



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

---

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
División de Ciencias Biológicas  
Departamento de Ciencias Ambientales

## INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

### ALTERACIONES NEUROFUNCIONALES EN ADULTOS CON POBRE CONOCIMIENTO ORTOGRÁFICO

Tesis  
que para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO  
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)**

presenta

Daniel Zarabozo Hurtado

Comité tutorial

Dr. Andrés Antonio González Garrido (Director)

Dr. Jorge Juárez González

Dr. Fernando Barrios Álvarez

Dr. Luis Concha Loyola

Dr. Joan Guàrdia Olmos

A María Beatriz, de quien tengo la fortuna sea mi esposa. Gracias por enseñarme tanto en cada sentido posible. Gracias por brindarme tu amor, apoyo y paciencia en cada día que me has permitido estar junto a ti.

A mis padres, Daniel y Ana Leticia. Gracias por su apoyo incondicional en todo momento y por sus enseñanzas e impulsos a lo largo de mi vida. Gracias por todo su amor y trabajo en equipo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Andrés González Garrido y a la Dra. Fabiola Gómez Velázquez, por haberme brindado un espacio en su Laboratorio y por haber depositado en mi su confianza para la realización de este proyecto. Por todas sus enseñanzas a lo largo de estos seis años y por su ejemplo a seguir, en los ámbitos profesional y personal.

A los miembros de mi comité tutelar, por su participación en la formación y desarrollo de este proyecto a través de sus observaciones y recomendaciones.

A los profesores del Instituto de Neurociencias, por haberme enseñado conceptos, técnicas y aplicaciones sobre este mundo de la relación cerebro-comportamiento.

A los participantes que formaron los grupos en la presente investigación, por su tan amable colaboración y paciencia durante los registros.

A los miembros del Laboratorio de Neurofisiología Clínica, por toda su ayuda brindada, fundamental para este proyecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, de forma particular a los miembros de la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología, por haber compartido sus instalaciones y equipo necesarios para la realización de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por su apoyo financiero para el desarrollo de este proyecto, línea de investigación y formación académica personal.

## RESUMEN

El estudio de la lectura, a través del procesamiento visual de las palabras, se ha enfocado en el procesamiento visual, fonológico o semántico, así como en sus respectivas representaciones neurales. Esto se ha sido realizado principalmente en individuos con deficiencias lectoras y cuya lengua materna es representada por ortografías opacas, con una relación variable entre las letras y sus respectivos sonidos. Investigamos el reconocimiento de errores ortográficos homófonos en las palabras, así como su representación neural, a través de la Resonancia Magnética funcional. Participaron 29 individuos sanos, diestros y que cursaban el último año de bachillerato, Fueron divididos en dos grupos de acuerdo con sus habilidades ortográficas (altas -AHO-, y bajas -BHO-). Se emplearon palabras correctamente escritas o con la sustitución de una letra, conservando su fonología. Se presentaron en blanco sobre fondo negro durante 2 segundos. Como condición basal, se emplearon cadenas de símbolos presentadas de igual manera y con la misma duración. Se aplicaron dos tareas relacionadas con el procesamiento ortográfico, de las que sólo una se dirigió específicamente a este proceso. En la tarea dirigida al análisis ortográfico, se observaron diferencias significativas entre los grupos en precisión y velocidad, siendo mejor el grupo AHO. El análisis de neuroimagen reveló menores activaciones en este grupo en regiones temporoccipitales, temporales, parietales superiores y frontales inferiores, en comparación con el grupo BHO. En la tarea dirigida a la detección de la presencia de una letra específica en las palabras, el grupo AHO tendió a ser menos preciso y tuvo una velocidad de respuesta significativamente menor. Su patrón de activaciones se incrementó particularmente en las regiones temporoccipital, parietal superior y frontal inferior. Los resultados apoyan la especialización cerebral en el reconocimiento ortográfico de las palabras, sobre la que puede interferir otro tipo de procesamiento lingüístico, y como consecuencia, requerir de un reclutamiento mayor de regiones cerebrales para realizar los procesos requeridos de forma exitosa.

Palabras clave: procesamiento visual de palabras, ortografía, dificultades lectoras, resonancia magnética funcional.

## ABSTRACT

The study of reading, through visual word processing, has focused on visual, phonological or semantic processing as well as their neural representations. This has been done mainly in reading disabled individuals whose native language is represented by opaque orthographies, with a highly variable relationship between letters and their sounds. We investigated the presence of homophone spelling errors in Spanish words and the effect on their recognition and neural representations, through functional MRI. Participants were 29 healthy, right-handed high school students. They were divided into two groups according to their spelling skills (high -HSS-, and low -LSS-). Correctly and misspelled Spanish words were used, misspellings were formed replacing a letter without changing their phonology. Two orthographic-related processing tasks were applied, of which only one was specifically addressed to this process. In the orthographic decision task, significant differences in accuracy and speed were observed between groups, being HSS group more efficient. Neuroimaging analysis revealed less activation patterns over temporoccipital, temporal, superior-parietal and inferior-frontal regions compared with LSS group. In the letter detection task (presence of a specific letter in words), HSS group tended to be less accurate and had a significantly lower response speed. The patterns of activation were particularly increased over temporoccipital, superior-parietal and inferior-frontal regions. These results support brain specialization for word-spelling recognition, which could be interfered by other linguistic processing and consequently require greater recruitment of brain regions to perform successfully the required processes.

Key words: visual word processing, orthography, reading difficulties, functional Magnetic Resonance Imaging.

## ÍNDICE

1. Introducción	-----	9
2. Aprendizaje de la lectura		
2.1 Desarrollo lector	-----	14
2.2 Modelos para la lectura y almacenamiento de información de las palabras	-----	16
3. Especialización cerebral para la lectura		
3.1 Extracción de características visuales	-----	21
4. Reconocimiento visual de las palabras		
4.1 Estudios conductuales y electrofisiológicos	-----	23
4.2 Reconocimiento de errores ortográficos y PREs	-----	30
5. Imagen por Resonancia Magnética funcional (IRMf)		
5.1 Fundamentos teóricos	-----	37
5.2 Imagen cerebral y procesamiento visual de palabras	-----	41
6. Planteamiento del problema	-----	51
Objetivos e hipótesis	-----	53
Variables	-----	57
7. Metodología		
Selección de la muestra	-----	58
Participantes	-----	60

Criterios de inclusión	-----	60
Criterios de exclusión	-----	61
Instrumentos aplicados fuera del resonador	-----	61
Sesiones de Resonancia Magnética funcional	-----	62
Estímulos	-----	63
Tareas experimentales	-----	64
Condiciones experimentales	-----	70
Sistema de registro y características técnicas	-----	70
Diseño experimental y análisis estadístico	-----	71
8. Resultados	-----	75
9. Discusión	-----	109
10. Conclusiones y recomendaciones	-----	116
11. Consideraciones éticas	-----	119
12. Referencias bibliográficas	-----	120
ANEXOS	-----	133

## 1. INTRODUCCIÓN

El nivel de conocimiento ortográfico por parte de jóvenes mexicanos podría ser considerado como deficiente. Esta idea puede ser aceptada en función de la experiencia del lector de este trabajo, considerando aquellos escritos por parte de alumnos en distintos niveles educativos, escritos publicados en medios de difusión masiva, y a partir de la observación de distintos escritos al pasar por las calles. Sin embargo, existen pocos estudios sistemáticos que aborden esta problemática. Recientemente el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación en México (INEE), publicó un trabajo sobre el desempeño ortográfico de estudiantes de nivel básico en México, resultando la acentuación como el error más cometido (Backhoff, Peon, Andrade & Rivera, 2008). No obstante, un análisis adicional de este estudio reveló que el segundo error más frecuente fue la sustitución de letras que comparten un mismo fonema o lo que coloquialmente se conoce como "error de ortografía".

La adquisición del conocimiento ortográfico de las palabras podría verse fundamentado en el desarrollo lector. Durante las primeras etapas escolares, los niños "aprenden a leer" de manera global aquellas palabras que son muy frecuentes en su entorno (p. ej. su nombre) o aquellas palabras que tienen características globales muy específicas (p. ej. anuncios espectaculares de marcas conocidas); sin embargo, este "aprendizaje lector" se fundamenta en asociaciones perceptuales (formas generales y colores). Conforme avanzan en grados escolares, los niños centran su atención en la descomposición de las palabras en cada una de las unidades que las conforman y en la asignación de un sonido a cada una de ellas. El desarrollo lector continúa y el niño aprende entonces distintas habilidades de la lecto-escritura como la ortografía y la morfología de las palabras (Rosselli, Matute & Ardila, 2004). Otros



autores han propuesto distintas etapas bien definidas para el aprendizaje de la lectura, principalmente en el idioma inglés. Linnea Ehri propuso en 1995 un modelo de aprendizaje lector basado en cuatro fases: pre-alfabética o logográfica, alfabética parcial, alfabética total y alfabética consolidada; de acuerdo con esta propuesta, en cada una de estas fases se desarrollarían distintas habilidades lectoras desde la identificación de palabras de acuerdo a su forma, hasta su lectura automatizada (Beech, 2005). Algunos autores como Bowers y Wolf (1993) han propuesto que una lectura deficiente es el resultado de una falla en el establecimiento de una asociación entre la fonología y la representación gráfica de las palabras. Esta falla se traduciría en una lectura excesivamente lenta; a esta lentitud en la velocidad lectora se le ha considerado un rasgo fundamental de la dislexia en el español (Gómez-Velázquez, González-Garrido, Zarabozo & Amano, 2010; López-Escribano, 2007; Serrano & Defior, 2008).

Se ha considerado que una baja velocidad de denominación de letras o dígitos podría señalar una interrupción en los procesos automáticos que sustentan el reconocimiento de patrones ortográficos, proceso que a su vez estaría involucrado en el reconocimiento rápido de una palabra (Bowers & Wolf, 1993; Wolf, Bowers & Biddle, 2000).

Sobre este reconocimiento rápido o automatización (en inglés *expertise*), algunos autores han propuesto que el conocimiento de la ortografía de las palabras se adquiere a través de la exposición a textos y de mecanismos de memoria visual (Brem et al., 2005). Considerando lo anterior, a mayor exposición a las palabras mejor sería su reconocimiento "a golpe de vista" y mayor sería su habilidad para escribir las palabras sin cometer errores. Sin embargo, existen algunas personas que no obstante su alta

exposición a textos (o que gustan de la lectura) cometen errores ortográficos en su escritura, así como hay personas que no gustan de la lectura (o leen muy poco) y no cometen dichos errores.

Los resultados de un trabajo realizado recientemente en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica del Instituto de Neurociencias (CUCBA, Universidad de Guadalajara) mostraron que, de manera conductual, el desempeño de un grupo de estudiantes de bachillerato con conocimiento ortográfico alto fue más eficiente que el de un grupo pareado en nivel escolar pero con conocimiento ortográfico bajo. Esta comparación se realizó en términos del número de respuestas correctas y el tiempo de reacción promedio ante la detección de palabras con un error ortográfico, habiendo sido previamente expuestas sin error ortográfico. De igual forma, ambos grupos mostraron diferencias en cuanto a la amplitud y la latencia de componentes de los Potenciales Relacionados con Eventos (PREs) involucrados en el proceso de automatización del reconocimiento de palabras, y del efecto de la exposición previa a las mismas; también mostraron diferencias en componentes involucrados en procesos como la detección de una incongruencia y la reevaluación de un error (González-Garrido, Gómez-Velázquez, Zarabozo-Hurtado & Zarabozo, 2014, enviado para su publicación).

Existe un debate sobre si el procesamiento de las palabras (incluido su análisis estructural u ortográfico) es especializado o no, esto es, si se destinan recursos neurales en regiones cerebrales específicas durante el mismo, o si el procesamiento de las palabras no tiene mayor relevancia a nivel neural en comparación con otros procesos. Algunos autores han postulado el uso de un sistema general preexistente de extracción de características visuales durante las primeras etapas educativas y que, posteriormente, se crea sobre este sistema uno nuevo orientado exclusivamente para el

análisis visual de palabras (Berninger & Richards, 1994). Esta especialización cerebral para el procesamiento visual de palabras consistiría en la creación de un almacén mnésico a largo plazo (denominado *lexicón ortográfico*) que codificaría palabras de forma completa. Distintos autores han coincidido en que las regiones cerebrales que formarían este nuevo sistema son el giro fusiforme y el giro lingual principalmente, aunque algunos otros han incluido regiones parietales como el giro angular, así como frontales como el giro frontal inferior (Cornelissen et al., 2009; Polk et al., 2002; Sakurai, 2004).

Algunos trabajos han estudiado el reconocimiento visual de las palabras desde un punto de vista conductual (p. ej. Tiempo de Reacción Promedio -TRP-) y han permitido conocer que las palabras frecuentes se reconocen más rápido que las infrecuentes, o que las palabras concretas se reconocen más rápido que las abstractas (Castro-Salas, 2008). Otras investigaciones han utilizado técnicas de registro electroencefalográfico con alta resolución temporal como los Potenciales Relacionados con Eventos -PREs- (Bentin, Mouchetant-Roistang, Giard, Echallier & Pernier, 1999; Brem et al., 2005; Holcomb & Grainger, 2006), así como técnicas con alta resolución espacial como la Imagen por Resonancia Magnética funcional -IRMf- (Cohen et al., 2000; Devlin, Jamison, Gonnerman & Matthews, 2006; Polk et al., 2002), que han permitido identificar el curso temporal y regiones cerebrales involucradas durante el procesamiento de distintas propiedades de las palabras como su lexicalidad, longitud, fonología, significado, entre otras.

Sin embargo, el reconocimiento de errores ortográficos en las palabras ha sido poco estudiado en ortografías similares al español (Sauseng, Bergmann & Wimmer, 2004; Vissers, Chwilla & Kolk, 2006). El único estudio de los errores ortográficos en español, bajo

una perspectiva neurofisiológica, del que tenemos noticia se realizó con niños en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica antes mencionado (Gómez-Velázquez, González-Garrido, & Vega-Gutiérrez, 2013), en el que se encontraron distintos patrones de actividad electrofisiológica entre dos grupos con distinto nivel de denominación durante tareas de incongruencia fonológica y ortográfica. Uno de los propósitos de este Laboratorio de investigación es seguir aportando conocimiento sobre los procesos neurales involucrados en la detección y el análisis de errores ortográficos en el español por parte de jóvenes mexicanos, y su posible efecto sobre el procesamiento cerebral de la lectura.

La presente investigación pretendió estudiar las diferencias neurofuncionales entre dos grupos de estudiantes mexicanos de nivel superior, previamente caracterizados de acuerdo a su nivel de conocimiento ortográfico, durante la ejecución de tareas experimentales que involucraron la detección y el análisis de errores ortográficos homófonos. Estos errores consistieron en la sustitución de una letra en una palabra, formando así un pseudohomófono (p. ej. sapato).

## 2. APRENDIZAJE DE LA LECTURA

### 2.1 DESARROLLO LECTOR

En las primeras etapas escolares (p. ej. jardín infantil), antes de comenzar formalmente el aprendizaje de la lectura, el niño “aprende a leer” de manera global distintas palabras que son frecuentes en su entorno: su propio nombre, anuncios espectaculares, entre otros. Cuando inicia el proceso de aprendizaje de la lectura, el niño centra su atención en la descomposición de una palabra en cada una de las unidades que la forman (letras) y en la asignación de un sonido a cada una de ellas. El desarrollo de la conciencia fonológica, definida como la habilidad para categorizar, analizar y comparar los sonidos de las palabras, es el componente del lenguaje oral que más se ha asociado con el inicio del aprendizaje de la lectura. En etapas escolares más avanzadas, se ha propuesto que el niño aprende distintos aspectos ortográficos y morfológicos de las palabras (Nation, 2008; Rosselli, Matute & Ardila, 2004).

Linnea Ehri propuso en 1995 un modelo que explicó cómo y cuándo los niños adquieren el aprendizaje de la lectura en el idioma inglés (Beech, 2005). Dicho modelo se puede dividir en cuatro etapas [Figura 1]. Durante la primera etapa (pre-alfabética o logográfica) los niños todavía no tienen un conocimiento sobre las relaciones entre las letras y sus sonidos, sin embargo establecen asociaciones entre la forma general de las palabras y su respectiva pronunciación o significado (generalmente a partir de la observación de imágenes). En la segunda etapa, también denominada alfabética parcial, los niños comienzan a efectuar relaciones entre las letras y sus respectivos sonidos. A lo largo de la tercera etapa (alfabética total) los niños aprenden que diferentes combinaciones de distintas

letras forman nuevas palabras; durante esta etapa puede observarse también un efecto sobre palabras previamente vistas. Por último, en la cuarta etapa denominada “alfabética consolidada” puede observarse un efecto total de la exposición previa a las palabras debido a que durante la lectura, los niños no prestan atención a ciertos patrones de letras que forman palabras altamente observadas con anterioridad.

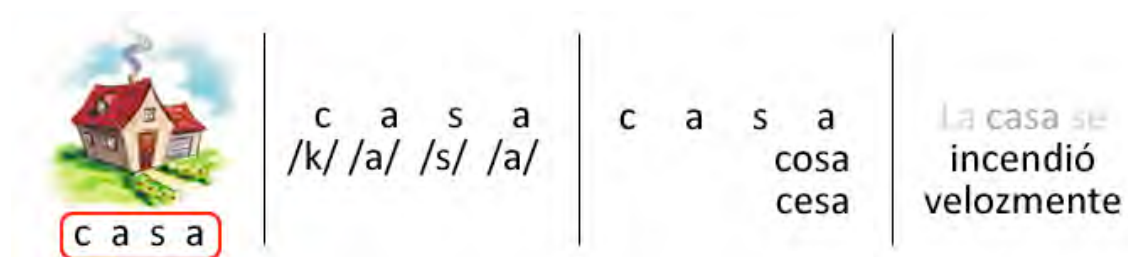


Figura 1. Modelo del aprendizaje lector propuesto por Ehri. De izquierda a derecha: etapas pre-alfabética, alfabética parcial, alfabética total y alfabética consolidada. Modificada de Beech, 2005.

Además del aprendizaje de la lectura, el niño requiere de distintos aspectos para el desarrollo adecuado de la misma. Éstos serían la percepción fonémica (que permite discriminar adecuadamente entre dos sonidos semejantes), la conciencia fonológica y la conciencia fonémica (que permite manipular los sonidos o fonemas que forman una palabra). Otros aspectos que forman parte de un buen desarrollo lector son de tipo visual y espacial (para “no perder el renglón” al momento de leer), de tipo atento, mnésico y de abstracción. Además de estos factores de tipo cognitivo, el niño requiere de factores ambientales como un nivel adecuado de exposición a los textos y la formación de una motivación positiva hacia la lectura. Por último, se ha propuesto que distintos factores que no radican en el niño pudieran tener una influencia en su desarrollo lector, tales como el ambiente familiar, el nivel sociocultural, el nivel educativo de los padres y el tipo de escuela a la que asiste (Rosselli, Matute & Ardila, 2004).

## 2.2 MODELOS PARA LA LECTURA Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LAS PALABRAS

El interés por conocer cómo se reconocen las palabras durante la lectura data desde finales del siglo XIX. Catell (1886) propuso que se hacía letra por letra y Pillsbury (1897) propuso que se hacía como un todo o como palabras completas (citados en Allen, Smith, Lien, Kaut & Canfield, 2009).

Uno de los primeros modelos para el reconocimiento visual de las palabras fue propuesto por Morton en 1969 y perfeccionado en 1980. Este modelo, llamado logogen, se basó en un diccionario o lexicón mental formado por unidades lexicales o palabras. En dicho modelo, el significado de una palabra se procesaría en un sistema cognitivo, mientras que otras características como su forma o estructura se haría en sistemas especializados llamados *logogens* (auditivo, visual y oral). Cada uno de estos tres sistemas tendría un umbral que, al ser alcanzado, activaría el significado de la palabra (citado en Barber & Kutas, 2007).

Desde finales del siglo XX se han desarrollado modelos computacionales para emular el aprendizaje o desempeño humanos ante la detección de palabras. Existen básicamente dos tipos de modelos: conexionista o de procesamiento en paralelo, y localista o de procesamiento en cascada. Un ejemplo del primer tipo fue desarrollado por Seidenberg y McClelland (1989) y denominado "modelo para la lectura en voz alta" [Figura 2]. En dicho modelo, a partir de representaciones ortográficas de entrada, se formarían representaciones fonológicas de salida. Este modelo imitaría características observadas en lectores normales: denominación con mayor rapidez ante palabras frecuentes y ante palabras regulares. Cabe resaltar que, debido a características del propio idioma, este

modelo podría emplearse únicamente en el procesamiento de palabras en el idioma inglés (citado en Barber & Kutas, 2007).

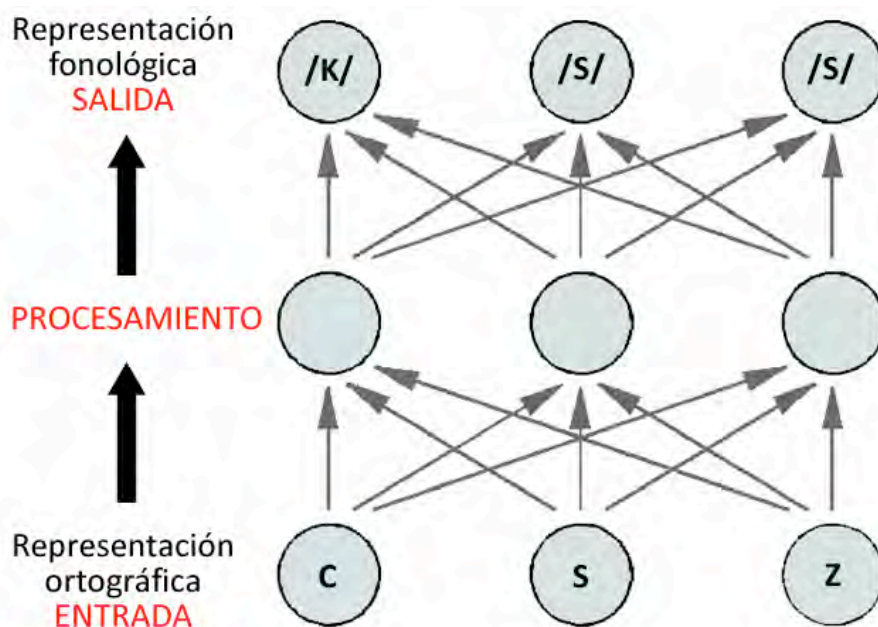


Figura 2. Modelo conexionista para la lectura en voz alta. A partir de representaciones ortográficas de entrada y su respectivo procesamiento, se obtienen representaciones fonológicas de salida. Adaptada y modificada de Barber & Kutas, 2007.

Quizá el modelo localista o de procesamiento en cascada más citado es el desarrollado y perfeccionado por el grupo de Coltheart, denominado "Cascada de Doble Ruta" o DRC por sus siglas en inglés [Figura 3]. Este modelo incluyó el uso de dos vías diferentes para el procesamiento palabra escrita → sonido: una lexical, en la cual se activarían los lexicones ortográfico (conocimiento sobre las letras en una palabra), fonológico (conocimiento sobre la pronunciación de una palabra) y semántico (conocimiento sobre el significado de una palabra); y otra sublexical, que realizaría una correspondencia entre cada grafema y su respectivo fonema en una palabra. Así entonces, un lector experto utilizaría la vía lexical para el reconocimiento de palabras, mientras que un lector principiante utilizaría la vía sublexical; ambos tipos de lectores utilizarían esta última durante el



reconocimiento y procesamiento de pseudopalabras o palabras novedosas (Coltheart, 2006; Coltheart, 2004; Coltheart, Rastle, Perry, Langdon & Ziegler, 2001).

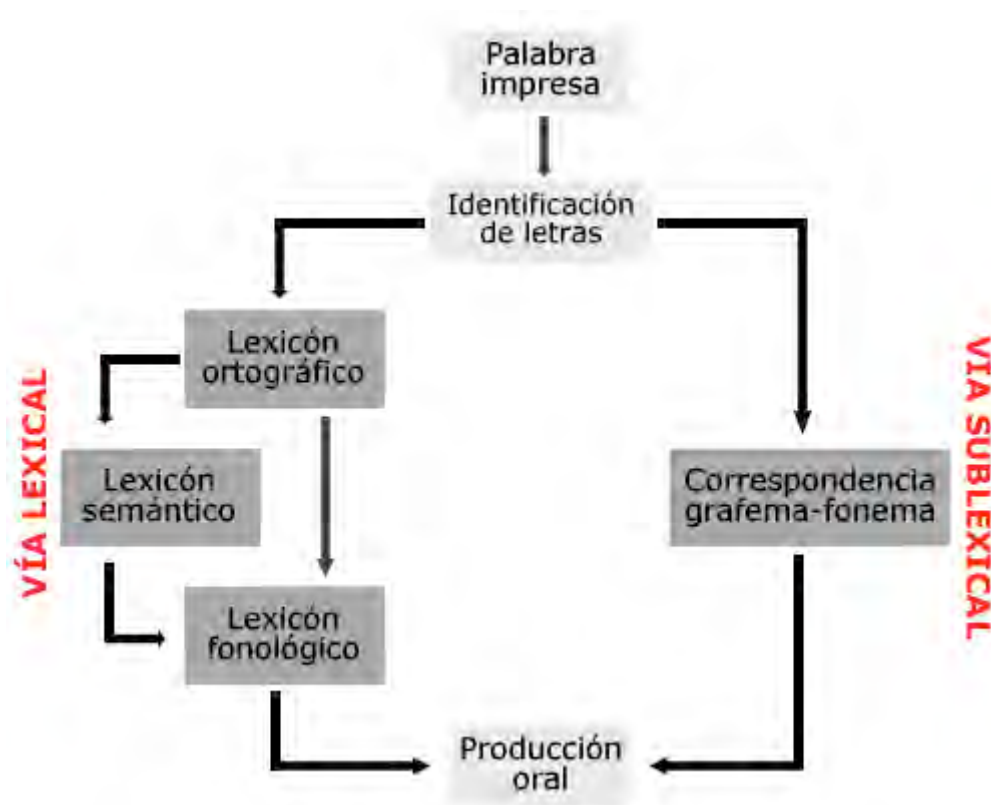


Figura 3. Modelo localista Cascada de Doble Ruta (DRC). Para el reconocimiento de palabras se utiliza la vía lexical (p. ej. casa) o la vía sublexical (p. ej. /k/ /a/ /s/ /a/). Adaptada y modificada de Coltheart, 2006.

Cabe mencionar que a partir de la literatura revisada, una *pseudopalabra* se define como un conjunto de letras que puede pronunciarse pero carece de significado; mientras que una *no palabra* correspondería a un conjunto de letras (generalmente consonantes) que no puede pronunciarse y no tiene significado (Bentin et al., 1999).

Por último, el grupo de Allen propuso un modelo denominado "de vías múltiples", relacionado con el modelo DRC, pero que enfatizó sobre la fisiología del sistema visual, principalmente las vías

magnocelular y parvocelular [Figura 4]. En este modelo, se planteó que la activación de un lexicón se realizaría de forma posterior a la decisión sobre si una serie de letras forma o no una palabra. Para esto, se analizaría la información de acuerdo con la frecuencia espacial de los estímulos: las letras se reconocerían a partir de bajas frecuencias, mientras que para las palabras se haría a partir de altas frecuencias; este procesamiento se realizaría desde el núcleo geniculado lateral del tálamo. El modelo procesaría la información, proveniente de la retina, a partir del núcleo geniculado lateral del tálamo, en sus capas 1 y 2 (vía magnocelular o transitoria) y 3 a 6 (vía parvocelular o sostenida). La vía magnocelular *-de alta frecuencia espacial-* procesaría los estímulos como un todo (palabras), mientras que la vía parvocelular *-de baja frecuencia espacial-* lo haría por partes (letras). De forma concreta, lo que planteó este modelo es que la información visual de tipo lingüístico comienza a procesarse en estructuras subcorticales, de forma previa a su análisis en regiones visuales de la corteza cerebral, específicamente V1 (Allen et al., 2009).

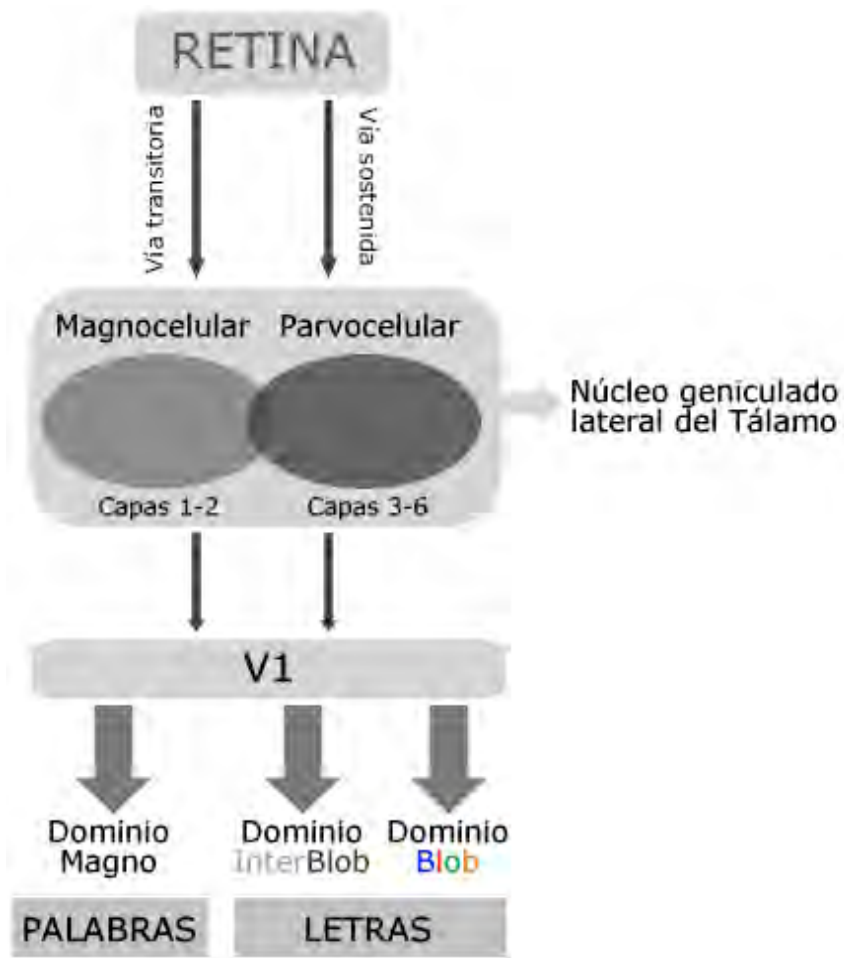


Figura 4. Modelo de vías múltiples, adaptación fisiológica del modelo DRC. La vía magnocelular participa en el procesamiento de las palabras de forma completa, mientras que la vía parvocelular lo hace en el procesamiento de las palabras de forma unitaria (letra por letra). Adaptada y modificada de Allen et al., 2009.

### 3. ESPECIALIZACIÓN CEREBRAL PARA LA LECTURA

#### 3.1 EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS VISUALES

La obtención de información a partir de la percepción de palabras escritas representa un objetivo fundamental de la lectura. Sobre esto, Berninger y Richards (2002) propusieron que en un principio, las palabras escritas son detectadas de igual manera que los objetos en general. Kanwisher, Downing, Epstein y Kourtzi (2006) describieron el proceso completo para el reconocimiento visual de objetos, dividiéndolo en cuatro componentes: a) procesamiento temprano de imágenes, que incluye la extracción de características como bordes y contornos; b) extracción de información de alto nivel sobre la forma del objeto; c) comparación de la forma de dicho objeto con información almacenada en la memoria a largo plazo sobre otras formas de otros objetos; y d) acceso a información semántica o conceptual sobre el objeto en cuestión. En este proceso participa el sistema visual: desde las células ganglionares y fotorreceptores ubicados en el ojo, a través del nervio y quiasma ópticos, pasando por el núcleo geniculado lateral del tálamo (regiones magno y parvocelulares), hasta llegar a la corteza visual primaria (V1), en donde la información es distribuida a diferentes regiones en dependencia de sus propiedades como la forma, el color, el movimiento, entre otras.

Con el paso del tiempo y de la educación escolar, se crea otro sistema que se especializa en la detección y procesamiento de palabras. Este sistema trabaja como un procesador ortográfico para cadenas de letras que logra desarrollarse comparando letras con sus respectivos sonidos. Se ubica en la región temporoccipital de la corteza cerebral del hemisferio izquierdo y está conformado principalmente por el giro fusiforme y el giro lingual, aunque

algunos autores incluyen en este sistema al giro angular (lóbulo parietal) y a la región inferior del giro frontal. Distintos autores han denominado a este conjunto de regiones cerebrales como "Área para la forma visual de las palabras" o VWFA -del inglés *Visual Word Form Area*- (Berninger & Richards, 2002; Cornelissen et al., 2009; McCandliss, Cohen & Dehaene, 2003).

El grupo de Eden (1996) y el de Cornelissen (1998) propusieron una relación anatómica entre procesos visuales como el procesamiento visual rápido, y características del rendimiento lector como la velocidad lectora. En este sentido, argumentaron que sujetos que presentan una interferencia entre las áreas involucradas en el procesamiento visual rápido - V5 y MT - y el giro fusiforme, son precisos al reconocer las letras, pero su velocidad lectora es pobre. La velocidad lectora pudiera entonces depender de la velocidad de codificación de las unidades ortográficas de las palabras (las letras) y pudiera verse afectada también por una falla en la regulación de los movimientos oculares fijos, los cuales representan pausas en las que las palabras son analizadas; estos movimientos varían en dependencia de las propiedades del estímulo, la dificultad del texto y la habilidad lectora del sujeto (citados en Berninger & Richards, 2002).

Al parecer, la región temporoccipital en el hemisferio izquierdo, en particular el giro fusiforme, se especializa en el procesamiento inicial de información escrita conforme pasan el tiempo y la educación. La especialización de esta estructura también se ha observado para el reconocimiento de rostros, de manera análoga en el hemisferio derecho (Bentin, Sagiv, Mecklinger, Friederici & von Cramon, 2002; Campanella et al., 2000).

#### 4. RECONOCIMIENTO VISUAL DE LAS PALABRAS

Una de las aproximaciones para el estudio de la lectura ha sido el reconocimiento visual al nivel de las palabras. Esto se ha llevado a cabo empleando mediciones conductuales como el tiempo de reacción promedio (TRP) y el número de respuestas correctas (RCs), medidas electrofisiológicas como los PREs, y medidas hemodinámicas como la IRMf. Aunque en la presente investigación no se emplea la electrofisiología como medida indirecta de la actividad neural, se presenta al lector información relacionada con la intención de ejemplificar la temporalidad y la distribución topográfica de distintos procesos involucrados en el reconocimiento visual de las palabras.

##### 4.1 ESTUDIOS CONDUCTUALES Y ELECTROFISIOLÓGICOS

En relación con el análisis de la forma de las palabras, Beech y Mayall (2005) argumentaron que la información que brinda la región externa o el contorno de las palabras para obtener acceso a su significado, es mayor que la información que brinda la región interna o “el relleno” de estas [Figura 5]. Los autores concluyen esto basándose en los resultados obtenidos de tareas de priming visual, en las que se presentaron palabras segmentadas de las regiones antes mencionadas y posteriormente se presentaron palabras completas; los sujetos tuvieron que decidir si la segunda palabra coincidía o no con la primera. El porcentaje de RCs fue mayor para la presentación previa de regiones externas (96%) que para la presentación previa de regiones internas (52%). El TRP en ambas condiciones tuvo la misma tendencia.

bring  
bring vs orina

Figura 5. Análisis de las palabras a partir de su forma. Las palabras se procesan mejor y más rápido si se analiza la región externa o el contorno de éstas. Modificada de Beech & Mayall, 2005.

En el Laboratorio de Psicofisiología de Procesos Perceptuales del Instituto de Neurociencias (CUCBA, Universidad de Guadalajara), se realizó una investigación tomando en cuenta el grado de imaginabilidad y la frecuencia de las palabras (concretas o abstractas, frecuentes o infrecuentes, respectivamente). Los autores encontraron que el TRP varió fue menor ante palabras concretas y ante palabras frecuentes. La tarea experimental consistió en la presentación de una definición seguida de la presentación de una palabra, sobre la que los sujetos debieron decidir si coincidía o no con la definición previa (Castro-Salas, 2008).

El empleo de técnicas electrofisiológicas, particularmente el uso de los PREs, ha permitido establecer de manera precisa la secuencia temporal del análisis de distintas propiedades de las palabras como su forma, fonología, lexicalidad, significado, entre otras. En el ámbito del reconocimiento visual de las palabras, se han reportado cambios en cuatro familias de componentes.

El componente N170, perteneciente a la familia N1, es una onda negativa que puede observarse entre los 150 y 180 milisegundos (ms). Se ha propuesto funcionalmente como una respuesta electrofisiológica automática para la detección de estímulos con forma de palabra o que contienen letras, y de forma neurofuncional como la respuesta electrofisiológica del giro

fusiforme durante este proceso. Tiene una distribución temporoccipital y se ha reportado que su amplitud es mayor para el reconocimiento de palabras, en comparación con estímulos de otro tipo. El grupo de Bentin (1999) aplicó una tarea de discriminación de tipo *oddball* (requiriendo de los sujetos su atención a conjuntos de estímulos y su discriminación entre frecuentes e infrecuentes; Opitz, 2003), en la que se presentaron palabras, seudopalabras, no palabras, cadenas de símbolos y cadenas de formas. Los resultados mostraron una mayor amplitud del potencial ante las palabras, en comparación con las otras cuatro categorías de estímulos [Figura 6(A)]; un análisis adicional demostró que la presentación de estímulos formados por letras (ortográficos) generó una mayor amplitud del componente, en comparación con estímulos sin letras, únicamente en el hemisferio izquierdo [Figura 6(B)]. De manera similar, Maurer, Brandeis y McCandliss (2005) reportaron diferencias similares a las anteriores al comparar la ejecución de los sujetos ante la detección de palabras, seudopalabras y símbolos [Figura 6(C)].



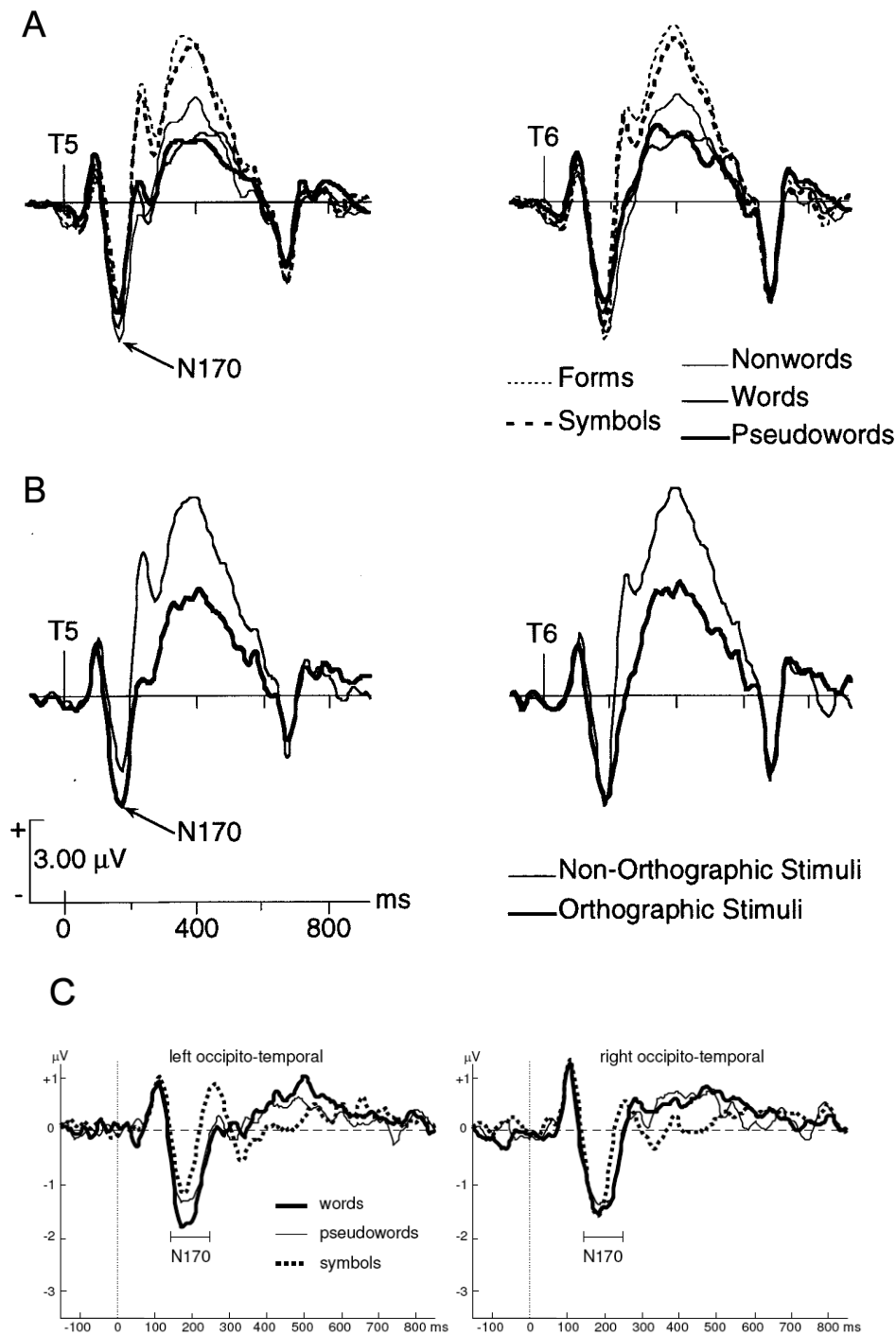
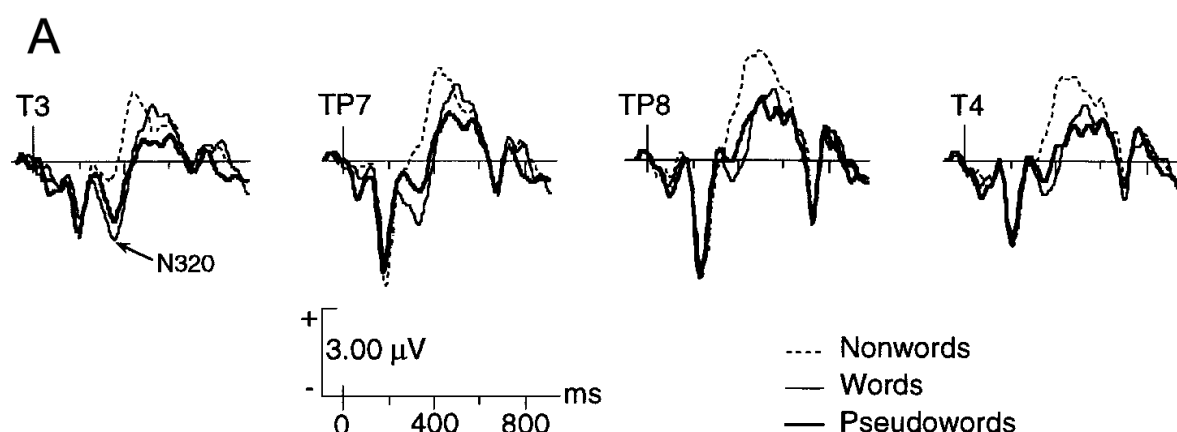


Figura 6. Componente N170. Obtenido a partir de la aplicación de tareas de decisión lexical y observado en regiones temporoccipitales. Bentin et al., 1999 (A y B), Maurer, Brandeis & McCandliss, 2005 (C).

Los componentes negativos N320 y N350 son poco más tardíos y pertenecen a la familia N2 [Figura 7(A) y 7(B)]. Tienen una distribución temporal posterior y temporal anterior respectivamente. En el mismo trabajo del grupo de Bentin citado anteriormente, se

reportaron diferencias alrededor de los 320 ms a partir de una tarea de discriminación fonológica en la que los sujetos debían evaluar si el estímulo presentado rimaba o no con otro estímulo anunciado previamente; se utilizaron palabras, pseudopalabras y no palabras. Se observó un mayor voltaje del componente ante las palabras y en el hemisferio izquierdo (Bentin et al. 1999). Spironelli y Angrilli (2007) aplicaron tareas de discriminación fonológica y semántica en las que los sujetos, a partir de la observación de pares de palabras, debían juzgar si la segunda rimaba con la primera o si la segunda pertenecía a la categoría de la primera, respectivamente. Los autores reportaron la presencia del componente N170 citado anteriormente como el resultado de la detección y análisis inicial de las palabras; además observaron diferencias interhemisféricas en el voltaje de la señal alrededor de los 350 ms durante la discriminación semántica y diferencias aún mayores durante la discriminación fonológica. Tanto las diferencias interhemisféricas como la distribución topográfica de las observaciones, sugieren una mayor demanda cognitiva, ya que no se pidió a los sujetos identificar sólo propiedades físicas de los estímulos, sino identificar y procesar propiedades lingüísticas más complejas de los mismos.



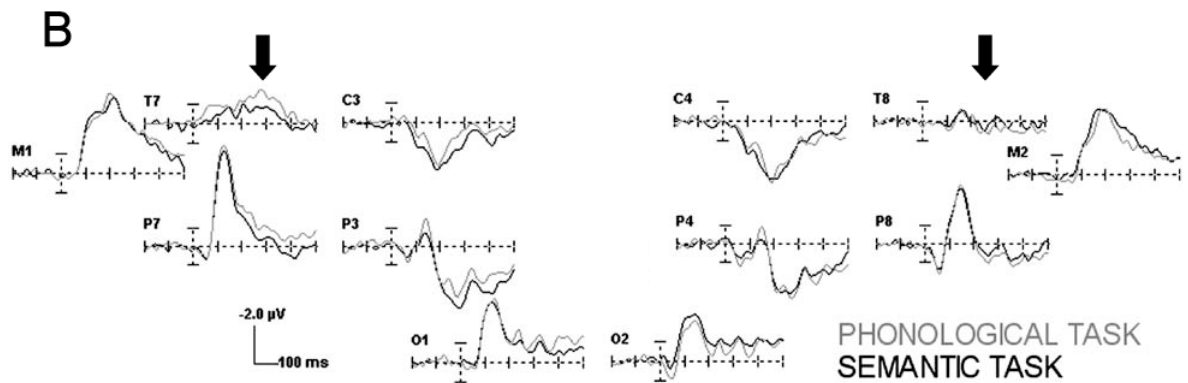


Figura 7. Componentes N320 y N350. Obtenido a partir de la aplicación de tareas de discriminación fonológica y semántica, observados en regiones temporoparietales. Modificadas de Bentin et al., 1999 (A) y Spironelli & Angrilli, 2007 (B).

La familia P2 tiene un componente positivo con una latencia de alrededor de los 220 ms [Figura 8]. Ha sido asociado con la especialización cerebral, particularmente con aquella involucrada en las palabras. El grupo de Brem aplicó una tarea de exposición repetida que involucró palabras y cadenas de símbolos, cada grupo fue presentado a los sujetos en tres corridas. Además de identificar al componente N170 como resultado de la exposición de palabras, los autores reportaron diferencias a los 220 ms entre el voltaje de la primera y tercera corridas, únicamente para las palabras. Estas diferencias consistieron en una relación lineal positiva entre el voltaje del componente y la tasa de exposición (Brem et al., 2005).

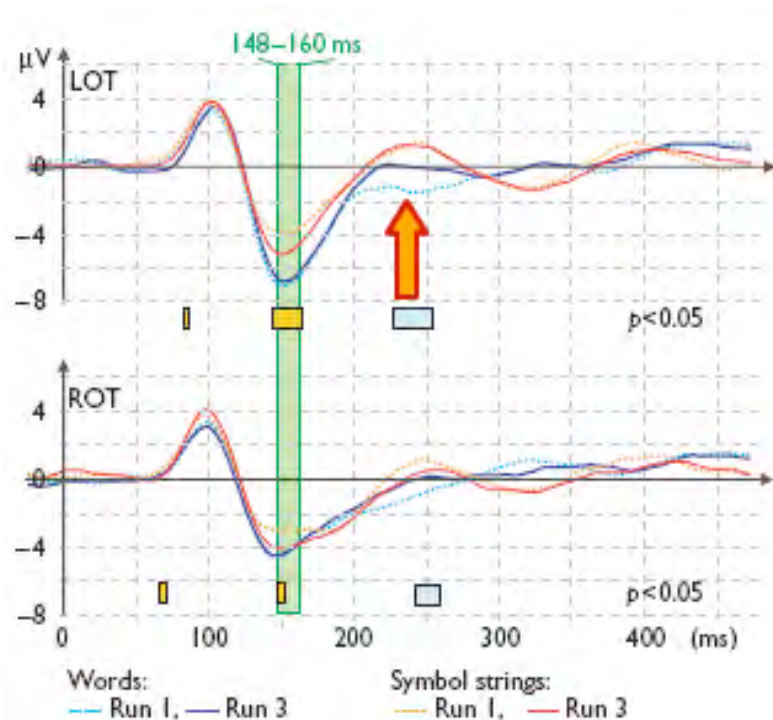


Figura 8. Componente P220. Obtenido a partir de la aplicación de tareas de exposición visual repetida o *priming*. Observado en regiones temporoccipitales. Al nivel de los 250 ms (flecha), las líneas superiores representan la señal de los símbolos, mientras que las líneas inferiores rperesentan la señal de las palabras. Puede observarse una diferencia entre la primera y tercera exposición únicamente ante las palabras. Modificada de Brem et al., 2005.

La familia N4 se ha relacionado con la incongruencia, en especial con la del tipo semántica; es mundialmente famosa por la frase “untó el pan caliente con calcetines” sobre la que se describió un componente negativo a los 400 ms, obtenido al observar la última palabra de la frase. Al cambiar la palabra calcetines por mermelada no se observó dicho componente (Kutas & Hillyard, 1980). Su latencia se ha observado desde los 400 hasta los 450 ms, y su distribución es frontal anterior (sitios de registro F3 y F4). Lavric, Clapp y Rastle aplicaron una tarea de discriminación lexical en la que presentaron pares de estímulos en tres condiciones: relación morfológica y semántica *-transparente-* (p. ej. magical-MAGIC), relación morfológica *-opaca-* (p. ej. compassion-COMPASS) y relación ortográfica *-forma-* (p. ej. brothel-BROTH). Los sujetos debían contestar si el estímulo presentado en mayúsculas era o no

una palabra [Figura 9]. Observaron diferencias interhemisféricas (mayor voltaje en hemisferio izquierdo) en un componente negativo entre los 340 y los 500 ms en derivaciones frontales, principalmente en la condición forma (Lavric, Clapp & Rastle, 2007).

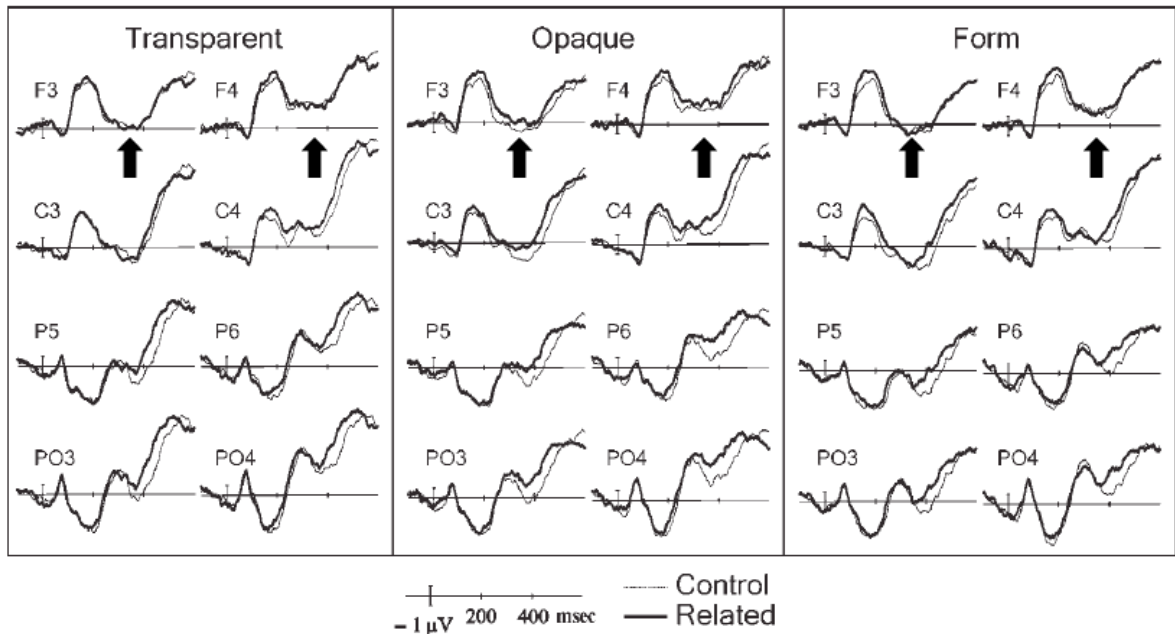


Figura 9. Componente N450. Obtenido a partir de la aplicación de tareas de discriminación semántica y lexical. Observado en regiones frontales. Modificada de Lavric, Clapp & Rastle, 2007.

#### 4.2 RECONOCIMIENTO DE ERRORES ORTOGRÁFICOS Y PRES

El español tiene una ortografía transparente en la que las reglas de conversión letra-sonido son sencillas y con pocas excepciones, ya que existe una alta correspondencia entre los grafemas y sus respectivos fonemas (Rodrigo et al., s.a.). Todas las palabras del español son regulares para su lectura y su pronunciación puede ser obtenida mediante procedimientos de conversión grafema-fonema; esto no implica que el español deba leerse mediante un procesamiento sublexical y no se desarrolle un procedimiento lexical de lectura más rápido y eficiente (Ferrerres et al., 2003).

El estudio de la composición ortográfica de las palabras, mediante el uso de técnicas que permitan indagar sobre su procesamiento cerebral, ha sido plenamente estudiado en ortografías opacas (todos los trabajos citados en la sección anterior

con excepción de Spiridonelli y Angrilli de 2007, realizado con participantes italianos).

En un estudio realizado en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica del Instituto de Neurociencias (CUCBA, Universidad de Guadalajara) se comparó el rendimiento de dos grupos de niños mexicanos: denominadores lentos y un grupo control. La tarea consistió en la presentación de imágenes, cada una seguida de una palabra que podía ser congruente con la imagen previa, o incongruente de forma ortográfica o semántica. Los denominadores lentos presentaron un número significativamente más alto de errores en el reconocimiento de violaciones ortográficas en comparación el grupo control. Adicionalmente, los componentes de los PREs no evidenciaron un procesamiento diferencial entre errores ortográficos y errores semánticos en el grupo denominador lento, como sí se observó en los niños del grupo control. Esto pareciera haber reflejado limitaciones en el reconocimiento automático de las palabras en los niños denominadores lentos (Gómez-Velázquez, González-Garrido, & Vega-Gutiérrez, 2013).

Teniendo como objetivo observar la respuesta neural ante el reconocimiento de errores ortográficos en palabras altamente esperadas y poco esperadas, Vissers, Chwilla y Kolk (2006) presentaron oraciones cuya última palabra podía ser esperada o no (p. ej. del inglés *In that library the pupils borrows books VS. The pillows are stuffed with books*), y además, dichas palabras podrían haberse presentado correcta o incorrectamente escritas (p. ej. *books VS. bouks*). Este trabajo fue realizado con la participación de estudiantes cuya lengua materna fue la holandesa, ortografía considerada transparente. Observaron un componente positivo tardío (P600) con un mayor voltaje ante palabras esperadas y escritas incorrectamente; los autores argumentan que este componente se relaciona con la reevaluación de un error observado

previamente. También observaron un componente negativo (N400) ante palabras no esperadas y una ausencia del componente P600 observado en la condición anterior; los autores argumentan que la detección de una palabra que no corresponde con el resto de la oración interrumpe cualquier análisis posterior del estímulo, incluyendo su estructura ortográfica [Figura 10].

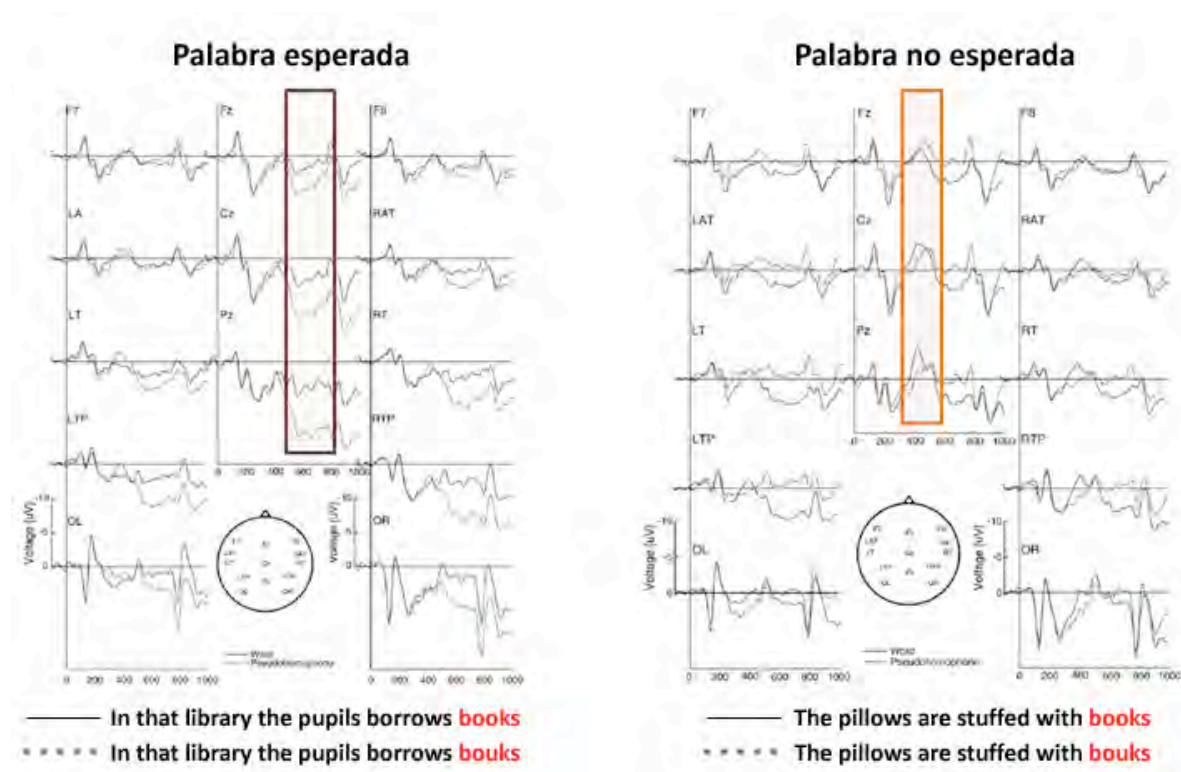


Figura 10. Componentes N400 y P600 ante la expectativa y ortografía de una palabra. Cuando una palabra es esperada (izquierda) y presenta un error ortográfico, se genera el componente P600 (asociado con la evaluación de un error). Cuando una palabra no es esperada (derecha) se genera el componente N400 (asociado con la incongruencia semántica) y toda evaluación de la información se suspende. Modificada de Vissers, Chwilla & Kolk, 2006.

Otro trabajo que contempló el análisis ortográfico de palabras escritas bajo una ortografía transparente, fue realizado por Sauseng, Bergmann y Wimmer (2004). Este trabajo fue realizado con la participación de estudiantes cuya lengua materna fue la alemana. Se presentaron estímulos en tres condiciones: palabra estándar (p. ej. taxi), palabra ortográficamente alterada (p. ej.

taksi) y palabra gráficamente alterada (p. ej. taXi). El análisis de los PREs mostró una diferencia en el voltaje del componente N170, mayor para la detección de palabras estándar; una diferencia en el voltaje del componente N400, mayor para la detección de palabras ortográficamente alteradas; y una diferencia en el voltaje de del componente P600, mayor para la detección de palabras estándar. A diferencia de los argumentos propuestos por Vissers, Chwilla y Kolk citados anteriormente, los autores de este trabajo argumentaron la presencia del componente P600 ante palabras estándar y no ante palabras ortográficamente alteradas como una reevaluación de las palabras como consecuencia de la presencia de seudopalabras (entendidas éstas por pseudohomófonos) en la tarea experimental.

Por último, otro estudio realizado en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica del Instituto antes mencionado, tuvo como objetivo fundamental el evaluar el efecto de la exposición previa de palabras sobre su reconocimiento ortográfico posterior. En esta investigación se realizó un registro conductual y un registro electrofisiológico (González-Garrido, Gómez-Velázquez, Zarabozo-Hurtado & Zarabozo, 2014, enviado para su publicación).

Se analizó el desempeño de dos grupos de sujetos formados a partir de su desempeño en tareas que evaluaron su conocimiento ortográfico (alto y bajo). Se aplicaron dos tareas experimentales. La primera (de exposición repetida o priming visual) para exponer a los sujetos a palabras de alta y baja frecuencia y a seudopalabras con distinto grado de exposición para evaluar este efecto sobre su reconocimiento posterior. Se presentaron palabras frecuentes (>100 por millón), infrecuentes (<50 por millón) y seudopalabras; las tres categorías con la siguiente distribución de posibilidad homófona: C,S,Z (40%); B-V (25%); H (15%); G-J (10%) y LL-Y (10%). La mitad de los estímulos fueron presentados sólo una vez (baja



exposición) y la otra mitad cinco veces (alta exposición). La respuesta de los participantes fue de tipo lexical, es decir, cada uno tuvo que determinar si el estímulo presentado era una palabra o no.

Posteriormente se aplicó la segunda tarea (reconocimiento de violaciones ortográficas) para evaluar el efecto de priming (producido por la primera tarea) sobre la detección de errores ortográficos homófonos. La mitad de los estímulos expuestos sólo una vez en la primera tarea, fueron presentados con error ortográfico y la otra mitad fueron presentados sin error; de igual forma, la mitad de los estímulos expuestos cinco veces en la primera tarea fueron presentados con error ortográfico y la otra mitad fueron presentados sin error. Los participantes debieron determinar si el estímulo presentado estaba correctamente escrito o si tenía un error ortográfico.

En la primera tarea experimental, los resultados conductuales mostraron que a pesar de que el rendimiento del grupo alto fue más eficiente que el del grupo bajo, ambos mostraron el mismo patrón; es decir, ambos grupos se beneficiaron de una mayor exposición a los estímulos y ambos se beneficiaron de la frecuencia de uso de las palabras. Por otra parte, ante la detección de errores ortográficos en palabras previamente expuestas de manera incorrecta, el beneficio de la exposición se perdió en ambos grupos en el sentido del Tiempo de Reacción Promedio (TRP). Esto podría significar que ambos grupos evalúan de manera más detenida aquellos estímulos que vieron previamente, pero que en ese momento se presentaron con una estructura ortográfica distinta; sin embargo, el desempeño del grupo alto fue más eficiente también en la segunda tarea experimental.

En el área electrofisiológica, ante la primera tarea experimental pudo observarse el componente negativo temprano

que corresponde a la automatización de la detección de palabras (N170) con mayor voltaje en el área temporoccipital izquierda y mayor en el grupo alto. Las diferencias en el componente relacionado con la exposición a los estímulos (P220) pudo observarse de manera más marcada en el grupo alto [Figura 11]. Esto pareció indicar una diferencia en el proceso de automatización ante el reconocimiento de palabras entre ambos grupos y como resultado de esto, una sensibilización mayor ante la exposición de estímulos únicamente en el grupo alto.

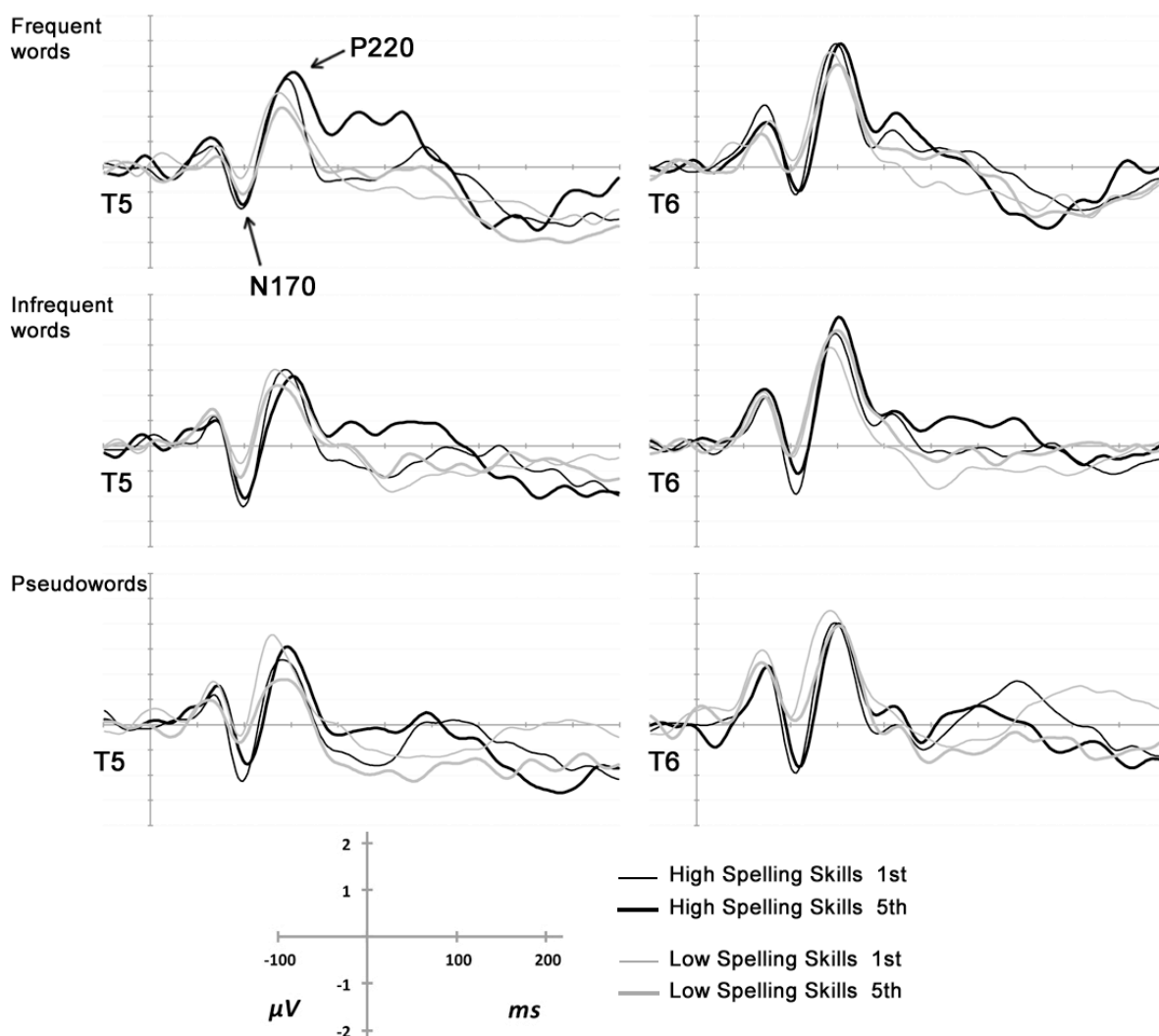


Figura 11. Componentes N170 y P220 ante la exposición y frecuencia de uso de las palabras. El voltaje del componente N170 se observa similar de forma bilateral, únicamente en el grupo alto (High Spelling Skills). Sólo en este grupo, el voltaje del componente P220 aumenta linealmente con la exposición (primera vez -1st- VS. quinta -5th-) y únicamente en el hemisferio izquierdo.

Modificada de González-Garrido, Gómez-Velázquez, Zarabozo-Hurtado & Zarabozo, 2014 (enviado para su publicación).

En la segunda tarea experimental, el componente asociado con una incongruencia (N400) se observó claramente en el grupo alto ante la detección de palabras con error ortográfico, así como el componente asociado con la reevaluación de la información (P600) ante el mismo tipo de estímulos cuando su exposición previa fue mayor. Esto pareció explicar que en aquellas personas que cuentan con una buena ortografía, se desencadena un análisis muy tardío de la información cuando se presenta una incongruencia en un estímulo que ha sido detectado y procesado anteriormente [Figura 12].

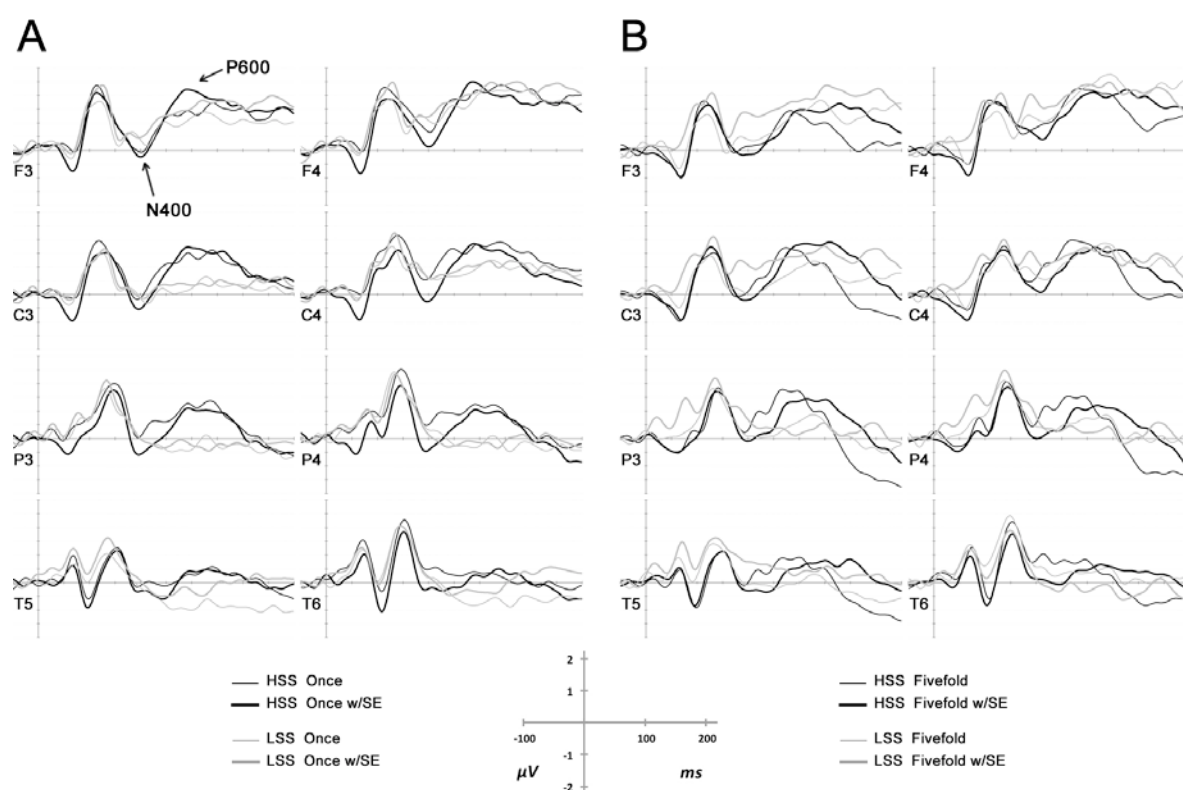


Figura 12. Componentes N400 y P600 ante palabras y su ortografía ante distintas exposiciones previas. El voltaje del componente N400 se observa claramente en el grupo alto (HSS) ante palabras con error ortográfico (w/SE), independientemente de una exposición previa (A) o cinco (B). El componente P600 se observa también en este grupo y para esta condición, siendo más claro ante aquellas palabras que se observaron previamente un mayor número de veces. Modificada de González-Garrido, Gómez-Velázquez, Zarabozo-Hurtado & Zarabozo, 2014 (enviado para su publicación).

## 5. IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL (IRMf)

### 5.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El propósito fundamental de la IRMf es la localización neuroanatómica del procesamiento cerebral, partiendo del supuesto de que durante éste, aumentan la actividad neuronal y el flujo sanguíneo (Bandettini et al., 1997). A partir de su implementación, la IRMf permite la obtención de imágenes cerebrales que reflejan cambios en la oxigenación de la sangre en regiones particulares. Dichos cambios son evocados por procesos sensitivos, motores o cognitivos (De Yoe, Bandettini, Neitz, Miller & Winans, 1994).

Toda la materia se compone de átomos que contienen, en principio, tres tipos de partículas: protones, neutrones y electrones. El núcleo de los átomos está formado por los dos primeros, con excepción del hidrógeno. El núcleo del hidrógeno, elemento con mayor abundancia en los tejidos biológicos, está compuesto únicamente por un protón. Todos los elementos que poseen un número impar de partículas en su núcleo, giran sobre su propio eje y tienen una dirección magnética (momento angular); a este tipo de elementos se les conoce como *spins* en la literatura asociada (Huettel, Song & McCarthy, 2009).

En condiciones normales, todos los spins de hidrógeno en el cuerpo humano (considerando aproximadamente  $1 \times 10^{19}$  en cada milímetro cúbico de agua) se anulan, debido a que apuntan aleatoriamente en ausencia de un campo magnético alto (Raichle, 1998). Por otra parte, bajo un campo magnético alto, los spins se alinean de acuerdo con el vector principal de éste ( $B_0$ ) y se encuentran en dos estados energéticos: paralelo (en la misma dirección que el campo magnético alto) o antiparalelo; el primero de

ellos tiene un menor nivel de energía y es más estable, en comparación con el antiparalelo en el que se tiene un mayor nivel de energía y menos estabilidad. Bajo este campo magnético alto, los spins, además de girar sobre su propio eje, giran alrededor del eje del campo magnético principal o mayor. A este último fenómeno se le conoce como precesión [Figura 13].

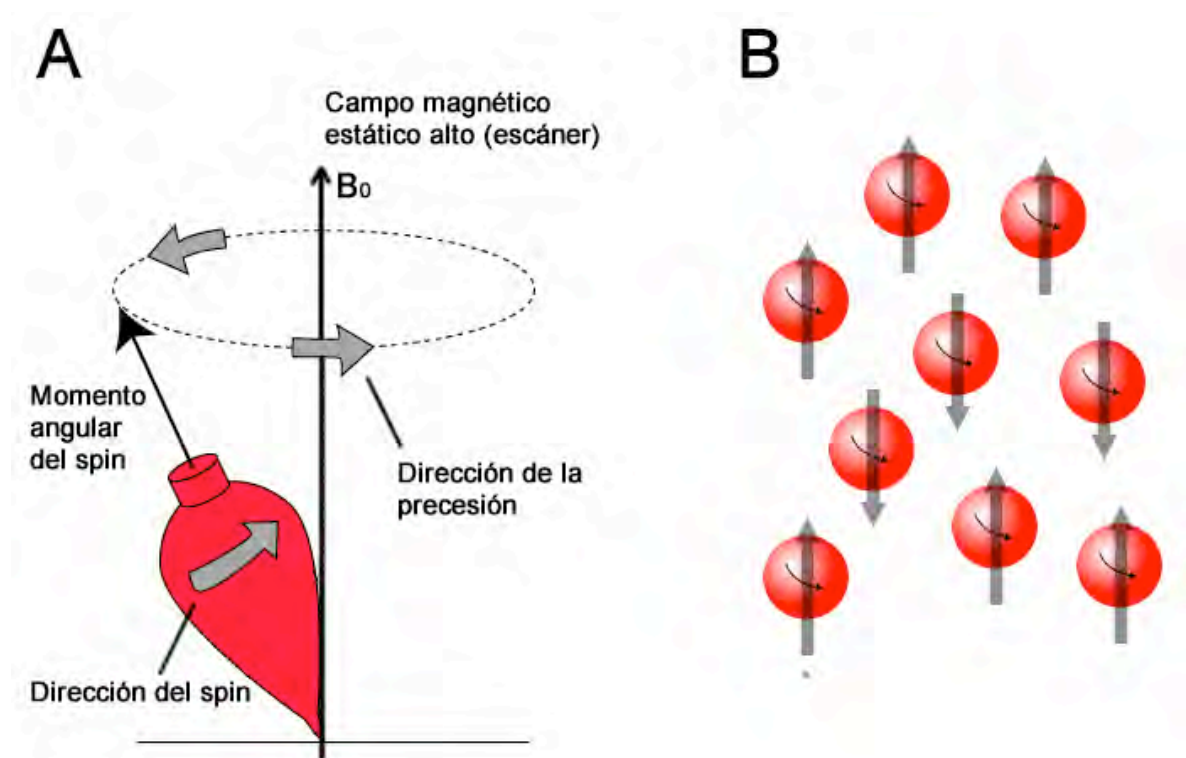


Figura 13. Características de los spins. Aquellos elementos con un número impar en su núcleo, giran sobre su propio eje (spin). Este giro produce una dirección (momento angular). En condiciones naturales, los spins se anulan unos con otros de acuerdo con su momento angular. Bajo un campo magnético estático alto, los spins se alinean de acuerdo con éste (B) de forma paralela o antiparalela. Además de girar sobre su propio eje, los spins entonces precesan alrededor del eje o vector del campo magnético principal o  $B_0$  (A). Adaptada de Huettel, Song & McCarthy, 2009.

El estado energético de un sistema de spins puede ser modificado al aplicar energía, en el caso de la Resonancia Magnética esto se realiza a través de pulsos de radiofrecuencia. De esta forma, algunos de los spins que se encontraban en estado paralelo (baja energía) pasarían al estado antiparalelo (alta energía) y todos ellos

tendrían una precesión similar; a este proceso se le conoce como excitación. Para el caso específico de los spins de hidrógeno, la frecuencia del pulso es de 127.5 MHz para una potencia de imán de 3 Tesla -3T- (Concha, 2011). La aplicación de este pulso (pulso de 90°) se traduce en la inducción de un campo magnético secundario ( $B_1$  o del pulso de radiofrecuencia) y generará que la alineación de los *spins* sea de acuerdo con él (Concha, 2011). La energía producida por estos cambios es captada por antenas especializadas.

El cese del pulso de radiofrecuencia produce el regreso al estado energético original de los spins. A este proceso se le conoce como relajación y tiene dos etapas: longitudinal ( $T_1$ , rápida), y transversal ( $T_2$ , más lenta). Las dos etapas, en principio, se relacionan con el regreso a la alineación original (de  $B_1$  a  $B_0$ ). Sin embargo, la relajación de tipo  $T_2$  también involucra el desfaseamiento de los grupos de *spins*, es decir, que todo el conjunto ya no gira o precesa bajo el mismo patrón; esto se debe a irregularidades del campo magnético ( $T_2^*$ ) o a la transferencia energética entre *spins* ( $T_2'$ ). El proceso de relajación cercano a  $B_0$  representa una pérdida de la señal, por lo que se añaden ecos a la secuencia de pulsos en su modalidad de gradiente -inversión de  $B_0$ - y de spin -pulso de RF de 180°- (Concha, 2012).

Como la distribución o cantidad de protones de hidrógeno no es igual en distintos ambientes del cuerpo humano (p. ej. agua, grasa, músculo, materia blanca o materia gris), dos factores importantes determinan la obtención de imágenes en RM: el intervalo entre pulsos excitatorios o Tiempo de Repetición (TR) y el intervalo entre la excitación y la obtención de datos o Tiempo de Eco (TE). La señal originada en cualquier tejido puede ser manipulada controlando estos dos factores. Una reducción en el tiempo del proceso de relajación permite obtener una mayor cantidad de

imágenes resultantes de los *spins* en el proceso excitatorio (Buxton, 2002; Haacke, Brown, Thompson & Venkatesan, 1999; Huettel, Song & McCarthy, 2009).

En relación con la localización espacial de procesos cognitivos, el método de IRMf más empleado se basa en señales tipo BOLD, del inglés *Blood Oxygenation Level Dependent*. Durante un proceso cognitivo, aumenta la actividad neuronal de distintas regiones cerebrales involucradas en él y, como consecuencia o necesidad metabólica, aumenta el flujo sanguíneo local en cada una de estas regiones (Sell, 2007). Esta vasodilatación local nutre la región cerebral con una mayor cantidad de glucosa y oxígeno (Bandettini et al., 1997).

La hemoglobina (Hb), molécula transportadora de hierro y oxígeno que se encuentra en la sangre, tiene propiedades magnéticas distintas en dependencia de su unión al oxígeno: la Hb oxigenada (oHb) es diamagnética o repelida por un imán, mientras que la Hb desoxigenada (dHb) es paramagnética o atraída por un imán. La dHb tiene una mayor susceptibilidad magnética, lo que significa que tiene un mayor grado de magnetización en presencia de un imán potente (Ogawa & Sung, 2007). En un estado basal existe un balance entre los dos estados de la Hb (Gore, 2003).

Como una demanda metabólica, durante un proceso cognitivo la relación de oHb y dHb es mayor para la primera de éstas en la vascularidad local; este decremento de dHb aumenta la coherencia de precesión de los *spins* de hidrógeno contenidos en las cercanías de estos vasos sanguíneos, y como se mencionó anteriormente, aumenta la señal en secuencias de tipo  $T_2^*$  (Bandettini et al., 1997; Ogawa, Lee, Kay & Tank, 1990).

La IRMf no mide directamente la actividad neuronal, sino los cambios magnéticos debidos a la demanda metabólica neural proporcionada por el flujo sanguíneo, como consecuencia de la participación específica de una región o sistema cerebrales durante una función cognitiva (Binder & Price, 2001; Sell, 2007). En funciones cognitivas distintas podrían participar sistemas espacialmente distintos, pero funcionalmente coordinados y conectados; siendo un ejemplo particular de lo anterior el lenguaje, cuya producción y distintas formas de su comprensión se han ubicado en regiones cerebrales distintas pero forman parte de un gran sistema general (Gore, 2003).

## 5.2 IMAGEN CEREBRAL Y PROCESAMIENTO VISUAL DE PALABRAS

El sistema cerebral involucrado en el lenguaje es complejo. Con el propósito de estudiar distintos componentes del lenguaje, este sistema podría ser dividido en subsistemas, que pudieran o no compartir un espacio en cuanto a representación neural se refiere, e involucrados en un aspectos específicos del lenguaje: ortográfico, en combinaciones de letras de manera escrita; fonológico, en reglas específicas para la representación y manipulación de los sonidos; fonético, en características articulatorias y perceptuales de los sonidos; semántico, en el significado de las palabras; y por último, sintáctico, enfocado a las reglas para la formación adecuada de oraciones empleando palabras (Binder & Price, 2001). En relación con lo anteriormente descrito, distintos autores como Perfetti y Bolger (2004) o el grupo de Hillis (2005) han propuesto que el sistema lector puede dividirse en tres porciones anatómico-funcionales: temporoccipital, temporoparietal y frontal inferior.

La región temporoccipital, en la que destaca el giro fusiforme [Figura 14], ha sido vinculada al análisis estructural u ortográfico de



las palabras. Se han reportado activaciones en esta región a partir de la aplicación de tareas experimentales que requirieron de una manipulación o procesamiento relativamente sencillo de las palabras. En este sentido, se han realizado trabajos sobre priming visual y decisión lexical. Se ha reportado que la porción posterior del giro fusiforme responde en mayor medida ante palabras y que reduce su activación conforme aumenta la exposición de los estímulos; de igual manera, se encontró que la porción anterior del giro fusiforme responde más a pseudopalabras y que esta porción no cambia su nivel de activación de acuerdo con la exposición (Devlin, Jamison, Gonnerman & Matthews, 2006; Glezer, Jiang & Riesenhuber, 2009; Polk et al., 2002). También se ha reportado que esta región presenta un nivel de activación alto cuando se presentan palabras escritas en ambos campos visuales en sujetos sanos (Cohen et al., 2002) o en sujetos con daño a nivel del cuerpo calloso (Cohen et al., 2000), argumentando el grado de especialización de esta región para el procesamiento de este tipo de estímulos. Esta especialización ha llevado a distintos autores a denominar esta región como la *Visual Word Form Area* o VWFA (Barton, Fox, Sekunova & Iaria, 2009; Cohen et al., 2000; Dehaene, Le Clec'H, Poline, Le Bihan & Cohen, 2002; McCandliss, Cohen & Dehaene, 2003). Otros autores han propuesto que esta región no se especializa en el procesamiento inicial de las palabras, sino que forma parte de un sistema lingüístico en general, habiendo encontrado activaciones en esta región en tareas en las que no se presentaron palabras como denominación de colores o letras o repetición de palabras a partir de su procesamiento auditivo (Price & Devlin, 2003 & 2004; Price, Winterburn, Giraud, Moore & Noppeney, 2003; Starrfelt & Gerlach, 2007). Por último, otros autores han rechazado por completo la idea de especialización en esta región, comparándola con su homóloga en el hemisferio derecho y denominada *Face Fusiform Area* o FFA, y regiones adyacentes

propuestas como sí especializadas en el procesamiento de información visual (Kanwisher, 2010).

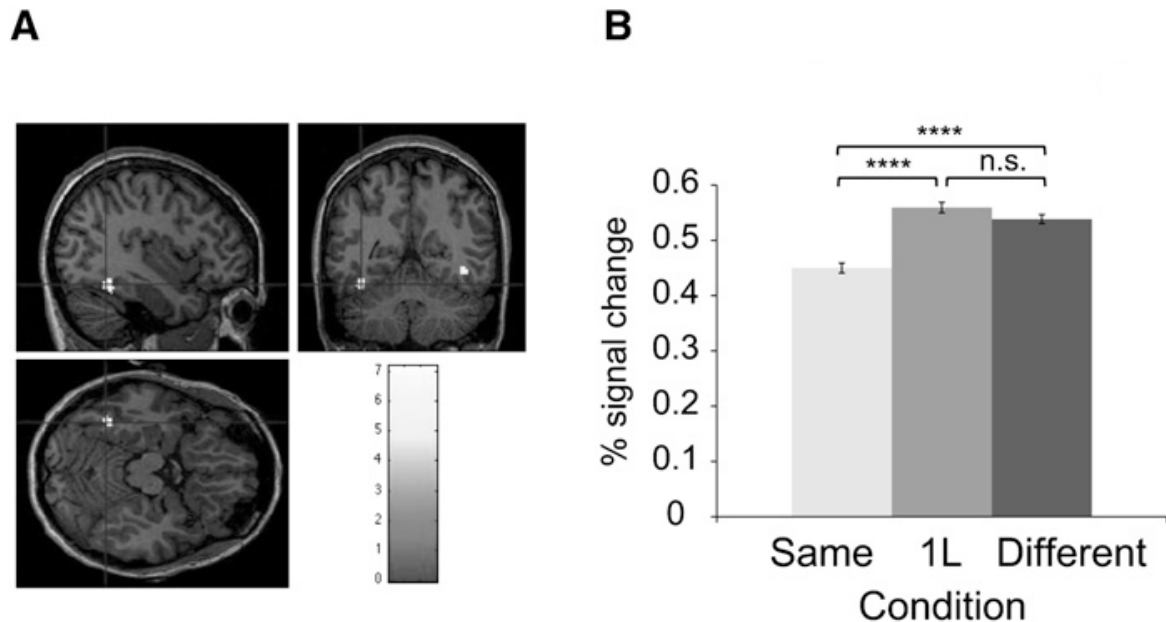


Figura 14. VWFA, giro fusiforme. Ubicación espacial del giro fusiforme (A) y el porcentaje de cambio en la señal hemodinámica en esta región (B) entre condiciones experimentales: priming idéntico (same), priming similar (1L, la palabra presentó sólo una letra distinta) y priming distinto (different, la palabra fue distinta). Modificada de Glezer, Jiang & Riesenhuber, 2009.

La región temporoparietal, en la que destacan el *planum temporale*, el giro angular, el giro supramarginal y las tres porciones del giro temporal (inferior, medial y superior), han sido vinculadas con la descomposición fonológica de las palabras y, al menos de forma inicial, con el procesamiento semántico de las mismas [Figura 15]. En tareas que han requerido de la segmentación fonológica de las palabras (fonemas o sílabas que las conforman), se han reportado activaciones en la porción superior de esta región. Por otra parte, cuando se ha requerido que los sujetos discriminen pares de palabras de acuerdo con su rima o categorización semántica (Seghier et al., 2004), se han reportado activaciones anteriores y mediales de esta región.

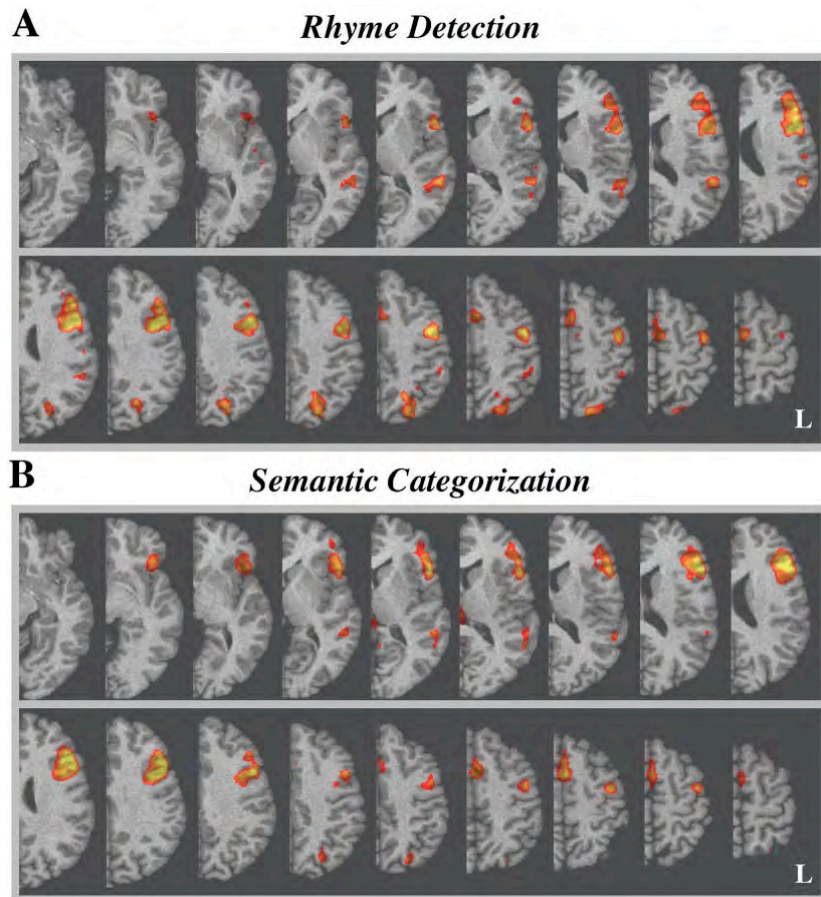


Figura 15. Región temporoparietal. Activaciones temporales mediales y anteriores, y parietales superiores ante una tarea de identificación de rima entre pares de palabras (A). Activaciones temporales anteriores y frontales mediales ante una tarea de categorización semántica entre pares de palabras. Vista radiológica (Der-Izq). Modificada de Seghier et al., 2004.

La región frontal [Figura 16], particularmente en su porción inferior, en la que destacan el giro frontal inferior y la corteza insular, ha sido vinculada con el procesamiento articulatorio y semántico de las palabras. Se han encontrado activaciones en esta región a partir de la aplicación de tareas como la lectura silente (Georgiewa et al., 2002; Pugh et al., 1997) y la categorización semántica (Hirshorn & Thompson-Schill, 2006).

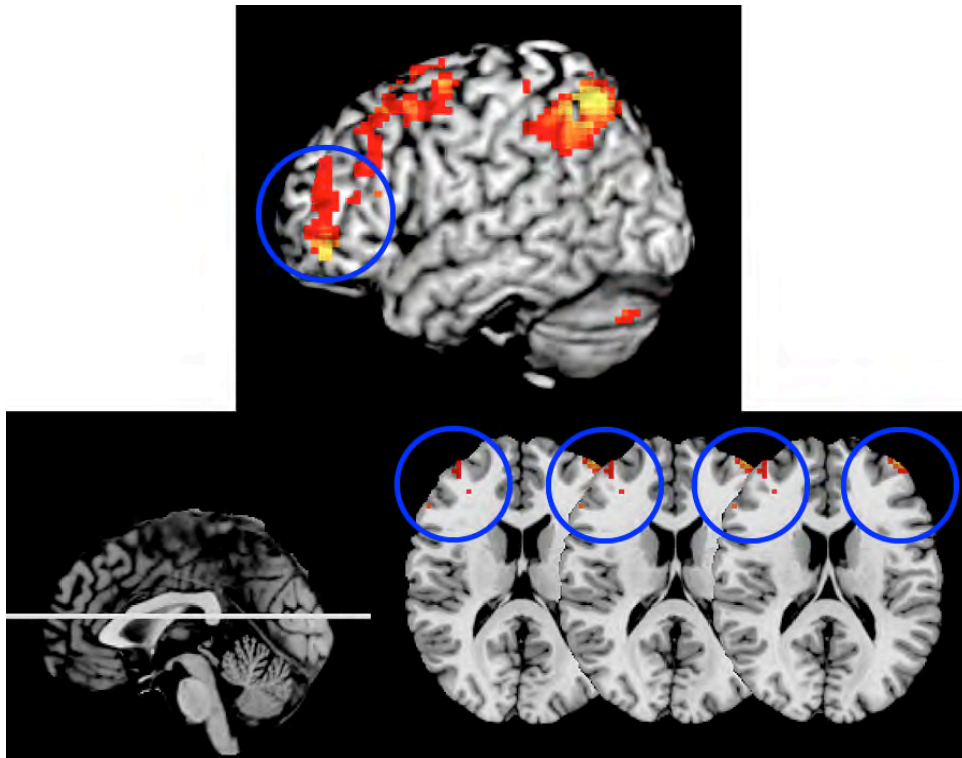


Figura 16. Región frontal. Activaciones frontales mediales y superiores, ante una tarea de categorización semántica entre pares de palabras. Vista neurológica (Izq-Der). Modificada de Hirshorn & Thompson-Schill, 2006.

En estas tres grandes regiones anatómico-funcionales del sistema lector, se han reportado diferencias fundamentadas en la habilidad lectora. Estas diferencias se han establecido básicamente entre lectores normales y lectores deficientes, particularmente disléxicos (Shaywitz et al., 1998). Empleando tareas experimentales que han requerido de la rima entre pares de palabras o la categorización semántica entre ellas, se han reportado menores activaciones o hipoactivaciones por parte de los grupos disléxicos (Shaywitz et al., 2002; Temple et al., 2001), en comparación con grupos lectores normales, particularmente en regiones temporoparietales y temporales inferiores, mediales y anteriores del hemisferio izquierdo [Figura 17]. Así mismo, se han reportado mayores activaciones o hiperactivaciones por parte de los grupos disléxicos, en regiones frontales inferiores y mediales (Sandak, Mencl, Frost & Pugh, 2004; Shaywitz & Shaywitz, 2008; Shaywitz et

al., 2002; Temple et al., 2001). Estos patrones de hiperactivación frontal han sido propuestos como mecanismos compensatorios, resultantes de la hipoactivación temporoccipital y temporoparietal (Shaywitz, Mody & Shaywitz, 2006). De manera general, se ha propuesto que las deficiencias lectoras podrían ser explicadas a través de los patrones de activación en cada una de las tres grandes regiones anteriormente descritas, y que el paso de la información o su procesamiento entre ellas sea deficiente.

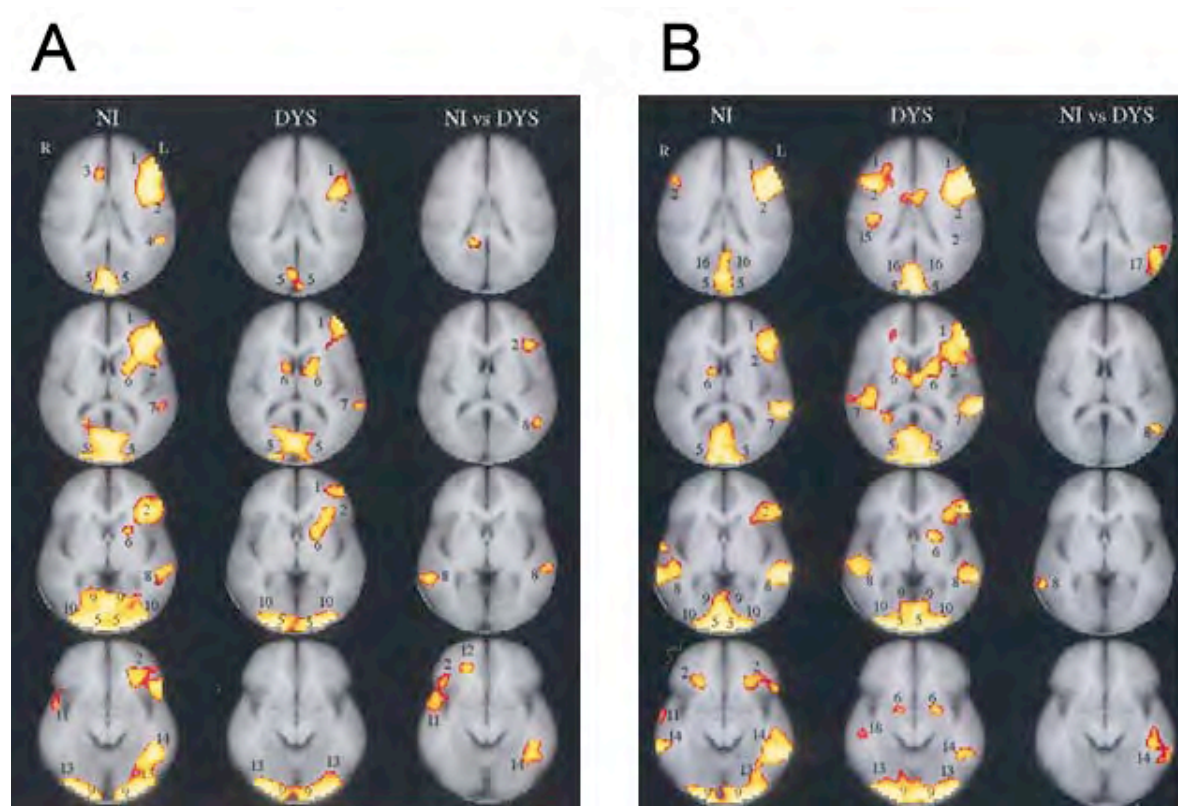


Figura 17. Patrones de activación en lectores normales y disléxicos. Hipoactivaciones por parte del grupo disléxico (DYS) en comparación con el grupo normal (NI), en una tarea de rima entre pares de palabras (A). Hiperactivaciones por parte del grupo disléxico en comparación con el grupo normal, en una tarea de categorización semántica (B). Activaciones resultantes de las comparaciones entre ambos grupos (NI vs DYS) en ambas tareas, resultando significativas aquellas correspondientes a las regiones temporoccipital, temporal y frontal inferior. Modificadas de Shaywitz et al., 2002.

El factor de transparencia ortográfica podría tener una gran influencia en el procesamiento de la lectura, teniendo en cuenta los distintos procesos que se llevan a cabo durante ésta (ortográfico-

fonológico-semántico) y que la misma naturaleza de las distintas ortografías (opacas y transparentes) podría requerir de recursos neurales distintos. Dicho en otras palabras, en una ortografía que requiera de un análisis visual-fonológico exhaustivo (p. ej. el inglés, considerando la palabra *psychology* y tomando las distintas posibilidades fonológicas de las letras *y* y *ch*) se podrían destinar una mayor cantidad de recursos neurales en las regiones temporoccipital y temporal superior. En contraparte, en una ortografía que requiera de un menor análisis visual-fonológico (p. ej. el español, considerando las palabras *girasol* y *jirazol*, en las cuales el sonido de cada una de sus letras serían correspondientes entre sí) se podrían destinar una mayor cantidad de recursos neurales en las regiones temporoccipital y temporoparietal. En relación con esto, tomarían gran importancia los trabajos que describen los pasos del procesamiento lector (modelo DRC, Coltheart et al., 2001), su respectiva adaptación anatómica-funcional (modelo de vías múltiples, Allen et al., 2009) y estudios relacionados empleando Resonancia Magnética funcional (Fiebach, Friederici, Müller & von Cramon, 2002), todas ellas bajo una perspectiva comparativa entre ortografías (Carreiras, Armstrong, Perea & Frost, 2014).

Tomando en consideración esta correspondencia entre las letras y sus respectivos sonidos, han sido pocos los estudios de neuroimagen realizados en ortografías consideradas transparentes (alta correspondencia) como el español, el alemán, el italiano o el holandés. El grupo de Kronbichler ha reportado activaciones en las regiones temporoccipital (VWFA) y parietal superior (giro angular) en sujetos normales, a partir de la presentación de palabras, seudohomófonos y seudopalabras bajo un contexto de decisión lexical (Kronbichler et al., 2007). Ante este mismo tipo de tarea, emplearon también estímulos gráficamente alterados y fonológicamente conservados (p. ej. taXi), reportando nuevamente

activaciones temporoccipitales y parietales superiores ante los pseudohomófonos, y temporoccipitales bilaterales y occipitales superiores ante los estímulos gráficamente alterados (Kronbichler et al., 2008). Los autores argumentaron la importancia de las regiones temporoccipital izquierda y parietal superior izquierda en el procesamiento ortográfico de las palabras bajo una ortografía transparente [Figura 18].

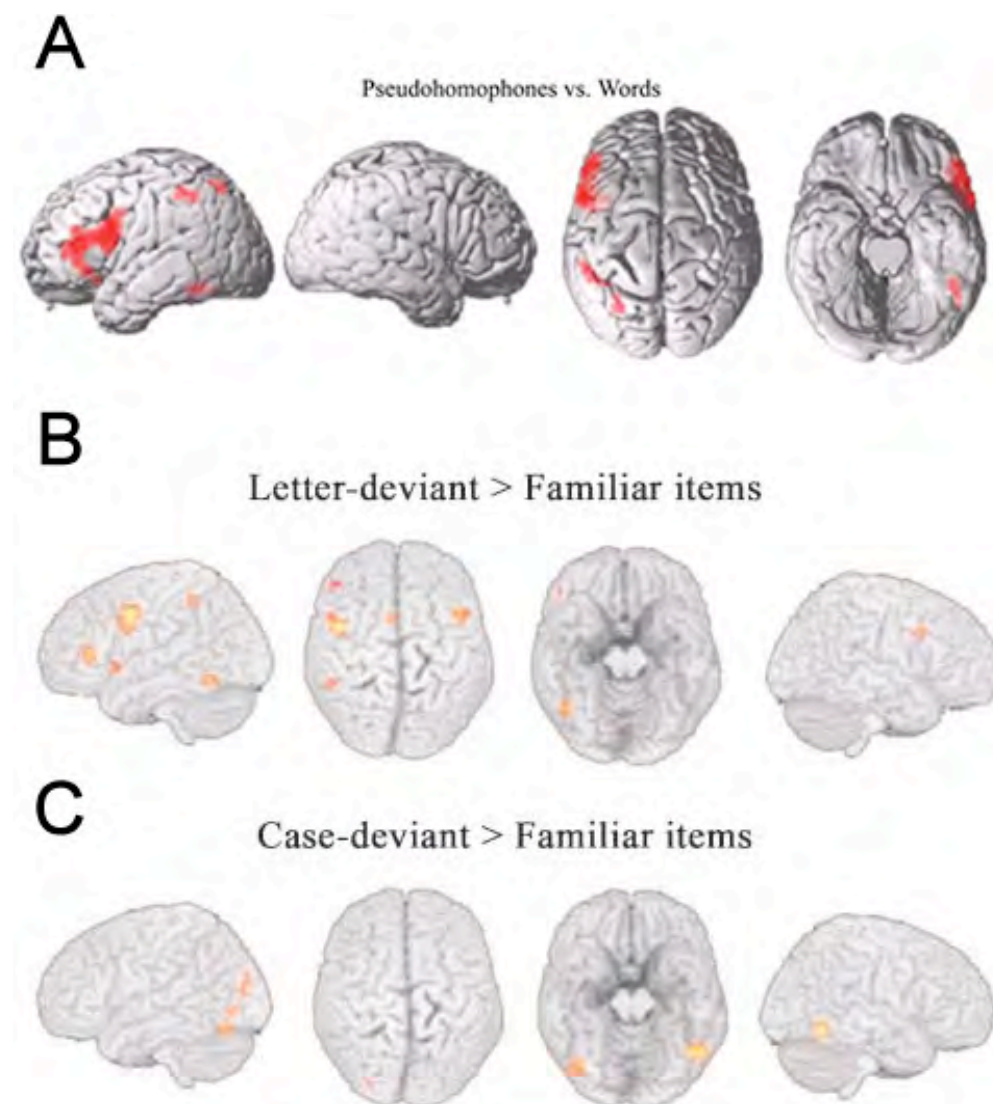


Figura 18. Patrones de activación entre palabras, pseudohomófonos y palabras gráficamente alteradas. Activaciones en la región temporoccipital y frontal inferior entre palabras y pseudohomófonos (A y B). Activaciones temporoccipitales y occipitales inferiores entre palabras gráficamente alteradas y palabras normales (C). Modificadas de Kronbichler et al., 2007 (A) y Kronbichler et al., 2008 (B y C).

Por último, el grupo de Fink realizó una investigación con la participación de tres grupos de niños cuya habla materna fue el alemán [Figura 19]. Los grupos correspondieron a niños controles (CG), niños con dificultades ortográficas (SI), y niños con dificultades ortográficas y dificultades lectoras (SRI). La respuesta de los participantes se efectuó en función de la ortografía de las palabras (correcta o incorrecta) y la lexicalidad de las mismas (palabra o no). Cabe resaltar que la respuesta para las palabras incorrectamente escritas y las seudopalabras fue la misma. Al procesar palabras incorrectamente escritas, los grupos CG y SI presentaron activaciones temporoccipitales bilaterales, mientras que el grupo SRI no las presentó. El análisis entre los grupos reveló la activación de regiones parietales inferiores como el giro supramarginal al comparar a los grupos SI y SRI; la comparación de los grupos SI y CG reveló activaciones frontales inferiores. Los autores argumentaron la activación de regiones parietales inferiores como involucradas en las conversiones gráfico-fonológicas y de análisis ortográfico, hipoactivas en los grupos SI y SRI (Gebauer et al., 2012).



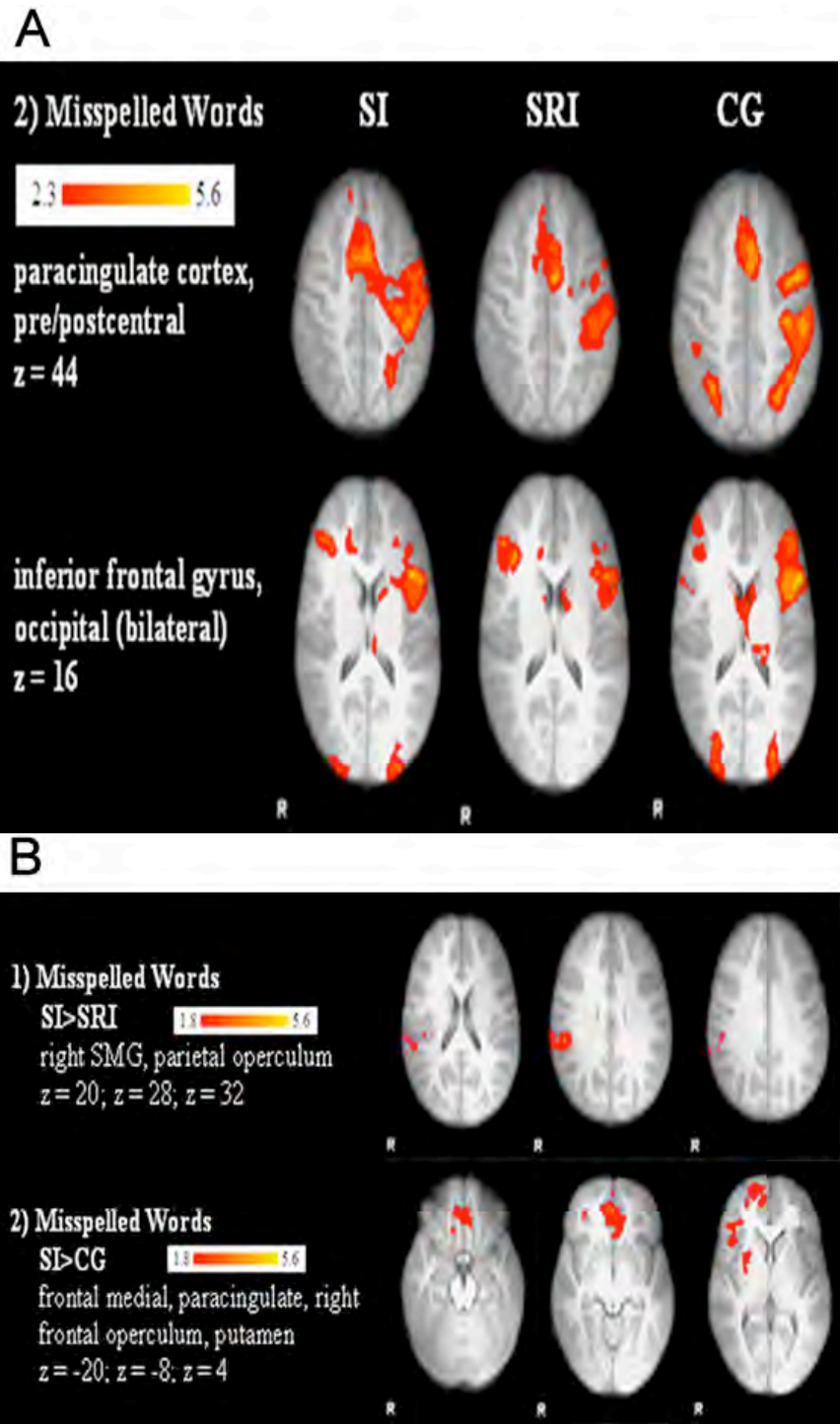


Figura 19. Patrones de activación entre grupos de acuerdo con el conocimiento ortográfico y la lectura. A) Activaciones similares entre los grupos con deficiencias ortográficas y control (SI y CG, respectivamente), a diferencia del grupo con deficiencias ortográficas y lectoras (SRI). Este último muestra patrones de hipoactivación en regiones temporoccipitales. B) Comparaciones entre los grupos con deficiencias ortográficas y deficiencias ortográficas y lectoras (renglón superior), y comparaciones entre los grupos con deficiencias ortográficas y control (renglón inferior) ante palabras incorrectamente escritas. Modificadas de Gebauer et al., 2012.

## 6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La lectura comprende una serie de etapas con ciertas características para su aprendizaje, desarrollo y dominio. Estas características pueden ser de carácter interno (procesos cognitivos) y externo (factores ambientales y exposición a textos). Se han desarrollado distintos modelos, algunos de ellos computacionales y otros anatómico-funcionales, con el propósito de asemejar los procesos de percepción, codificación, decodificación, almacenamiento y ejecución involucrados en la lectura.

En el área de las Neurociencias, el estudio del reconocimiento visual de las palabras ha sido la mejor aproximación para comprender los distintos procesos que acontecen durante la lectura. Para esto, se han empleado técnicas con alta resolución temporal que han permitido conocer que la detección de características físicas de las palabras, como su forma ortográfica, comienza desde los 170 milisegundos después de su exposición; además, que distintas propiedades lingüísticas de las palabras como su fonología o su significado, son procesadas de forma posterior.

A partir del empleo de técnicas con una alta resolución espacial, se ha propuesto la existencia de un sistema cerebral cortical especializado en la lectura en general y un subsistema especializado en el reconocimiento visual y procesamiento de palabras de manera específica. Dicho subsistema se encuentra localizado en la región temporoccipital y formado por estructuras fusiformes. A este subsistema se le ha denominado "área para la forma visual de las palabras". Se ha observado cierta lateralización izquierda en la función de esta región cerebral. Algunos autores han propuesto que a este subsistema se suma la participación de las

regiones temporoparietal y frontal inferior, para así entonces formar el sistema cerebral involucrado en la lectura.

Por otra parte, la transparencia ortográfica de una lengua indica el grado de relación entre las letras y sus sonidos. El inglés y el francés, por mencionar algunas, son consideradas ortografías opacas porque algunas letras tienen fonologías distintas en dependencia de la palabra que forman (p. ej. la letra a en las palabras en inglés black, taste, fall). El español y el alemán, por mencionar algunas otras, son consideradas ortografías transparentes para su lectura -*conversión gráfico-fonológica*- porque la relación entre las letras y sus sonidos es muy estrecha (p. ej. la letra a en las palabras en español blanco, árbol, mesa); no así para su escritura -*conversión fonológico-gráfica*-, debido a la posibilidad homófona múltiple. Estos factores podrían llevar a plantearse la posibilidad de que recursos neurales destinados a procesar aspectos fonológicos y gráficos en las palabras, sean distintos entre ortografías en dependencia de su variabilidad.

Un estudio reciente demostró que los niños mexicanos en etapas escolares iniciales cometen una gran cantidad de errores ortográficos de tipo homófono, es decir, generan un pseudohomófono a partir de la sustitución de una letra por otra letra con la misma fonología (p. ej. decisión por desición; aceptando la segunda como correcta). A partir de los resultados de otro estudio reciente, se observó que jóvenes mexicanos en una etapa escolar media-superior siguieron cometiendo el tipo de error antes mencionado y además, no lo detectaron al momento de leer. En este estudio también se evaluó si el reconocimiento de errores ortográficos mejoraba de acuerdo a distintos niveles previos de exposición a las palabras y se observó que dos grupos ordenados de acuerdo con su desempeño ortográfico (alto y bajo) se beneficiaron de la exposición

previa por igual, aunque su rendimiento ante la detección posterior de errores ortográficos fue distinta.

Sin embargo, existen personas que han estado expuestas a una gran cantidad de textos (o gustan de la lectura) y tienen una pésima ortografía; así como hay personas que gozan de una excelente ortografía y han estado poco expuestas a textos (o no tienen un gusto por la lectura).

En este contexto, la presente investigación pretendió estudiar la participación de estructuras cerebrales involucradas en el reconocimiento y procesamiento de errores ortográficos de tipo homófono, en dos grupos de estudiantes de nivel medio-superior, de quienes se asumió haber tenido una alta exposición a textos a lo largo de su preparación educativa. Ambos grupos fueron distintos entre sí de acuerdo a su nivel de ejecución en tareas de conocimiento ortográfico, evaluado de forma previa a la aplicación de las tareas experimentales.

La realización de este proyecto tuvo como objetivo final, aumentar el conocimiento sobre la participación de distintas estructuras cerebrales en el reconocimiento y procesamiento de características lingüísticas de las palabras en ortografías transparentes para su lectura, particularmente en el español.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### OBJETIVOS GENERALES

Comparar la ejecución conductual y el estado de activación metabólica en regiones cerebrales participantes durante la detección y procesamiento de errores ortográficos de tipo homófono, entre dos

grupos de estudiantes mexicanos de nivel medio-superior con distintas habilidades ortográficas, en dependencia de la instrucción de las tareas experimentales.

Comparar la ejecución conductual y el estado de activación metabólica en regiones homólogas contralaterales durante la detección y procesamiento de rostros con expresión emocional neutra, entre dos grupos de estudiantes mexicanos de nivel medio-superior con distintas habilidades ortográficas.

#### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar el número de respuestas correctas y el Tiempo de Reacción promedio entre dos grupos con distintas habilidades ortográficas, al detectar palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono, cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida hacia este proceso.
2. Comparar los niveles de activación BOLD, entre dos grupos con distintas habilidades ortográficas, en regiones fusiformes, temporales inferiores, mediales y superiores, así como parietales superiores y frontales inferiores, al detectar palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono, cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida hacia este proceso.
3. Comparar el número de respuestas correctas y el Tiempo de Reacción promedio entre dos grupos con distintas habilidades ortográficas, al detectar palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono, cuando la

instrucción de la tarea experimental se encuentre dirigida a la identificación de una letra específica en ellas.

4. Comparar los niveles de activación BOLD, entre dos grupos con distintas habilidades ortográficas, en regiones fusiformes, temporales inferiores, mediales y superiores, así como parietales superiores y frontales inferiores, al detectar palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono, cuando la instrucción de la tarea experimental se encuentre dirigida a la identificación de una letra específica en ellas.
5. Comparar el número de respuestas correctas y el Tiempo de Reacción promedio entre dos grupos con distintas habilidades ortográficas, al detectar rostros con expresión emocional neutra.
6. Comparar los niveles de activación BOLD, entre dos grupos con distintas habilidades ortográficas, en regiones fusiformes homólogas contralaterales a las involucradas en el procesamiento lingüístico, al detectar rostros con expresión emocional neutra.

#### HIPÓTESIS GENERALES

En dependencia de la instrucción de las tareas experimentales, la ejecución conductual y el estado de activación metabólica en regiones cerebrales participantes durante la identificación y procesamiento de errores ortográficos de tipo homófono, serán distintas entre dos grupos de estudiantes mexicanos de nivel medio-superior con distintas habilidades ortográficas.

La ejecución conductual de ambos grupos experimentales, así como su cambio metabólico funcional en regiones homólogas contralateras durante la detección y procesamiento de rostros con expresión emocional neutra, serán similares.

#### HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida al análisis ortográfico, el grupo experimental con altas habilidades ortográficas tendrá un mayor número de respuestas correctas y un menor Tiempo de Reacción promedio ante palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono.
2. Cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida al análisis ortográfico, el grupo experimental con altas habilidades ortográficas tendrá un menor nivel de activación BOLD en regiones fusiformes, temporales inferiores, mediales y superiores, así como parietales superiores y frontales inferiores, ante palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono.
3. Cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida a la detección de una letra específica en las palabras, ambos grupos tendrán un número equivalente de respuestas correctas y el grupo con altas habilidades ortográficas tendrá un mayor Tiempo de Reacción promedio, ante palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono.
4. Cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida a la detección de una letra específica en las palabras, el grupo

experimental con altas habilidades ortográficas tendrá un mayor nivel de activación BOLD en regiones fusiformes, temporales inferiores, mediales y superiores, así como parietales superiores y frontales inferiores, ante palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico de tipo homófono.

5. Cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida a la detección de rostros con expresión emocional neutra, el número de respuestas correctas y el Tiempo de Reacción promedio será similar entre ambos grupos.
6. Cuando la instrucción de la tarea experimental sea dirigida a la detección de rostros con expresión emocional neutra, el nivel de activación BOLD en regiones fusiformes homólogas contralaterales a las involucradas en el procesamiento lingüístico, será similar entre ambos grupos.

## VARIABLES

### INDEPENDIENTES

1. Nivel de rendimiento ortográfico (alto o bajo).
2. Dirección de la instrucción experimental:
  - 2.1 Ortografía de las palabras (correcta o incorrecta -error ortográfico de tipo homófono-).
  - 2.2 Característica específica de las palabras (presencia o ausencia de la letra *i*).
  - 2.3 Género de los modelos en las imágenes (masculino o femenino).



## DEPENDIENTES

1. Número de respuestas correctas (RCs).
2. Tiempo de Reacción promedio (TRP).
3. Nivel de activación BOLD.

## 7. METODOLOGÍA

### SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Se empleó el mismo método aplicado en una investigación similar anterior (González-Garrido, Gómez-Velázquez y Rodríguez-Santillán, 2013) en la que se evaluó el rendimiento ortográfico de 317 alumnos de Bachillerato General, 258 de preparatorias pertenecientes a la Universidad de Guadalajara (81.4%) y 59 de preparatorias privadas (18.6%). De estos estudiantes, 136 fueron hombres y 181 fueron mujeres; 297 fueron diestros y 20 fueron zurdos.

Para el presente proyecto, el rendimiento ortográfico de los alumnos se evaluó en una o dos sesiones grupales por preparatoria con una duración aproximada de una hora. La evaluación comenzó por la aplicación de un cuestionario para obtener datos personales, de contacto y de antecedentes escolares que podrían tener alguna relación con el desempeño ortográfico actual, tales como la escolaridad y ocupación de los padres, dificultades de atención o aprendizaje durante la primaria, repetición de algún grado escolar, el gusto por la lectura y la cantidad de libros no escolares leídos por

año, y dificultades al leer como la “pérdida del renglón” o la sustitución de palabras.

Posteriormente, se aplicaron cinco tareas diseñadas en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica del Instituto de Neurociencias y avaladas por un lingüista. El objetivo general de las tareas fue evaluar la comisión de errores ortográficos relacionados con el uso de grafías que comparten un mismo fonema (v-b, c-s-z, g-j, ll-y, h) y cuya sustitución, adición u omisión generaría un pseudohomófono (p. ej. sapato):

1. Completar palabras con grafías que comparten fonemas.
2. Dictado de una carta.
3. Dictado de palabras.
4. Corrección de un texto.
5. Redacción libre sobre un tema de interés.

Se contabilizó la suma total de errores en las cinco tareas; se establecieron como puntos de corte los percentiles 15 y 85. Aquellos estudiantes que tuvieron un máximo de 7 errores ortográficos de tipo homófono (percentil 15) a lo largo de las cinco tareas, cumplieron con el requisito para formar parte del grupo “altas habilidades ortográficas”, mientras que aquellos que tuvieron 35 errores o más (percentil 85), cumplieron con el requisito para formar parte del grupo “bajas habilidades ortográficas”. Una vez calificadas las pruebas ortográficas, se invitó a participar a los estudiantes en la segunda fase del proyecto (registros conductuales y de neuroimagen) hasta completar la muestra final planteada durante la planeación de este proyecto de investigación.

## PARTICIPANTES

Treinta y dos estudiantes mexicanos de nivel medio-superior participaron en el presente trabajo. Fueron divididos equitativamente en dos grupos de acuerdo con su desempeño en tareas que evaluaron la comisión de errores ortográficos de tipo homófono. Las mediciones de tres participantes (uno del grupo de altas habilidades ortográficas, dos del grupo de bajas habilidades ortográficas) fueron eliminadas de los análisis por haber presentado movimiento excesivo durante las sesiones de Resonancia Magnética funcional.

La muestra final quedó conformada por 15 participantes del grupo de altas habilidades ortográficas (AHO) y 14 del grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO).

## CRITERIOS DE INCLUSIÓN

1. Participación voluntaria.
2. Español como lengua materna.
3. Manualidad diestra.
4. Cociente de inteligencia estimado mayor a 90 (menor a 121)
5. Ausencia de deficiencias sensoriales no corregidas.
6. Ausencia de trastornos funcionales u orgánicos del desarrollo, enfermedades psiquiátricas y neurológicas, y procedimientos neuroquirúrgicos.
7. No haber consumido medicamentos con efecto sobre el Sistema Nervioso Central, desde al menos siete días previos al momento de los registros de Resonancia Magnética funcional.

8. No haber consumido alimentos o bebidas que contuvieran sustancias que pudieran tener un efecto sobre el Sistema Nervioso Central o la vascularización cerebral (p. ej. cafeína, nicotina, etc.), desde al menos 24 horas previas al momento de los registros de Resonancia Magnética funcional.
9. Ausencia de tatuajes en general, o de tatuajes que contengan tintas claras (altas en hierro) de manera particular.
10. Ausencia de procedimientos o inserciones dentales ferromagnéticos (p. ej. brackets, jackets, etc.)

#### CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

1. No haber terminado cualquiera de las tareas experimentales.
2. Movimiento excesivo durante la ejecución de las tareas experimentales, que impidiera la obtención adecuada de imágenes por Resonancia Magnética funcional.

#### INSTRUMENTOS APLICADOS FUERA DEL RESONADOR

De forma previa al inicio de los estudios de neuroimagen, se aplicaron un cuestionario neurológico (Anexo 1) y una prueba de preferencia manual adaptada al español (Edimburgo corregida; Dragovic, 2004; Anexo 1) para tener certeza sobre los criterios de inclusión. En este mismo sentido, se aplicaron las pruebas de vocabulario y diseño con cubos de la escala de inteligencia para adultos WAIS-III de Weschler (2003), a partir de las cuales se obtuvo un cociente de inteligencia estimado.

Se aplicaron también cuatro pruebas de denominación rápida (imágenes, letras, números y colores) de las cuales se obtuvo la

velocidad de denominación (Anexo 2); estas pruebas fueron adaptadas de la prueba de denominación automatizada rápida o *Rapid Automated Naming -RAN-* desarrollada por Denckla y Rudel en 1976 (citados en Norton & Wolf, 2012). Se ha reportado que la ejecución de estas cuatro tareas involucra procesos participantes en la lectura como los movimientos sacádicos, la memoria de trabajo y las representaciones ortográficas y fonológicas (Norton & Wolf, 2012). La intención de aplicar estas tareas a los dos grupos fue la de explorar el desempeño en las mismas, considerando los procesos cerebrales involucrados y su relación con la lectura en general.

Por último, se aplicó una prueba de lectura de la que se obtuvo información sobre la velocidad (palabras por minuto), del número de omisiones y modificaciones a nivel de las palabras, así como de la comprensión lectora a partir de respuestas a cinco preguntas textuales o inferenciales, evaluadas con 2 puntos -correcta-, 1 punto -incompleta- ó 0 puntos -incorrecta- (Anexo 3). La intención de aplicar esta tarea a los dos grupos fue la de explorar su desempeño en aspectos específicos de la lectura global como la velocidad, la precisión y la comprensión.

#### SESIONES DE RESONANCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL

Se realizaron en la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada en el Municipio de Juriquilla del Estado de Querétaro. Esto implicó que los participantes y miembros del Laboratorio de Neurofisiología Clínica del Instituto de Neurociencias tuvieran que trasladarse al lugar antes mencionado. Los participantes recibieron una remuneración económica de \$300.00 (trescientos pesos 00/100 M.N.) por su colaboración, financiada por

la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (SEP-CONACYT CB-2012-183561).

Las sesiones tuvieron una duración aproximada de 45 minutos en las que se realizaron distintos estudios de imagen cerebral. Se contemplaron descansos entre los estudios y se realizaron a petición del participante.

## ESTÍMULOS

Se presentaron tres clases de estímulos mediante el software E-Prime Studio v.2.0 (Psychology Software Tools, Inc., 2010): palabras correctamente escritas, palabras incorrectamente escritas (una sustitución homófona) y estímulos neutros formados por caracteres o símbolos, estos últimos se formaron por 4 a 9 unidades y no se repitió ninguno. Las palabras tuvieron de 4 a 9 letras (dos y tres sílabas) y fueron mezcladas en cuanto a frecuencia se refiere (>100 y <50 por millón); la frecuencia de las palabras fue obtenida a partir del análisis de 10 libros de texto de secundaria y preparatoria utilizando el programa computacional "ConPal" (Zarabozo, Gómez-Velázquez & Varela, 2011). Las características intrínsecas de las palabras fueron revisadas por un lingüista para poder integrarse al cuerpo de estímulos.

La tipografía de las palabras y las cadenas de símbolos fue, respectivamente, Arial y Wingdings; ambos tipos con un tamaño de 60. Todos los estímulos fueron presentados en blanco sobre fondo negro durante 2 segundos.

El corpus de estímulos fue conformado por 36 palabras correctamente escritas, 36 palabras incorrectamente escritas y 144

estímulos neutros. Las palabras empleadas en la presente investigación pueden observarse en las tareas experimentales.

#### TAREAS EXPERIMENTALES

Para la realización del presente proyecto se aplicaron tres tareas experimentales de forma aleatoria entre los participantes, dos de ellas incluyeron la presentación de palabras correctamente escritas y palabras con un error ortográfico homófono, y otra la presentación de rostros con expresión emocional neutra:

##### IDENTIFICACIÓN DIRIGIDA (CONSCIENTE) DEL ERROR ORTOGRÁFICO (FIGURA 20)

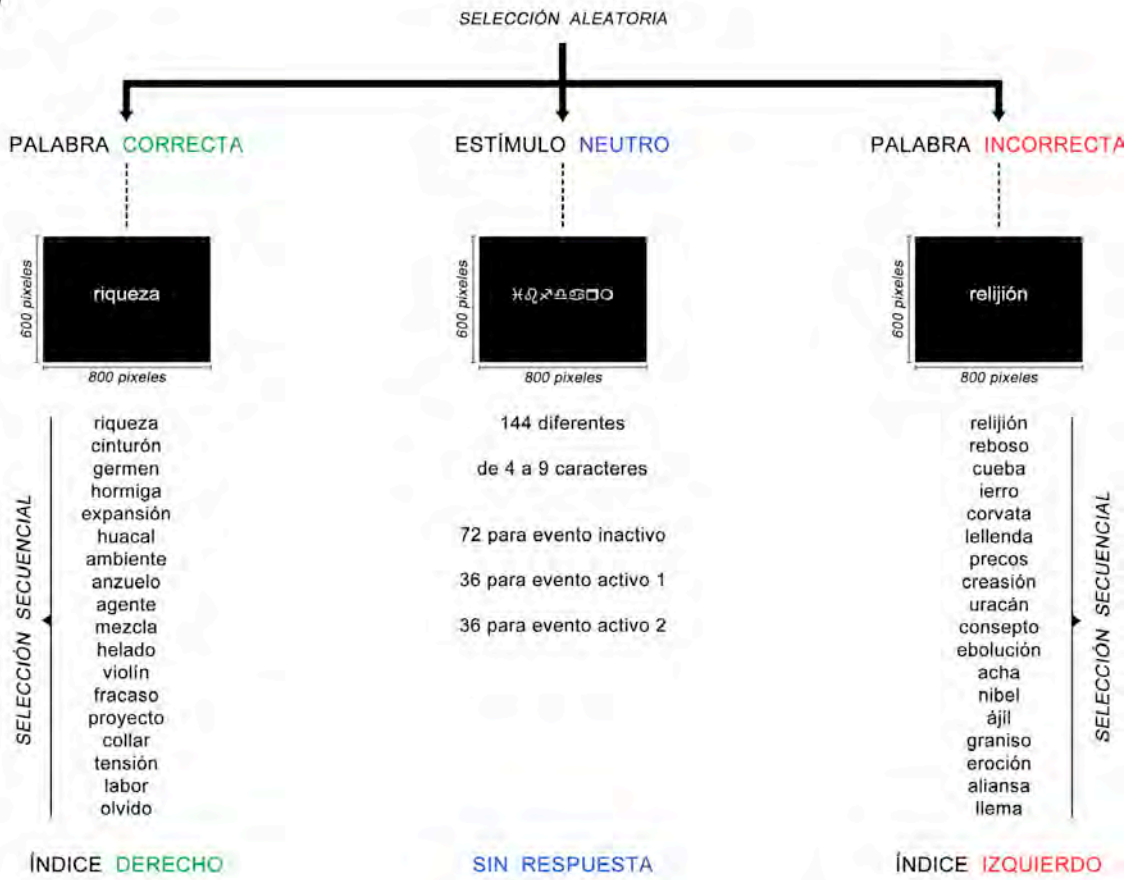
*Objetivo:* exponer a dos grupos experimentales (AHO y BHO) a palabras de alta y baja frecuencia, escritas correcta e incorrectamente para evaluar el rendimiento conductual y la activación BOLD de estructuras cerebrales involucradas en el reconocimiento de errores ortográficos de tipo homófono.

*Estímulos:* 18 palabras correctamente escritas, 18 palabras incorrectamente escritas y 144 estímulos neutros. Presentación semialeatorizada.

*Instrucción:* el participante debió evaluar si las palabras observadas se presentaron correcta o incorrectamente escritas. La respuesta se realizó utilizando dos botoneras (una por mano) y oprimiendo un botón con los dedos índices.

*Duración:* la duración aproximada de la tarea fue de 6 minutos.

(A)



(B)

EVENTO **ACTIVO 1**



EVENTO **ACTIVO 2**

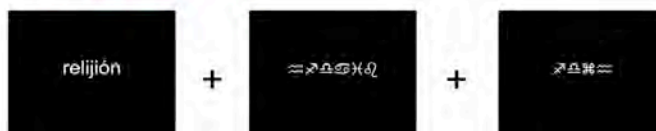




Figura 20. Esquema ilustrativo de la tarea *Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico*. Los sujetos debieron contestar con sus dedos índices ante palabras escritas correctamente y palabras con un error ortográfico homófono. No debieron contestar a los estímulos neutros (A). Se definió como evento activo 1 a la presentación de una palabra escrita correctamente y la presentación secuencial de dos estímulos neutros; como evento activo 2, a la presentación de una palabra con un error homófono y la presentación secuencial de dos estímulos neutros (B). Elaboración propia a excepción de la imagen del sujeto en el resonador (Nordic NeuroLab).

#### IDENTIFICACIÓN NO DIRIGIDA (INCONSCIENTE) DEL ERROR ORTOGRÁFICO (FIGURA 21)

*Objetivo:* exponer a dos grupos experimentales (AHO y BHO) a palabras de alta y baja frecuencia, escritas correcta e incorrectamente para evaluar el rendimiento conductual y la activación BOLD de estructuras cerebrales involucradas en el reconocimiento de errores ortográficos de tipo homófono.

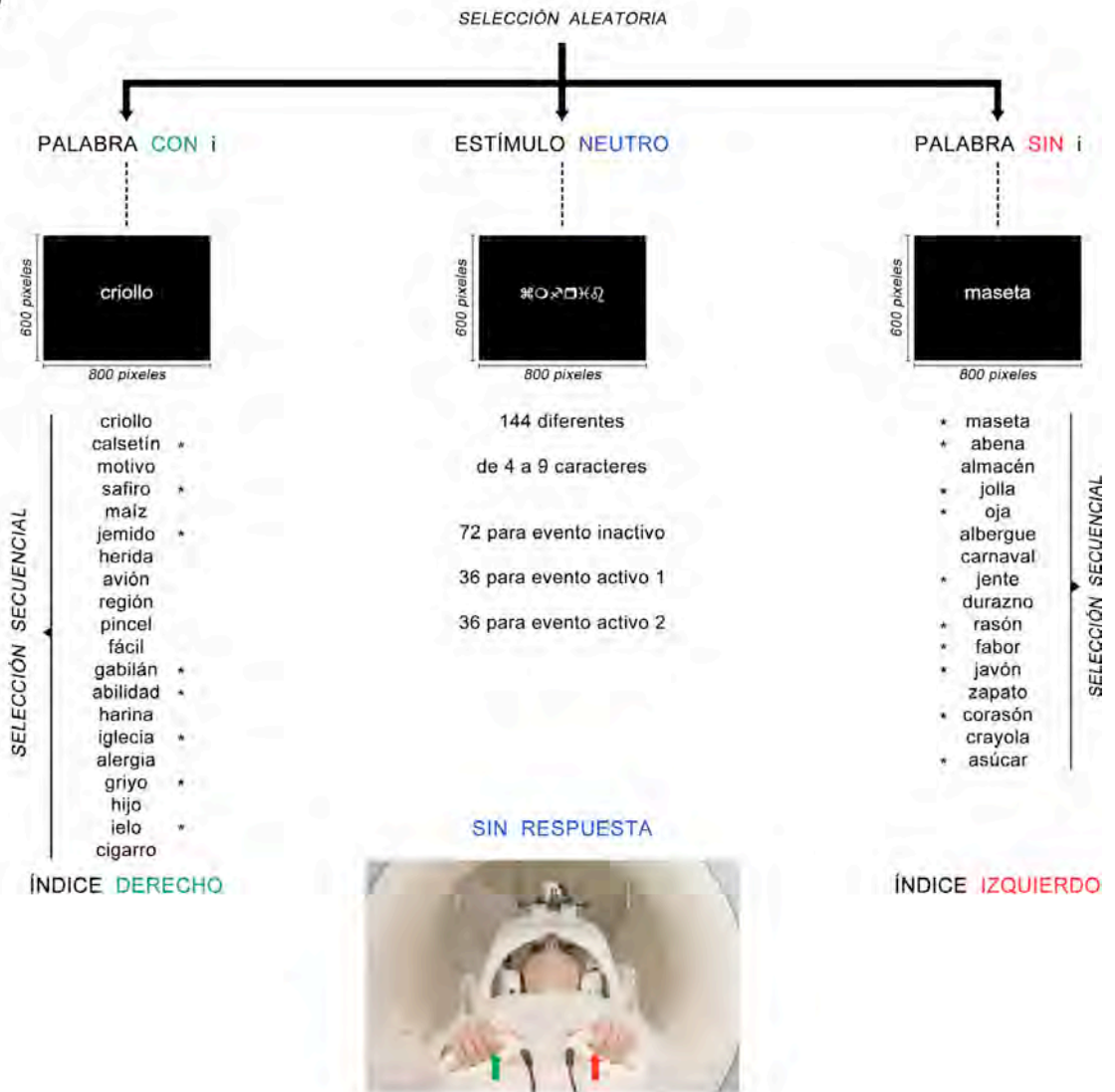
*Nota:* la evaluación inconsciente del error se realizó con el propósito de observar las mediciones de las variables dependientes cuando los recursos atentos de los participantes no se encontraban enfocados de manera directa a la ortografía de las palabras.

*Estímulos:* 18 palabras correctamente escritas, 18 palabras incorrectamente escritas y 144 estímulos neutros. Presentación semialeatorizada. De las 36 palabras presentadas, 20 tuvieron la letra *i*.

*Instrucción:* el participante debió evaluar si las palabras observadas contenían o no la letra *i*. La respuesta se realizó utilizando dos botoneras (una por mano) y oprimiendo un botón con los dedos índices.

*Duración:* la duración aproximada de la tarea fue de 6 minutos.

(A)



(B)

EVENTO ACTIVO 1



EVENTO ACTIVO 2



Figura 21. Esquema ilustrativo de la tarea *Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico*. Los sujetos debieron contestar con sus dedos índices ante palabras que tuvieran la letra *i*, y a palabras que no tuvieran la letra *i*. No debieron contestar a los estímulos neutros. Se definió como evento activo 1 a la presentación de una palabra con la letra *i* y la presentación secuencial de dos estímulos neutros; como evento activo 2, a la presentación de una palabra sin la letra *i* y la presentación secuencial de dos estímulos neutros. Los asteriscos señalan palabras con un error ortográfico homófono. Elaboración propia a excepción de la imagen del sujeto en el resonador (Nordic NeuroLab).

## IDENTIFICACIÓN DE ROSTROS CON EXPRESIÓN EMOCIONAL NEUTRA (FIGURA 22)

*Objetivo:* exponer a dos grupos experimentales (AHO y BHO) a rostros masculinos y femeninos para evaluar el rendimiento conductual y la activación BOLD de estructuras cerebrales involucradas en el reconocimiento de rostros.

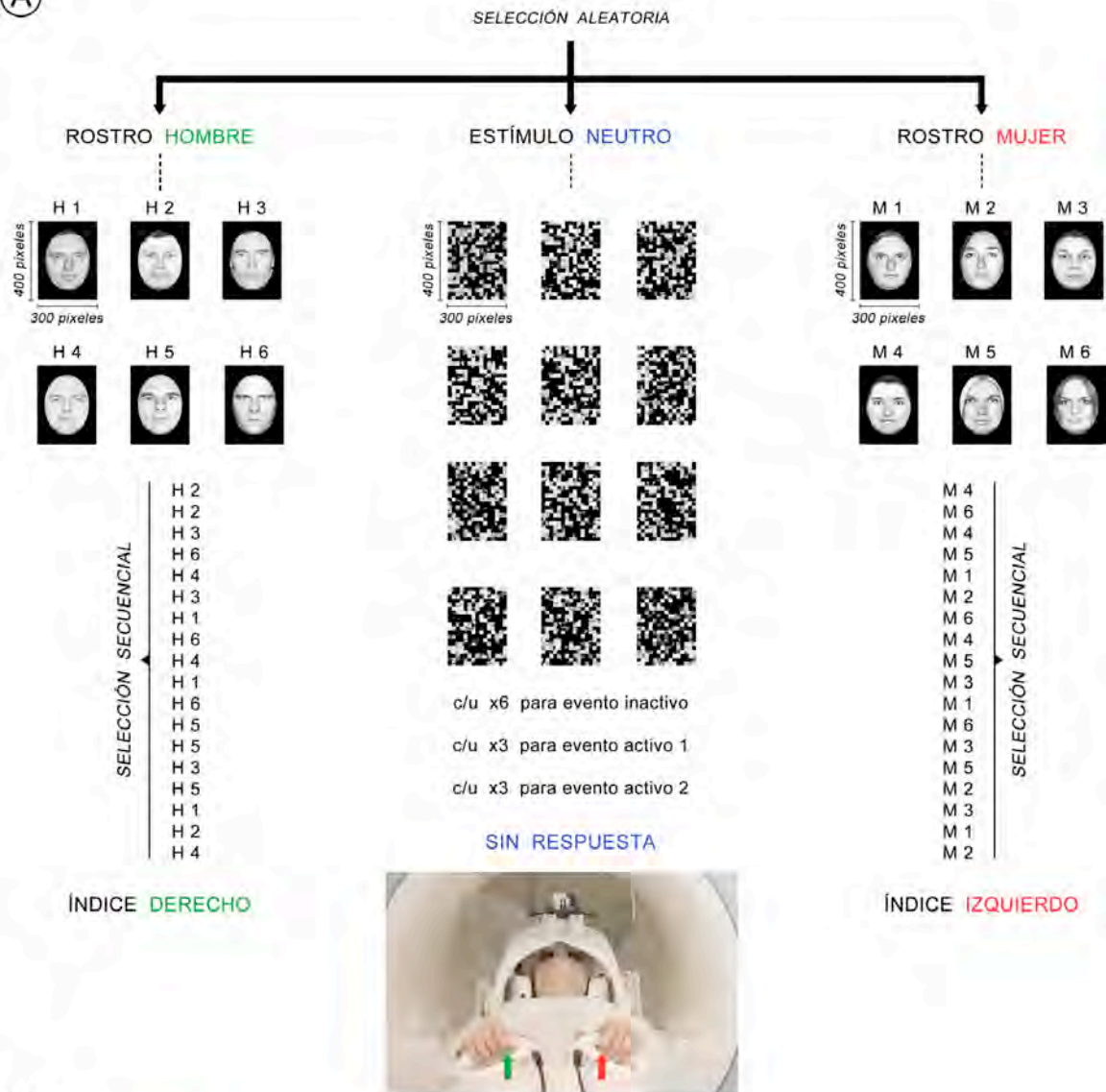
*Nota:* la evaluación de la detección de rostros se realizó con el propósito de observar las mediciones de las variables dependientes en relación con aquellas regiones cerebrales que participan en la detección automatizada de rostros. Estas regiones, principalmente el giro fusiforme, son contralaterales a aquellas involucradas en el reconocimiento inicial de palabras. Con esta evaluación se pretendió descartar algún tipo de deficiencia perceptual a un nivel básico por parte del grupo experimental bajo.

*Estímulos:* 18 rostros masculinos, 18 rostros femeninos y 144 estímulos neutros (imágenes originales divididas en píxeles y ordenados en forma aleatorizada). Presentación semialeatorizada.

*Instrucción:* el participante debió evaluar si las imágenes observadas correspondían a hombres o mujeres. La respuesta se realizó utilizando dos botoneras (una por mano) y oprimiendo un botón con los dedos índices.

*Duración:* la duración aproximada de la tarea fue de 6 minutos.

(A)



(B)

EVENTO **ACTIVO 1**



EVENTO **ACTIVO 2**



Figura 22. Esquema ilustrativo de la tarea *Identificación de rostros con expresión emocional neutra*. Los sujetos debieron contestar con sus dedos índices ante rostros masculinos y ante rostros femeninos. No debieron contestar a los estímulos neutros. Se definió como evento activo 1 a la presentación de un rostro masculino y la presentación secuencial de dos estímulos neutros; como evento activo 2, a la presentación de un rostro femenino y la presentación secuencial de dos estímulos neutros. Elaboración propia a excepción de la imagen del sujeto en el resonador (Nordic NeuroLab).

## CONDICIONES EXPERIMENTALES

Para la Resonancia Magnética funcional relacionada con Eventos, se consideraron tres condiciones para las tres tareas experimentales:

1. Elemento activo 1 – Palabra correcta / palabra con *i* / rostro masculino.
2. Elemento activo 2 – Palabra incorrecta / palabra sin *i* / rostro femenino.
3. Elemento inactivo o base – Cadena de símbolos / imágenes de rostros divididas en píxeles y organizados aleatoriamente.

## SISTEMA DE REGISTRO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Se utilizó un escáner General Electric GE-MR750 de 3 Teslas. Se obtuvieron 35 cortes contiguos del cerebro en el plano axial con un grosor de 4 milímetros. Para los estudios funcionales se aplicaron series de pulsos de radiofrecuencia con un TR de 2000 milisegundos y un TE de 40 milisegundos. Se obtuvieron 180 volúmenes cerebrales con FOV = 25.6,  $\alpha$  (flip angle) = 90° y matriz de 64 x 64. Las tareas experimentales se presentaron mediante la proyección de imágenes en una pantalla.

## DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### ESTUDIOS CONDUCTUALES

El presente proyecto tuvo de forma general un diseño mixto o de parcelas divididas (Kirk, 1995), con un factor entre grupos (habilidades ortográficas: altas y bajas) y uno o dos factores dentro de los grupos en dependencia de la tarea experimental.

Para el estudio de las variables demográficas y de ejecución lectora en ambos grupos experimentales, se realizó un análisis de varianza de un factor (grupo).

El análisis estadístico utilizado para las tres tareas experimentales fue un análisis de varianza de medidas repetidas, teniendo como factor entre grupos las habilidades ortográficas (altas y bajas) y como factores dentro de los grupos la ortografía de las palabras (correcta e incorrecta; tareas de identificación dirigida y no dirigida al error ortográfico), las características específicas en las palabras (presencia o ausencia de *i*; tarea de identificación no dirigida al error ortográfico), y el género de los modelos en las imágenes (masculino o femenino; tarea de identificación de rostros humanos con expresión emocional neutra).

Se realizó un análisis para el número de respuestas correctas y otro para el tiempo de reacción promedio por tarea experimental. Cuando fue necesario, se realizó un ajuste de Bonferroni para las comparaciones a posteriori y se empleó una corrección de Greenhouse-Geisser sobre los grados de libertad cuando no se cumplió con el supuesto de homocedasticidad en las variables.

El preproceso y el análisis de las imágenes funcionales se realizaron mediante el módulo *fMRI Expert Analysis Tool -FEAT-* del programa de cómputo *FMRIB Software Library -FSL-* del *Oxford Centre for Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain -FMRIB-* (Smith et al., 2004; Woolrich et al., 2009).

El preproceso de las imágenes de cada participante (análisis de primer nivel), incluyó la eliminación de cráneo empleando la rutina *Brain Extraction Tool -BET-* (Smith, 2002), la corrección de movimiento utilizando *FMRIB Linear Image Registration Tool -FLIRT-* (Jenkinson, Bannister, Brady & Smith, 2002), el suavizado espacial utilizando un filtro Gaussiano de 6 milímetros, un filtraje temporal de señal de paso alto, y el corrección de las imágenes con la imagen anatómica de alta resolución T1 del Instituto Neurológico de Montreal -MNI-. Para cada análisis de primer nivel (sujetos) se empleó un umbral estadístico  $P$  de 0.05 sin corrección para comparaciones múltiples. Para obtener las estimaciones de los parámetros en los contrastes (-COPEs-) se obtuvieron distintos vectores a partir de la información del programa computacional *E-Prime*, en dependencia de las tareas experimentales o del interés en un análisis particular dentro de cada tarea experimental:

Tarea experimental	Vectores	Vector/condición/COPE
Identificación dirigida del error ortográfico	2	-Correctamente escritas -Incorrectamente escritas
Identificación no dirigida del error ortográfico	4	-Presencia de letra <i>i</i> -Ausencia de letra <i>i</i> -Correctamente escritas -Incorrectamente escritas
Identificación de rostros humanos con expresión emocional neutra	1	-Rostros (masculinos y femeninos)

Los análisis de segundo nivel (grupos) por tarea experimental se realizaron mediante el módulo *FMRIB Local Analysis of Mixed Effects -FLAME 1-* (Beckmann, Jenkinson & Smith, 2003). Para obtener los promedios grupales, se empleó una corrección a nivel de cluster con umbrales estadísticos *Z* de 3.0 y *P* de 0.01. Para obtener los contrastes entre grupos (AHO > BHO; BHO > AHO) se empleó un umbral estadístico *P* de 0.05 sin corrección para comparaciones múltiples.

Una vez obtenidos los mapas estadísticos de activaciones para ambos grupos experimentales y para cada tarea experimental o análisis particular dentro de cada tarea experimental, se identificaron las activaciones en el visor de imágenes de FSL - *FSLview-* empleando los atlas de Harvard-Oxford para regiones corticales y subcorticales.

Tomando en cuenta lo anterior, se seleccionaron regiones de interés -*ROI-* para analizar el porcentaje de cambio en la señal hemodinámica, entre los grupos experimentales, en cada una de las tareas experimentales o análisis particular dentro de cada tarea experimental. Esto se realizó mediante la herramienta FSL



*Featquery* (Smith et al., 2004; Woolrich et al., 2009). Este análisis se realizó con el objetivo de realizar comparaciones entre los grupos de participantes pasando de cerebro completo (todos los voxeles, voxel a voxel), a regiones o estructuras cerebrales definidas (mucho menor cantidad de voxeles) y reducir así la posibilidad de cometer errores estadísticos de tipo I (Poldrack, Mumford & Nichols, 2011). Para este análisis se consideraron aquellas agrupaciones resultantes de los contrastes entre grupos descritos anteriormente; sólo se tomaron en cuenta agrupaciones de más de 30 voxeles, considerando que la probabilidad de que una agrupación de 10 voxeles habiendo utilizado una  $P$  de 0.05, se presente por azar es menor a 0.00001 (Forman, Cohen, Fitzgerald, Eddy, Mintun & Noll, 1995).

Considerando estas agrupaciones, se formaron esferas con un radio de 7 milímetros (Woodhead, Brownsett, Dhanjal, Beckmann & Wise, 2011) a partir de las coordenadas MNI de máxima señal y se extrajo la información de cada sesión a nivel individual. Se empleó el valor medio de señal en cada ROI.

Para cada condición en las tareas experimentales se realizaron análisis de varianza mixtos, con un factor entre grupos (AHO y BHO) y un factor de medidas repetidas (ROI).

## 8. RESULTADOS

### VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y EJECUCIÓN LECTORA

La comparación entre ambos grupos de acuerdo con la edad o inteligencia no resultó distinta de forma significativa. Aunque en esta última el valor estimado fue mayor el grupo con altas habilidades ortográficas (AHO), ningún participante del grupo con bajas habilidades ortográficas (BHO) tuvo un puntaje menor a 90.

En las cuatro pruebas de denominación, el grupo AHO tuvo menores tiempos de ejecución, sin que la diferencia con el grupo BHO alcanzara significación estadística.

El análisis de la prueba de lectura reflejó diferencias significativas entre los grupos en velocidad lectora [ $F(1,28)=4.704$ ,  $p<0.05$ ] y en omisiones y modificaciones en la lectura [ $F(1,28)=14.644$ ,  $p<0.01$ ], siendo el grupo AHO el más rápido y preciso. Los estadísticos descriptivos e inferenciales obtenidos del análisis de este tipo de variables pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla 1. Variables demográficas y de ejecución en ambos grupos experimentales.

	AHO (n=15)		BHO (n=14)		F (1,28)	p
	M	(DE)	M	(DE)		
Edad	19.73	(3.47)	19.79	(3.40)	0.002	0.968
Inteligencia	113.80	(8.55)	107.93	(8.45)	3.454	0.074
Denominación de imágenes	41.07	(13.48)	46.00	(12.67)	1.028	0.320
Denominación de letras	15.60	(4.82)	16.79	(2.42)	0.684	0.416
Denominación de números	16.67	(4.97)	17.50	(2.57)	0.315	0.579
Denominación de colores	29.13	(12.60)	34.29	(10.88)	1.380	0.250
Velocidad lectora	168.54	(16.99)	152.51	(22.60)	4.704	0.039
Omisiones y modificaciones en lectura	2.20	(1.47)	6.79	(4.39)	14.644	0.001
Comprensión lectora	8.27	(1.16)	7.64	(1.22)	1.994	0.169

*Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Media (M) y desviación estándar de la media (DE). Inteligencia expresada en términos del Cociente de Inteligencia -C.I.- estimado. Denominación expresada en segundos. Velocidad lectora expresada en palabras por minuto.*

## RESULTADOS CONDUCTUALES

### *Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico*

Como se esperaba, en función de que los grupos fueron formados así, el desempeño en esta tarea experimental por parte del grupo AHO fue superior al del grupo BHO en cuanto a precisión y velocidad se refiere. El grupo de altas habilidades ortográficas, en comparación con el de bajas habilidades ortográficas, presentó un número significativamente mayor de respuestas correctas [ $F(1,27)=27.060$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.501$ ] y un menor tiempo de reacción promedio [ $F(1,27)=8.723$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.24$ ]. En ambas

mediciones conductuales, se observó un efecto significativo de la ortografía de las palabras [ $F(1,27)=22.311$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.452$  y  $F(1,27)=98.511$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.785$ ], respectivamente.

De igual forma, en ambas mediciones conductuales se encontraron interacciones significativas entre los factores grupo y ortografía de las palabras [ $F(1,27)=11.122$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.292$  y  $F(1,27)=19.963$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.425$ ]. Los análisis a posteriori revelaron, en el caso del número de respuestas correctas, que las diferencias entre los dos niveles del factor ortografía de las palabras únicamente fueron significativas para el grupo BHO ( $p<0.001$ ), a pesar de que en ambos grupos se observó un mayor número de respuestas correctas ante las palabras correctamente escritas. En cuanto a tiempo de reacción promedio se refiere, se encontraron diferencias significativas entre los dos niveles de este factor en ambos grupos: AHO ( $p<0.01$ ) y BHO ( $p<0.001$ ), siendo menor la velocidad de respuesta ante las palabras con error ortográfico de tipo homófono.

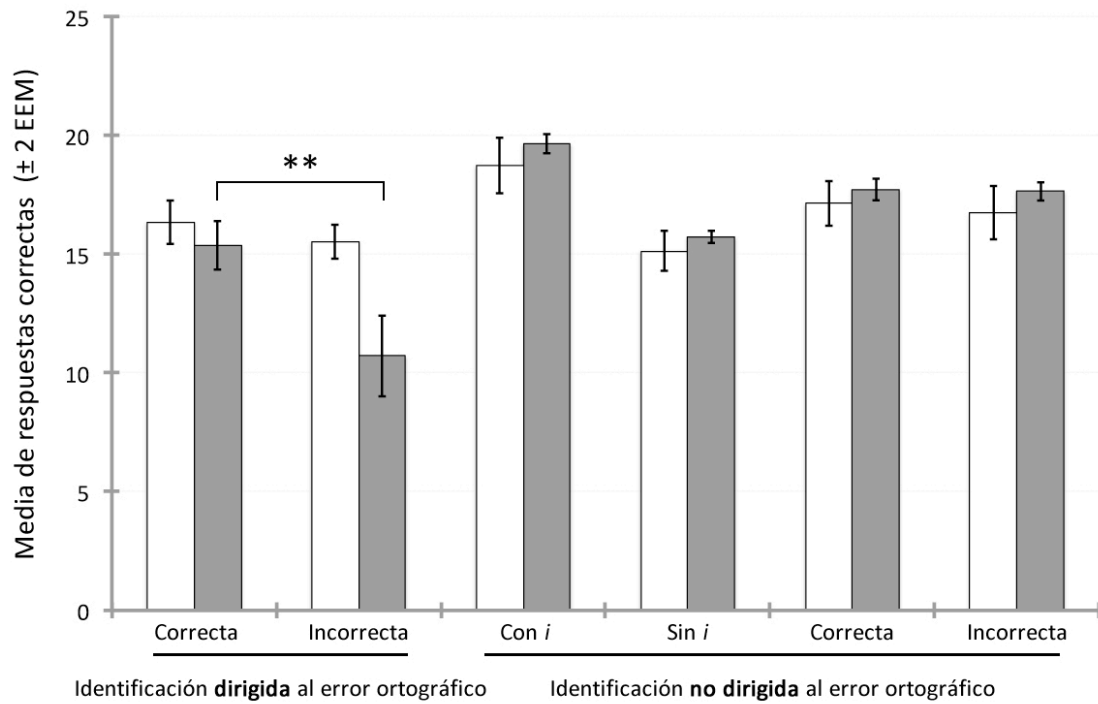
Los estadísticos descriptivos de ambos grupos en esta tarea experimental pueden observarse en la siguiente tabla y en las Gráficas 1 y 2.

Tabla 2. Estadística descriptiva de la identificación dirigida (consciente) del error ortográfico.

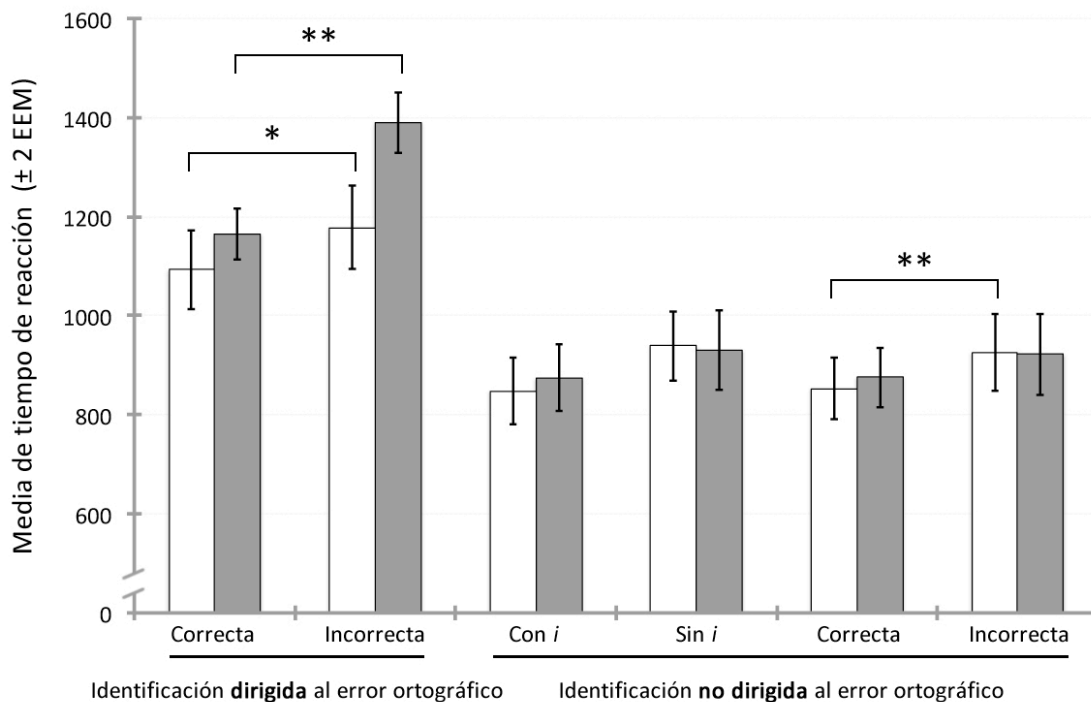
Palabras Variable	AHO (n=15)		BHO (n=14)	
	M	(DE)	M	(DE)
<b>Correctamente escritas</b>				
Respuestas correctas	16.33	(1.76)	15.36	(1.91)
Tiempo de reacción promedio	1,092.99	(154.17)	1,164.97	(98.09)
<b>Con error ortográfico homófono</b>				

Respuestas correctas	15.53	(1.41)	10.71	(3.20)
Tiempo de reacción promedio	1,178.29	(162.33)	1,389.92	(114.44)

Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Media (M) y desviación estándar de la media (DE). Tiempo de reacción promedio expresado en milisegundos.



Gráfica 1. Respuestas correctas en las tareas dirigida y no dirigida al error ortográfico. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM). \*\*  $p < 0.001$ .



Gráfica 2. Tiempo de reacción promedio en las tareas dirigida y no dirigida al error ortográfico. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM). \*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.001$ .

### *Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico*

Como ya se expresó en el apartado de *Metodología*, esta tarea experimental se encontraba dirigida al análisis de una característica específica en las palabras: presencia o ausencia de la letra *i* en ellas. Sin embargo, estas palabras se encontraban también correctamente escritas o con un error ortográfico de tipo homófono. El objetivo de esta tarea fue el de investigar si la ortografía de las palabras tendría algún efecto sobre "un reconocimiento visual más generalizado o básico" o si éste tendría un efecto de interferencia sobre el reconocimiento ortográfico.

Tomando en cuenta el número de respuestas correctas para la instrucción explícita de la tarea (presencia o ausencia de la letra *i*), el grupo de altas habilidades ortográficas (AHO) tuvo un desempeño

ligeramente inferior al del grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO), sin que esta diferencia alcanzara significación estadística [ $F(1,27)=1.984$ ,  $p=0.170$ ,  $\eta^2=0.068$ ]. En este mismo sentido, el análisis del tiempo de reacción promedio para este factor, reveló una velocidad de respuesta poco mayor por parte del grupo AHO en comparación a la del grupo BHO sin alcanzar significación estadística [ $F(1,27)=0.033$ ,  $p=0.857$ ,  $\eta^2=0.001$ ].

Como se mencionó al inicio de este apartado, nuestro interés en esta tarea radicó en la exploración de una posible interferencia de la instrucción o el ejercicio realizado, con el procesamiento ortográfico de las palabras, teniendo como hipótesis que esto sólo ocurriría en el grupo AHO. En cuanto a respuestas correctas se refiere, nuevamente el grupo AHO obtuvo una menor cantidad en comparación con el grupo BHO sin que esta diferencia fuera significativa, estadísticamente hablando [ $F(1,27)=1.984$ ,  $p=0.170$ ,  $\eta^2=0.068$ ]. En esta ocasión, el factor *ortografía correcta o incorrecta* de las palabras no fue significativo y no tuvo un efecto considerable en la tarea [ $F(1,27)=1.258$ ,  $p=0.272$ ,  $\eta^2=0.045$ ].

Lo que llamó nuestra atención en este último análisis para esta tarea, fue el tiempo de reacción promedio. A pesar de que las diferencias entre ambos grupos podrían considerarse pequeñas (unos cuantos milisegundos), el análisis de varianza reveló una interacción significativa del factor *ortografía correcta o incorrecta* de las palabras con el factor *grupo* [ $F(1,27)=7.236$ ,  $p<0.05$ ,  $\eta^2=0.366$ ]. El análisis a posteriori de la interacción reveló que, aunque el tiempo de reacción en ambos grupos fue mayor ante aquellas palabras escritas incorrectamente (con un error ortográfico de tipo homófono), la diferencia fue mucho mayor en el grupo AHO y sólo en éste fue significativa ( $p<0.001$ ). Por último, tomando en consideración el tiempo de reacción promedio, el factor *ortografía*

correcta o incorrecta de las palabras sí fue significativo y tuvo un efecto considerable [ $F(1,27)=21.999$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.449$ ].

Los estadísticos descriptivos para todos los factores analizados en esta tarea pueden observarse en la siguiente tabla y en las dos gráficas anteriores (Gráficas 1 y 2, p. 72):

Tabla 3. Estadística descriptiva de la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico.

Palabras Variable	AHO (n=15)		BHO (n=14)	
	M	(DE)	M	(DE)
<b>Con i</b>				
Respuestas correctas	18.73	(2.28)	19.64	(0.75)
Tiempo de reacción promedio	847.88	(131.04)	874.22	(125.35)
<b>Sin i</b>				
Respuestas correctas	15.13	(1.64)	15.71	(0.47)
Tiempo de reacción promedio	938.84	(136.66)	930.21	(149.57)
<b>Correctamente escritas</b>				
Respuestas correctas	17.13	(1.81)	17.71	(0.83)
Tiempo de reacción promedio	852.96	(119.71)	875.57	(113.14)
<b>Con error ortográfico homófono</b>				
Respuestas correctas	16.73	(2.15)	17.64	(0.75)
Tiempo de reacción promedio	925.50	(149.67)	922.35	(154.02)

*Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Media (M) y desviación estándar de la media (DE). Tiempo de reacción promedio expresado en milisegundos.*

### *Identificación de rostros con expresión emocional neutra*

El único objetivo de la aplicación de esta tarea experimental fue el de corroborar que las diferencias entre los grupos, si las hubiera, al reconocer palabras, no se debieran a deficiencias



perceptuales básicas. Lo anterior, tomando como referencia y como ya se ha expuesto en el apartado teórico, que la región temporoccipital en ambos hemisferios participan en este procesamiento básico (VWFA en el hemisferio izquierdo, y FFA en el hemisferio derecho).

En cuanto a respuestas correctas se refiere, ambos grupos tuvieron un menor número de éstas al reconocer rostros femeninos en comparación con el reconocimiento de rostros masculinos [ $F(1,27)=11.209$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.293$ ]. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre grupos [ $F(1,27)=0.001$ ,  $p=0.992$ ,  $\eta^2=0.001$ ] o alguna interacción entre los factores *grupo* y *reconocimiento de rostros masculinos o femeninos* [ $F(1,27)=1.024$ ,  $p=0.320$ ,  $\eta^2=0.037$ ].

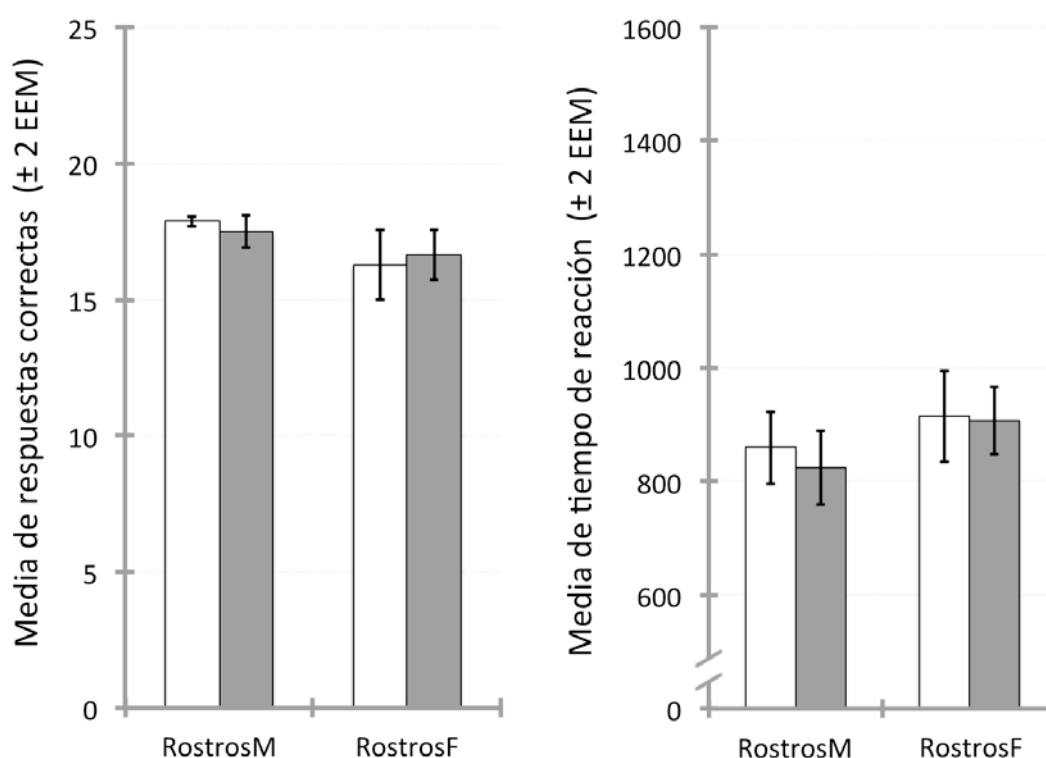
De igual forma, el análisis del tiempo de reacción promedio en esta tarea reveló una mayor velocidad al reconocer rostros masculinos que femeninos por parte de ambos grupos [ $F(1,27)=20.378$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.430$ ] sin alcanzar significación estadística entre ellos [ $F(1,27)=0.329$ ,  $p=0.571$ ,  $\eta^2=0.012$ ]. El análisis no reveló interacción alguna entre los factores *grupo* y *reconocimiento de rostros masculinos o femeninos* [ $F(1,27)=1.818$ ,  $p=0.189$ ,  $\eta^2=0.063$ ].

Los estadísticos descriptivos de ambos grupos en esta tarea experimental pueden observarse en la siguiente tabla y en la Gráfica 3:

Tabla 4. Estadística descriptiva de la identificación de rostros humanos con expresión emocional neutra.

Rostros Variable	AHO (n=15)		BHO (n=14)	
	M	(DE)	M	(DE)
<b>Masculinos</b>				
Respuestas correctas	17.87	(0.352)	17.50	(1.092)
Tiempo de reacción promedio	869.55	(123.61)	823.82	(121.09)
<b>Femeninos</b>				
Respuestas correctas	16.27	(2.463)	16.64	(1.737)
Tiempo de reacción promedio	914.99	(155.48)	907.98	(112.05)

Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Media (M) y desviación estándar de la media (DE). Tiempo de reacción promedio expresado en milisegundos.



Gráfica 3. Respuestas correctas y tiempo de reacción promedio en la tarea de identificación de rostros humanos con expresión emocional neutra. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM).

*Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico*

Al realizar esta tarea experimental, el grupo con bajas habilidades ortográficas (BHO) tuvo activaciones significativas en un mayor número de regiones en comparación con el grupo de altas habilidades ortográficas (AHO). De igual forma, las agrupaciones de voxeles activos (*clusters*) del grupo BHO fueron mayores que aquellas del grupo AHO.

Cuando las palabras se presentaron correctamente escritas [Figura 23], sólo el grupo BHO presentó activaciones bilaterales en la región temporoccipital y en regiones frontales superiores. A pesar de que ambos grupos presentaron activaciones bilaterales en regiones frontales inferiores, aquellas correspondientes al grupo BHO fueron mayores, especialmente en el hemisferio izquierdo. El grupo AHO presentó activaciones unilaterales izquierdas en regiones temporales mediales y anteriores, mientras que esto no se observó en el grupo BHO. Por otra parte, el grupo AHO presentó activaciones unilaterales izquierdas en regiones parietales superiores posteriores, mientras que el grupo BHO presentó activaciones bilaterales en estas regiones corticales. Por último, ambos grupos tuvieron activaciones bilaterales cerebelares, siendo éstas mayores para el grupo BHO.

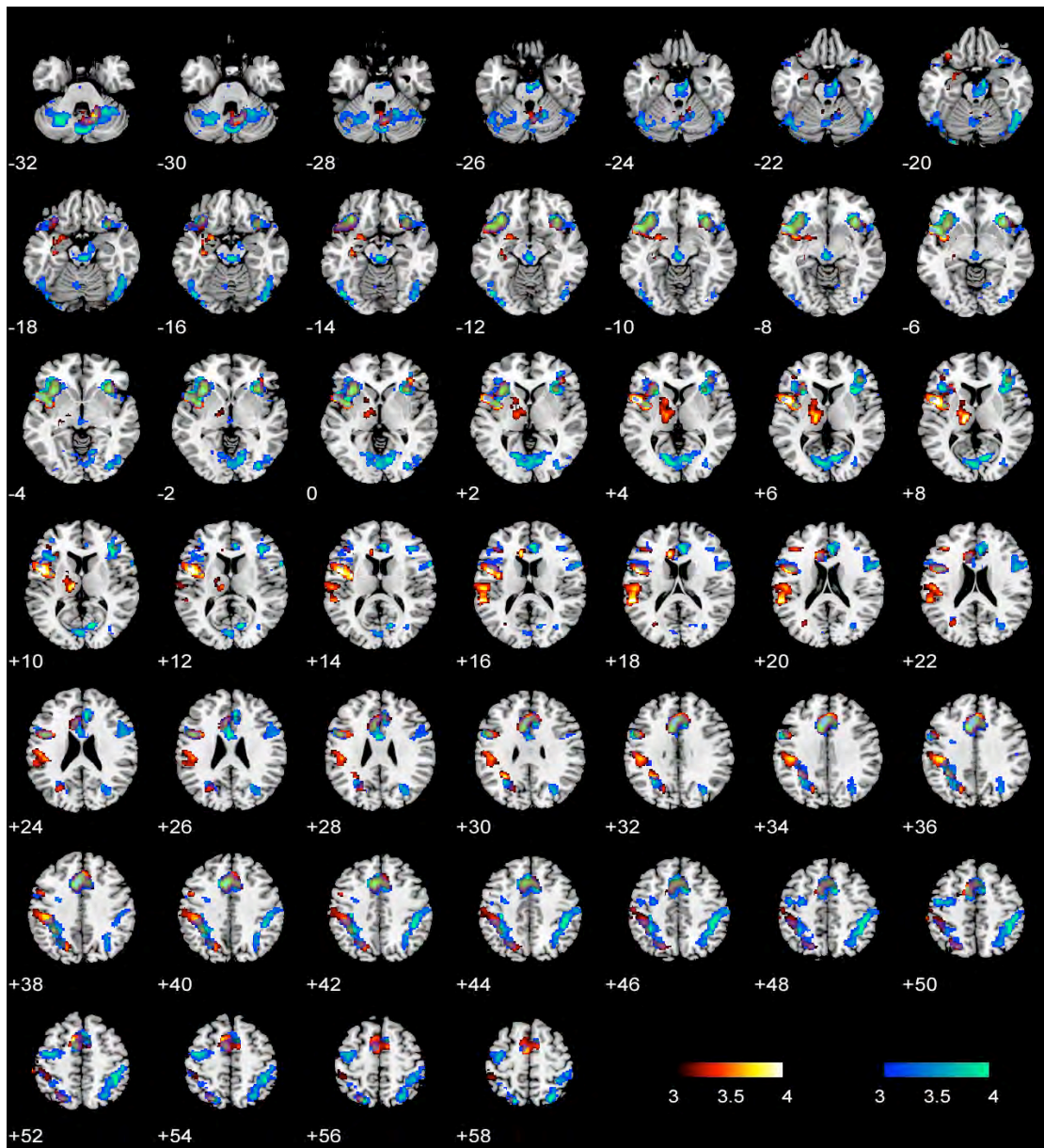


Figura 23. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación dirigida (consciente) del error ortográfico ante palabras correctamente escritas. Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

Las agrupaciones de voxeles activos (*clusters*), de ambos grupos para esta condición durante esta tarea experimental, pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla 5. Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico. Palabras correctamente escritas. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Giro precentral; Giro frontal inferior, pars opercularis	I	22	3,475	4.33	-52	6	4
Planum temporale; Giro supramarginal, división posterior; Giro temporal superior, división posterior	I	22	2,835	4.06	-58	-38	18
Giro cingulado anterior	I	32	2,511	4.25	-4	20	36
Cerebelo	D	-	1,037	3.87	16	-54	-32
Corteza orbitofrontal; Corteza insular	D	47	751	4.00	34	24	-6
Tálamo	I	-	561	4.02	-14	-20	8
<b>BHO</b>							
Giro supramarginal, división posterior; Giro angular; Giro postcentral	D	40	5,825	4.33	42	-44	52
Corteza orbitofrontal, Giro frontal inferior, pars triangularis; Giro frontal inferior, pars opercularis	I	38	3,036	4.57	-48	16	-8
Giro frontal superior	I	32	2,911	4.81	-12	16	42
Corteza insular	D	13	2,287	5.05	32	22	4
Giro supramarginal, división posterior; Giro supramarginal, división anterior; Giro angular	I	40	1,891	4.29	-34	-44	40
Giro fusiforme occipital, Giro temporal inferior, región temporoccipital	I	19	1,503	4.21	-46	-72	-14
Giro lingual	D	23	1,264	4.40	14	-70	8
Giro precentral; Giro frontal medial	I	6	815	4.00	-34	-12	62
<p><i>Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).</i></p>							

Cuando las palabras se presentaron con un error ortográfico de tipo homófono [Figura 24], el grupo BHO presentó nuevamente activaciones bilaterales en la región temporoccipital. Ambos grupos presentaron activaciones bilaterales en regiones frontales superiores e inferiores, aunque nuevamente fue el grupo BHO quien tuvo activaciones mayores. El grupo AHO presentó activaciones temporales mediales y anteriores unilaterales, mientras que el grupo BHO sólo tuvo estas últimas y de manera bilateral. Nuevamente, fue el grupo BHO el único que presentó activaciones bilaterales en

regiones parietales superiores posteriores. Ambos grupos presentaron activaciones cerebelares parecidas.

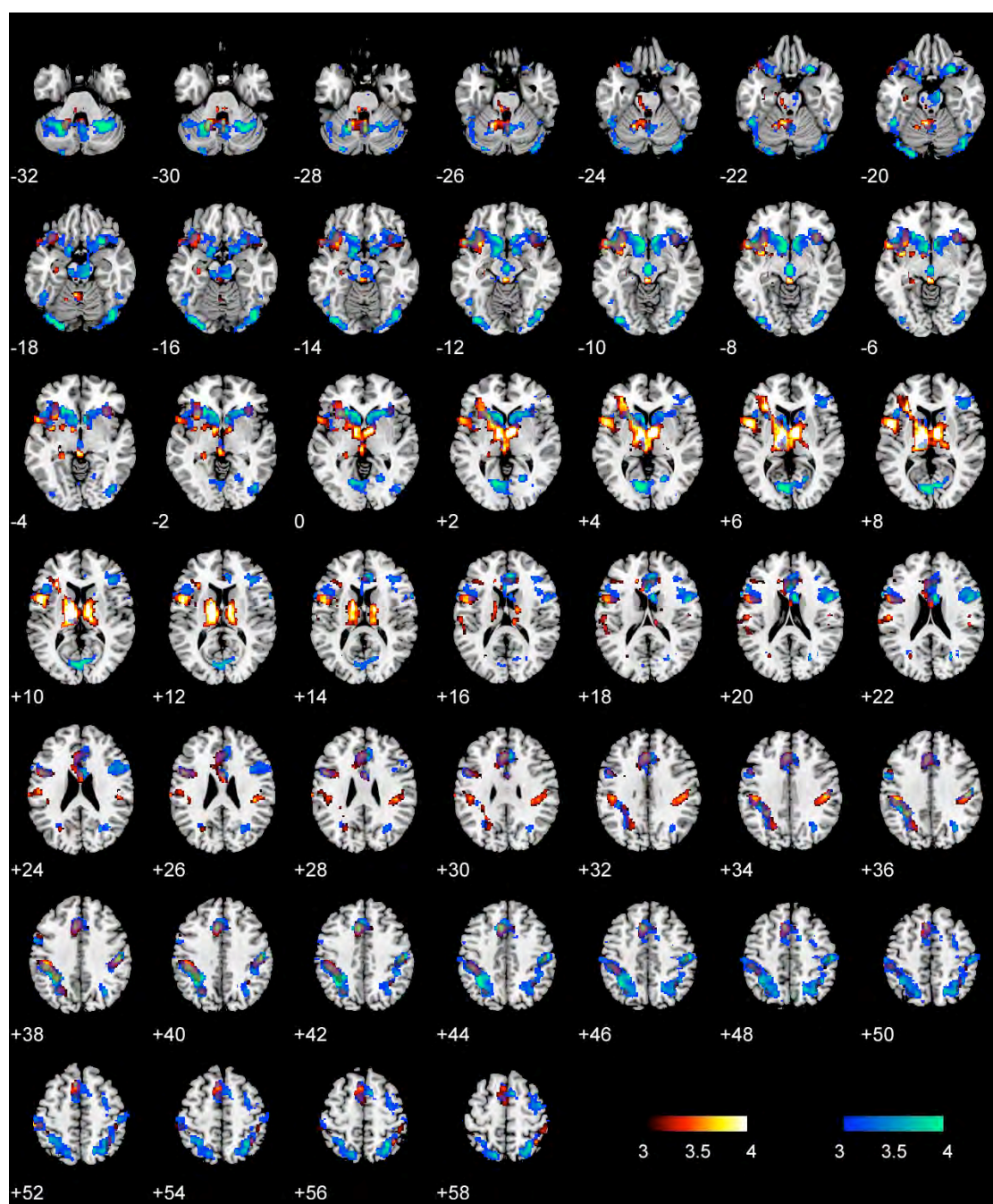


Figura 24. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación dirigida (consciente) del error ortográfico ante palabras con un error ortográfico homófono. Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

Las agrupaciones de voxeles activos (*clusters*), de ambos grupos para esta condición durante esta tarea experimental, pueden observarse en la siguiente tabla:

Tabla 6. Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico. Palabras con error ortográfico de tipo homófono. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Tálamo	D	-	5,975	4.79	10	-2	4
Giro frontal superior	I	6	2,025	3.76	-6	22	52
Giro supramarginal, división anterior; Giro postcentral	I	40	1,643	3.97	-60	-30	50
Cerebelo	I	-	937	4.10	-6	-52	-20
Corteza orbitofrontal, Corteza insular	D	47	476	3.57	34	22	-8
<b>BHO</b>							
Cerebelo	I	-	5,041	4.91	-30	-56	-40
Giro lingual	I	18	3,484	4.27	-10	-76	4
Giro angular; Giro supramarginal, división posterior; Giro supramarginal, división anterior	I	40	2,616	4.28	-34	-54	44
Giro fusiforme occipital	D	19	921	4.32	42	-78	-16
<i>Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).</i>							

### *Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico*

El análisis correspondiente a la instrucción en esta tarea experimental (presencia o ausencia de la letra *i* en las palabras), reveló una mayor activación de regiones cerebrales y un mayor tamaño de éstas por parte del grupo AHO, en comparación con aquellas del grupo BHO. De estas activaciones destacan la región occipitotemporal y temporal inferior izquierdas, las cuales sólo pudieron observarse en el grupo AHO. A pesar de que ambos grupos presentaron activaciones bilaterales en regiones parietales superiores y posteriores, aquellas del grupo AHO destacaron por

tamaño. Ambos grupos presentaron también activaciones bilaterales en regiones frontales mediales e inferiores, nuevamente siendo las del grupo AHO las mayores. En este mismo sentido, ambos grupos presentaron activaciones cerebelares, siendo más evidentes las del grupo AHO.

Las agrupaciones de voxeles activos (*clusters*), de ambos grupos para estas dos condiciones durante esta tarea experimental, pueden observarse en las Tablas 7 y 8, así como en las Figuras 25 y 26.

Tabla 7. Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras con la letra *i*. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Giro precentral; Giro frontal inferior, pars opercularis	I	22	12,187	5.63	-52	8	4
Giro frontal superior	-	6	3,619	4.83	0	14	54
Corteza occipital lateral superior; Giro angular	D	7	3,225	5.14	30	-62	46
Cerebelo	D	-	2,592	4.55	18	-56	-32
Corteza insular; Corteza orbitofrontal	D	47	2,535	4.80	38	18	-8
Corteza fusiforme temporoccipital; Giro fusiforme occipital; Giro temporal inferior, región temporoccipital; Corteza occipital lateral inferior	I	19	2,301	4.58	-44	-62	-24
<b>BHO</b>							
Corteza insular; Corteza orbitofrontal	I	47	3,441	5.03	-34	22	-2
Giro postcentral; Giro supramarginal, división anterior	I	2	2,475	4.64	-52	-22	36
Giro cingulado anterior	I	9	1,775	3.81	-2	42	20
Corteza orbitofrontal	D	47	1,209	4.50	32	30	-8
Giro supramarginal, división posterior; Giro angular; Giro supramarginal, división anterior; Giro postcentral	D	40	748	4.68	48	-40	48
<p><i>Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).</i></p>							



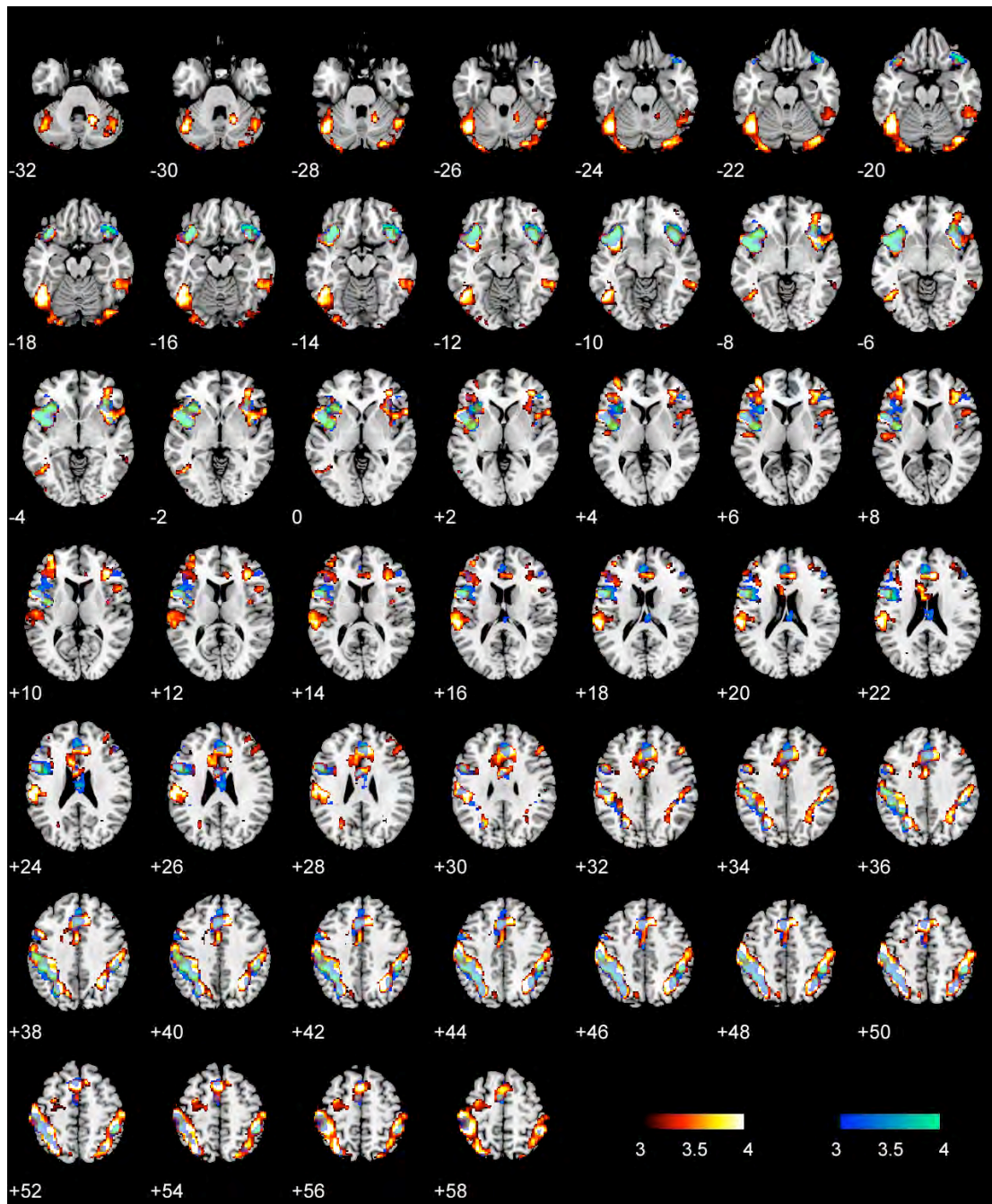


Figura 25. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico ante palabras con la letra *i*. Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

Tabla 8. Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras sin la letra *i*. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Giro supramarginal, división posterior; Giro angular; Giro postcentral; Giro supramarginal, división anterior	D	40	5,979	5.24	48	-40	58
Giro precentral; Giro frontal inferior, pars opercularis	I	44	5,659	5.25	-52	6	6
Corteza occipital lateral superior; Giro angular; Giro supramarginal, división posterior	I	7	4,727	5.13	-32	-62	50
Giro cingulado anterior	D	32	4,312	4.99	6	20	38
Corteza insular	D	47	3,043	4.52	34	18	-2
Giro temporal inferior, región temporoccipital; Corteza fusiforme temporoccipital; Corteza occipital lateral inferior; Giro fusiforme occipital	I	37	2,261	4.97	-46	-56	-12
Cerebelo	D	-	1,666	4.34	24	-60	-42
<b>BHO</b>							
Cerebelo	I	-	2,910	4.12	-2	-66	-32
Giro frontal inferior, pars opercularis; Giro precentral	I	45	2,544	4.52	-60	12	20
Giro cingulado anterior	I	9	1,780	4.14	-2	40	20
Giro angular; Corteza occipital lateral superior; Giro supramarginal, división posterior	D	40	1,295	3.90	34	-54	42
Giro postcentral; Planum Temporale; Giro temporal superior, división posterior; Giro supramarginal, división anterior	I	43	529	3.80	-64	-16	14
<p><i>Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).</i></p>							

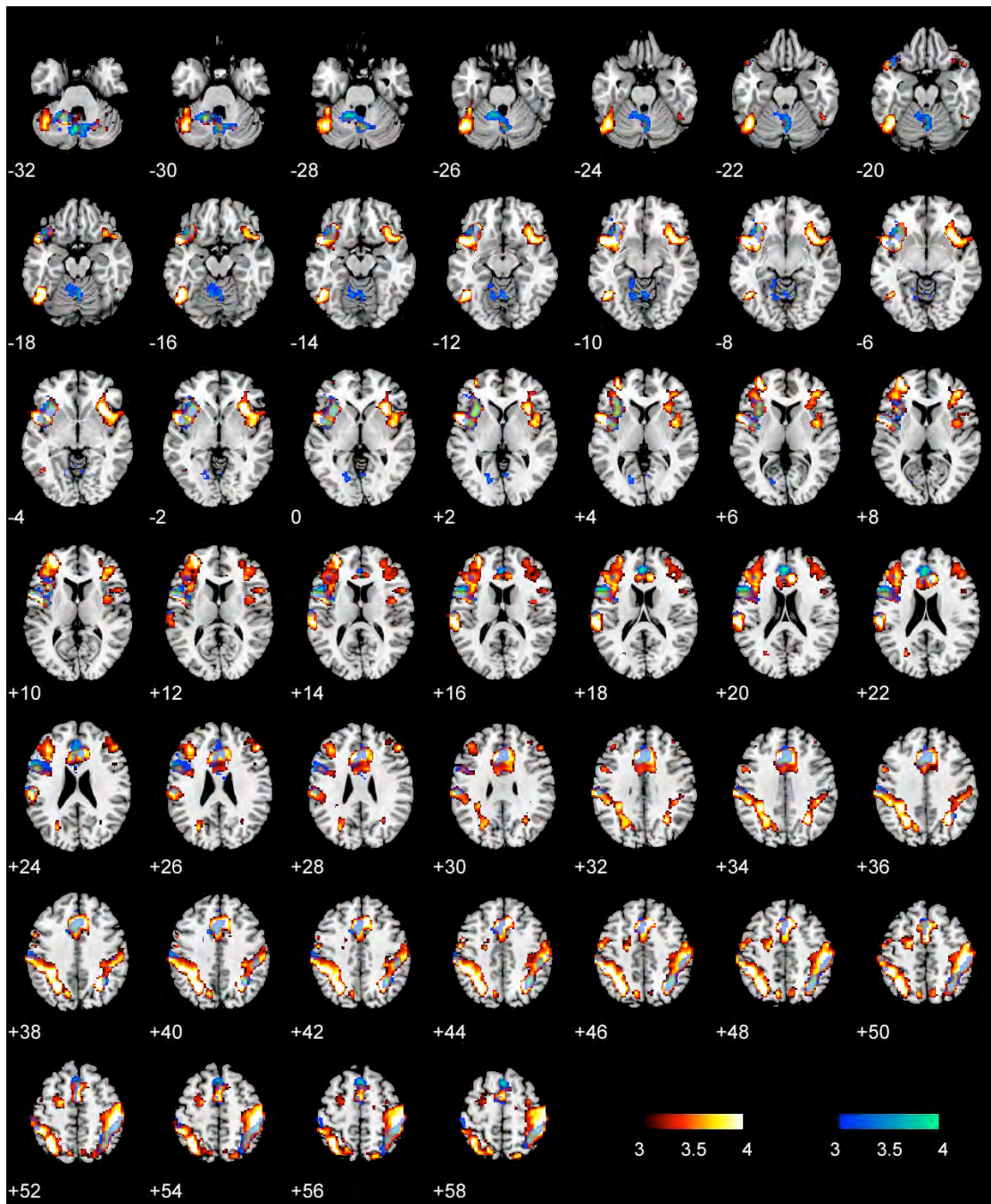


Figura 26. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico ante palabras sin la letra *i*. Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

El segundo análisis de esta tarea experimental se enfocó en las palabras correctamente escritas y en las palabras con un error

ortográfico homófono, independientemente de la instrucción de la tarea (presencia o ausencia de la letra *i* en las palabras).

Al detectar palabras correctamente escritas [Figura 27], nuevamente se observó una mayor activación de regiones cerebrales y un mayor tamaño de éstas por parte del grupo AHO, en comparación con aquellas del grupo BHO. Se observó únicamente en el grupo AHO, una gran activación unilateral izquierda en regiones temporoccipitales. En regiones temporales inferiores, mediales y superiores, se observaron en ambos grupos activaciones unilaterales izquierdas. De igual forma que en el análisis anterior, el grupo AHO presentó grandes activaciones en regiones parietales superiores y posteriores. En regiones frontales inferiores y mediales, ambos grupos presentaron activaciones bilaterales, siendo más evidentes aquellas del grupo AHO. En esta condición experimental, únicamente el grupo AHO presentó activaciones cerebelares. Las agrupaciones de voxels activos (*clusters*), de ambos grupos para esta condición pueden observarse en la Tabla 9.

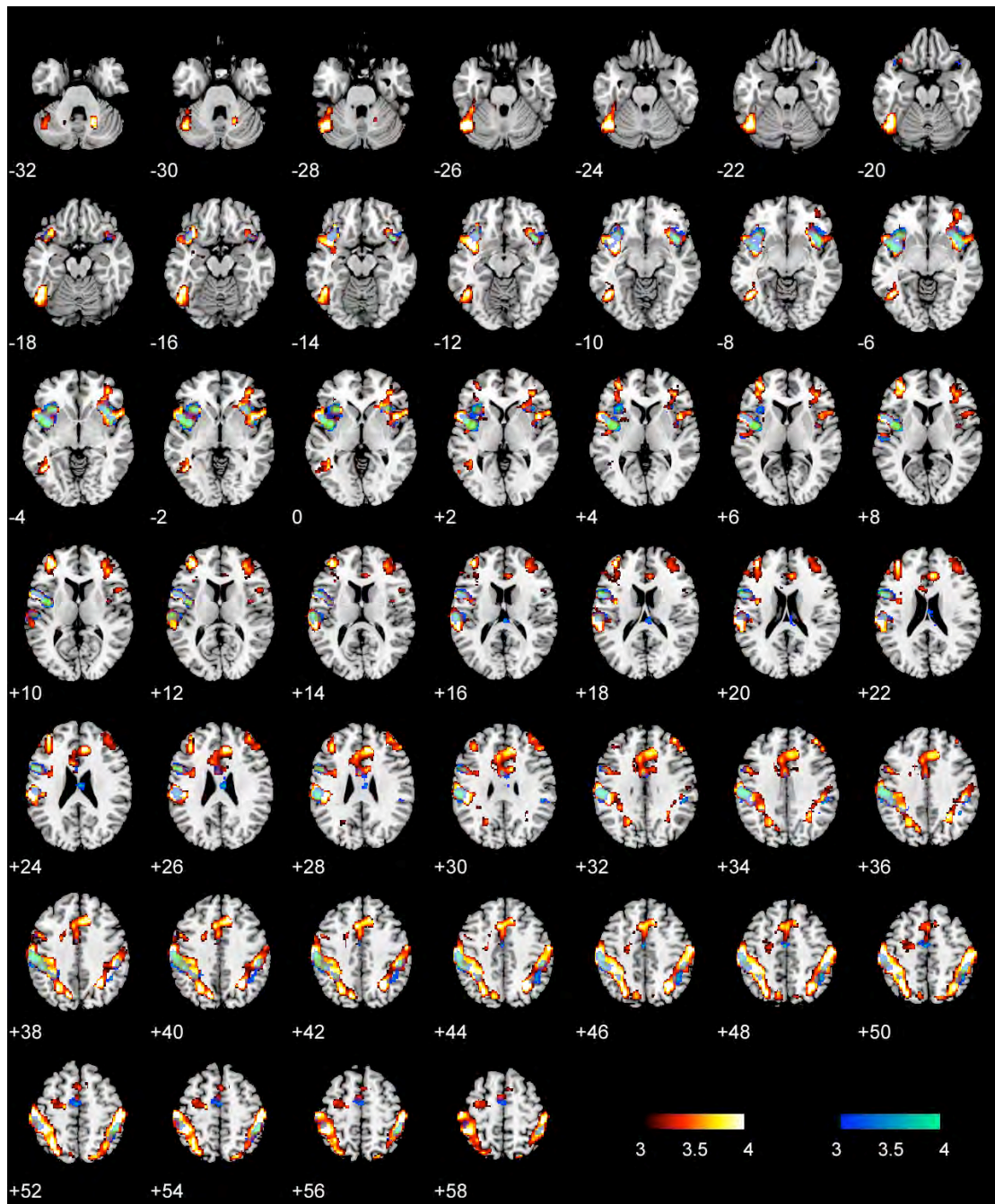


Figura 27. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico ante palabras correctamente escritas. Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

Tabla 9. Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras correctamente escritas. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Giro precentral; Giro frontal inferior, pars opercularis	I	44	13,020	5.38	-52	6	6
Corteza occipital lateral superior; Lóbulo parietal superior; Giro angular	D	7	3,236	4.87	30	-58	44
Corteza insular	D	13	2,880	4.75	36	14	-6
Corteza fusiforme temporoccipital; Corteza occipital lateral inferior; Giro temporal inferior, región temporoccipital	I	37	1,913	4.71	-48	-62	-26
Polo frontal	I	10	1,020	4.38	-32	48	10
Cerebelo	D	-	669	4.53	20	-54	-34
<b>BHO</b>							
Corteza insular	I	13	2,272	5.07	-42	0	2
Giro supramarginal, división anterior; Giro postcentral	I	40	1,781	4.52	-56	-26	34
Corteza insular; Corteza orbitofrontal	D	47	673	4.65	38	16	-10
Giro supramarginal, división posterior; Giro angular; Giro postcentral; Giro supramarginal, división anterior	D	40	671	4.37	48	-40	52
Giro cingulado anterior; Giro precentral; Giro singulado posterior	I	6	608	3.81	-2	-8	48
<i>Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).</i>							

Al detectar palabras con un error ortográfico homófono [Figura 28], se observaron activaciones temporales posteriores o temporoccipitales bilaterales únicamente en el grupo AHO, mientras que el grupo BHO tuvo una activación unilateral izquierda en esta región. Se observó también, únicamente en el grupo AHO, una activación unilateral izquierda en la región temporal medial. Ambos grupos presentaron activaciones bilaterales en regiones parietales superiores y posteriores, al igual que en regiones frontales inferiores, mediales y superiores; estas activaciones fueron mayores en el grupo AHO. Ambos grupos también presentaron activaciones cerebelares ante esta condición, siendo mayores las del grupo AHO.

Las agrupaciones de voxeles activos (*clusters*), de ambos grupos para esta condición pueden observarse en la Tabla 10.

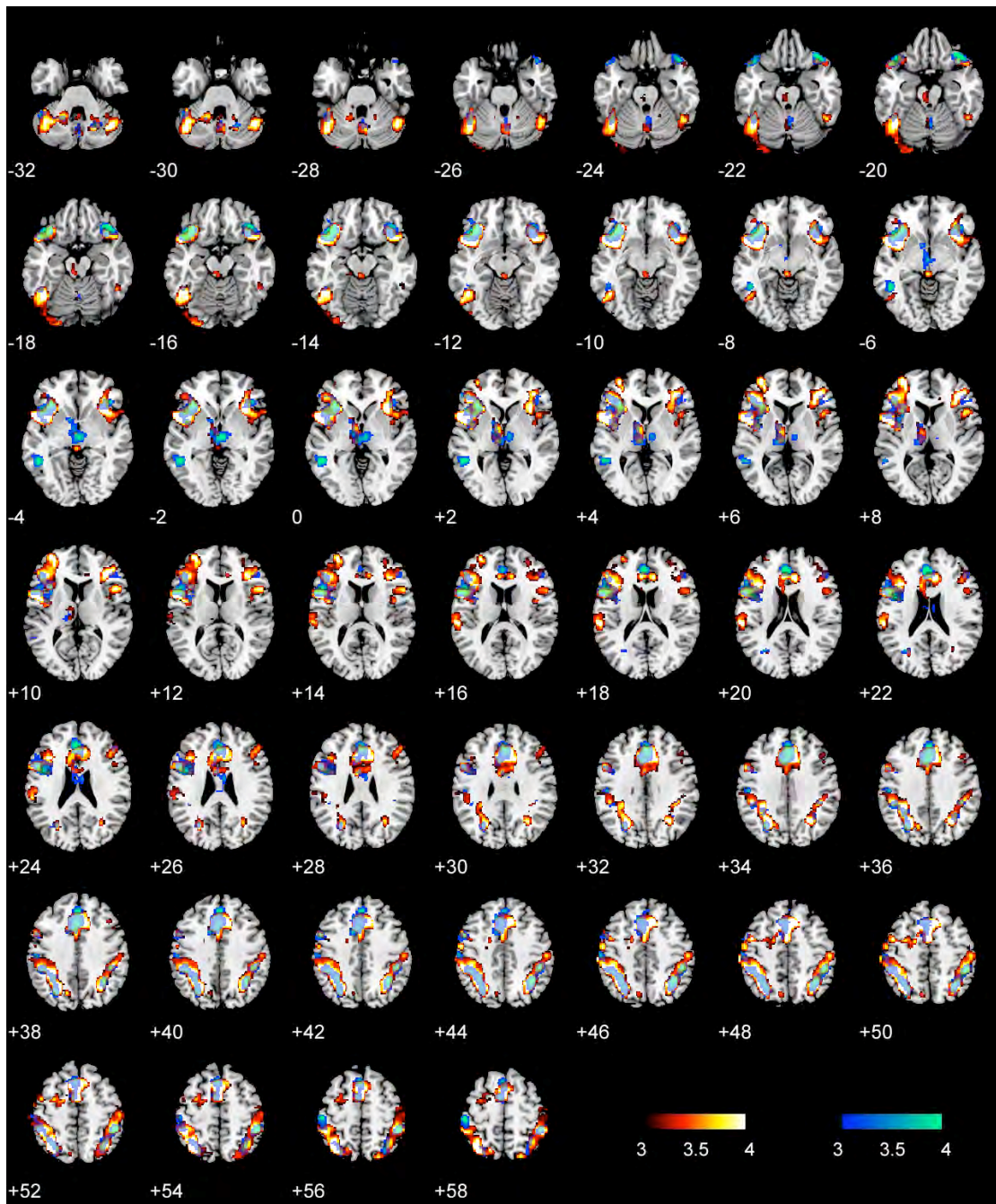


Figura 28. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico ante palabras con error ortográfico homófono. Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

Tabla 10. Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras con error ortográfico homófono. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Giro precentral; Giro frontal inferior, pars opercularis	I	22	10,863	5.60	-52	6	4
Corteza occipital lateral superior; Giro angular; Giro supramarginal, división anterior	I	7	4,608	5.58	-32	-60	50
Giro supramarginal, división posterior; Giro angular; Giro postcentral; Giro supramarginal, división anterior	D	40	3,312	4.96	48	-42	58
Corteza insular	D	47	3,059	4.67	38	16	-12
Cerebelo	D	-	2,873	4.53	30	-64	-36
Giro temporal inferior, región temporoccipital; Corteza fusiforme temporoccipital; Corteza lateral occipital inferior; Giro fusiforme occipital	I	37	2,403	4.43	-46	-56	-12
<b>BHO</b>							
Giro frontal inferior, pars opercularis; Giro precentral	I	44	3,468	4.71	-58	12	16
Giro cíngulo anterior	I	32	2,458	4.50	-2	36	22
Giro postcentral	I	2	1,814	4.37	-52	-26	58
Cerebelo	I	-	1,480	4.02	-28	-66	-40
Giro supramarginal, división posterior; Giro angular; Giro postcentral; Giro supramarginal, división anterior	D	40	1,141	4.72	48	-40	54
Corteza orbitofrontal	D	47	1,013	4.37	38	30	-18
Tálamo	D	-	766	4.16	2	-16	-2
Giro temporal medial, región temporoccipital; Giro temporal medial, región posterior; Giro angular; Giro temporal superior, división posterior; Giro supramarginal, división posterior	I	22	582	4.36	-52	-46	0
<p><i>Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).</i></p>							



### *Identificación de rostros con expresión emocional neutra*

Habiendo realizado los análisis conductuales de esta tarea experimental, y habiendo observado que no se presentaron diferencias significativas entre los grupos y entre los niveles del factor *rostros masculinos y femeninos*, se optó por realizar el análisis de neuroimagen de cerebro completo de forma general para los rostros humanos. El único objetivo de la aplicación de esta tarea experimental, fue el de corroborar que no hubiera grandes diferencias entre los grupos en las primeras etapas del procesamiento de rostros humanos. Con el objetivo de igualar esta tarea experimental con las dos anteriormente descritas, se optó por tener también dos posibles respuestas por parte de los sujetos e igualar así las activaciones cerebrales relacionadas con el procesamiento motor.

Al detectar rostros de manera general [Figura 29], se observaron activaciones bilaterales en la región temporoccipital por parte de ambos grupos, siendo mucho mayores en el hemisferio izquierdo. El grupo BHO presentó activaciones bilaterales en regiones frontales inferiores, mientras que el grupo AHO presentó activaciones unilaterales en el hemisferio derecho en regiones frontales mediales y superiores. Las agrupaciones de voxels activos (*clusters*), de ambos grupos para esta tarea experimental pueden observarse en la Tabla 11.

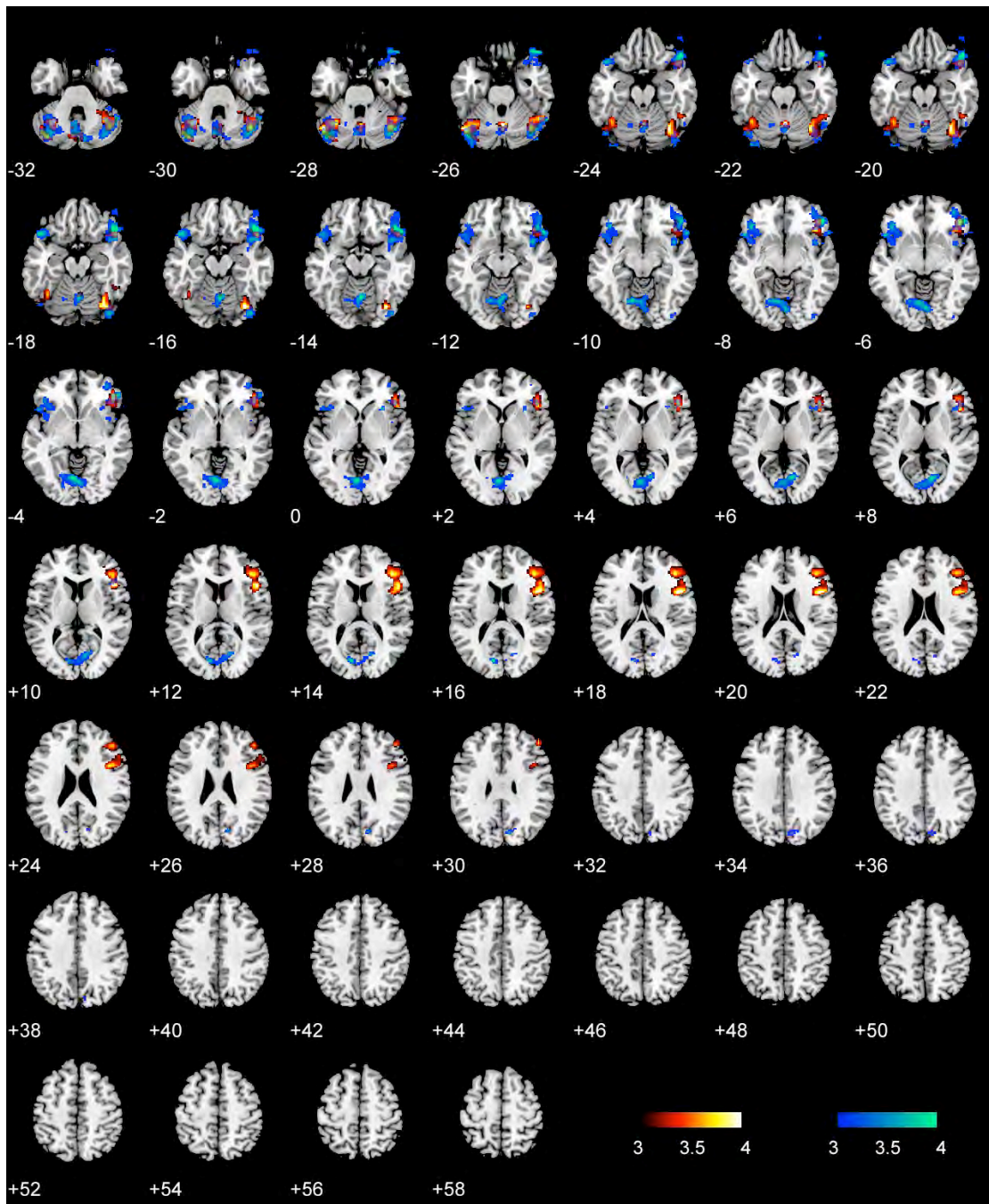


Figura 29. Neuroimagen funcional de cerebro completo en la identificación de rostros humanos con expresión emocional neutra (rostros en general). Vista neurológica (Izq-Der). Los números negativos y positivos en las imágenes representan la altura de los cortes cerebrales en el eje z (inferior a superior). Los colores rojo a blanco representan la activación estadística (Z) del grupo AHO; los colores azul a verde representan la activación estadística (Z) del grupo BHO.

Tabla 11. Identificación de rostros con expresión emocional neutra. Rostros en general. Activaciones estadísticas por región anatómica, hemisferio y Área de Brodmann aproximada.

GRUPO Región anatómica	ID	AB	Cluster	Zmax	MNI		
					x	y	z
<b>AHO</b>							
Giro frontal inferior, pars opercularis; Giro precentral	D	44	1,883	4.31	48	10	18
Cerebelo	D	-	1,294	4.55	36	-54	-36
Giro fusiforme occipital; Corteza fusiforme temporoccipital	I	37	920	4.01	-48	-66	-26
Cerebelo	-	-	655	4.24	0	-60	-22
<b>BHO</b>							
Giro fusiforme occipital	I	37	4,981	4.48	-44	-72	-28
Giro frontal inferior, pars triangularis; Corteza orbitofrontal	D	47	1,685	4.29	50	36	-6
Cerebelo	D	-	1,289	4.19	42	-64	-28
Corteza orbitofrontal	I	38	718	3.95	-48	20	-18
Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Área de Brodmann aproximada (AB). Estadístico Z máximo (Zmax) y coordenadas correspondientes de acuerdo con el Instituto Neurológico de Montreal (MNI) en los tres ejes (x, y, z).							

## NEUROIMAGEN FUNCIONAL, REGIONES DE INTERÉS (ROI)

Como se mencionó en el apartado *Diseño experimental y análisis estadístico*, a partir de los contrastes entre los grupos de neuroimagen funcional a nivel de cerebro completo (AHO > BHO; BHO > AHO), se identificaron ROI para el factor ortografía (palabra correctamente escrita y con error ortográfico homófono) en las tareas de identificación dirigida y no dirigida del error ortográfico. Los listados completos de las ROI pueden observarse en cada uno de los apartados siguientes.

### *Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico*

Durante la percepción y el procesamiento de palabras correctamente escritas, se identificaron ocho agrupaciones de voxels activos a partir de los contrastes entre grupos [Tabla 12] y

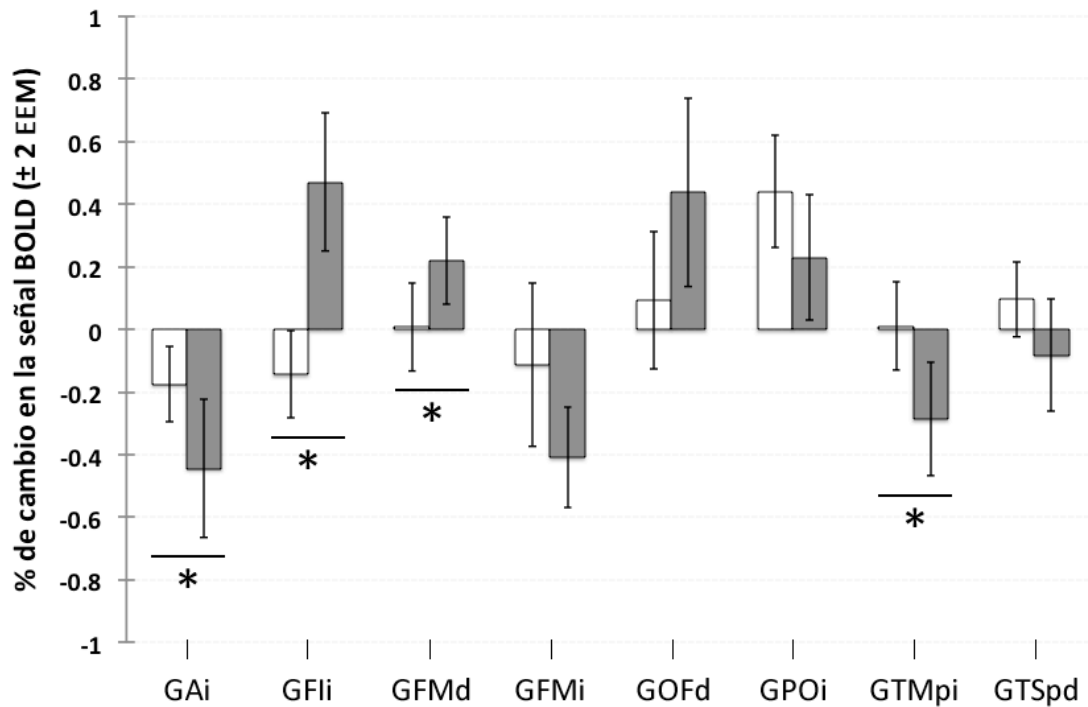
se realizaron comparaciones entre los grupos de acuerdo con el porcentaje promedio de cambio en la señal BOLD [Gráfica 4].

Tabla 12. Regiones de interés (ROI) a partir de los contrastes grupales en la tarea de Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico. Palabras correctamente escritas. Agrupaciones de voxels a partir del pico de activación del cluster de acuerdo con las coordenadas MNI; formación de esferas a partir de las coordenadas de voxel.

CONTRASTE Región anatómica	ID	ABRV	MNI			VOXEL		
			x	y	z	x	y	z
<b>AHO &gt; BHO</b>								
Giro angular	I	GAi	-50	-60	32	70	33	52
Giro frontal medial	I	GFMi	-36	34	44	63	80	58
Giro postcentral	I	GPOi	-62	-16	18	76	55	45
Giro temporal medial posterior	I	GTMPi	-66	-40	-10	78	43	31
Giro temporal superior posterior	D	GTSpd	66	-38	16	12	44	44
<b>BHO &gt; AHO</b>								
Giro frontal inferior	I	GFli	-44	20	12	67	73	42
Giro frontal medial	D	GFMD	36	0	44	27	63	58
Giro occipital fusiforme	D	GOFd	44	-80	-18	23	23	27

*Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Abreviatura de la ROI (ABRV). Ubicación de la ROI según coordenadas del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) y del espacio en voxels (VOXEL) en los tres ejes (x, y, z).*

Se encontró una interacción significativa entre los factores *Grupo* y *ROI* [ $F(1,7)=4.909$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.154$ ]. El cambio en la señal hemodinámica fue mayor para el grupo BHO en todas las regiones, a excepción del giro postcentral. Las comparaciones a posteriori revelaron que las diferencias entre los grupos sólo fueron significativas ( $p<0.05$ ) en regiones correspondientes a los giros angular, frontal inferior y temporal medial del hemisferio izquierdo, así como en la correspondiente al giro frontal medial del hemisferio derecho.



Gráfica 4. Porcentaje de cambio en la señal hemodinámica en la identificación dirigida (consciente) del error ortográfico. Palabras correctamente escritas. Regiones de interés esféricas obtenidas a partir de los contrastes grupales. Abreviaturas descritas en la Tabla 12. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM). \*  $p < 0.05$ .

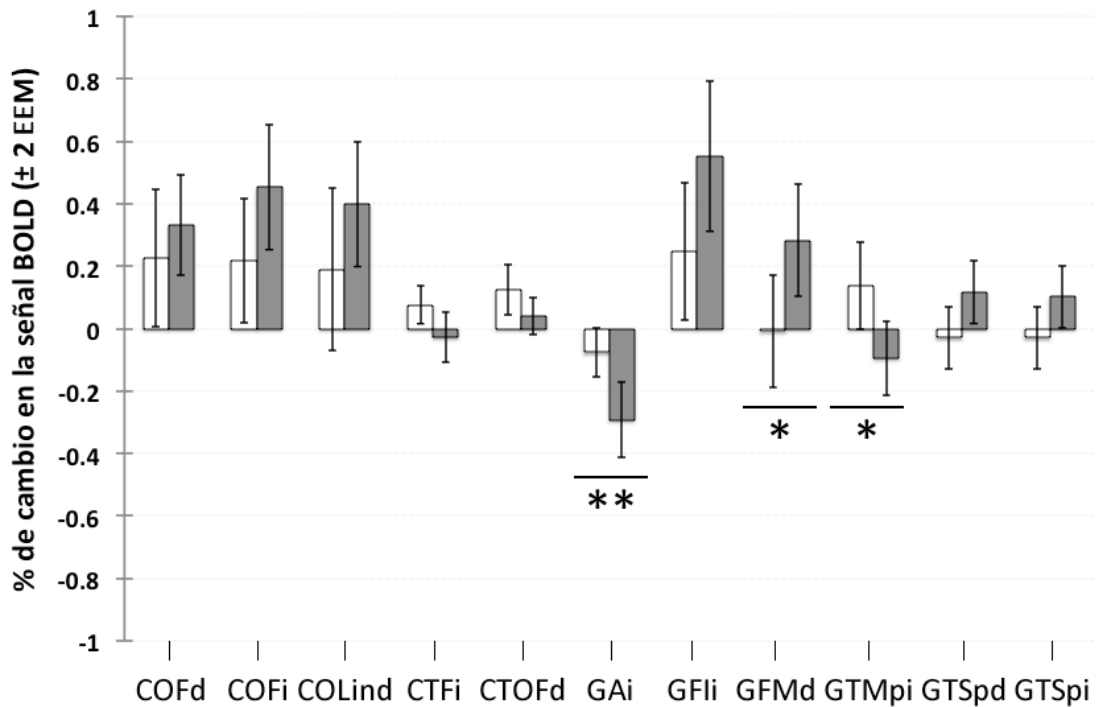
Por otra parte, cuando los participantes tuvieron que identificar y procesar palabras con un error ortográfico homófono, se identificaron once agrupaciones de voxels activos a partir de los contrastes entre grupos [Tabla 13] y se realizaron comparaciones entre los grupos de acuerdo con el porcentaje promedio de cambio en la señal BOLD [Gráfica 5].

Tabla 13. Regiones de interés (ROI) a partir de los contrastes grupales en la tarea de Identificación dirigida (consciente) del error ortográfico. Palabras con error ortográfico homófono. Agrupaciones de voxels a partir del pico de activación del cluster de acuerdo con las coordenadas MNI; formación de esferas a partir de las coordenadas de voxel.

CONTRASTE Región anatómica	ID	ABRV	MNI			VOXEL		
			x	y	z	x	y	z
<b>AHO &gt; BHO</b>								
Corteza temporal fusiforme	I	CTFi	-36	-30	-18	63	48	27
Corteza temporoccipital fusiforme	D	CTOFd	42	-44	-18	24	41	27
Giro angular	I	GAi	-42	-62	26	66	32	49
Giro temporal medial posterior	I	GTMpi	-66	-28	-6	78	49	33
<b>BHO &gt; AHO</b>								
Corteza orbitofrontal	D	COFd	12	8	-16	39	67	28
Corteza orbitofrontal	I	COFi	-14	8	-16	52	67	28
Corteza occipital lateral inferior	D	COLind	42	-82	-16	24	22	28
Giro frontal inferior	I	GFii	-44	18	14	67	72	43
Giro frontal medial	D	GFMd	40	6	50	25	66	61
Giro temporal superior posterior	D	GTSpd	56	-36	10	17	45	41
Giro temporal superior posterior	I	GTSpi	-64	-34	8	77	46	40

*Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Abreviatura de la ROI (ABRV). Ubicación de la ROI según coordenadas del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) y del espacio en voxels (VOXEL) en los tres ejes (x, y, z).*

A partir del análisis de varianza, se encontró una interacción significativa entre los factores *Grupo* y *ROI* [ $F(1,10)=4.382$ ,  $p<0.01$ ,  $\eta^2=0.140$ ]. Aunque nuevamente el cambio en la señal hemodinámica fue mayor para el grupo BHO en todas las regiones, las comparaciones a posteriori revelaron diferencias significativas entre los grupos sólo en la región parietal (giro angular,  $p<0.01$ ) y en regiones temporales mediales y frontales mediales (giros temporal medial posterior y frontal medial, respectivamente;  $p<0.05$ ).



Gráfica 5. Porcentaje de cambio en la señal hemodinámica en la identificación dirigida (consciente) del error ortográfico. Palabras con error ortográfico homófono. Regiones de interés esféricas obtenidas a partir de los contrastes grupales. Abreviaturas descritas en la Tabla 13. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM). \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

### *Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico*

Durante la percepción y el procesamiento de palabras correctamente escritas, independientemente de las condiciones experimentales de acuerdo con la instrucción de la tarea (presencia o ausencia de *i*), se identificaron seis agrupaciones de voxeles activos a partir de los contrastes entre grupos [Tabla 14] y se realizaron comparaciones entre ellos de acuerdo con el porcentaje promedio de cambio en la señal BOLD [Gráfica 6].

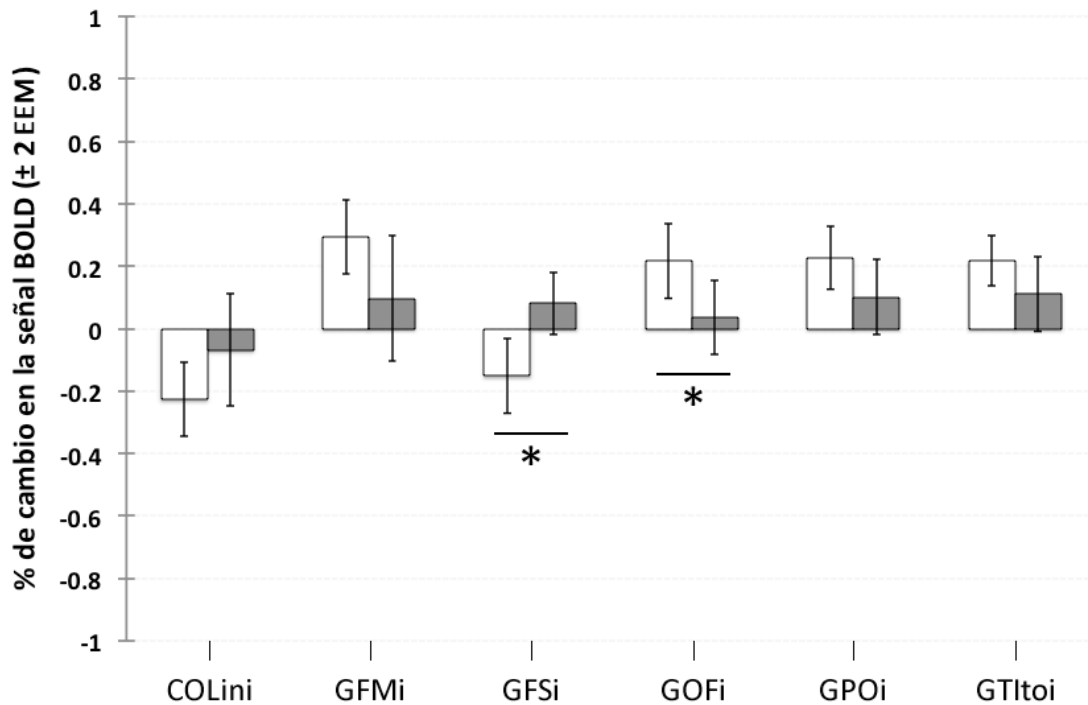
Tabla 14. Regiones de interés (ROI) a partir de los contrastes grupales en la tarea de Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras correctamente escritas. Agrupaciones de voxels a partir del pico de activación del cluster de acuerdo con las coordenadas MNI; formación de esferas a partir de las coordenadas de voxel.

CONTRASTE Región anatómica	ID	ABRV	MNI			VOXEL		
			x	y	z	x	y	z
<b>AHO &gt; BHO</b>								
Giro frontal medial	I	GFMi	-36	42	22	63	84	47
Giro occipital fusiforme	I	GOFi	-34	-76	-16	62	25	28
Giro postcentral	I	GPOi	-36	-26	38	63	50	55
Giro temporal inferior temporooccipital	I	GTItoi	-44	-58	-6	67	34	33
<b>BHO &gt; AHO</b>								
Corteza occipital lateral inferior	I	COLini	-54	-70	20	72	28	46
Giro frontal superior	I	GFSi	-8	46	20	49	86	46

*Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Abreviatura de la ROI (ABRV). Ubicación de la ROI según coordenadas del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) y del espacio en voxels (VOXEL) en los tres ejes (x, y, z).*

A partir de la comparación entre las medias grupales, se encontró una interacción significativa entre los factores *Grupo* y *ROI* [ $F(1,5)=6.370$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.191$ ]. A diferencia del análisis realizado en la tarea experimental anterior, el cambio en la señal hemodinámica fue mayor para el grupo AHO en todas las regiones. Las comparaciones a posteriori revelaron que las diferencias entre los grupos sólo fueron significativas ( $p<0.05$ ) en regiones correspondientes a los giros frontal superior y occipital fusiforme.





Gráfica 6. Porcentaje de cambio en la señal hemodinámica en la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras correctamente escritas. Regiones de interés esféricas obtenidas a partir de los contrastes grupales. Abreviaturas descritas en la Tabla 14. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM). \*  $p < 0.05$ .

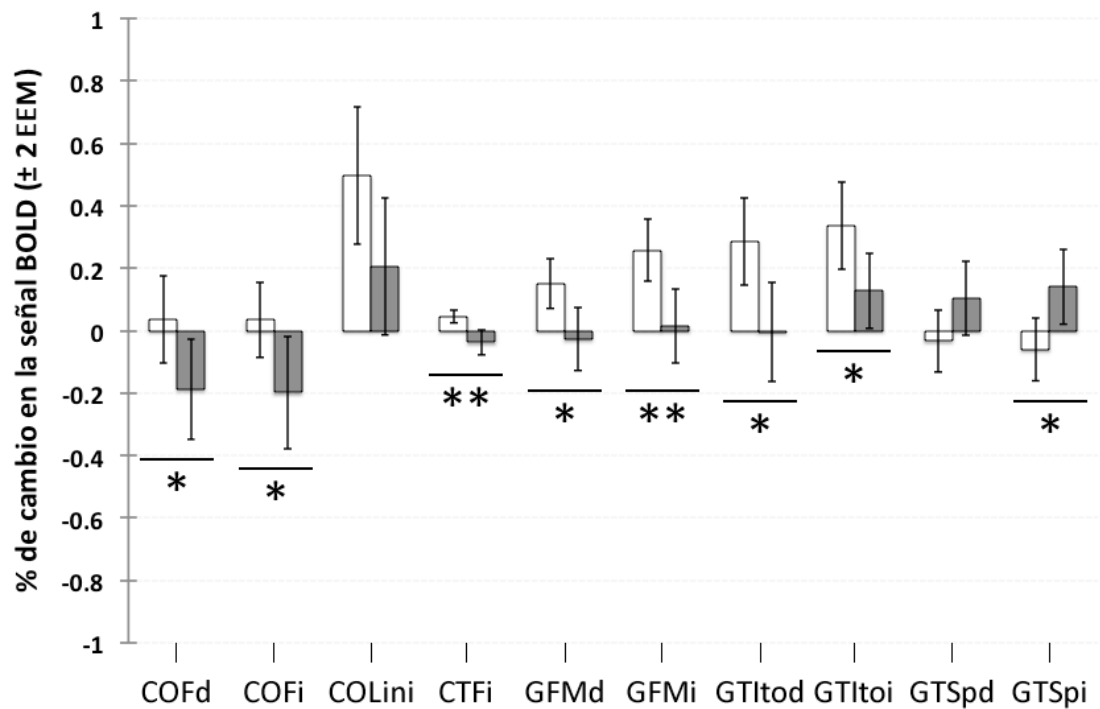
Por último, cuando los participantes tuvieron que identificar y procesar palabras con un error ortográfico homófono, sin importar las condiciones experimentales conforme a la instrucción de la tarea (presencia o ausencia de *i*), se identificaron diez agrupaciones de voxeles activos a partir de los contrastes entre grupos [Tabla 15] y se realizaron comparaciones entre los grupos de acuerdo con el porcentaje promedio de cambio en la señal BOLD [Gráfica 7].

Tabla 15. Regiones de interés (ROI) a partir de los contrastes grupales en la tarea de Identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras con error ortográfico homófono. Agrupaciones de voxels a partir del pico de activación del cluster de acuerdo con las coordenadas MNI; formación de esferas a partir de las coordenadas de voxel.

CONTRASTE Región anatómica	ID	ABRV	MNI			VOXEL		
			x	y	z	x	y	z
<b>AHO &gt; BHO</b>								
Corteza orbitofrontal	D	COFd	16	36	-18	37	81	27
Corteza orbitofrontal	I	COFi	-20	36	-18	55	81	27
Corteza occipital lateral inferior	I	COLini	-56	-66	-14	73	30	29
Corteza temporal fusiforme	I	CTFi	-34	-32	-16	62	47	28
Giro frontal medial	D	GFMd	30	34	18	30	80	45
Giro frontal medial	I	GFMi	-34	40	14	62	83	43
Giro temporal inferior temporoccipital	D	GTItod	64	-46	-12	13	40	30
Giro temporal inferior temporoccipital	I	GTItoi	-52	-62	-8	71	32	32
<b>BHO &gt; AHO</b>								
Giro temporal superior posterior	D	GTSpd	54	-34	0	18	46	40
Giro temporal superior posterior	I	GTSpi	-50	-34	8	70	46	36

*Nota: Altas habilidades ortográficas (AHO); bajas habilidades ortográficas (BHO). Hemisferio izquierdo o derecho (ID), Abreviatura de la ROI (ABRV). Ubicación de la ROI según coordenadas del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) y del espacio en voxels (VOXEL) en los tres ejes (x, y, z).*

El análisis de medias entre los grupos, correspondiente a esta condición en la tarea experimental, reveló nuevamente una interacción significativa entre los factores *Grupo* y *ROI* [ $F(1,9)=4.849$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.152$ ]. El cambio en la señal hemodinámica fue mayor para el grupo AHO en todas las regiones, a excepción de las regiones temporales superiores bilaterales. Las comparaciones a posteriori revelaron que las diferencias entre los grupos fueron significativas en regiones frontales: corteza orbitofrontal bilateral ( $p<0.05$ ), giro frontal medial derecho e izquierdo ( $p<0.05$  y  $p<0.01$ , respectivamente); y en regiones temporales: giro temporal superior posterior ( $p<0.05$ ), giro temporal inferior temporoccipital bilateral ( $p<0.05$ ) y corteza temporal fusiforme ( $p<0.01$ ).



Gráfica 7. Porcentaje de cambio en la señal hemodinámica en la identificación no dirigida (inconsciente) del error ortográfico. Palabras con error ortográfico homófono. Regiones de interés esféricas obtenidas a partir de los contrastes grupales. Abreviaturas descritas en la Tabla 15. Grupo de altas habilidades ortográficas (AHO; barras blancas) y grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO; barras grises). Las marcas de dispersión indican dos errores estándar de la media (EEM). \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

## 9. DISCUSIÓN

El objetivo principal de la presente investigación fue el de comparar a dos grupos de adultos jóvenes formados a partir de su conocimiento ortográfico, de acuerdo con su ejecución en tareas en las que se presentaron palabras correctamente escritas, y palabras que se presentaron con un error ortográfico de tipo homófono. De igual forma, comparar la activación metabólica (cambios en la señal hemodinámica en el tiempo) de regiones cerebrales reportadas como participantes en los sistemas relacionados con el procesamiento lector.

Considerando lo anterior, otro objetivo fue el de corroborar que las diferencias entre los grupos, si las hubiera, no se debieran a deficiencias perceptuales básicas. Para esto, se aplicó una tarea experimental que evaluó la percepción general de rostros humanos, tomando en consideración que las regiones cerebrales que en un inicio participan en este reconocimiento son contralaterales a aquellas que participan en un inicio durante el reconocimiento de palabras.

La inmensa mayoría de investigaciones relacionadas con el tema de la lectura, han evaluado el procesamiento en niños o adultos diagnosticados con deficiencias lectoras, particularmente dislexia (p. ej. Shaywitz et al., 1998; Shaywitz et al., 2002; Temple et al., 2001). En la presente investigación, fue nuestra intención el evaluar el procesamiento cerebral involucrado en la lectura en sujetos que mostraran un desempeño lector eficiente y en sujetos que, a pesar de mostrar un desempeño lector más bajo en comparación con el otro grupo, fueran completamente funcionales en su ámbito escolar (estudiantes activos del último año de bachillerato o principios de una carrera universitaria, al momento de

las evaluaciones). En este sentido, son relativamente pocas aquellas investigaciones que se han enfocado al procesamiento lector eficiente (Sandak, Mencl, Frost & Pugh, 2004). Por otra parte, sólo tenemos conocimiento de una investigación (Gebauer et al., 2012) en la que se ha estudiado el procesamiento cerebral entre individuos con distinto nivel de conocimiento ortográfico y su posible efecto sobre la lectura.

Otro elemento que se cuidó en la presente investigación, fue el tipo de estímulos empleado en las distintas tareas experimentales. De manera general, se emplearon en su gran mayoría palabras en español que pudieran tener una sola posibilidad de error ortográfico de tipo homófono, sin incluir en este sentido todas aquellas palabras que inicien con una vocal y que al agregar al inicio la letra h, formen un pseudohomófono. De igual forma, todas las palabras empleadas en la presente investigación fueron obtenidas del análisis de textos escolares empleados por la Secretaría de Educación Pública de México (SEP), y sobre a las cuales creemos que todos los participantes fueron alguna vez expuestos. En contraparte, la gran mayoría de investigaciones realizadas en español han obtenido los estímulos a partir de grandes diccionarios de frecuencias que fueron formados por textos a los cuales creemos que muchos sujetos no fueron expuestos (Carreiras, Perea, Vergara & Pollatsek, 2009; Carreiras, Vergara & Perea, 2009).

En cuanto a la formación de los grupos, ya han sido publicados o se encuentran en proceso de publicación, distintos trabajos que han empleado el método para la obtención de la muestra utilizado en la presente investigación (González-Garrido, Gómez-Velázquez & Rodríguez-Santillán, 2013; González-Garrido, Gómez-Velázquez, Zarabozo-Hurtado & Zarabozo, 2014). Tomando esto en

consideración, se formaron los grupos únicamente tomando en cuenta las pruebas de habilidades ortográficas descritas en la sección de metodología, selección de la muestra. Una vez seleccionados los grupos, a cada participante se le aplicó una prueba de velocidad y eficiencia lectora, obteniendo al final diferencias significativas intergrupales en cuanto a velocidad y modificaciones y omisiones durante la lectura. De este modo, confirmamos que existe una relación directa entre las habilidades ortográficas y el procesamiento de la lectura en un nivel de educación medio-superior; esta relación se presenta de manera particular entre el conocimiento ortográfico y la velocidad lectora. Aunque las diferencias intergrupales no fueron significativas, el grupo de altas habilidades ortográficas (AHO) tendió a ser más rápido al denominar imágenes, letras, números y colores, en comparación con el grupo de bajas habilidades ortográficas (BHO).

Respecto a la tarea de identificación dirigida del error ortográfico, en el ámbito conductual, los resultados obtenidos fueron desde un principio esperados: ante palabras correctamente escritas o palabras con error ortográfico homófono, el grupo con altas habilidades ortográficas presentó un mayor número de respuestas correctas (RCs) y un menor Tiempo de Reacción Promedio (TRP). Como se mencionó, fueron esperados ya que la detección o comisión de errores ortográficos de tipo homófono fueron factores tomados en consideración para la formación de los grupos. En este sentido, considerando la ejecución conductual por parte de ambos grupos en esta tarea experimental, se cumplió con la hipótesis específica número 1.

Los resultados de neuroimagen funcional, a nivel de cerebro completo, durante esta tarea experimental, concuerdan con lo reportado en la literatura relacionada (Gebauer et al., 2012;

Kronbichler et al., 2007; Shaywitz & Shaywitz, 2008). En el grupo BHO se observó una hiperactivación bilateral en regiones temporoccipitales correspondientes al giro fusiforme occipital, una hipoactivación en regiones temporales mediales y anteriores correspondientes al giro temporal medial y superior, en sus porciones anteriores, y finalmente, se observó una hiperactivación bilateral en regiones frontales inferiores correspondientes al giro frontal inferior en sus porciones triangularis y opercularis. Cabe resaltar que en los resultados obtenidos en esta tarea experimental, el grupo BHO presentó hiperactivaciones bilaterales parietales en regiones correspondientes al giro supramarginal y al giro angular, apoyando los resultados obtenidos por el grupo de Fink (Gebauer et al., 2012) quienes señalan que pudieran ejemplificar los problemas de conversión gráfico-fonológica durante el procesamiento ortográfico de las palabras. En esta tarea experimental, se observó de manera general una menor activación de regiones reportadas como involucradas en el sistema lector por parte del grupo AHO, cumpliéndose así la hipótesis específica número 2; este grupo presentó activaciones en la región temporal superior correspondiente al planum temporale ante palabras correctamente escritas, disminuyendo ante palabras con error ortográfico homófono y aumentando en esta condición la activación de regiones frontales inferiores y superiores correspondientes a la corteza orbitofrontal y al giro frontal superior, respectivamente.

Los resultados de neuroimagen funcional, a nivel de regiones de interés, durante esta tarea experimental, apoyan completamente los argumentos propuestos por el grupo de Fink (Gebauer et al., 2012) respecto a la participación de la región parietal en la conversión gráfico-fonológica durante este tipo de tareas. El grupo BHO, en comparación con el grupo AHO, presentó significativamente un mayor cambio en la señal hemodinámica en el giro angular. De

igual forma sucedió en regiones correspondientes al giro frontal medial y a la porción posterior del giro temporal medial, resaltando que en esta última región sólo el grupo BHO presentó hipoactivación ante palabras con error ortográfico de tipo homófono.

En relación con la tarea de identificación no dirigida del error ortográfico, ya sea tomando en consideración las respuestas específicas de la tarea (presencia o ausencia de *i* en las palabras) o las respuestas orientadas a la ortografía (palabras correctamente escritas o con error ortográfico homófono), el grupo AHO tuvo un menor desempeño conductual en comparación con el grupo BHO. Considerando sólo el tiempo de reacción promedio entre ambas condiciones ortográficas, el grupo AHO fue estadísticamente distinto entre ellas, disminuyendo considerablemente su velocidad de respuesta ante palabras incorrectamente escritas. Este conjunto de resultados nos llevaron a pensar que en esta tarea, la especialización sobre la estructura ortográfica de las palabras por parte del grupo AHO se vió interferida por la propia instrucción de la tarea. Este proceso de interferencia pudiera entonces ser similar al observado en tareas de tipo Stroop (Egner & Hirsch, 2005) o, en los ámbitos electrofisiológico y atento, en tareas que generan el componente P3a dentro del contexto de P3b (Polich, 2007). Así, en cuanto a tiempo de reacción promedio se refiere y de acuerdo con los resultados conductuales en esta tarea experimental, se cumplió con la hipótesis específica número 3.

La hipótesis específica número 4 se cumplió a la perfección, habiendo observado en el grupo AHO, en comparación con el grupo BHO, un incremento en la señal hemodinámica en regiones temporoccipitales, temporales, parietales superiores y frontales inferiores. Ante palabras correctamente escritas en la tarea no dirigida del error ortográfico, el grupo AHO tuvo un mayor número



de agrupaciones activas en comparación con el grupo BHO. Llamaron nuestra atención particularmente aquellas observadas en la región temporoccipital izquierda, correspondientes a la corteza fusiforme temporoccipital y a la porción temporoccipital del giro temporal inferior; todas ellas ausentes en el grupo BHO. De forma similar, las agrupaciones activas del grupo AHO en el giro frontal inferior fueron considerablemente más grandes que aquellas observadas en el grupo BHO. Estos dos conjuntos de activaciones se incrementaron considerablemente en el grupo AHO ante palabras con error ortográfico homófono. Un fenómeno que nos llamó seriamente la atención fue la activación bilateral durante esta última condición de regiones parietales correspondientes al giro supramarginal y al giro angular por parte del grupo AHO, tomando en consideración que estas regiones han sido plenamente reportadas como hiperactivas durante este tipo de condiciones en grupos con dificultades lectoras (Gebauer et al., 2012; Sandak, Mencl, Frost & Pugh, 2004).

Para esta tarea experimental y considerando el factor ortografía, los resultados de neuroimagen funcional, a nivel de regiones de interés, mostraron un mayor incremento de la señal hemodinámica para el grupo AHO, independientemente de la condición experimental (palabras correcta o incorrectamente escritas), con excepción de la corteza orbitofrontal bilateral (mayor cambio para el grupo BHO). Llamaron nuestra atención las diferencias intergrupales en toda la región temporoccipital, incluidas la corteza temporal fusiforme y la porción temporoccipital del giro temporal inferior; en todas ellas el grupo AHO presentó un mayor cambio en la señal BOLD. De igual forma, el grupo AHO presentó un mayor incremento en la señal en la región medial del giro frontal de forma bilateral, en comparación con el grupo BHO. Nuevamente, estas regiones han sido ampliamente reportadas como anómalas

(neurofuncionalmente hablando) en grupos lectores deficientes (Shaywitz et al., 1998). A partir de estos hallazgos, nuevamente consideramos que esta tarea produjo un efecto de interferencia en el grupo con altas habilidades ortográficas y que, como ha sido descrito previamente, el incremento en la señal BOLD en regiones temporoccipitales y temporoparietales se traducen para el grupo AHO como una dificultad instrucción-dependiente para el análisis ortográfico inicial y la conversión gráfico-fonológica posterior de las palabras. En este mismo sentido, creemos que el incremento en la señal de regiones frontales mediales corresponde a características descritas para grupos lectores deficientes en este tipo de tareas (Sandak, Mencl, Frost & Pugh, 2004) y a los mecanismos compensatorios relacionados que se han descrito anteriormente (Shaywitz, Mody & Shaywitz, 2006).

A partir de los resultados obtenidos de la tarea de identificación de rostros con expresión emocional neutra, y considerando la hipótesis específica número 5, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos en relación con el número de respuestas correctas o el tiempo de reacción promedio. Ambos grupos cometieron una cantidad similar de respuestas incorrectas, particularmente ante rostros femeninos. Una posible explicación al respecto se relaciona con los estímulos empleados, correspondientes a las series de expresiones emocionales de Ekman (Ekman & Friesen, 1976). Aunque los estímulos originales fueron modificados (el cabello de los modelos se removió mediante software especializado), creemos que las imágenes de algunos de los modelos femeninos empleadas en la tarea experimental, no fueron distinguidos correctamente, de acuerdo con la instrucción (género), por parte de ambos grupos. Otras investigaciones han empleado bases de imágenes más recientes, evitando así que aspectos de moda como la vestimenta o el grado de depilación facial, se

conviertan en factores a considerar (Cantlon, Pinel, Dehaene & Pelphrey, 2011).

Los resultados de neuroimagen para esta tarea, mostraron activaciones similares en la región temporoccipital derecha correspondientes a estructuras fusiformes, por parte de ambos grupos. Tomando esto en consideración, se cumplió la hipótesis específica número 6. Aunque encontramos diferencias en los promedios de ambos grupos en regiones frontales (activación de la corteza orbitofrontal únicamente por parte del grupo BHO), nuestro interés en esta tarea radicó en la región temporoccipital desde un principio.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la implementación de la tarea dirigida del error ortográfico, corroboramos el método de selección de los participantes para esta investigación. En esta tarea experimental, se encontraron diferencias significativas entre los grupos con distintas habilidades ortográficas, con un menor número de respuestas correctas y un mayor tiempo de reacción por parte del grupo BHO, ante palabras con un error ortográfico de tipo homófono.

A nivel de neuroimagen, nuestros resultados fueron similares a los revisados en la literatura relacionada. Se corroboró el mecanismo de compensación por parte del grupo BHO en la región frontal inferior de forma bilateral, como probable resultado de un funcionamiento inadecuado en regiones temporoccipitales y temporales inferiores y mediales, involucradas respectivamente en el procesamiento visual y en el procesamiento fonológico de los estímulos. A partir del análisis de regiones de interés, se realizaron

comparaciones estadísticas entre los grupos de acuerdo con el cambio en la señal hemodinámica; los resultados de este análisis apoyan por completo la teoría presentada en otras investigaciones similares empleando estímulos lingüísticos bajo una ortografía transparente para la lectura, resaltando la participación de la región parietal, y de forma específica del giro angular y del giro supramarginal, en el proceso de conversión gráfico-fonológica. La participación de estas estructuras no se han reportado como significativas en este procesamiento empleando estímulos lingüísticos bajo una ortografía opaca.

La implementación de la tarea no dirigida del error ortográfico, permitió corroborar nuevamente la participación activa de la región temporoccipital, particularmente de estructuras fusiformes, durante el procesamiento visual de palabras. Los patrones de hiperactivación por parte del grupo con altas habilidades ortográficas (AHO) en la región parietal, particularmente del giro supramarginal y del giro angular, así como de la región frontal inferior, podrían corroborar mecanismos neurales compensatorios ante la dificultad en ciertos procesos. En este sentido, creemos que esta tarea fue más compleja para el grupo AHO, tomando en consideración la ejecución conductual y los patrones de activación de regiones reportadas como participantes en el procesamiento de palabras. De igual forma, creemos que los resultados en conjunto para esta tarea en este grupo, aportan evidencia sobre la especialización funcional para el análisis de las palabras y que éste se ve interrumpido cuando los recursos atentos se orientan a otra tarea específica (búsqueda de una letra en las palabras, independientemente de su ortografía).

La aplicación de la tarea de identificación de rostros con expresión emocional neutra, nos permitió corroborar que las

diferencias observadas entre los grupos, conductualmente y a nivel de neuroimagen, no se deben a deficiencias perceptuales o a fallas en un nivel básico de sistemas establecidos neuroanatómicamente homólogos (VWFA y FFA).

A partir de la realización de esta investigación, podemos hacer las siguientes recomendaciones:

1. Realizar estudios de conectividad entre las regiones participantes en el procesamiento visual de palabras. Como se ha descrito en la bibliografía, el estado físico-funcional de tractos que comunican estas regiones entre sí, podría ser un factor determinante en la búsqueda de causa-efecto para las deficiencias en el procesamiento de las palabras.
2. De acuerdo con los resultados de neuroimagen en esta investigación y tomando en cuenta las tareas experimentales y las condiciones estudiadas en éstas, estudiar el grado de participación de regiones parietales, particularmente del giro angular y el giro supramarginal, tomando en consideración la transparencia ortográfica, los modelos para la lectura de procesamiento en cascada y el acceso a almacenes de memoria o lexicones sobre la estructura ortográfica, la fonología y el significado de las palabras.
3. Cambiar la proporción de estímulos de interés, respecto a estímulos basales o neutros. La presente investigación empleó una proporción 20/80, empleada anteriormente en un estudio similar con Potenciales Relacionados con Eventos. El aumento de esta proporción (p. ej. 40/60) podría generar activaciones hemodinámicas más claras y precisas entre los sujetos y como consecuencia, podrían realizarse contrastes intergrupales con mayor potencia estadística.
4. Realizar estudios de procesamiento visual rápido por pares de palabras, empleando condiciones experimentales similares a las de la presente investigación. Esto permitiría apoyar aún más la teoría sobre la especialización funcional para el reconocimiento de palabras y, para este caso específico, estudiar el efecto de la ortografía sobre este factor y en relación con el desempeño lector.

## 11. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Para la realización del presente proyecto de investigación se siguieron los lineamientos de la Ley General de Salud del Gobierno Mexicano y de la Declaración de Helsinki. Este proyecto fue aprobado, de forma previa a su inicio, por el Comité de Ética del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara (p. 125). Las técnicas de medición empleadas fueron de carácter no invasivo y no se administró ningún tipo de fármaco o sustancia a los participantes.

De forma previa a cualquier medición, se brindó a los participantes un documento que indicó el propósito y condiciones generales de la presente investigación, así como la aclaración de que su participación no pondría en riesgo en ningún momento su integridad física o emocional, que no se le administraría ningún tipo de fármaco o sustancia, que podría desistir de su participación en cualquier momento y debido a cualquier circunstancia. Además, se les informó a los participantes que debido a que serían expuestos a campos magnéticos altos, no deberían portar objetos metálicos u objetos que pudieran ser dañados por someterse a campos magnéticos (p. ej. Tarjetas bancarias), no deberían tener tatuajes en el cuerpo cuyas tintas pudieran contener hierro, y que no deberían haberse sometido a trabajos dentales pesados ferromagnéticos (Anexo 4). Este documento, así como una carta de consentimiento informado (Anexo 5) fueron firmados por el participante de manera previa al inicio de la sesión experimental.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, P., Smith, A., Lien, M., Kaut, K. & Canfield, A. (2009). A multistream model of visual word recognition. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(2), 281-296.
- Backhoff, E., Peon, M., Andrade, E. & Rivera, S. (2008). La ortografía de los estudiantes de educación básica en México. México: INEE Informes Institucionales.
- Bandettini, P.A., Kwong, K.K., Davis, T.L., Tootell, R.B.H., Wong, E.C., Fox, P.T., Belliveau, J.W., Weisskoff, R.M. & Rosen, B.R. (1997). Characterization of Cerebral Blood Oxygenation and Flow Changes During Prolonged Brain Activation. *Human Brain Mapping*, 5, 93-109.
- Barber, H. & Kutas, M. (2007). Interplay between computational models and cognitive electrophysiology in visual word recognition. *Brain Research Reviews*, 53, 98-123.
- Barton, J.J.S., Fox, C.J., Sekunova, A. & Iaria, G. (2009). Encoding in the visual word form area: An fMRI adaptation study of words versus handwriting. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(8), 1649-1661.
- Beckmann, C.F., Jenkinson, M. & Smith, S.M. (2003). General multilevel linear modeling for group analysis in FMRI. *Neuroimage*, 20, 1052-1063.
- Beech, J.R. (2005). Ehri's model of phases of learning to read: a brief critique. *Journal of Research in Reading*, 28(1), 50-58.
- Beech, J.R. & Mayall, K.A. (2005). The Word Shape Hypothesis Re-examined: Evidence for an External Feature Advantage in Visual Word Recognition. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 302-319.
- Bentin, S., Mouchetant-Roistang, 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.
- Bentin, S., Sagiv, N., Mecklinger, A., Friederici, A. & von Cramon, Y.D. (2002). Priming Visual Face-Processing Mechanisms: Electrophysiological Evidence. *Psychological Science*, 13(2), 190-193.
- Berninger, V. & Richards, T. (2002). Building a reading brain neurologically. En V. Berninger y T. Richards (Editores), *Brain Literacy for Educators and Psychologists*. San Diego: Elsevier.
- Binder, J. & Price, C.J. (2001). Functional Neuroimaging of Language. En R. Cabeza y A. Kingstone (Editores), *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*. Massachusetts: MIT Press.
- Bowers, P.G. & Wolf, M. (1993). Theoretical links among naming speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 5, 69-85
- Brem, S., Lang-Dullenkopf, A., Maurer, U., Halder, P., Bucher, K. y Brandeis, D. (2005). Neuropsychological Signs of Rapidly Emerging Visual Expertise for Symbol Strings. *NeuroReport*, 16(1), 45-48.
- Buxton, R.B. (2002). *Introduction to Functional Magnetic Resonance Imaging. Principles & Techniques*. New York: Cambridge University Press.
- Campanella, S., Hanoteau, C., Dépy, D., Rossion, B., Bruyer, R., Crommelinck, M. & Guérit, J.M. (2000). Right N170 modulation in a face discrimination task: An account for categorical perception of familiar faces. *Psychophysiology*, 37, 796-806.
- Cantlon, J.F., Pineda, P., Dehaene, S. & Pelphrey, K.A. (2011). Cortical representations of symbols, objects, and faces are pruned back during early childhood. *Cerebral Cortex*, 21, 191-199.



- Carreiras, M., Armstrong, B.C., Perea, M. & Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in Cognitive Sciences*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.005>
- Carreiras, M., Perea, M., Vergara, M. & Pollatsek, A. (2009). The time course of orthography and phonology: ERP correlates of masked priming effects in Spanish. *Psychophysiology*, 46, 1113-1122.
- Carreiras, M., Vergara, M. & Perea, M. (2009). ERP correlates of transposed-letter priming effects: The role of vowels versus consonants. *Psychophysiology*, 46, 34-42.
- Castro-Salas, M.A. (2008). Potenciales Relacionados con Eventos (PREs) durante la percepción de palabras abstractas y concretas. Tesis para la obtención del grado de Maestría en Ciencia del Comportamiento, orientación Neurociencia. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S. & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area. *Brain*, 125, 1054-1069.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M.A. & Michel, F. (2000). The Visual Word Form Area. Spatial and Temporal Characterization of an Initial Stage of Reading in Normal Subjects and Posterior Split-Brain Patients. *Brain*, 123, 291-307.
- Coltheart, M. (2006). Dual route and connectionist models of reading: an overview. *London Review of Education*, 4(1), 5-17.
- Coltheart, M. (2004). Are there lexicons? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 57A(7), 1153-1171.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. & Ziegler, J. (2001). DRC: A Dual Route Cascaded Model of Visual Word Recognition and Reading Aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204-256.

- Concha, L. (2012). Secuencias de pulsos [diapositiva]. Instituto de Neurobiología, U.N.A.M. Juriquilla, Querétaro, México.
- Concha, L. (2011). Fenómeno de la Resonancia Magnética [diapositiva]. Instituto de Neurobiología, U.N.A.M. Juriquilla, Querétaro, México.
- Cornelissen, P.L., Kringelbach, M.L., Ellis, A.W., Whitney, C., Holliday, I.E. & Hansen, P.C. (2009). Activation of the left inferior frontal gyrus in the first 200 ms of reading: evidence from magnetoencephalography (MEG). *PLoS One*, 4(4), e5359.
- Dehaene, S., Le Clec'H, G., Poline, J.B., Le Bihan, D. & Cohen, L. (2002). The visual word form area: a prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroreport*, 13(3), 321-325.
- Devlin, J.T., Jamison, H.L., Gonnerman, L.M. & Matthews, P.M. (2006). The Role of the Posterior Fusiform Gyrus in Reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(6), 911-922.
- De Yoe, E.A., Bandettini, P., Neitz, J., Miller, D. & Winans, P. (1994). Functional magnetic resonance imaging (fMRI) of the human brain. *Journal of Neuroscience Methods*, 54, 171-187.
- Dragovic, M. (2004). A major revision of the Edinburgh Handedness Inventory. Laterality: Asymmetries of body. *Brain and Cognition*, 9(4), 411-419.
- Egner, T. & Hirsch, J. (2005). The neural correlates and functional integration of cognitive control in a Stroop task. *Neuroimage*, 24, 539-547.
- Ekman, P. & Friesen, W.V. (1976). *Pictures of facial affect*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Fiebach, C.J., Friederici, A.D., Müller, K. & von Cramon, D.Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1), 11-23.

- Ferreres, A., Martínez-Cutiño, M., Jacobovich, S., Olmedo, A. & López, C. (2003). Las alexias y los modelos de doble ruta de lectura en hispanohablantes. *Revista Argentina de Neuropsicología*, 1, 37-52.
- Forman, S.D., Cohen, J.D., Fitzgerald, M., Eddy, W.F., Mintun, M.A. & Noll, D.C. (1995). Improved assessment of significant activation in functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI): Use of a cluster-size threshold. *Magnetic Resonance in Medicine*, 33(5), 636-647.
- Gebauer, D., Enzinger, C., Kronbichler, M., Schurz, M., Reishofer, G., Koschutnig, K., ..., Fink, A. (2012). Distinct patterns of brain function in children with isolated spelling impairment: New insights. *Neuropsychologia*, 50, 1353-1361.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Gaser, C., Gerhard, U.J., Vieweg, U., Freesmeyer, D., ... Blanz, B. (2002). Phonological processing in dyslexic children: A study combining functional neuroimaging and event related potentials. *Neuroscience Letters*, 318, 5-8.
- Glezer, L.S., Jiang, X. & Riesenhuber, M. (2009). Evidence for Highly Selective Neuronal Tuning to Whole Words in the "Visual Word Form Area". *Neuron*, 62, 199-204.
- Gómez-Velázquez, F.R., González-Garrido, A.A. & Vega-Gutiérrez, O. (2013). Naming abilities and orthographic recognition during childhood. An Event-Related brain Potentials study. *International Journal of Psychological Studies*, 5(1), 55-68.
- Gómez-Velázquez, F.R., González-Garrido, A.A., Zarabozo, D. & Amano, M. (2010). La velocidad de denominación de letras. El mejor predictor temprano del desarrollo lector en español. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 15(46), 823-847.
- González-Garrido, A.A., Gómez-Velázquez, F.R. & Rodríguez-Santillán, E. (2013). Orthographic recognition in late adolescents. An assessment through Event-Related brain

Potentials. *Clinical EEG and Neuroscience*. DOI: 10.1177/1550059413489975.

González-Garrido, A.A., Gómez-Velázquez, F.R., Zarabozo-Hurtado, D. & Zarabozo, D. (2014). Effects of word frequency and repetition priming on different levels of orthographic knowledge in a transparent orthography. *Psychophysiology*. Enviado a publicación.

Gore, J.C. (2003). Principles and practice of functional MRI of the human brain. *Journal of Clinical Investigation*, 112 (1), 4-9.

Haacke, E.M., Brown, R.W., Thompson, M.R. & Venkatesan, R. (1999). *Magnetic Resonance Imaging. Physical Principles and Sequence Design*. New York: Wiley-Liss.

Hillis, A.E., Newhart, M., Heidler, J., Barker, P., Herskovits, E. & Degaonkar, M. (2005). The roles of the “visual word form area” in reading. *Neuroimage*, 24, 548-559.

Hirshorn, E.A. & Thompson-Schill, S.L. (2006). Role of the left inferior frontal gyrus in covert word retrieval: Neural correlates of switching during verbal fluency. *Neuropsychologia*, 44, 2547-2557.

Holcomb, P.J. & Grainger, J. (2006). On the time course of visual word recognition: An Event-related Potential investigation using masked repetition priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1631-1643.

Huettel, S.A., Song, A.W. & McCarthy, G. (2009). *Functional Magnetic Resonance Imaging (Second Edition)*. Massachusetts: Sinauer Associates.

Jenkinson, M., Bannister, P., Brady, M. & Smith, S. (2002). Improved optimization for the robust and accurate linear registration and motion correction of brain images. *Neuroimage*, 17, 825-841.

Kanwisher, N. (2010). Functional specificity in the human brain: A window into the functional architecture of the mind.

- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25), 11163-11170.
- Kanwisher, N., Downing, P., Epstein, R. & Kourtzi, Z. (2006). Functional Neuroimaging of Visual Recognition. En R. Cabeza & A. Kingstone (Eds.), *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*, 2nd. Edition. Massachusetts: MIT Press.
- Kirk, R.E. (1995). Experimental Design. Procedures for the Behavioral Sciences, 3rd. Edition. California: Brooks/Cole Publishing Company.
- Kronbichler, M., Bergmann, J., Hutzler, F., Staffen, W., Mair, A., Ladurner, G. & Wimmer, H. (2007). Taxi vs. Taksi: On orthographic word recognition in the left ventral occipitotemporal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(10), 1584-1594.
- Kronbichler, M., Klackl, J., Richlan, F., Schurz, M., Staffen, W., Ladurner, G. & Wimmer, H. (2008). On the Functional Neuroanatomy of Visual Word Processing: Effects of Case and Letter Deviance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(2), 222-229.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980). Reading Senseless Sentences: Brain Potentials Reflect Semantic Incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Lavric, A., Clapp, A. & Rastle, K. (2007). ERP Evidence of Morphological Analysis from Orthography: A Masked Priming Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 866-877.
- López-Escribano, C. (2007). Evaluation of the Double-Deficit Hypothesis Subtype Classification of Readers in Spanish. *Journal of Learning Disabilities*, 40(4), 319-330.
- Maurer, U., Brandeis, D. & McCandliss, D. (2005). Fast, Visual Specialization for Reading in English Revealed by the Topography of the N170 ERP Response. *Behavioral and Brain Functions*, 1(13), S.P.

- McCandliss, B., Cohen, L. & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 293-299.
- Nation, K. (2008). Learning to read words. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(8), 1121-1133.
- Norton, E.S. & Wolf, M. (2012). Rapid Automatized Naming (RAN) and reading fluency: Implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, 63, 427-452.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R. & Tank, D.W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87, 9868-9872.
- Ogawa, S. & Sung, Y. (2007). Functional magnetic resonance imaging. *Scholarpedia*, 2(10), 3105, revision 60186.
- Opitz, B. (2003). ERP and fMRI correlates of target and novelty processing. En J. Polich (Editor), *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Perfetti, C.A. & Bolger, D.J. (2004). The brain might read that way. *Scientific studies of reading*, 8(3), 293-304.
- Poldrack, R.A., Mumford, J.A. & Nichols, T.E. (2011). *Handbook of Functional MRI Data Analysis*. New York: Cambridge University Press.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2128-2148.
- Polk, T.A., Stallcup, M., Aguirre, G.K., Alsop, D.C., D'Esposito, M., Detre, J.A. & Farah, M.J. (2002). Neural Specialization for Letter Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(2), 145-159.
- Price, C.J. & Devlin, J.T. (2004). The pro and cons of labelling a left occipitotemporal region: "the visual word form area". *Neuroimage*, 22, 477-479.

- Price, C.J. & Devlin, J.T. (2003). The myth of the visual word form area. *Neuroimage*, 19, 473-481.
- Price, C.J., Winterburn, D., Giradu, A.L., Moore, C.J. & Noppeney, U. (2003). Cortical localization of the visual and auditory word form areas: A reconsideration of the evidence
- Psychology Software Tools, Inc. (2010). E-Prime v.2.0 [Programa de Computación].
- Pugh, K.R., Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Shankweiler, D.P., Katz, L., Fletcher, J.M., ... Gore, J.C. (1997). Predicting reading performance from neuroimaging profiles: The cerebral basis of phonological effects in printed word identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(2), 299-318.
- Raichle, M. (1998). Behind the scenes of functional brain imaging: A historical and physiological perspective. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 765-772.
- Rodrigo, M., Jiménez, J.E., García, E., Díaz, A., Ortiz, M.R., Guzmán, R., Hernández-Valle, I., Estévez, A. & Hernández, S. (s.a.). Valoración del procesamiento ortográfico en niños españoles con dislexia: El papel de las unidades léxicas y subléxicas. *Revista Electrónica de Investigación Psicoeducativa y Psicopedagógica*, 2(2), 105-126.
- Rosselli, M., Matute, E. & Ardila, A. (2004). Características neuropsicológicas y aprendizaje de la lectura en niños hispanohablantes. En E. Matute (Coordinadora), *Aprendizaje de la lectura. Bases biológicas y estimulación ambiental*. México: Universidad de Guadalajara.
- Sakurai, Y. (2004). Varieties of alexia from fusiform, posterior inferior temporal and posterior occipital gyrus lesions. *Behavioral Neurology*, 15, 35-50.
- Sandak, R., Mencl, W.E., Frost, S.J. & Pugh, K.R. (2004). The neurobiological basis of skilled and impaired reading: Recent

- findings and new directions. *Scientific Studies of Reading*, 8(3), 273-292.
- Sauseng, P., Bergmann, J. & Wimmer, H. (2004). When does the brain register deviances from standard word spellings?. An ERP study. *Cognitive Brain Research*, 20, 529-532.
- Seghier, M.L., Lazeyras, F., Pegna, A.L., Annoni, J.M., Zimine, I., Mayer, E., Michel, C.M. & Khateb, A. (2004). Variability of fMRI activation during a phonological and semantic language task in healthy subjects. *Human Brain Mapping*, 23, 140-155.
- Sell, E. (2007). Resonancia magnética funcional. *Medicina (Buenos Aires)*, 67(1), 661-664.
- Serrano, F. & Defior, S. (2008). Dyslexia speed problems in a transparent orthography. *Annals of Dyslexia*, 58(1), 81-95.
- Shaywitz, S.E., Mody, M. & Shaywitz, B.A. (2006). Neural mechanisms in Dyslexia. *Current Directions in Psychological Science*, 15(6), 278-281.
- Shaywitz, S.E. & Shaywitz, B.A. (2008). Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20, 1329-1349.
- Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A., Pugh, K.R., Fulbright, R.K., Constable, R.T., Mencl, W.E., ... Gore, J.C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95, 2636-2641.
- Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Pugh, K.R., Mencl, W.E., Fulbright, R.K., Skudlarski, P., ... Gore, J.C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52, 101-110.
- Smith, S.M. (2002). Fast robust automated brain extraction. *Human Brain Mapping*, 17, 143-155.
- Smith, S.M., Jenkinson, M., Woolrich, M.W., Beckmann, C.F., Behrens, T.E., ... Matthews, P.M. (2004). Advances in functional



- and structural MR image analysis and implementation as FSL. *Neuroimage*, 23, S208-S219.
- Spironelli, C. & Angrilli, A. (2007). Influence of Phonological, Semantic and Orthographic tasks on the early linguistic components N150 and N350. *International Journal of Psychophysiology*, 64, 190-198.
- Starrfelt, R. & Gerlach, C. (2007). The visual what for area: Words and pictures in the left fusiform gyrus. *Neuroimage*, 35, 334-342.
- Temple, E., Poldrack, R.A., Salidis, J., Deutsch, G.K., Tallal, P., Merzenich, M.M. & Gabrieli, J.D.E. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: An fMRI study. *Neuroreport*, 12(2), 299-307.
- Vissers, C., Chwilla, D. & Kolk, H. (2006). Monitoring in language perception: The effect of misspellings of words in highly constrained sentences. *Brain Research*, 1106, 150-163.
- Wechsler, D. (2003). Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos-III, México: Manual Moderno.
- Wolf, M., Bowers, P.G. & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 387-407.
- Woodhead, Z.V.J., Brownsett, L.E., Dhanjal, N.S., Beckmann, C. & Wise, R.J.S. (2011). The visual word form system in context. *The Journal of Neuroscience*, 31(1), 193-199.
- Woolrich, M.W., Jbabdi, S., Patenaude, B., Chappell, M., Makni, S., ... Smith, S.M. (2009). Bayesian analysis of neuroimaging data in FSL. *Neuroimage*, 45, S173-S186.
- Zarabozo, D., Gómez-Velázquez, F.R. & Varela, J. (2011). ConPal: Una herramienta para análisis cuantitativo de textos. En H. Martínez, J.J. Irigoyen, F. Cabrera, J. Varela, P. Covarrubias & A. Jiménez (Eds.), *Estudios sobre comportamiento y aplicaciones. Volumen II*. Guadalajara: Ediciones de la Noche.

*Recibido*

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

COMITÉ DE ÉTICA

DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA AL PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN

Alteraciones neurofuncionales en adultos con pobre conocimiento ortográfico.

CON NÚMERO DE REGISTRO ET042011-102

RESPONSABLE Andrés Antonio González Garrido

NOMBRE DEL ALUMNO Daniel Zarabozo Hurtado

*11/20/11*

APROBADO SIN MODIFICACIONES

RECHAZADO

*[Handwritten signature]*

SUGERENCIAS: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*


RECHAZADO DEBIDO A: \_\_\_\_\_

*[Handwritten signature]*

En caso de haber sido evaluado con sugerencias, se requiere someter a re-evaluación el proyecto de investigación, en primera instancia, al comité tutelar y posteriormente al Comité de Ética en un lapso máximo de 2 semanas a partir de esta fecha.

Se emite el presente DICTAMEN el día 20 de junio  
de 2011, firmando los integrantes del Comité de Ética  
del Instituto de Neurociencias.

Presidente

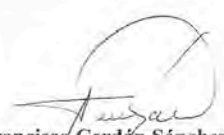
  
Dr. Alfredo Feria Velasco

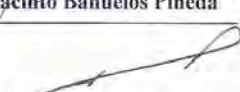
Secretaria

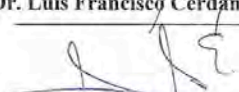
  
Dra. Marisela Hernández González

Vocales:

  
Dr. Jacinto Bañuelos Pineda

  
Dr. Luis Francisco Cerdán Sánchez

  
Dr. Andrés A. González Garrido

  
Dr. Jorge Juárez González

Cep. Comité Tutelar correspondiente.

# ANEXO 1



## CUESTIONARIO NEUROLÓGICO

**NOMBRE:** \_\_\_\_\_ **CODIGO:** \_\_\_\_\_  
**FECHA NAC:** \_\_\_\_\_ **EDAD:** \_\_\_\_\_ **GRADO:** \_\_\_\_\_ **MANUALIDAD:** \_\_\_\_\_  
**TELÉFONOS:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_  
**CALIFICACIÓN GRADO ANTERIOR EN MATEMÁTICAS:** \_\_\_\_\_ **EN ESPAÑOL:** \_\_\_\_\_

**➤ DESARROLLO:**  
 Considera que fue normal el desarrollo: \_\_\_\_\_  
 Del lenguaje: \_\_\_\_\_  
 Motor: \_\_\_\_\_  
 Adaptación a la escuela: \_\_\_\_\_

Ha recibido tratamiento de: \_\_\_\_\_  
 Terapeuta de aprendizaje: \_\_\_\_\_  
 Psicólogo: \_\_\_\_\_ Psiquiatra: \_\_\_\_\_  
 Neurólogo: \_\_\_\_\_ Neurocirujano: \_\_\_\_\_  
 Motivo: \_\_\_\_\_

**➤ ANTECEDENTES PATOLÓGICOS:**  
 - Al momento del nacimiento presentó hipoxia o ictericia: \_\_\_\_\_  
 - Traumatismo cráneo-encefálico SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ Edad al momento del evento: \_\_\_\_\_  
 Pérdida de conciencia SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ Duración: \_\_\_\_\_ Secuelas: \_\_\_\_\_  
 - Cefalea SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ Frecuencia: \_\_\_\_\_  
 - Crisis convulsivas SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ Frecuencia: \_\_\_\_\_ Tipo: \_\_\_\_\_  
 Tratamiento: \_\_\_\_\_  
 - ¿Toma actualmente algún medicamento?: SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_ Cuál: \_\_\_\_\_  
 Diagnóstico y tiempo de tratamiento: \_\_\_\_\_  
 - ¿Necesita lentes, aparato para oír o tiene dificultad para mover o usar alguna de sus extremidades?: \_\_\_\_\_  
 - ¿Algún familiar directo presentó en su infancia dificultades de aprendizaje o problemas de atención?: \_\_\_\_\_

INVENTARIO DE MANUALIDAD DE EDIMBURGO					
	Siempre izquierda	Preferentemente izquierda	Sin preferencia	Preferentemente derecha	Siempre derecha
Escribir					
Lanzar un objeto					
Cortar con tijeras					
Lavarse los dientes					
Utilizar un cuchillo					
Comer con la cuchara					
Encender un cerillo					
Usar el mouse					
$D - I / D + I \times 100 =$ _____ (± 50 ambidiestro)					

## ANEXO 2

Nombre: \_\_\_\_\_ Grado: \_\_\_\_\_  
 Manualidad: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Fecha Nacimiento: \_\_\_\_\_ Fecha actual: \_\_\_\_\_  
 Escuela: \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_  
 Evaluador: \_\_\_\_\_

### BATERÍA DE DENOMINACIÓN RÁPIDA

(Gómez-Velázquez, González-Garrido, Ruiz-Villeda)

*Instrucciones generales:* "Vas a decir en voz alta los nombres de los dibujos (letras, Números o colores) que ves aquí, lo más rápido que puedas porque voy a tomarte el tiempo, no te saltes ninguno y no te detengas, inicia aquí (señalar con el dedo la primera figura e indicar la dirección de izquierda a derecha para denominar los estímulos en cada renglón) y termina aquí (señalar la última figura de la lámina)". Antes de iniciar las tareas 2, 3 y 4 pedir al niño que lea la primera línea para asegurarse del adecuado conocimiento de los nombres de los estímulos.

#### Tarea 1. IMÁGENES

Tiempo: \_\_\_\_\_ RC: \_\_\_\_\_ RI: \_\_\_\_\_ NR: \_\_\_\_\_

1 caracol _____	18 elefante _____	35 águila _____
2 tambor _____	19 vela _____	36 escoba _____
3 nariz _____	20 pera _____	37 bicicleta _____
4 llave _____	21 teléfono _____	38 caballo _____
5 camión _____	22 guante _____	39 semáforo _____
6 raqueta _____	23 plátano _____	40 ancla _____
7 paleta _____	24 reloj _____	41 flauta _____
8 mariposa _____	25 sombrilla/paraguas _____	42 murciélago _____
9 jeringa _____	26 anteojos/lentes _____	43 sombrero _____
10 cubo/dado _____	27 ballena _____	44 lámpara _____
11 sofá/sillón _____	28 pandero _____	45 tortuga _____
12 martillo _____	29 cama _____	46 tijeras _____
13 piña _____	30 helado/nieve _____	47 ojo _____
14 delfín _____	31 uva _____	48 pluma _____
15 guitarra _____	32 oreja/oido _____	49 zanahoria _____
16 foca _____	33 libro _____	50 serrucho _____
17 plancha _____	34 violín _____	

#### Tarea 2. LETRAS

Tiempo: \_\_\_\_\_ RC: \_\_\_\_\_ RI: \_\_\_\_\_ NR: \_\_\_\_\_

a m c l o d s g i e s o t a m t m o c d e a i g s  
 g d c m a o i e d t e g m s c i t d e i c s a o g

#### Tarea 3. NÚMEROS

Tiempo: \_\_\_\_\_ RC: \_\_\_\_\_ RI: \_\_\_\_\_ NR: \_\_\_\_\_

1 4 9 6 2 3 7 0 5 8 5 2 6 3 7 2 0 8 1 9 7 4 8 0 3 6  
 1 5 9 4 9 2 6 1 4 5 0 7 1 3 8 5 2 4 8 3 9 6 0 7

#### Tarea 4. COLORES

Tiempo: \_\_\_\_\_ RC: \_\_\_\_\_ RI: \_\_\_\_\_ NR: \_\_\_\_\_

B Az V M Rj C G Rs Am N V C Am B G M B N  
Rs Az Rs Rj B C V G M V Az Am Az Rs G R N Rj  
B N M C N Am M C Am V Rj Rs C Az

RC: respuestas correctas, RI: respuestas incorrectas, NR: no respuestas. Marca con una flecha si la respuesta es correcta.

## ANEXO 3

### EVALUACIÓN INDIVIDUAL DE LA EJECUCIÓN LECTORA.

NOMBRE: \_\_\_\_\_ EDAD: \_\_\_\_\_ GRADO: \_\_\_\_\_

ESCUELA: \_\_\_\_\_ TEL.: \_\_\_\_\_

#### LOS EFECTOS DE LA ALTITUD

A nivel del mar o en lo alto de una montaña, la atmósfera siempre contiene el mismo nivel de oxígeno: 21%. Pero a medida que una persona asciende, experimenta una menor presión atmosférica porque las moléculas de oxígeno se separan, dificultando la respiración. A nivel del mar, la presión atmosférica impulsa el oxígeno desde los pulmones hacia la sangre y los tejidos. En mayores alturas, a medida que la presión decrece, este proceso se vuelve más lento. El cuerpo responde incrementando la cantidad de glóbulos rojos (que transportan el oxígeno) y aumentando la producción de la enzima que transfiere el oxígeno a los tejidos.

El ascenso a lo alto de una montaña puede producir alguna de las Enfermedades de Montaña que afectan en algún grado a todos los escaladores. Las quejas más frecuentes son por migrañas, náuseas y vómitos, vértigo e insomnio. Estas enfermedades generalmente no son graves, pero sus síntomas pueden ser indicadores precoces de inflamación pulmonar o cerebral. Si la presión en los pulmones de un alpinista aumenta demasiado, el plasma (líquido que forma parte de la sangre) puede llegar a filtrarse por los alvéolos pulmonares produciendo disminución respiratoria, dolores en el pecho, jadeos y tos. La mayoría de los casos fatales se presentan por encima de los 3,600 metros de altura.

El aumento de flujo sanguíneo en el cerebro, ocasionado por la necesidad de oxígeno, produce una hinchazón que puede ocasionar confusión, desorientación, somnolencia, alucinaciones y coma en los alpinistas. Es potencialmente mortal, pero los pacientes pueden recuperarse completamente si son atendidos inmediatamente en altitudes menores.

Cuando una persona permanece en las grandes alturas durante uno o dos meses, se incrementa la producción de glóbulos rojos, lo que provoca que la sangre se espese y podría causar coágulos en las arterias.

La altitud también puede producir dolor de muelas cuando una burbuja de aire se aloja dentro de los empastes dentales. Esto puede llegar a irritar un nervio, provocar la caída del empaste o incluso su explosión debido a la presión de la altura.

Cuanto más asciende una persona, más aumenta su exposición a la peligrosa radiación ultravioleta. En la cima del Everest se experimenta una exposición a los rayos UV 30 veces superior a la del nivel del mar, lo que podría ocasionar ceguera causada por la nieve o queratitis ultravioleta, además de quemaduras de sol, que representan un peligro real. Los escaladores deben utilizar bloqueadores con un FPS mínimo de 30 y aplicarlo por lo menos cada dos horas durante el día.

Un escalador que comienza a sentir pérdida de sensibilidad en alguna de sus extremidades debe tratar de calentarlas inmediatamente. El congelamiento puede ocasionar daños muy graves en los dedos de los pies y otras partes del cuerpo, que podrían llegar a hacer necesaria una amputación. La hipotermia es una reacción patológica del cuerpo a la baja temperatura que genera pérdida del juicio, torpeza, dificultades en el habla, debilidad, daño mental progresivo y, en última instancia, pérdida de la cordura y disfunciones cardíacas.

Atribuido de: DISCOVERY CHANNEL. <http://www.discovery.com/press/altitud/entrevista/entrevista.html>

Tiempo: \_\_\_\_\_ Palabras x minuto (504): \_\_\_\_\_ Omisiones: \_\_\_\_\_ Modificadas: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

### EVALUACIÓN DE LA COMPRENSIÓN LECTORA

1.- ¿Cuáles son las quejas más frecuentes de los escaladores por los efectos de la altura?

---

---

2.- ¿Por encima de qué altura los problemas pulmonares pueden ser fatales?

---

3.- ¿Qué pasa con la sangre cuando una persona permanece en las grandes alturas por uno o dos meses?

---

---

---

4.- ¿Qué le puede pasar a las muelas que tienen empastes en las alturas?

---

---

5.- Para evitar los síntomas de las enfermedades de montaña, ¿qué cosas llevarías para escalar una montaña?

---

---

---

Puntaje de comprensión lectora: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

## ANEXO 4

### **Estimados participantes y padres de familia:**

En primer lugar, quisiéramos agradecer a ustedes su interés por participar en la investigación denominada “Alteraciones neurofuncionales en adultos con pobre conocimiento ortográfico”. En este sentido cabe mencionar que la investigación científica en México es relativamente escasa (en comparación con otros países) y se destinan pocos recursos para ello, por lo que su participación voluntaria en una investigación científica mexicana es de gran importancia.

Esta investigación tiene como objetivos principales los siguientes: 1) realizar estudios de neuroimagen (Resonancia Magnética estructural y Resonancia Magnética funcional) que permitan la identificación de las distintas regiones y estructuras del cerebro que participan en el procesamiento de la lectura de palabras y el reconocimiento de los patrones ortográficos de las mismas en jóvenes sanos sin ningún tipo de trastorno del neurodesarrollo; 2) identificar la posible existencia de diferencias en la morfología o en la activación de esas áreas cerebrales en jóvenes con dificultades en la ortografía; y 3) realizar estudios de difusión (Tensor de Difusión y Tractografía probabilística) que permitan la valoración del estado de los tractos neurales que comunican las diferentes áreas cerebrales encargadas del proceso lector en ambos participantes. La información obtenida permitirá ampliar la base del conocimiento actual sobre la relación entre el cerebro y el aprendizaje de la lectura.

Las técnicas de estudio y el equipo con el que se realizan son totalmente inocuos, es decir no causan daño alguno a la persona que se estudie. El equipo de trabajo que participa en esta investigación está formado por técnicos, físicos, médicos, psicólogos y especialistas en el área de las Neurociencias y son egresados principalmente de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) y la Universidad de Guadalajara (U. de G.).

Como se mencionó con anterioridad, este estudio no causa daño alguno. Sin embargo, algunas personas podrían sentirse incómodas o nerviosas ante la idea de entrar en el resonador si no han pasado por esa experiencia, por lo que les reiteramos que es un procedimiento seguro e inofensivo para los participantes. Este documento se ha realizado con el propósito de que tanto el participante como sus familiares o personas allegadas conozcan un poco más del tipo de estudio que realizamos y de las técnicas y equipo que utilizamos.

Al final de este documento se encuentra una serie de “preguntas más frecuentes” que podrían aclarar o despejar algunas dudas que pudieran surgir. Si después de leer este documento persiste alguna duda, pueden ponerse en contacto con las personas citadas al final de este texto.

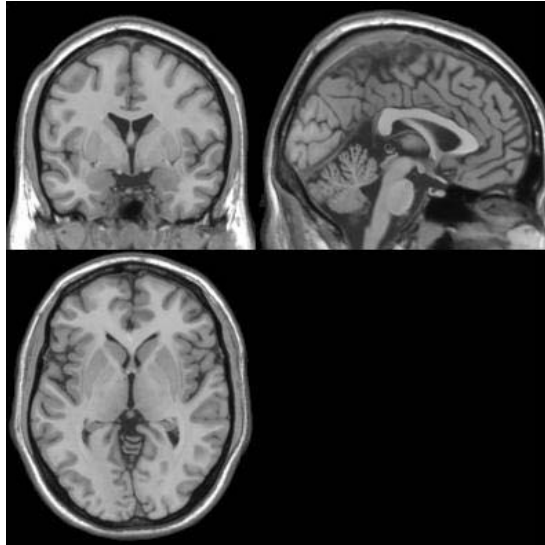


Las técnicas de estudio que empleamos en esta investigación son la Resonancia Magnética estructural y funcional, y la Tractografía probabilística. Las imágenes cerebrales obtenidas de la *Resonancia Magnética estructural*, son el resultado de la excitación de átomos de hidrógeno que contiene el cuerpo humano (recordando que el cuerpo humano está formado casi en un 63% de agua y que cada molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno), en otras palabras, la energía que liberan los átomos de hidrógeno al ser excitados es convertida en información para una computadora y ésta forma la imagen de la estructura del cerebro. Para el caso de la *Resonancia Magnética funcional*, las imágenes obtenidas y estudiadas son el resultado del mismo principio teórico de la técnica anterior, pero se suma la interacción de distintos componentes de la sangre (por ejemplo la Hemoglobina) en distintos estados energéticos (Hemoglobina oxigenada y desoxigenada) en regiones cerebrales que están participando en el proceso cognitivo de que se trate la tarea: para este caso la detección de una palabra y su correspondiente análisis ortográfico. Por último, la *Tractografía probabilística* tiene sus fundamentos en la predicción matemática respecto a la posición o localización de moléculas de agua en el tiempo, es decir, con este tipo de estudio se puede trazar una imagen de los tractos cerebrales (axones de las neuronas) con la localización de agua contenida en ellos y su correspondiente ubicación temporal medida mediante una predicción matemática.

El equipo y los programas computacionales que se utilizan para este estudio son de última tecnología. El equipo principal para la obtención de imágenes cerebrales es un escáner o resonador de 3 Teslas (medida del campo magnético que se puede aplicar) cuya imagen se puede apreciar a continuación:



Una vez obtenidos los datos de este equipo, son transformados en imágenes por medio de distintos programas desarrollados por la compañía que fabrica este equipo:



Estas imágenes contienen información de actividad de distintas regiones del cerebro relacionada con lo que se esté estudiando, para este caso, estas imágenes contienen información sobre qué regiones del cerebro participan en la detección de una palabra y su análisis de la estructura ortográfica de la misma. Esta información entonces es comparada con información de las mismas regiones del cerebro cuando participan en otro tipo de actividad, para este caso, cuando se detectan y se analizan una serie de símbolos (ver imágenes más adelante).

Para obtener toda esta información el participante debe contestar una serie de tareas estando recostado dentro del tubo del escáner o resonador. Estas tareas se presentan visualmente mediante la proyección de imágenes a través de un proyector y una pantalla, o a través de visores

ajustados para el participante. Cabe mencionar que estos visores pueden ajustarse hasta 5 dioptrías en caso de que el participante use lentes y por razones magnéticas no puedan introducirse al área de registro o escaneo (formados de metal):



La sesión de escaneo es de aproximadamente 45 minutos en los cuales se realizarán cinco estudios: tres estructurales y dos funcionales. En la primera tarea funcional se requiere la respuesta del participante cuando distinga entre tipos de estímulos: palabras correctamente

escritas, palabras incorrectamente escritas y estímulos neutros (símbolos). Para la segunda tarea funcional también se requiere que el participante distinga entre tipos de estímulos: palabras que contengan la letra *i*, palabras que no la contengan y estímulos neutros (símbolos). En ambas tareas la respuesta del participante se llevará a cabo presionando un botón de dos botoneras (una por mano) con sus dedos índices. Tanto las botoneras como ejemplos de los distintos tipos de estímulos pueden observarse a continuación:



Tarea funcional 1: distinguir entre palabras correctamente escritas e incorrectamente escritas.



Palabra **correcta** – índice derecho



Palabra **incorrecta** – índice izquierdo



Estímulo **neutro** – sin respuesta

Tarea funcional 2: distinguir entre palabras que contengan la letra *i* y palabras que no la contengan.



Palabra **contiene i** – índice derecho



Palabra **no contiene i** – índice izquierdo



### Estímulo **neutro** – sin respuesta

Es importante señalar que como trabajaremos con campos magnéticos, cualquier metal que se lleve en el cuerpo (o inclusive en la ropa) interfiere con el proceso de adquisición de las imágenes, en otras palabras, las imágenes que se obtienen no sirven debido a que se oscurecen demasiado. Por esta razón se recomienda a los participantes que el día del estudio usen ropa cómoda y que no contengan metales como cierres o botones metálicos, el uso de pants es altamente recomendable. Además de la ropa, a continuación se lista una serie de objetos que no deben portarse a la hora del estudio (existen lockers o compartimientos para dejar ahí estos objetos):

- Tarjetas de crédito o débito (la banda se desmagnetiza y dejan de funcionar)
- Cadenas, pulseras o anillos (interfieren con la señal)
- Relojes (se atrasan o dejan de funcionar)

Por cuestiones de seguridad de los participantes, no se permite la entrada a la cámara del escáner o resonador a personas que tengan en su cuerpo los siguientes aparatos o características:

- Marcapasos
- Implantes cocleares (auditivos)
- Inserciones pesadas de ortodoncia: brackets o jackets
- Tatuajes a base de tintas muy claras (contienen mucho hierro)



La sesión de registro se realizará los días sábado, nos pondremos en contacto con el participante para acordar la fecha exacta. Los registros se realizarán en las instalaciones del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) en el municipio de Juriquilla, en el Estado de Querétaro. Las razones por las cuales se realizan en día sábado y en esas instalaciones son porque dicho Instituto nos ha asignado ese día por cuestiones de horario, y porque sólo dicho Instituto cuenta con el equipo antes mencionado.

La salida del día acordado para el registro se hará desde las instalaciones del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara (U. de G.) a las 7:00 am (siete de la mañana) y el regreso será el mismo día y se llegará a Guadalajara alrededor de las 9:00 pm (nueve de la noche) al mismo lugar.

Dicho Instituto se encuentra ubicado en la calle de Francisco de Quevedo # 180, colonia Arcos Vallarta, C.P. 44130 en el municipio de Guadalajara del Estado de Jalisco. Como señas particulares la calle Francisco de Quevedo colinda con Avenida de La Paz y con la calle Lerdo de Tejada; el Instituto se encuentra a dos cuerdas de la plaza comercial Centro Magno ubicado en Avenida Vallarta.

Se les recuerda a los participantes que se les otorgará una bonificación de \$300.00 (trescientos pesos 00/100 M.N.) por su participación. Además, no cubrirán bajo ninguna circunstancia gastos de traslado (gasolina, casetas, etc.) o alimentación.

Una vez más agradecemos su participación en la presente investigación científica mexicana. Para cualquier duda o aclaración se encuentran los siguientes teléfonos, correos electrónicos y dirección web.

#### PREGUNTAS MÁS FRECUENTES

1. ¿Es doloroso un estudio de Resonancia Magnética?

R = Para nada, no se siente dolor alguno. En muchas ocasiones los participantes se sienten angustiados porque nunca se han realizado estudios de este tipo.

2. ¿Cuál es la duración de un estudio de Resonancia Magnética?

R = Aproximadamente 45 minutos. En este tiempo se realizan distintas técnicas de adquisición de imágenes cerebrales.

3. ¿Qué voy a sentir cuando ya esté acostado dentro del escáner?

R = Vibraciones y ruido. Por ser un equipo muy potente, hace mucho ruido y es por eso que a los participantes se les colocan tapones para los oídos. Aunque los niveles de ruido no son peligrosos, los participantes se sienten más cómodos utilizando estos tapones.

4. ¿Puedo mover mis brazos, piernas o alguna otra parte de mi cuerpo durante el estudio?

R = No. Como se obtienen imágenes del cerebro durante la realización de las tareas, incluso pequeños movimientos de la cabeza u otras partes del cuerpo no permiten la obtención adecuada de dichas imágenes. Se brindan periodos de descanso entre cada tarea o estudio que les permiten descansar.

5. ¿En qué transporte nos trasladaremos al municipio de Juriquilla en el Estado de Querétaro?

R = En una camioneta de uso privado. Se realizará el viaje en grupos de cinco participantes y los dos responsables del proyecto que se citan al final del documento.

6. ¿De dónde partirán y a dónde regresaran los participantes, una vez concluido el estudio y quién será la persona responsable de esto?

R = En el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara (dirección y señas particulares de ubicación se citan arriba en el documento). La salida será alrededor de las 7:00 am y la llegada el mismo día alrededor de las 9:00 pm. El Mtro. Daniel Zarabozo Hurtado esperará a todos los participantes que hicieron el viaje o si es el caso, a que los participantes aborden algún transporte de servicio público para regresar a sus hogares.

7. ¿Tendré que dar algún recibo fiscal a cambio del pago o compensación por mi participación?

R = No. El pago de \$300.00 (trescientos pesos 00/100 M.N.) se hará en efectivo y será libre de impuestos. Sólo deberán firmar un recibo simple sin valor fiscal, para control interno.

8. Si en el estudio se descubre que tengo alguna malformación o cualquier tipo de problema, ¿me informarán al respecto?

R = Sí. Aunque seremos dos responsables del proyecto los que realizaremos el viaje a Juriquilla junto con los cinco participantes, la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología cuenta con un equipo de trabajo muy completo que incluye médicos, enfermeras, físicos y técnicos en Resonancia Magnética. Los médicos y técnicos revisan las imágenes con el propósito de buscar y descartar cualquier tipo de problema en el cerebro del participante. En caso de existir algún problema, se brindará toda la información que se requiera (contacto con médicos especialistas, las imágenes obtenidas, etc.)

9. ¿A quién puedo pedir más detalles acerca de mi participación?

R = Al final de este documento se encuentran los datos de contacto (teléfonos y correos electrónicos) de los dos responsables de esta investigación quienes con gusto atenderán las dudas o preguntas que tengan al respecto.

ATENTAMENTE



Dr. Andrés Antonio González Garrido  
Tel. 3818-0740 Ext. 33358

[gonzalezgarrido@gmail.com](mailto:gonzalezgarrido@gmail.com)



Mtro. Daniel Zarabozo Hurtado  
Tel. 3818-0740 Ext. 33359  
Cel. 044-331-333-1511

[daniel.zarabozo@gmail.com](mailto:daniel.zarabozo@gmail.com)



Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara  
[www.ineuro.cucba.udg.mx](http://www.ineuro.cucba.udg.mx)





## ANEXO 5

Guadalajara, Jalisco a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_

DR. ANDRÉS ANTONIO GONZÁLEZ GARRIDO

P R E S E N T E .

Por este medio acepto participar en la investigación denominada "Alteraciones neurofuncionales en adultos con pobre conocimiento ortográfico", el cual fue aprobado por los Comités de Ética del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara y del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México. El objetivo general es analizar el volumen y la interconectividad funcional de áreas cerebrales involucradas en el reconocimiento de errores ortográficos en dos grupos de estudiantes mexicanos con diferente nivel de ejecución conductual en este tipo de tareas.

Se me ha explicado que mi participación consistirá en asistir a una sesión de aproximadamente una hora de duración en las instalaciones del Instituto de Neurobiología en el Municipio de Juriquilla de la Ciudad de Querétaro. En dicha sesión se realizarán estudios de Resonancia Magnética funcional mientras realizo distintas tareas relacionadas con mi desempeño ortográfico.

También se me ha explicado que no corro peligro alguno, que no se me administrará ningún tipo de medicamento, y que no se realizará ningún procedimiento que ponga en riesgo mi salud física o emocional. En caso de requerirlo, el Dr. Andrés González Garrido se compromete a responder todas las dudas que surgieran sobre el procedimiento mencionado.

Consiento de manera voluntaria mi participación siempre y cuando pueda desistir de la misma en cualquier momento, y se mantengan en estricta confidencialidad mi nombre y cualquier información que proporcione. Este consentimiento no libera a los investigadores o a las instituciones de su responsabilidad ética conmigo.

---

Nombre y firma del participante