅረሰ	1.615,98
SOPA	TOVA	ፅረረተ	615,08
TAPA	SAVA	ዋተረተ	279,58
TAXI	TEXI	ዋተ ሾ	397,01
TAZA	RAGA	ዋተጋተ	229,26
TELA	BENA	ዋረሰተ	201,30
TORO	BODO	ዋረፀረ	100,65
UÑA	IGA	ጀዋተ	184,52
UVA	IMA	ጀፊተ	190,12
VACA	FADA	ፊተፅተ	615,08
VASO	FANO	ፊተፅረ	419,37
VELA	FENA	ፊረሰተ	313,13
VINO	FIRO	ፊሾዋረ	229,26
		Media	434,12
		Mediana	313,13
		Rango	83,87 - 2.639,25

Referencias

- Amsel, B. D. (2011). Neuropsychologia Tracking real-time neural activation of conceptual knowledge using single-trial event-related potentials. *Neuropsychologia*, 49(5), 970–983. <https://doi.org/10.1016/j.>
- Araújo, S., Bramão, I., Faísca, L., Petersson, K. M., & Reis, A. (2012). Electrophysiological correlates of impaired reading in dyslexic pre-adolescent children. *Brain and Cognition*, 79(2), 79-88. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.010>
- Bates, D., Kliegl, R., Vasishth, S., & Baayen, R. H. (2018). Parsimonious Mixed Models. arXiv:1506.04967
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP Manifestations of Processing Printed Words at Different Psycholinguistic Levels: Time Course and Scalp Distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(3), 235-260. <https://doi.org/10.1162/089892999563373>
- Boltzmann, M., & Rüsseler, J. (2013). Training-related changes in early visual processing of functionally illiterate adults: evidence from event-related brain potentials. *BMC Neurosci.* 14:154. doi: 10.1186/1471-2202-14-154
- Brem, S., Bach, S., Kucian, K., Kujala, J. V., Guttorm, T. K., Martin, E., ... Richardson, U. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter–speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17), 7939–7944 <https://doi.org/10.1073/pnas.>
- Brem, S., Lang-Dullenkopf, A., Maurer, U., Halder, P., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005). Neurophysiological signs of rapidly emerging visual expertise for symbol strings. *Neuroreport*, 16(1), 45-48. <https://doi.org/00001756-200501190-00011>

- Brennan, C., & Booth, J. R. (2015). Large grain instruction and phonological awareness skill influence rime sensitivity, processing speed, and early decoding skill in adult L2 learners. *Reading and Writing*, 28(7), 917-938. <https://doi.org/10.1007/s11145-015-9555-2>
- Caffarra, S., Martin, C. D., Lizarazu, M., Lallier, M., Zarraga, A., Molinaro, N., & Carreiras, M. (2017). Word and object recognition during reading acquisition: MEG evidence. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 24, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.01.002>
- Caplan, D., Waters, G., Bertram, J., Ostrowski, A., & Michaud, J. (2016). Effects of Written and Auditory Language-Processing Skills on Written Passage Comprehension in Middle and High School Students. *Reading Research Quarterly*, 51(1), 67-92. <https://doi.org/10.1002/rrq.126>
- Carreiras, M., Armstrong, B. C., Perea, M., & Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in cognitive sciences*, 18(2), 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.005>
- Carreiras, M., Seghier, M. L., Baquero, S., Estévez, A., Lozano, A., Devlin, J. T., & Price, C. J. (2009). *An anatomical signature for literacy*. 461(October). <https://doi.org/10.1038/nature08461>
- Castles, A., Rastle, K., & Nation, K. (2018). Ending the Reading Wars: Reading Acquisition From Novice to Expert. *Psychological Science in the Public Interest*, 19(1). <https://doi.org/10.1177/1529100618772271>
- Chafe, W., & Tannen, D. (1987). The Relation between Written and Spoken Language. *Annual Review of Anthropology*, 1, 383-407.
- Chang, C. H. C., Pallier, C., Wu, D. H., Nakamura, K., Jobert, A., Kuo, W.-J., & Dehaene, S. (2015). Adaptation of the human visual system to the statistics of letters and line configurations. *NeuroImage*, 120, 428-440. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.07.028>

- Coch, D., & Meade, G. (2016). N1 and P2 to words and wordlike stimuli in late elementary school children and adults. *Psychophysiology*, 53(2), 115-128.
<https://doi.org/10.1111/psyp.12567>
- Corral, S., Ferrero, M., & Goikoetxea, E. (2009). LEXIN: A lexical database from Spanish kindergarten and first-grade readers. *Behavior Research Methods*.
<https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1009>
- Cuetos, V. F. (2012). PROLEC-R: Bateria de evaluación de los procesos lectores, revisada. (5a Edición). Madrid: TEA.
- Curzietti, M., Bonnefond, A., Staub, B., Vidailhet, P., & Doignon-camus, N. (2017). Brain & Language The effects of age on visual expertise for print. *Brain and Language*, 169, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2017.03.001>
- de Cheveigné, A., & Parra, L. C. (2014). Joint decorrelation, a versatile tool for multichannel data analysis. *NeuroImage*, 98, 487-505. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.068>
- de Cheveigné, A., & Simon, J. Z. (2008). Denoising based on spatial filtering. *Journal of Neuroscience Methods*. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.03.015>
- Dehaene-Lambertz, G., Monzalvo, K., & Dehaene, S. (2018). The emergence of the visual word form: Longitudinal evolution of category-specific ventral visual areas during reading acquisition. *PLoS Biology*. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2004103>
- Dehaene, S.. (2014). *Reading in the Brain*, (2nd Edition).Penguin: New York.
- Dehaene, S, & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of Cortical Maps. *Neuron*, 56(2), 384-398.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.004>
- Dehaene, S., Cohen, L., Morais, J., & Kolinsky, R. (2015). Illiterate to literate: behavioural and cerebral changes induced by reading acquisition. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(4), 234–44. <https://doi.org/10.1038/nrn3924>

- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: A proposal. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 335–341.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.05.004>
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, G. N., Jobert, A., ... Cohen, L. (2010). How Learning to Read Changes the Cortical Networks for Vision and Language. *Science*, 330(6009), 1359-1364. <https://doi.org/10.1126/science.1194140>
- Duchon, A., Perea, M., Sebastián-gallés, N., Martí, A., & Carreiras, M. (2013). EsPal: One-stop shopping for Spanish word properties. *Behavior Research Methods*, 45, 1246–1258. doi: 10.3758/s13428-013-0326-1
- Eberhard-Moscicka, A. K., Jost, L. B., Raith, M., & Maurer, U. (2015). Neurocognitive mechanisms of learning to read: Print tuning in beginning readers related to word-reading fluency and semantics but not phonology. *Developmental Science*, 18(1), 106-118.
<https://doi.org/10.1111/desc.12189>
- Frömer, R., Maier, M., & Rahman, R. A. (2018). *Group-Level EEG-Processing Pipeline for Flexible Single Trial-Based Analyses Including Linear Mixed Models*. 12(February), 1–15.
<https://doi.org/10.3389/fnins>
- Georgiou, G. K., Parrila, R., & Papadopoulos, T. C. (2008). Predictors of Word Decoding and Reading Fluency Across Languages Varying in Orthographic Consistency. *Journal of Educational Psychology*, 100(3), 566–580. <https://doi.org/10.1037/0022->
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(1), 43-54. <https://doi.org/10.1038/nrn3836>
- Hasko, S., Groth, K., Bruder, J., Bartling, J., & Schulte-Körne, G. (2013). The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study. *Frontiers in human neuroscience*, 7(October), 570. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00570>

- Hulme, C., Bowyer-crane, C., Carroll, J. M., Duff, F. J., Snowling, M. J., Duff, F. J., & Snowling, M. J. (2012). The Causal Role of Phoneme Awareness and Letter-Sound Knowledge in Learning to Read: Combining Intervention Studies With Mediation Analyses. *Psychological Science*, 23(6), 572–577. <https://doi.org/10.1177/0956797611435921>
- Huttenlocher, J., Waterfall, H., Vasilyeva, M., Vevea, J., & Hedges, L. V. (2010). Sources of variability in children's language growth. *Cognitive Psychology*, 61(4), 343-365. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2010.08.002>
- Joanisse, M. F., & Seidenberg, M. S. (1999). Impairments in verb morphology after brain injury: a connectionist model. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(13), 7592-7597.
- Jobard, G., & Crivello, F. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading : a metanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20(2), 693-712. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00343-4](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00343-4)
- Junghöfer, M., Elbert, T., Tucker, D. O. N. M., & Rockstroh, B. (2000). Statistical control of artifacts in dense array EEG 0 MEG studies. *Wiley Online Library*, 523-532.
- Kast, M., Elmer, S., Jancke, L., & Meyer, M. (2010). ERP differences of pre-lexical processing between dyslexic and non-dyslexic children. *International Journal of Psychophysiology*, 77(1), 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.04.003>
- 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(1), 621–647. <https://doi.org/10.1146/>
- Landi, N. (2010). An examination of the relationship between reading comprehension, higher-level and lower-level reading sub-skills in adults. *Reading and Writing*, 23(6), 701-717. <https://doi.org/10.1007/s11145-009-9180-z>

- Leppa, U., Aunola, K., Niemi, P., & Nurmi, J. (2008). Letter knowledge predicts Grade 4 reading fluency and reading comprehension. *Learning and Instruction, 18*(6), 548-564.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.11.004>
- Luck, S. (2014) An introduction to the event-related potential technique (2nd Edition). MIT: Cambridge.
- Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (1990). Response Bias: Characteristics of Detection Theory , Threshold Theory , and " Nonparametric " Indexes. *Psychological Bulletin, 107*, 401–413.
- Mahé, G., Bonnefond, A., Gavens, N., Dufour, A., & Doignon-Camus, N. (2012). Impaired visual expertise for print in French adults with dyslexia as shown by N170 tuning. *Neuropsychologia 50*, 3200-3206.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.013>
- Mahé, G., Zesiger, P., & Laganaro, M. (2015). Beyond the initial 140ms, lexical decision and reading aloud are different tasks: An ERP study with topographic analysis. *NeuroImage 122*, 65–72 <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.07.080>
- Mano, Q. R., Humphries, C., Desai, R. H., Seidenberg, M. S., Osmon, D. C., Stengel, B. C., & Binder, J. R. (2013). The role of left occipitotemporal cortex in reading: reconciling stimulus, task, and lexicality effects. *Cerebral cortex, 23*(4), 988-1001.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhs093>
- Marslen-Wilson, W. D., Bozic, M., & Randall, B. (2008). Early decomposition in visual word recognition: Dissociating morphology, form, and meaning. *Language and Cognitive Processes, 23*(3), 394-421. <https://doi.org/10.1080/01690960701588004>
- Maurer, U., Brandeis, D., & Mccandliss, B. D. (2005). Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behavioral and Brain Functions, 12*, 1-12. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-1-13>

- Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005). Emerging neurophysiological specialization for letter strings. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(10), 1532-1552.
<https://doi.org/10.1162/089892905774597218>
- Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Benz, R., Halder, P., ... Brandeis, D. (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. *NeuroImage*, 33(2), 749-758.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.025>
- Monzalvo, K., & Dehaene-lambertz, G. (2013). How reading acquisition changes children's spoken language network. *Brain and Language*, 127(3), 356-365.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.10.009>
- M
- ueller, S. T., & Weidemann, C. T. (2012). Alphabetic letter identification: Effects of perceivability, similarity, and bias. *ACTPSY*, 139(1), 19-37. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.09.014>
- Naccache, L. Dehaene, S. (2001) Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition*. 80(3), 215-229.
- Nagy, W. E., & Anderson, R. C. (1984). How Many Words Are There in Printed School English? *Reading Research Quarterly*, 19(3), 304-330. <https://doi.org/10.2307/747823>
- Nagy, W. E., Herman, P. A., & Anderson, R. C. (1985). Learning Words from Context. *Reading Research Quarterly*, 20(2), 233-253. <https://doi.org/10.2307/747758>
- New, B., Ferrand, L., Pallier, C., & Brysbaert, M. (2006). *Reexamining the word length effect in visual word recognition : New evidence from the English Lexicon Project*. 13(1), 45-52.
- Peirce, J. W. (2007). *PsychoPy — Psychophysics software in Python*. 162(1), 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.11.017>
- 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), 56-115.

- Polich, J. (2012). Neuropsychology of P300. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of event-related potential components* (pp. 159-188). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2011). The Interactive Account of ventral occipitotemporal contributions to reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 246-253.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.04.001>
- Pritchard, S. C., Coltheart, M., Palethorpe, S., & Castles, A. (2012). Nonword Reading: Comparing Dual-Route Cascaded and Connectionist Dual-Process Models With Human Data. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(5), 1268-1288.
- Qin, R., Maurits, N., & Maassen, B. (2016). N170 Tuning in Chinese: Logographic Characters and Phonetic Pinyin Script *Scientific Studies of Reading*, 8438(August).
<https://doi.org/10.1080/10888438.2016.1199554>
- Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C. A., Pesetsky, D., & Seidenberg, M. S. (2001). How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science in the Public Interest*, 2(2), 31-74
- Rossion, B., Joyce, C. A., Cottrell, G. W., & Tarr, M. J. (2003). Early lateralization and orientation tuning for face , word , and object processing in the visual cortex. *NeuroImage*, 20, 1609-1624. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.010>
- Rubenstein, H., Lewis, S. S., & Rubenstein, M. A. (1971). Evidence for phonemic recoding in visual word recognition. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10(6), 645-657.
[https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(71\)80071-3](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(71)80071-3)
- Sacchi, E., & Laszlo, S. (2016). An Event-Related Potential study of the relationship between N170 lateralization and phonological awareness in developing readers. *Neuropsychologia*.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.09.001>

- Sánchez-Vincitore, L. V., Avery, T., & Froud, K. (2017). Word-related N170 responses to implicit and explicit reading tasks in neoliterate adults. *International Journal of Behavioral Development*, 016502541771406. <https://doi.org/10.1177/0165025417714063>
- Seidenberg, M. (2017). *Language at the Speed of Sight: How We Read, Why So Many Can't, and What Can Be Done About It*. Basic Books.
- Tindle, R., & Longstaff, M. G. (2015). Writing, Reading, and Listening Differentially Overload Working Memory Performance Across the Serial Position Curve. *Advances in Cognitive Psychology*, 11(4), 147-155. <https://doi.org/10.5709/acp-0179-6>
- Tunmer, W. E., & Chapman, J. W. (2012). The Simple View of Reading. *Journal of Learning Disabilities*, 45(5), 453-466. <https://doi.org/10.1177/0022219411432685>
- Vidal, C., Content, A., & Chetail, F. (2016). BACS: Brussels Artificial Character Sets for studies in cognitive psychology and neuroscience. *Behavior Research Methods*, (Lcld), 1-18. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0844-8>
- Weekes, B. S. (1997). Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 50(2), 439-456. <https://doi.org/10.1080/713755710>
- Wold, S., Esbensen, K. I. M., & Geladi, P. (1987). Principal Component Analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2, 37-52.
- Zhao, J., Kipp, K., Gaspar, C., Maurer, U., Weng, X., Mecklinger, A., & Li, S. (2013). Fine Neural Tuning for Orthographic Properties of Words Emerges Early in Children Reading Alphabetic Script. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(3), 194-198. <https://doi.org/10.1162/jocn>
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Pace, E., Gasperini, F., Judica, A., & Spinelli, D. (2005). Word length effect in early reading and in developmental dyslexia. *Brain and Language*, 93(3), 369-373. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2004.10.010>