



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE PSICOLOGÍA**

**DIFERENCIAS DEL PROCESAMIENTO ENTRE  
VERBOS, PSEUDO-VERBOS Y SÍMBOLOS A  
NIVEL CEREBRAL Y SU RELACIÓN CON  
HABILIDADES LINGÜÍSTICAS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADA EN PSICOLOGÍA**

**PRESENTA:  
BRENDA IVETTE ARCE LÓPEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DRA. AZALEA REYES AGUILAR  
REVISOR DE TESIS:  
DRA. MAGDALENA GIORDANO NOYOLA**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., MAYO 2021**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“Puedo escribir los versos más tristes esta noche. Yo la quise, y a veces ella también me quiso... Aunque éste sea el último dolor que ella me causa, y éstos sean los últimos versos que yo le escribo”.*

Poema XX: Pablo Neruda

## DEDICATORIA

A mi mamá: **Sonia**

Por su amor, paciencia y alegría ante la vida

A mi papá: **Carlos**

Por creer en mí siempre e impulsarme a ser una mejor persona

A mí tutora y revisora: **Dra. Azalea y Dra. Magda**

Fuentes de inspiración y ejemplos de tenacidad, fortaleza y perseverancia

A él: **G. C. A.**

Ejemplo de pasión, dedicación y vitalidad

# AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida académica, por su amor, sus consejos y su alegría; y por impulsarme siempre a alcanzar mis sueños.

A mi prima **Thalia** por estar siempre a mi lado y ser una hermana para mí; y porque su cariño incondicional ha sido, es y será siempre una luz en mi vida, incluso en la adversidad.

A mi familia, por creer en mí; ser ejemplo de dedicación, fortaleza y fe, y porque su apoyo a lo largo de toda mi vida me ha ayudado a perseverar y ser una mejor persona.

A mis amigos **Sergio, Elizabeth** y **Eliot** porque su cariño y compañía en los momentos más difíciles de mi vida me ha permitido seguir adelante.

A mis amigos de la facultad de psicología por hacer de ésta un segundo hogar para mí; y a mis profesores, por todas sus enseñanzas y ser ejemplos de tenacidad y calidad humana.

A mi incansable revisora la **Dra. Magda Giordano** por aceptar ser mi revisora, confiar en que podía hacer un buen trabajo, estar siempre dispuesta a apoyarme a lo largo de todo este proceso y permitirme ser parte del laboratorio. Una gran persona y científica.

A mis compañeros del laboratorio: "Plasticidad cerebral" por acogermme, ser amigos y mentores; por su alegría, su apoyo y alentarme en todo momento a lo largo de todo este proceso.

Un agradecimiento especial a mi tutora la **Dra. Azalea** por su calidad humana, paciencia y apoyo incondicional. Por acompañarme y brindarme su confianza en todo este proceso; por ser maestra y amiga; y porque su ejemplo de dedicación y pasión por su trabajo me inspira a seguir en este camino.

# INDICE

<b>1.RESUMEN</b> .....	7
<b>2.INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2.1 Comunicación y lenguaje</b> .....	9
<b>2.2 Procesamiento del lenguaje</b> .....	10
<b>2.3 Niveles de procesamiento del lenguaje</b> .....	12
<b>2.4 Modelos cerebrales de procesamiento del lenguaje</b> .....	16
<b>2.4.1 Modelo de Hickok y Poeppel</b> .....	18
<b>2.4.2 Modelo de Friederici</b> .....	20
<b>2.5 Estudios en neuroimagen a nivel de la palabra</b> .....	22
<b>2.5.1 Palabras y pseudo palabras</b> .....	23
<b>2.5.2 Palabras, pseudo palabras y símbolos</b> .....	25
<b>2.6 Resonancia Magnética funcional</b> .....	27
<b>3.JUSTIFICACIÓN</b> .....	30
<b>4.PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	31
<b>5.OBJETIVOS</b> .....	31
<b>6.HIPÓTESIS</b> .....	32
<b>7.MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	33
<b>7.1 Tipo y diseño de la investigación</b> .....	33
<b>7.2 Descripción general</b> .....	33
<b>7.2.1 Descripción de la muestra de participantes</b> .....	33
<b>7.2.2 Pruebas para definir criterios de inclusión y exclusión de participantes</b> .....	34
<b>7.2.3 Participantes</b> .....	35
<b>7.2.4 Paradigma experimental</b> .....	35
<b>7.2.5 Instrumentos</b> .....	37
<b>7.2.6 Aparatos</b> .....	38
<b>7.2.7 Procedimiento</b> .....	38
<b>7.2.8 Análisis de datos</b> .....	39
<b>8. RESULTADOS</b> .....	42
<b>8.1 Resultados de las pruebas conductuales (pruebas de fluidez verbal y vocabulario)</b> .....	42
<b>8.2 Resultados del modelo general lineal</b> .....	46
<b>8.3 Resultados del análisis por región de interés</b> .....	54
<b>9.DISCUSIÓN</b> .....	57

9.1 Análisis neuroanatómico de todo el cerebro.....	57
9.2 Análisis por ROIS .....	61
9.3 Análisis de las pruebas conductuales.....	63
10.CONCLUSIÓN .....	66
11.GLOSARIO .....	68
12.REFERENCIAS .....	71
13.BIBLIOGRAFÍA .....	79
14.TABLAS SUPLEMENTARIAS .....	80

## 1. RESUMEN

Para que la comunicación a través del lenguaje verbal pueda ser establecida, el ser humano desarrolla un sistema de procesamiento del lenguaje. Este sistema está formado por un grupo de componentes fonéticos, lexicales y semánticos que trabajan en conjunto para cumplir funciones del lenguaje como la lectura, escritura, habla, etc. Conocer la forma en la que se procesan estos componentes en nuestro cerebro ha llevado al desarrollo de modelos de procesamiento del lenguaje como los modelos clásicos de Broca y Wernicke, y modelos más recientes como los de Hickok y Poeppel y Friederici que dividen al lenguaje en dos niveles de procesamiento: un nivel sub lexical, que involucra procesos perceptuales de la palabra y un nivel lexical semántico que involucra procesos de reconocimiento y comprensión de la palabra. Estos dos niveles de procesamiento están representados a través de dos vías cerebrales distintas: la vía ventral o lexical; y la vía dorsal o sub lexical del lenguaje.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar y describir las diferencias y similitudes a nivel cerebral en la lectura de tipos particulares de palabras: los verbos; pseudo-verbos y símbolos mediante el uso de resonancia magnética funcional con base en los modelos de procesamiento del lenguaje de Hickok y Poeppel y Friederici. Así como evaluar si existía una relación entre la actividad cerebral durante el procesamiento de estos estímulos y el desempeño en las pruebas de fluidez verbal y vocabulario.

El estudio se realizó en dos etapas: en la primera etapa los participantes asistieron a un estudio de neuroimagen para realizar una la tarea 1-back, en la cual se presentaban visualmente tres tipos de estímulos: verbos, pseudo verbos y símbolos y el participante debía responder cuando el estímulo era igual al inmediatamente anterior presionando un botón. En la segunda etapa los participantes debían asistir a la aplicación de las pruebas conductuales (fluidez verbal y vocabulario), en la misma semana en la que habían asistido al estudio en el resonador. Posteriormente las imágenes cerebrales eran analizadas tanto para todo el cerebro como por región de interés para saber si existía una relación entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD y las medidas conductuales.

Los resultados mostraron diferencias en la señal BOLD del cerebro durante el procesamiento de verbos y pseudo-verbos en regiones asociadas a la vía ventral del lenguaje que de acuerdo con los modelos de Hickok y Poeppel (2004), y Friederici (2009) está asociada a procesos a nivel semántico de la palabra. También se encontraron diferencias en la señal BOLD del cerebro durante el procesamiento de verbos y símbolos

en regiones de ambas vías: dorsal y ventral, asociadas tanto a procesos fonológicos como de reconocimiento y comprensión de las palabras. Así como diferencias en el procesamiento entre pseudo verbos y símbolos en regiones de la vía dorsal del lenguaje. En cuanto al análisis de la señal BOLD y las medidas conductuales encontramos que cuando los sujetos tienen un buen desempeño en las pruebas conductuales la actividad durante el procesamiento de verbos es mínima mientras que para los pseudo verbos la actividad es mayor.

Nuestros hallazgos respecto al procesamiento a nivel cerebral en la lectura de verbos pseudo-verbos y símbolos apoyan las ideas propuestas por Hickock y Poeppel, y Friederici acerca del procesamiento dual del lenguaje. Mientras que los hallazgos respecto a la actividad cerebral y las medidas conductuales señalan que los verbos más que los símbolos y pseudo-verbos generan una menor activación en el cerebro, quizá porque los verbos al ser estímulos familiares que usamos de forma frecuente ya no requieren de grandes recursos a nivel neuronal para ser procesados.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Comunicación y lenguaje

Para el ser humano la base de la interacción social es la comunicación. Lomonosov define a la comunicación humana como: “Todo proceso de interacción social por medio de símbolos y sistemas de mensajes, que pueden ser verbales, o no verbales” (citado por Fiske, 1982). La comunicación permite enviar y recibir información por lo que ésta no es una facultad exclusivamente humana. La comunicación existe entre los animales e incluso las máquinas; sin embargo, lo que caracteriza a la comunicación humana respecto de otras es la posibilidad de transmitir mensajes a través del lenguaje verbal o habla (Díaz, 2015).

El tipo de comunicación más común y eficiente para el ser humano es el lenguaje verbal. Definimos el lenguaje como un sistema de representaciones que relaciona formas con significados (Kandel & col., 2000) mediante el uso estructurado de sonidos, símbolos y gestos (Bear & col., 2007). El lenguaje verbal emplea signos lingüísticos, como las palabras, para transmitir información. Los signos lingüísticos son elementos con los que intentamos representar la realidad y comunicarnos (Mittelmann, 1991; Short, 2007). Estos signos están formados por: un significante, un significado y un referente (Short, 2007). El significante es la configuración fonética del signo, por ejemplo, la palabra g-a-t-o. El significado por su parte se refiere al concepto que una cadena de sonidos nos sugiere, es decir, la imagen mental que nos hacemos del significante u objeto y el referente es el objeto al que nos referimos (Pierce 1996 citado por Cienfuentes-Honrubia, 2010 y Short, 2007).

En el ser humano el lenguaje verbal es considerado un proceso cognitivo de carácter cuasi automático (Shiffrin & Schnerder, 1977) que de forma natural se divide en dos modalidades: una modalidad auditiva-oral y una modalidad escrita. Ambas modalidades comparten formas específicas con las que el lenguaje puede ser representado; estas formas específicas asignan significados específicos, como sucede con las palabras. Las palabras son formas de representar el lenguaje, y de ellas parten otras formas más complejas como: las oraciones, discursos, entre otros. (Purves & col., 2008)

Las palabras son signos lingüísticos, que establecen asociaciones arbitrarias entre un sonido (fonología) y un significado (semántica) (Dronkers & cols., 2000). Las palabras se definen y distinguen por sus fonemas: unidades mínimas de sonido que carecen de significado y son distintos entre sí. Los fonemas se clasifican en vocales y consonantes. Los fonemas al unirse, según las reglas específicas de nuestra lengua, se estructuran en unidades de orden superior: las sílabas (Hickok & Poeppel, 2007). Las sílabas se

constituyen, además, por otros elementos lingüísticos: los lexemas (unidad mínima que posee un significado léxico dentro de una palabra, es la raíz de la palabra) y los morfemas (unidad mínima que otorga significado gramatical a una palabra) que al agruparse dan lugar a las palabras (Coseriu, 1986). Las palabras pueden designar objetos, acciones o conceptos abstractos. Esta relación entre la palabra y el objeto o acción en cuestión es el resultado de la asociación entre el sonido y el significado de esa palabra a través de la experiencia (Dronkers, & col., 2000). Esta asociación es muy importante pues permite distinguir a las palabras de otros signos como los símbolos no lingüísticos y las pseudo palabras donde la relación sonido-significado no existe.

Las palabras generalmente pueden ser categorizadas como sustantivos, adjetivos, verbos y adverbios (García-Miguel, 2013). Esta categorización responde a uno de los elementos más importantes de las palabras: su categoría léxica o clase léxica. Una categoría léxica es un tipo particular de palabra que se define por su contenido referencial y semántico, y que se clasifica generalmente por su comportamiento sintáctico o morfológico (García-Miguel, 2013). Las categorías léxicas más extendidas entre todas las lenguas del mundo son el sustantivo y el verbo. Los verbos específicamente son un tipo de palabra o categoría léxica con la que se expresan acciones, procesos o estados que afectan al sujeto. Los verbos tienen variación de tiempo, forma, modo, voz, número y persona, y en la oración, funcionan como núcleo del predicado (García-Miguel, 2013).

A pesar de que los sustantivos y los verbos son las categorías lexicales más usuales, más allá de estas dos clases existen variaciones significativas entre unas lenguas y otras. Por ejemplo, el japonés tiene tres clases de adjetivos, mientras que el inglés sólo cuenta con una. El conjunto total de palabras que se engloban dentro de las categorías léxicas de una lengua se conoce como lexicón (García-Miguel, 2013).

## 2.2 Procesamiento del lenguaje

El procesamiento del lenguaje implica la subdivisión de las funciones del lenguaje, por ejemplo, hablar y leer. Estas funciones se dividen a su vez en una variedad de operaciones especializadas que forman parte de lo que se conoce como: Sistema de procesamiento del lenguaje (Stemmer & Whitaker, 2008). El sistema de procesamiento del lenguaje es un sistema de entrada y salida formado por un grupo de componentes (procesamiento fonético, acceso lexical, acceso semántico, etc.) semindependientes que trabajan en conjunto para cumplir con tareas o funciones sustantivas para el lenguaje (lectura, escritura, habla, comprensión auditiva, etc.) (Stemmer & Whitaker, 2008). Durante

el procesamiento del lenguaje, el uso de los distintos componentes del lenguaje, como el procesamiento fonológico o el acceso semántico, dependerá en parte de la modalidad del lenguaje (auditiva oral o escrita) y de la tarea a ejecutar (Stemmer & Whitaker, 2008). Por ejemplo, en la tarea de producción verbal, que implica la modalidad auditivo-oral del lenguaje, el procesamiento sería el siguiente (Stemmer & Whitaker, 2008):

- Procesamiento fonético o fonológico (entrada): Análisis de las ondas acústicas que forman la palabra, fonemas y su organización en estructuras métricas, sílabas. Ejemplo, en la palabra A-R-B-O-L, la letra “A” tiene un sonido distintivo, diferente al de los demás.
- Acceso léxico (entrada): Análisis de la raíz de la palabra o lexema. Implica buscar en la memoria las palabras que comparten ese lexema y seleccionar de entre ellas la palabra correcta. Por ejemplo, el lexema “AR” para la palabra ARBOLEDA.
- Acceso semántico (entrada): Una vez seleccionada la palabra correcta, se activan las características semánticas de la palabra para poder identificarla y darle un significado. Por ejemplo, en la palabra ARBOL, las características semánticas que lo distinguen como objeto podrían ser que está formado por un tronco y hojas, que es grande y muy resistente, que sirve como materia prima para hacer muebles, etc. Estas características a su vez le dan el significado a la palabra.
- Planeación fonológica (salida): Ya que la palabra ha sido seleccionada e identificada habrá una activación de las características fonológicas de la palabra para poder así producir la palabra (habla).

En el caso de la modalidad escrita, el procesamiento del lenguaje es similar sólo que la palabra escrita activa, además, su forma ortográfica, y el input o entrada inicial es visual en vez de acústica, por lo que se hace un análisis no sólo de los fonemas que forman la palabra sino también de los grafemas (unidades mínimas en el sistema de representación gráfica de la lengua) para poder reconocer la palabra que se lee (Stemmer & Whitaker, 2008). Para que esta relación grafema-fonema exista debe haber una correspondencia entre la forma fonológica de la palabra y su forma escrita o grafema (Stemmer & Whitaker, 2008), esta correspondencia está presente en las palabras, aunque también en las pseudopalabras. Finalmente, una vez que se lleva a cabo el reconocimiento de la palabra, el output o salida motora corresponderán a la pronunciación de esa palabra (Stemmer & Whitaker, 2008) o bien a su escritura.

### 2.3 Niveles de procesamiento del lenguaje

A nivel cognitivo, el procesamiento del lenguaje distingue entre dos procesos dirigidos a la activación de representaciones lingüísticas. La producción y la comprensión del lenguaje. La producción del lenguaje implica siempre una salida u *output* motor, ya sea oral o escrito. Pero, para que esto ocurra, hay una serie de operaciones específicas que anteceden. Levelt (1999) distingue tres fases en la producción del lenguaje:

- I. Fase de planeación: Los sujetos seleccionan el contenido del mensaje o “idea” que quieren comunicar.
- II. Fase de decodificación lingüística: Como hemos mencionado ya, la forma básica de una unidad lexical o palabra es su representación fonológica, que incluye a sus elementos básicos, los fonemas. Por lo tanto, la decodificación lingüística es la configuración del plan fonético del mensaje. Es decir, la representación secuencial y ordenada de las unidades lingüísticas mínimas (fonemas, sílabas) que componen una palabra u oración.
- III. Fase de articulación (salida motora): En esta fase, las representaciones lingüísticas del plan fonético son traducidas a un código o plan motor que especifica y pone en marcha la secuencia de movimientos articulatorios que se han de realizar para la producción del habla o su escritura.

Dentro del campo de la psicolingüística, área de conocimiento que se encarga del estudio de los procesos dirigidos a la activación de representaciones lingüísticas por ejemplo; las palabras (Diéguez-Vide & Cassanova-Peña, 2012), se han explorado distintas formas de evaluar la capacidad de un individuo para producir palabras de forma espontánea, a través de pruebas o tareas lingüísticas (Diéguez-Vide & Cassanova-Peña, 2012). Dentro de estas pruebas o tareas lingüísticas, la Prueba de Fluidez Verbal, contenida en la Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y lóbulos Frontales, BANFE, es una de las más populares. Esta prueba evalúa la capacidad para producir dentro de un margen de tiempo reducido la mayor cantidad de verbos posibles (Flores, Ostrosky y Lozano, 2014). Además de la Prueba de Fluidez Verbal, otras pruebas cuyo principio es el mismo, y nos permiten explorar también el procesamiento de la palabra, especialmente su producción (Gernsbacher & Kaschak, 2003) son las Pruebas de Fluidez Semántica y Fluidez Fonológica, que serán detalladas más adelante.

Como se menciona al inicio de esta sección, el procesamiento del lenguaje a nivel cognitivo involucra también la comprensión misma del lenguaje, la cual será la base de nuestro estudio al intentar distinguir a las palabras de otros estímulos. Cuetos (2012), establece cuatro procesos u operaciones fundamentales implicados en la comprensión de formas lingüísticas:

- I. Procesos perceptivos: permiten extraer información de los elementos que constituyen a la unidad lexical o palabra, es decir, analizar sus características fonológicas, gráficas, ortográficas, etc. Para la modalidad escrita, el análisis es a nivel visual. Por lo tanto, en este análisis se hace un reconocimiento de las secuencias gráficas (grafemas) que forman la unidad lexical; a través de sus rasgos físicos particulares (trazos rectos verticales, horizontales, curvas, círculos. Por ejemplo, entre la b/ p/, m/ u/, e/ o/ etc.) (García, 1993). Mientras que, en la modalidad auditivo-oral el análisis es acústico. Es decir, se analizan los rasgos fonéticos de la palabra: las ondas sonoras que la forman (fonemas), sus propiedades acústicas (Blumstein & cols., 1977), las secuencias que forman (sílabas); y otras características fonológicas como acentuación, entonación, sonoridad e incluso, frecuencia del sonido.
- II. Procesos léxicos o de reconocimiento: El reconocimiento de una palabra involucra cuatro estados de procesamiento lexical:
  1. Contacto lexical, es decir, cuando una unidad lexical (*input*), resultado del análisis de las ondas sonoras entra en contacto con el lexicón
  2. Activación de los inputs o entradas léxicas
  3. Selección de la entrada léxica o palabra adecuada de un grupo de posibles entradas o inputs
  4. Acceso a toda la información y características de la entrada léxica

A partir de esta propuesta se han desarrollado diversos modelos que buscan explicar cómo reconocemos y seleccionamos una palabra y el conocer acerca de estos modelos nos servirá para una mejor comprensión de los modelos a nivel cerebral que serán la base de nuestro estudio.

Uno de los modelos más usados en campo de la psicolingüística es el “Modelo de Corte” o “Cohort Model” (Caplan, 1996). Este modelo nos dice lo siguiente: “La entrada de un estímulo lingüístico, tanto auditivo como visual, genera una activación neuronal desde el

momento en que la palabra comienza a ser leída o escuchada, es decir que el cerebro va haciendo un análisis de cada uno de los elementos fonológicos y ortográficos que forman la palabra de manera segmentada y no como un todo que es analizado hasta que la palabra termina de leerse o escucharse” (Caplan, 1996). El input hace contacto con los órganos sensoriales y estimula el léxico mental, activando en el cerebro todas las palabras que empiezan con ese fonema; las palabras que son activadas por este input pero que no son la palabra blanco se conocen como competidores o candidatos léxicos. Entre más información fonológica entra se van estimulando otras neuronas, y los candidatos léxicos que concuerdan menos con esa información son descartados o inhibidos (Caplan, 1996).

Cabe mencionar que todos los posibles candidatos léxicos o competidores son examinados en paralelo. Al proceso mediante el cual las palabras más cercanas a la palabra blanco son activadas y los competidores menos cercanos son rechazados se le conoce como “activación y selección” o “reconocimiento y competencia”. Este proceso continúa hasta que sólo una palabra permanece activa y todos los demás competidores han sido eliminados, momento en cual se da *el reconocimiento* (Caplan, 1996).

Una vez que se ha llegado al punto de reconocimiento de la palabra, es decir, el punto en el que la palabra blanco difiere de todas las demás palabras en el lenguaje, ocurre la selección lexical. Finalmente, la *selección lexical* es el proceso que se encarga de seleccionar el elemento adecuado de un conjunto de palabras que son activadas (Caplan, 1996).

III. Procesos semánticos: Los procesos semánticos se encargan de extraer el significado de la palabra a partir del reconocimiento de la misma (Caplan, 1996). El significado de una palabra, oral o escrita, hace referencia a la relación de la palabra con un concepto (Caplan, 1996). Para que esta relación ocurra, es necesaria la representación del concepto en la memoria semántica. La representación de un concepto en la memoria semántica parte de ideas propuestas en distintos modelos, tales como:

1. El *modelo clásico*, en él, el concepto de un objeto es representado en términos de un conjunto de propiedades o características que son compartidas por los diferentes miembros de una categoría (Caplan, 1996). Ejemplo: Las aves, las aves tienen plumas, alas, etc. Un petirrojo es un ave, por lo tanto, este debería tener plumas, alas, etc.

2. *Los modelos alternos* por su parte, nos dicen que no todas las características que se cree que tiene un objeto entran necesariamente en el concepto de ese objeto (Caplan, 1996). Ejemplo: Una silla; una silla está hecha de madera, tiene cuatro patas, etc.; pero esto no es necesariamente cierto puesto que hay sillas que son hechas de metal o no tienen cuatro patas. Además, mencionan, que cuando a un sujeto se le pide dar las características más relevantes de un concepto podemos ver que no todos los miembros de ese concepto poseen todas las características dichas (Caplan, 1996). Ejemplo: El atributo “volar” no aplica para todos los miembros del concepto “ave”. Por lo que se cree que los atributos o características en la conceptualización de un objeto están más bien definidos por la probabilidad de estar presentes en ese objeto. Por ejemplo, nuevamente para el concepto “ave”, sabemos que no todas las aves vuelan, aunque la mayoría sí, por lo que es más común que este atributo sea incluido en la representación de ese concepto.

3. *El modelo del concepto central* distingue entre dos partes del concepto: a) el “significado central”, y b) los procesos para identificar a los miembros del concepto central. El significado central (*core meaning*) involucra las características físicas o perceptuales del objeto, así como sus propiedades abstractas, y funcionalidad. El “significado central” permite establecer y describir la relación semántica entre dos objetos, mientras que los procesos de identificación se encargan de hacer la clasificación de los miembros de la categoría accediendo a la información de sus características perceptuales y abstractas (Caplan, 1996; Diéguez-Vide & Cassanova-Peña, 2012).

4. *El modelo de Paivio*, conjunta ideas de los modelos antes mencionados y distingue el procesamiento del concepto a través de un sistema o código verbal y no verbal. El código verbal semántico incluye la información no sensorial de un objeto (Caplan, 1996), por ejemplo: el hecho de que la zanahoria es un vegetal que puede ser usado en ensaladas. Mientras que el código semántico no verbal contiene información acerca de las propiedades del objeto como su forma, color, textura, etc. (Caplan, 1996). La representación del concepto de una palabra hace contacto directo en la memoria semántica primero usando las propiedades del concepto en el repertorio semántico no verbal, y después avanza al repertorio semántico verbal (Caplan, 1996).

En conclusión, a pesar de las diferencias entre los modelos antes mencionados y descritos todos coinciden en que la extracción del significado de una palabra es un proceso que involucra en primera instancia el reconocimiento de la palabra y posteriormente la representación mental de esa palabra a partir de la elaboración de un concepto, formado mediante la integración de los conocimientos almacenados previamente en la memoria sobre sus propiedades físicas y abstractas.

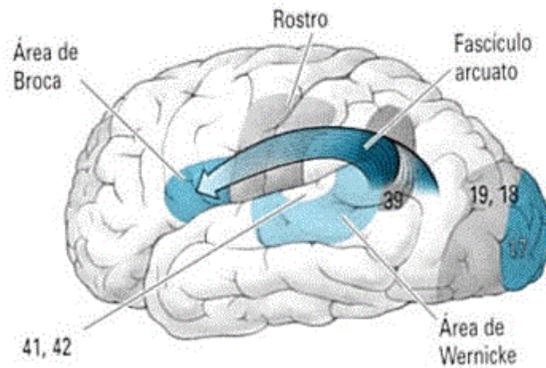
Al igual que en los procesos de producción, la comprensión del lenguaje puede ser evaluada mediante pruebas cognitivas; una de las más comunes y accesibles es la prueba de “vocabulario” de la Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler o WAIS-IV (Wechsler, 2012) que evalúa el índice de comprensión verbal.

A nivel cerebral, el estudio sobre el procesamiento del lenguaje y la palabra también distingue entre aspectos fonológicos, léxicos y semánticos. Cada uno de estos aspectos se representan de forma distinta en el cerebro (Hillis, & Caramazza, 1995). Es por eso que tener un mejor entendimiento acerca del procesamiento del lenguaje a nivel cognitivo nos permite entender mejor cómo se están llevando a cabo estos procesos a nivel cerebral.

#### 2.4 Modelos cerebrales de procesamiento del lenguaje

Desde hace mucho tiempo ha existido un gran interés por comprender cómo se procesa el lenguaje en el cerebro. A mediados del siglo XIX se establecieron los fundamentos anatómicos del lenguaje, basados especialmente en los estudios clínicos de Broca y Wernicke (Purves & cols., 2007; Herrera, 2019). Se propuso entonces que el lenguaje se asociaba con la actividad de tres regiones del hemisferio izquierdo: la región posterior del lóbulo frontal, el segmento superior del lóbulo temporal y la ínsula. Wernicke señaló explícitamente que el área alrededor de la cisura de Silvio, junto con la corteza de la ínsula, funcionaban como centro del habla; la circunvolución frontal basal, siendo motora, como el centro de la representación de los movimientos, y la circunvolución del lóbulo temporal, siendo sensorial, como centro de las imágenes de las palabras (Ardila & cols., 2016; Herrera, L. 2019).

Fig 1. Modelo clásico del procesamiento del lenguaje



Fuente: (Kolb, Wishaw, 2006, p. 496)

Fig. 1. Representación del modelo clásico de procesamiento del lenguaje propuesto por Broca y Wernicke. En esta figura se muestran las regiones clásicas encargadas de la comprensión (área de Wernicke) y producción (área de Broca) del lenguaje.

Hacia comienzos del siglo XX, Dejerine integró las observaciones clinicoanatómicas existentes en el momento y propuso la existencia de un “área del lenguaje”, que incluía el área de Broca y el área de Wernicke, y un “centro del lenguaje escrito”: la circunvolución angular (Ardila & cols., 2016; Herrera, 2019). Ya hacia finales del siglo XX surgió un nuevo modelo en el estudio de la organización cerebral del lenguaje: el modelo funcional (Ardila & cols., 2016; Herrera, 2019).

La introducción de las técnicas contemporáneas de neuroimagen, en especial la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética funcional, permitieron avanzar significativamente en la comprensión de la organización cerebral del lenguaje y a pesar de las diversas limitaciones de estas técnicas, se hizo evidente que el lenguaje se asociaba más con la actividad de una red o circuito cerebral que con regiones cerebrales específicas. El modelo funcional, a diferencia del modelo clínico, analiza la organización cerebral del lenguaje en condiciones normales, no patológicas (Ardila & cols., 2016; Herrera, 2019). Se recurre a la creación de condiciones experimentales en las cuales el control de distintas variables puede ser más directo y efectivo. Aunque las conclusiones no son exactamente coincidentes con las del modelo clínico, ambos modelos se complementan mutuamente (Ardila & cols., 2016). El modelo funcional sirvió como punto de referencia para el desarrollo de otros modelos donde se analizaban las áreas que podrían estar participando en la recepción y comprensión del lenguaje (componente

léxico/semántico), y las áreas relacionadas con la producción lingüística (componente gramatical).

Uno de estos modelos fue el modelo básico de doble-ruta introducido por los psicolingüistas Marshall y Newcombe en 1973. En su modelo de doble-ruta, Marshall y Newcombe explican el procesamiento del lenguaje a nivel de la palabra a través de dos vías para llegar desde la palabra escrita al significado: la vía sub-lexical, que actúa mediante la transformación de cada uno de los grafemas que componen la palabra a su correspondiente fonema, y la vía léxica que reconoce la palabra de forma directa a través de su análisis semántico (Cuetos, 2011). La vía léxica es más rápida, pero requiere que esa palabra esté representada en la memoria ortográfica del lector. La vía sub-lexical es más lenta, pero permite la lectura de cualquier palabra sea conocida o desconocida, e incluso pseudopalabras (Cuetos, 2011). A partir de esta distinción, Marshall y Newcombe, (1973) proponen la existencia de procesos neuronales diferentes para cada vía durante el procesamiento del lenguaje escrito. Esta propuesta sirvió como punto de referencia para el surgimiento de otros estudios que acogieron la idea de que el procesamiento del lenguaje a nivel cerebral está dividido en dos niveles: un nivel pre lexical, que involucra aspectos perceptuales y fonológicos de la palabra y un nivel léxico-semántico, que abarcan aspectos gramaticales y del significado de la palabra. Tal es el caso de los modelos propuestos por Hickok y Poeppel, en 2004 y Frederici, en 2013.

#### 2.4.1 Modelo de Hickok y Poeppel

El modelo dual de Hickok y Poeppel, (2004) propone que las regiones cerebrales más allá de las áreas perisilvanas clásicas son fundamentales para el procesamiento del lenguaje y no se restringen al hemisferio izquierdo. Hickok y Poeppel dividen al lenguaje en dos niveles de procesamiento: Un sistema de procesamiento sub-lexical, que involucra procesos perceptuales de la palabra, oral o escrita; y un sistema de procesamiento lexical-semántico que involucra procesos de reconocimiento y comprensión de la palabra. De acuerdo con estos autores, estos procesos están representados a través de dos vías cerebrales distintas: la vía ventral o lexical; y la vía dorsal o sub-lexical del lenguaje.

La vía ventral tiene un papel importante para encontrar el significado y comprender las palabras, su organización es bilateral e involucra regiones temporales superiores y medias. La vía dorsal tiene que ver con la construcción de la palabra y posterior articulación de ésta. Esta vía está más lateralizada al hemisferio izquierdo o hemisferio dominante e

involucra regiones posteriores del lóbulo temporal y frontal, así como el giro angular (Hickok & Poeppel, 2007).

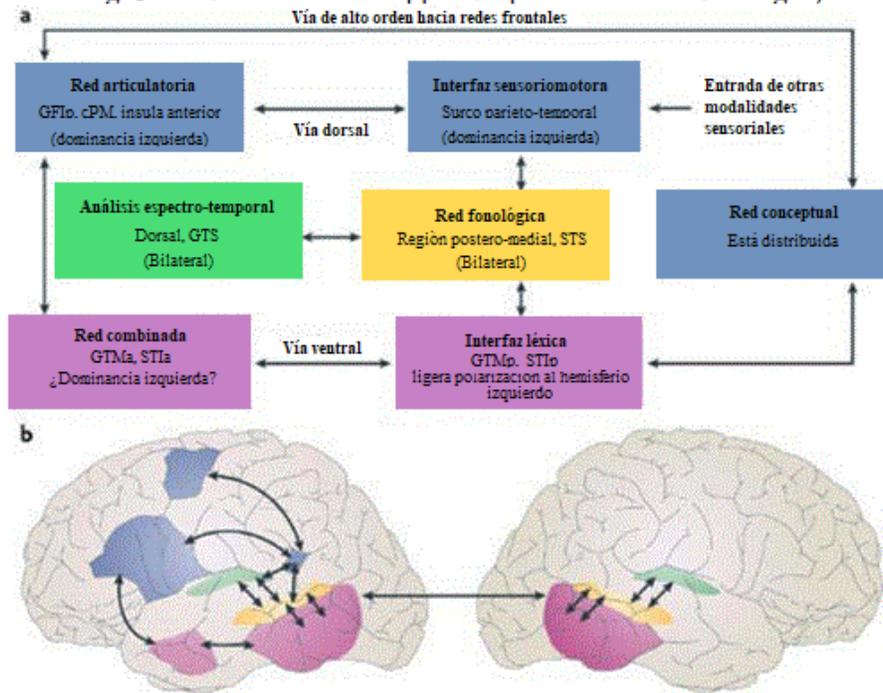
#### *Vía ventral: del sonido al significado*

Podríamos decir que la comprensión de una palabra inicia con la percepción del sonido, y termina con la representación conceptual de la palabra escuchada. Este proceso involucra operaciones a distintos niveles, que incluyen el análisis acústico de las ondas sonoras, su representación fonológica y secuenciación; la formación de estructuras más complejas como las sílabas, el análisis lexical y gramatical de la palabra, su reconocimiento y el manejo a de la información semántica de esa palabra en la memoria (Hickok & Poeppel, 2007). La vía ventral ha sido particularmente asociada al procesamiento léxico-semántico de la palabra y en consecuencia a la comprensión de ésta. Esta vía involucra regiones cerebrales de gran relevancia como el giro temporal medio anterior que además de ser una región de acceso a información lexical de la palabra, es considerado como la interfaz entre el sonido y el significado; el giro temporal medio posterior y el surco temporal inferior izquierdo y derecho (Hickok & Poeppel, D., 2000 citado en Hickok & Poeppel, 2007: Hickok & Poeppel, 2004).

#### *Vía dorsal: del sonido a la articulación*

A diferencia de la vía ventral, el papel funcional de la vía dorsal no se encuentra bien definido, sin embargo, se ha propuesto a esta vía como la interfaz entre los sistemas perceptuales (visual o auditivo) y el sistema motor. La vía dorsal es considerada el enlace entre las representaciones sensoriales y motoras del lenguaje. Esta interacción sensoriomotora es la base para la adquisición de nuevo vocabulario, a partir de la representación sensorial de la nueva palabra se elaborarían las secuencias de articulación motora. Otra de las principales funciones que han sido asociadas a esta vía es el reconocimiento de la palabra. De forma particular el reconocimiento de la palabra ha sido asociado con mayor activación en el surco temporal superior encargado de la representación y procesamiento perceptual de la información (Hickok & Poeppel, 2004). Además del surco temporal superior otras de las regiones cerebrales que forman a esta vía incluyen al giro frontal inferior izquierdo, la insula anterior y la corteza premotora .

Fig. 3 Modelo Hickok-Poeppel del procesamiento del lenguaje



Nature Reviews | Neuroscience

Figura modificada de: Hickok y Poeppel, (2007)

Fig 3. Representación del modelo de procesamiento del lenguaje de Hickok y Poeppel. En esta figura se muestran las dos vías (vía ventral y vía dorsal) de procesamiento del lenguaje propuestas por estos autores, así como las principales regiones asociadas a cada vía.

#### 2.4.2 Modelo de Friederici

El modelo de Friederici establece que el procesamiento del lenguaje requiere de la interacción de diversas regiones en sitios distantes del cerebro. Estas regiones transfieren información entre ellas y forman redes funcionales. Tomando como base al modelo de Hickok y Poeppel, Friederici y Gierhan (2013) diferenciaron dos rutas dentro de la vía dorsal y otras dos rutas dentro de la vía ventral, indicando un total de 4 vías que conectan regiones prefrontales y temporales (Friederici, 2012), estas vías se refieren a fascículos en particular (Friederici, 2009). En la vía dorsal Friederici señala al fascículo arqueado como clave para el procesamiento sintáctico, este fascículo une al área 44 de Brodman (Broca pars opercularis) con el giro temporal superior posterior y al fascículo longitudinal superior que se relaciona con la repetición y construcción fonológica y que une al giro temporal superior

con la corteza premotora (Friederici, 2009: Friederici, 2011). Mientras que, la vía ventral, se dividiría a su vez en el fascículo uncinado, que une al giro temporal superior anterior y al surco temporal superior con el opérculo frontal, y que tendría un importante papel en el procesamiento del significado gramatical, y el fascículo fronto-occipital inferior que parece tener relación con la semántica verbal y que une al área 45 de Brodman (Broca pars triangularis) con la corteza temporal incluida el área de Wernicke (Friederici, 2009: Friederici, 2011). Además, se añaden a este modelo estructuras clásicas que juegan un papel importante en la articulación y la discriminación de sonidos verbales, como la corteza motora primaria y la corteza auditiva primaria; así como otras regiones entre las que se incluye al giro de Heschl, el surco frontal inferior y el área 42 y 22 de Brodman (Wernicke) (Friederici, 2009: Friederici, 2011).

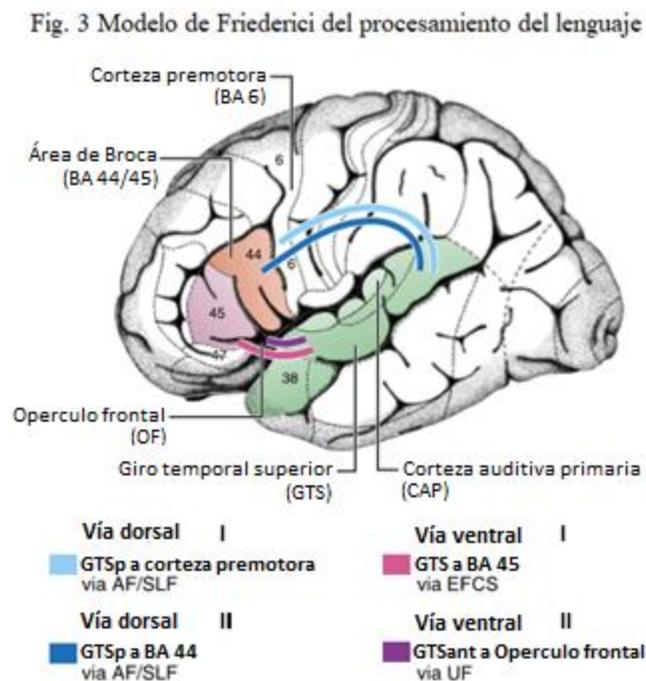
#### *Vía ventral*

A través de la vía ventral, la corteza frontal y la corteza temporal intercambian información por medio del fascículo uncinado y el fascículo fronto-occipital inferior. El fascículo uncinado conecta a la corteza frontal anterior-inferior con la corteza temporal anterior (Friederici, 2009: Friederici, 2011). Por su parte, el fascículo fronto-occipital inferior conecta la corteza frontal con áreas posteriores del cerebro como la corteza temporal posterior, la corteza occipital y la corteza parietal (Friederici, 2009). Ambas vías conectan áreas en la corteza frontal anterior-inferior que han sido descritas como relevantes para el procesamiento semántico (Vigneau, & cols., 2006; Friederici, y col., 2013) y de manera particular en el control de procesos a nivel de palabras como el juicio semántico, la categorización (Thompson-Schill, & cols., 1997; Fiez y cols., 1996; Friederici, & col., 2013), y el procesamiento léxico semántico (Lau, & cols., 2008; Friederici & col., 2013). Cabe mencionar que estas vías también han sido asociadas al procesamiento sintáctico básico, involucrando regiones como el giro temporal superior y el opérculo frontal (Wilson, y cols., 2011).

#### *Vía dorsal*

En la vía dorsal, la información es enviada principalmente a través de dos conjuntos de fibras; el fascículo arqueado y el fascículo longitudinal superior.

El fascículo arqueado proyecta directamente de la porción posterior del área de Broca, al giro temporal superior y al giro temporal medio. Mientras que el fascículo longitudinal superior conecta regiones en la corteza temporal (como el giro temporal medio y la corteza premotora (Friederici & col., 2013) recorriendo zonas temporales y parietales que también se relacionan con el bucle fonológico de la memoria de trabajo. Ambas vías han sido descritas como la base de importantes funciones en el lenguaje tales como el habla o producción de la palabra, la repetición (Saur & cols., 2008), y el procesamiento sintáctico complejo (Wilson & cols., 2011).



Fuente: *Physiol Rev.* (2011)

Figura modificada de: Friederici, (2009)

Fig 3. Representación del modelo dual de procesamiento del lenguaje propuesto por Friederici. En esta figura se representan las cuatro vías de procesamiento del lenguaje, dos vías ventrales y dos vías dorsales; así como las regiones que forman cada una de estas vías y los fascículos que las conectan.

## 2.5 Estudios en neuroimagen a nivel de la palabra

Los estudios sobre procesamiento del lenguaje a nivel de la palabra han sido de particular interés en el campo de las neurociencias y la neurolingüística. Para ello, el uso de técnicas electrofisiológicas y más recientemente de imagenología cerebral han sido de

gran ayuda. Los estudios a nivel de la palabra han sido dirigidos principalmente a estudiar sus componentes (fonología, morfología, ortografía, etc.) e identificar las áreas específicas del cerebro donde estos están representados. Para ello, la mayoría de los estudios hacen uso de tareas visuales o de lectura; así como de estímulos “control” tales como pseudo palabras, secuencias de letras, símbolos, etc. que permiten extraer información adicional acerca de los componentes de la palabra.

### 2.5.1 Palabras y pseudo palabras

Los estudios en los que se realizan contrastes en el procesamiento entre palabras y otros estímulos lingüísticos como las pseudo palabras nos permiten conocer más acerca de dónde y cómo se representan los componentes del lenguaje. Para esto, lo primero que debemos saber es que las pseudo palabras son secuencias novedosas de sílabas que cumplen con las reglas ortográficas y gramaticales del idioma; están compuestas por elementos visuales, morfológicos y fonológicos, al igual que las palabras, pero a diferencia de ellas, las pseudopalabras carecen de un componente semántico o significado (Pulvermüller, 1999).

La mayoría de los estudios que comparan los mecanismos cerebrales involucrados en el procesamiento de palabras vs pseudo palabras han utilizado tareas de lectura y han usado la tomografía por emisión de positrones (PET<sup>1</sup>). Algunos de estos estudios incluyen los trabajos de Petersen y cols., (1990); Fiez y cols., (1996); Herbster y cols., (1997); Rumsey y cols., (1997); Brunswik y cols., (1999); Paulesu y cols., (2000) y Xu y cols. (2001); Hagoort y cols., (2004). Estos trabajos usan tareas de reconocimiento en las que se leen palabras y pseudo-palabras de forma alternada durante el estudio de PET con el objetivo de conocer qué áreas del cerebro se activan para cada estímulo. Los resultados generales obtenidos de estos estudios muestran un incremento en la actividad de diversas áreas involucradas en el procesamiento del lenguaje, principalmente regiones posteriores como la corteza extraestriada, regiones temporales como el giro temporal inferior izquierdo, el lóbulo parietal inferior izquierdo, el opérculo frontal y el cerebelo derecho ante la

<sup>1</sup> la tomografía por emisión de positrones o PET por sus siglas en inglés es una técnica de imagen funcional. El uso de la PET en el estudio del cerebro proporciona información sobre su metabolismo. El fundamento de esta técnica consiste en marcar con un átomo radiactivo (radioisótopo) como el Flúor 18 (18F) a una molécula biológica (trazador), como flúor-desoxi-glucosa (FDG), un análogo de la glucosa. La FDG es almacenada por la célula, pero a diferencia de la glucosa normal, no puede ser utilizada para la producción de energía, y queda atrapada dentro de ella. De este modo, la captación de FDG en las células es proporcional a su nivel metabólico. Al tiempo que la FDG es atrapada en la célula, el radioisótopo de 18F sufre una desintegración nuclear que da lugar a la liberación de un positrón que se aniquila rápidamente al recombinarse con un electrón cercano, emitiendo dos fotones. Para detectar la emisión de estos fotones, se utilizan las denominadas cámaras PET, que consisten en una serie de anillos de fotodetectores de centelleo que rodean la cabeza del paciente.

presentación de pseudo palabras más que de palabras. Sin embargo, algunas de estas áreas cerebrales que incrementan su actividad cuando se presentan las pseudo palabras más que las palabras, difieren entre un estudio y otro; y sólo en dos áreas el incremento de la actividad es consistente para todos los estudios: el giro frontal inferior izquierdo y el giro temporal inferior izquierdo. Estos hallazgos sugieren una diferencia en la actividad cerebral entre palabras y pseudo palabras.

Además, el incremento en la actividad metabólica cerebral para las pseudo palabras más que las palabras sugiere, de acuerdo a autores como Petersen y cols., (1990); Herbster y cols., (1997); Rumsey y cols., (1997); Brunswik y cols., (1999) y Hagoort y cols., (2004), que las pseudo-palabras al ser estímulos desconocidos requieren de un mayor esfuerzo cognitivo o búsqueda que se traduce en una mayor activación del cerebro.

Además de los estudios mencionados; también existen estudios realizados con resonancia magnética funcional que usan las palabras y las pseudo palabras para conocer mejor cómo se representan en el cerebro los componentes del lenguaje mediante el diseño de tareas específicas. Uno de estos estudios fue realizado por Tagamets y cols. en el 2000. En este estudio se comparó el procesamiento ortográfico entre cuatro tipos de estímulos distintos: palabras, pseudo palabras, secuencias de letras y estímulos no lingüísticos mediante la aplicación de una tarea 1-back. La hipótesis de este estudio propone que la activación en el cerebro será distinta dependiendo del tipo de estímulo ortográfico que se presente.

Los resultados arrojados por este estudio muestran una mayor activación en regiones occipitales y parietales para las pseudo palabras más que las palabras, mayor activación en áreas prefrontales derechas e izquierdas para las palabras más que las pseudo palabras y una actividad similar en el giro fusiforme izquierdo conocido como el área de la palabra (“word form area”), encargada del procesamiento morfológico de la palabra. De acuerdo a los autores, estos hallazgos sugieren que las palabras y pseudo palabras activan áreas similares, aunque el grado de activación puede ser distinto. En otro estudio realizado por Polk y Farah en 2002 en el que se evaluaron posibles diferencias perceptuales entre palabras y pseudo palabras, los resultados muestran un patrón de actividad similar para ambos estímulos en la corteza visual izquierda en su zona más ventral, que es considerada como la principal área asociada al procesamiento de estímulos visuales lingüísticos. Con esto, los hallazgos de estos autores sugieren la existencia de componentes perceptuales similares entre palabras y pseudo palabras.

A pesar de las diferencias en los métodos de estos estudios, los hallazgos generales de estos trabajos apoyan las ideas propuestas por Marshall y Newcomb en 1973 sobre la existencia de procesos neuronales distintos involucrados en la lectura de palabras familiares, no familiares y pseudo palabras. Este modelo sugiere que las diferencias en el procesamiento de palabras familiares y pseudo palabras está asociadas a la vía (lexical o sub-lexical) que las representa. Además, los mecanismos usados en estas vías también son distintos. Para las palabras familiares y las pseudopalabras la conversión del input visual en una representación fonológica de la palabra completa se haría mediante el acceso a la representación léxica de esa palabra, mientras que, para las pseudopalabras el acceso a su representación fonológica estaría mediado por mecanismos sub lexicales, que implican el mapeo de segmentos ortográficos individuales en los elementos fonológicos apropiados, en un proceso que podría ser denominado como “decodificación fonológica”.

#### 2.5.2 Palabras, pseudo palabras y símbolos

Además de los estudios que comparan entre palabras y pseudo palabras, los que comparan entre palabras y otros estímulos no lingüísticos también han aportado información importante sobre el procesamiento de la palabra, un ejemplo claro es el realizado por Price y cols. en 1996 cuyo objetivo era conocer los sustratos anatómicos de los componentes fonéticos, ortográficos, léxicos y semánticos de la palabra. Para este estudio los autores usaron palabras para comparar con los siguientes estímulos control: pseudopalabras, secuencias de letras y símbolos no lingüísticos en una tarea de detección dentro del resonador. Los hallazgos mostraron diferencias en la activación cerebral entre los distintos estímulos. Los autores sugieren que estas diferencias estarían demostrando que la forma en la que se representa cada uno de los componentes mencionados es distinta.

Los hallazgos del estudio nos muestran las diferencias a nivel cerebral entre palabras y símbolos. Al comparar las palabras vs los símbolos Price y cols. (1996), observaron una activación en el giro temporal medio izquierdo, el surco frontal inferior izquierdo, el giro precentral (Brodmann 44/6), la corteza premotora y la corteza somatosensorial para las palabras, pero no para los símbolos; mientras que para los símbolos exclusivamente, los autores observaron una activación del giro temporal medio derecho. Para el contraste entre las secuencias de letras (las cuales no tenían una asociación fonológica ni semántica) y símbolos los resultados muestran activación en la corteza prefrontal derecha, y el surco parietooccipital derecho durante la presentación de

letras y no de símbolos; además de una mayor activación en el giro fusiforme posterior izquierdo, la corteza extraestriada izquierda, el giro occipital inferior izquierdo, el giro fusiforme anterior izquierdo y el lóbulo parietal anterior izquierdo para las letras más que para los símbolos. Por su parte los resultados de los contrastes entre palabras y letras muestran una mayor activación en la corteza sensoriomotora para las palabras más que para las letras, y una activación en el giro frontal medio derecho y el surco parietooccipital derecho similar entre ambos estímulos. Finalmente, al comparar la actividad entre palabras vs letras y símbolos, los resultados muestran activación en áreas como el cuneo, el lóbulo temporal posterior izquierdo, el lóbulo parietal inferior izquierdo y el giro frontal inferior izquierdo sólo para las palabras. De acuerdo con los autores estos resultados demuestran que las palabras (las cuales tienen asociación fonológica y semántica), a diferencia de otros estímulos visuales lingüísticos o no lingüísticos como las letras o los símbolos, activan áreas asociadas al lenguaje de forma automática, es decir sin la necesidad de ejecutar alguna tarea lingüística.

Finalmente, para el contraste entre palabras y pseudopalabras (las cuales tienen asociación fonológica pero no semántica), los autores encontraron que tanto en la presentación de las palabras como de las pseudopalabras las áreas que se activaban eran casi las mismas e incluían a la corteza extraestriada medial, la corteza temporal posterior izquierda, la corteza parietal inferior izquierda y la corteza prefrontal izquierda, áreas que están comunmente asociadas al procesamiento visual y fonológico de las palabras. Los resultados también mostraban que en algunas de estas áreas había una mayor activación durante la presentación de pseudopalabras más que de palabras, principalmente en regiones posteriores como la corteza extraestriada, el lóbulo parietal inferior izquierdo y regiones temporales izquierdas. Mientras que para las palabras Pierce y cols. (1996), encontraron una mayor activación en regiones anteriores como el giro frontal inferior y el giro frontal medio izquierdos, asociadas comúnmente al procesamiento semántico. De acuerdo a Price y cols. estos resultados demostraban que las pseudopalabras compartían con las palabras componentes a nivel perceptual, fonológico y ortográfico y que por ello las regiones que se activaban eran muy similares, mientras que el aumento en la activación de regiones como el giro frontal medio y el giro frontal inferior para las palabras más que las pseudopalabras estaría asociadas a la representación semántica de la cual carecen las pseudopalabras; y finalmente una mayor activación durante la presentación de pseudopalabras más que de palabras los autores la interpretaban como una búsqueda global por parte del cerebro para tratar de dar sentido a un estímulo lingüístico desconcido.

En otro estudio realizado por Fujimaki y cols., (1999), los participantes debían leer de forma alternada palabras y pseudo caracteres (estímulos no lingüísticos similares a los símbolos) dentro de un resonador con el objetivo de estudiar el procesamiento perceptual de las palabras. Los autores encontraron, durante la presentación de las palabras y de los pseudo-caracteres, una activación similar en el surco temporo-occipital y la región inferior posterior del lóbulo temporal. Por lo que sugieren que estas regiones juegan un papel importante en el procesamiento temprano de estímulos visuales tanto lingüísticos como no lingüísticos y que además las semejanzas en la activación cerebral entre ambos estímulos sugieren a su vez similitudes en su procesamiento perceptual visual. En resumen los resultados de estos estudios nos muestran que las palabras tienen una representación tanto a nivel fonológico como semántico, que nuestro cerebro presenta una activación diferencial ante el procesamiento fonológico y semántico de las palabras, y que las palabras al ser comparadas con estímulos control como las pseudo-palabras o los símbolos presentan una mayor activación en regiones asociadas al procesamiento semántico. Estos estudios también muestran que las palabras y las pseudo palabras comparten características a nivel sub-lexical pues ambas activan regiones asociadas a procesos morfológicos y fonológicos de la palabra, aunque particularmente las pseudo-palabras mostraban una mayor activación en la corteza extraestriada, el lóbulo parietal inferior y el lóbulo temporal, ambos en el hemisferio izquierdo.

## 2.6 Resonancia Magnética funcional

Como se puede observar a partir de los estudios presentados, las técnicas de imagen cerebral han sido particularmente útiles en la caracterización y diferenciación de áreas cerebrales involucradas en el procesamiento de la palabra y sus componentes. Dentro de las técnicas de imagenología cerebral está la Imagen por resonancia magnética funcional (IRMf). Con esta técnica se puede examinar la actividad cerebral en tiempo muy cercano al real y de forma inocua (Smith, & cols., 2013). La base de esta técnica está en la resonancia magnética, la cual permite obtener imágenes anatómicas tridimensionales detalladas de tejidos u órganos, como el cerebro. La resonancia magnética utiliza información sobre la forma en que los átomos de hidrógeno presentes en el cerebro responden a un campo magnético de gran magnitud (Bear & cols., 2007). La resonancia magnética también puede utilizar secuencias de adquisición sensibles a cambios en la oxigenación de la sangre como en la técnica de imagen funcional por resonancia magnética. La resonancia magnética funcional permite la detección de cambios hemodinámicos transitorios asociados a la actividad neuronal, específicamente cambios de oxigenación de

la sangre (Rogers & cols., 2007; Van den Heuvel & Hulshoff, 2010). Estos cambios en el nivel de oxigenación de la sangre asociados a actividad neuronal producen una señal; a esta señal se le conoce como señal dependiente del nivel de oxígeno en la sangre o señal BOLD por sus siglas en inglés (*Blood Oxygen Level Dependent*) (Huettel & cols., 2009). La detección de esta señal se basa en las propiedades magnéticas de la hemoglobina, una proteína de la sangre que se encarga de transportar oxígeno, y puede hallarse en un estado oxigenado (oxi-hemoglobina) o desoxigenado (desoxihemoglobina) (Bear & cols., 2007). El principio básico es el siguiente: Las células requieren glucosa y oxígeno que reciben del torrente sanguíneo. Durante la actividad neuronal se incrementa el flujo sanguíneo local, como resultado de un acoplamiento neurovascular y un aumento en los niveles de oxihemoglobina (diamagnética) con respecto a los de desoxihemoglobina (paramagnética), esta diferencia en la concentración de oxígeno en el flujo sanguíneo local es lo que se conoce como señal BOLD (Huettel & cols., 2009). Esta señal es detectada por una antena de registro que responde a inhomogeneidades en el campo magnético (Rogers, Morgan, Newton & Gore, 2007; Van den Heuvel & Hulshoff, 2010; Bear & cols., 2007). Finalmente, el registro de la señal BOLD permite de forma indirecta la detección y localización de regiones de las regiones cerebrales que cambian su nivel de oxihemoglobina, cambio hemodinámico, en respuesta a determinadas condiciones experimentales o estímulos durante paradigmas con tarea para la adquisición de datos de IRMf (Rogers, Morgan, Newton & Gore, 2007).

El interés por el estudio del lenguaje y la forma en la que este está organizado en nuestro cerebro se remonta los estudios en pacientes con lesiones neurológicas. Esta forma de estudiar el cerebro dio paso al surgimiento de modelos clásicos de procesamiento del lenguaje como los propuestos por Broca y Wernicke. Con la aparición de estos modelos comenzó el desarrollo de conocimientos acerca del procesamiento del lenguaje, sin embargo, durante más de 150 años el modelo clásico de procesamiento del lenguaje dominó el conocimiento referente a la relación lenguaje-cerebro. Casi un siglo más tarde y con el surgimiento de nuevas técnicas en imagen cerebral como la resonancia magnética funcional el conocimiento referente a la relación lenguaje-cerebro del modelo clásico de procesamiento que lo consideraba como lineal, lateralizado y bien localizado cambió. Las nuevas investigaciones han redefinido estas características. Hoy se reconoce un procesamiento del lenguaje de doble ruta, con funciones presentes en ambos hemisferios y con variadas áreas complejas, interrelacionadas y que cumplen diversas tareas tal como los muestran los modelos propuestos por Hickok y Poeppel y Friederici. A estos hallazgos

se les ha sumado el desarrollo de nuevos paradigmas en el estudio del lenguaje como los estudios con tareas de reconocimiento usando palabras y estímulos control como las pseudo palabras. Estos estudios han arrojado información importante sobre cómo están organizados en nuestro cerebro los diferentes componentes del lenguaje como la morfología, fonología, semántica, etc.

En la actualidad, el estudio sobre el procesamiento del lenguaje abarca aspectos que van desde el procesamiento de una palabra hasta la comprensión de frases no literales. Sin embargo y debido a su "simplicidad" los estudios de lenguaje a nivel de la palabra son uno de los más importantes si consideramos que las palabras son la base del lenguaje verbal. Actualmente y gracias a desarrollo de modelos funcionales sabemos que el procesamiento de la palabra implica procesos en dos niveles: sub-lexical y léxico-semántico. En este sentido, los trabajos que hemos presentado han demostrado activación diferencial en el cerebro para el procesamiento sub lexical y léxico semántico de la palabra (Petersen y cols., 1990; Fiez y cols., 1996; Herbster y cols., 1997) y también han descrito diferencias y similitudes en la activación cerebral con respecto a estímulos control como las pseudo palabras (Tagamets y cols., 2000; Polk y Farah, 2002), secuencias de letras y símbolos haciendo uso de técnicas de neuroimagen como la resonancia magnética funcional. Sin embargo, todos estos estudios se han realizado en lengua inglesa por lo que actualmente no existen estudios similares en nuestro idioma. El presente estudio, es el primero en lengua española que busca conocer si los modelos duales de Hickok y Poeppel y Friederici pueden ser usados para describir el procesamiento del lenguaje a nivel de la palabra. Además, los estudios presentados usan palabras de distintas categorías lexicales por lo que este estudio busca conocer también si las diferencias y similitudes en términos de las áreas cerebrales descritas en trabajos anteriores para el procesamiento de palabras y pseudopalabras son las mismas cuando se usa una categoría lexical específica, en este caso, los verbos. Este estudio incluye también la evaluación de capacidades cognitivas relacionadas con el lenguaje como la fluidez verbal y el vocabulario para describir posibles relaciones entre estas y el procesamiento verbal. Finalmente, la descripción y correcta interpretación de nuestros hallazgos tendrá como valor el enriquecer los conocimientos que se tienen acerca del procesamiento de la palabra y de sus componentes.

### 3.JUSTIFICACIÓN

El procesamiento del lenguaje implica la actividad de diversas regiones localizadas en sitios distintos del cerebro. La actividad coordinada de estas regiones permite la formación de los circuitos neuronales que se encargan de dar soporte a funciones lingüísticas específicas como la producción y comprensión del lenguaje. Dentro del estudio del lenguaje el uso de modelos funcionales aplicados al estudio del procesamiento de la palabra ha permitido ampliar y complementar el conocimiento acerca de cómo está organizado el lenguaje en nuestro el cerebro. En estos estudios se diseñan tareas en las que se compara el procesamiento de palabras y estímulos control, como las pseudo palabras o los símbolos, para distinguir la actividad cerebral entre los dos niveles de procesamiento de la palabra, el nivel sub lexical y el lexico semántico. A pesar de que existe una gran variedad de estudios con técnicas de neuroimagen en donde se compara el procesamiento de palabras y estímulos control durante su lectura, hasta este momento no existen estudios en lengua española que usen resonancia magnética funcional y describan el procesamiento de la palabra en su categoría lexical de verbos en comparación con el procesamiento de pseudo-verbos (pseudo palabras con terminación en infinitivo - ar, - er, - ir) y símbolos.

Además, en este estudio usaremos los modelos de Friederici (2013), y Hickok y Poeppel (2007) para tratar de explicar las diferencias y similitudes de la actividad cerebral durante el procesamiento de los verbos, pseudo-verbos y símbolos ya que se ha descrito que estos modelos permiten describir el procesamiento del lenguaje a partir de dos vías de transmisión de información: la vía dorsal y la vía ventral que dan soporte a los diferentes componentes del lenguaje tanto a nivel sub-lexical como lexico semántico. Los resultados que obtengamos de este estudio permitirán complementar los conocimientos acerca del procesamiento del lenguaje a nivel de la palabra; cómo se representan los verbos en nuestro cerebro, qué los distingue de otros estímulos lingüísticos y no lingüísticos y cómo nuevos modelos funcionales como los de Hickok y Poeppel (2007) y Friederici (2013) pueden explicar esto. Y desde una perspectiva más global este conocimiento también es importante al intentar entender mejor los mecanismos cerebrales asociados al procesamiento del lenguaje verbal. Los resultados obtenidos del análisis de la actividad de todo el cerebro serán complementados por un análisis por región de interés en el que queremos saber si existe alguna relación entre la actividad cerebral asociada al procesamiento de verbos y el desempeño de ciertas habilidades lingüísticas como:

disponibilidad léxica, fluidez verbal, generación espontánea del lenguaje y comprensión verbal.

Estas habilidades serán evaluadas a través de dos pruebas conductuales: la prueba de fluidez verbal (en tres categorías distintas) y la prueba de vocabulario. Finalmente, los resultados obtenidos del análisis de la actividad BOLD en el cerebro asociada al procesamiento de verbos y su posible relación en el desempeño de las pruebas conductuales mencionadas tienen como objetivo identificar elementos cognitivos asociados al procesamiento del lenguaje a nivel de la palabra.

#### 4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Existen diferencias y/o similitudes en la actividad cerebral entre el procesamiento de verbos, pseudo verbos y símbolos durante su lectura?
- ¿Existe relación entre la actividad cerebral asociada al procesamiento de verbos, y el desempeño en las pruebas de fluidez verbal y vocabulario, que evalúan habilidades lingüísticas?

#### 5. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar y describir las diferencias y similitudes de los mecanismos neurales implicados en el procesamiento de verbos, pseudo-verbos y símbolos mediante el uso de resonancia magnética funcional (IRMf) y con base en los modelos de procesamiento del lenguaje de Hickok y Poeppel (2007), y Friederici (2013). Así como evaluar si existe una relación entre la actividad cerebral en el procesamiento de verbos, pseudo verbos y símbolos y el desempeño en las pruebas de habilidad lingüística (pruebas de fluidez verbal y vocabulario).

*Los objetivos específicos fueron:*

1. Evaluar el desempeño de la tarea de detección 1-back dentro del resonador y describir por medio de IRMf las diferencias a nivel funcional cerebral en el procesamiento de verbos y pseudo-verbos durante su lectura.
2. Evaluar y describir por medio de IRMf las diferencias a nivel funcional cerebral en el procesamiento de verbos con respecto a los símbolos durante su lectura.
3. Evaluar y describir por medio de IRMf las diferencias a nivel funcional cerebral en el procesamiento de pseudo-verbos y símbolos durante su lectura.

4. Determinar si existe una relación entre el cambio de la señal BOLD asociada al procesamiento de verbos y el desempeño de las tareas de habilidad lingüística (pruebas de fluidez verbal y vocabulario).
5. Evaluar y comparar el desempeño de las pruebas de fluidez verbal y vocabulario.

## 6.HIPÓTESIS

Basándonos en los modelos de procesamiento del lenguaje propuestos por Hickok y Poeppel (2007) y Friederici (2013) las hipótesis planteadas para este estudio fueron las siguientes:

1. En los resultados del análisis de todo el cerebro se espera que durante la lectura de los verbos más que de los pseudo verbos la actividad BOLD sea mayor en regiones inferiores de la corteza frontal, en el área 45 y 47 de Brodman; el giro temporal superior y medio, en la corteza temporal; y el giro angular. Además, se espera que la actividad BOLD en estas regiones esté organizada en ambos hemisferios.
2. Durante la lectura de verbos más que de símbolos se espera una mayor actividad BOLD en regiones de la corteza frontal, como el área 44, 45 y 47 de Brodman y el giro frontal inferior; regiones en la corteza temporal como el giro temporal superior y medio; y el giro angular. La actividad en este contraste al igual que en el contraste anterior estaría organizada bilateralmente.
3. Esperamos que durante la lectura de pseudo verbos más que de símbolos la actividad BOLD se centre en regiones inferiores de la corteza frontal como el área 44 de Brodman y el giro precentral, el giro lingual y la corteza motora y premotora. La actividad en este contraste estaría principalmente lateralizada al hemisferio izquierdo.
4. Finalmente, en los resultados del análisis de las ROIs definidas mediante un meta-análisis se espera que exista una correlación positiva entre el cambio de la señal BOLD en regiones asociadas al procesamiento de verbos y el desempeño en las pruebas de habilidad lingüística (pruebas de fluidez verbal y vocabulario).

## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1 Tipo y diseño de la investigación

Se trató de un estudio correlacional con diseño transversal, que fue llevado a cabo en una muestra no probabilística e intencional de participantes sanos con el propósito de describir posibles relaciones y diferencias entre las variables evaluadas.

### 7.2 Descripción general

El objetivo de este proyecto fue describir y diferenciar los correlatos cerebrales asociados al procesamiento de verbos, pseudo verbos y símbolos; así como la relación entre el procesamiento de verbos y el desempeño de pruebas de fluidez verbal y vocabulario. Para lograr este objetivo el desarrollo de este estudio fue dividido en dos sesiones.

#### **Estudio de los correlatos cerebrales en el procesamiento de verbos, pseudo-verbos y símbolos y su relación con el desempeño de pruebas de habilidad lingüística**

Primero se reclutó a los participantes con base en criterios de inclusión y exclusión. Posteriormente y con el fin de evaluar nuestras hipótesis, el procedimiento experimental de este estudio se realizó en dos sesiones: 1) aplicación del paradigma experimental dentro del resonador y obtención de imágenes funcionales cerebrales durante la tarea de procesamiento de verbos, pseudo-verbos y símbolos, 2) aplicación de las pruebas conductuales de fluidez verbal y vocabulario realizadas fuera del resonador en las dos semanas posteriores al estudio de resonancia. Ambas sesiones fueron consecutivas y dependientes entre sí.

#### 7.2.1 Descripción de la muestra de participantes

Para seleccionar la muestra se establecieron los siguientes criterios:

##### ***Criterios de inclusión:***

- 1) Personas de 20 a 35 años.
- 2) Escolaridad mínima de 15 años.
- 3) Lengua materna: español.
- 4) Lateralidad manual derecha evaluada mediante el Inventario de Lateralidad de Edimburgo (ILE).

**Criterios de exclusión:**

- 1) Antecedentes o cursar actualmente con alguna patología neurológica o psiquiátrica, o trastorno psicológico evaluado con el Listado de Síntomas 90 (SCL-90).
- 2) Padecer claustrofobia o algún trastorno del movimiento; esto último porque durante el registro de la actividad cerebral en el resonador el participante debe permanecer inmóvil.
- 3) Portar alguna pieza hecha de material ferromagnético a excepción de amalgamas dentales. Para descartar este punto, los participantes debían llenar dos cuestionarios de seguridad previo a la entrada en el resonador.

**Criterios de eliminación:**

- 1) No completar alguna de las fases del estudio.
- 2) Exceso de movimiento al realizar la tarea dentro del resonador.
- 3) Encontrar hallazgos patológicos en la resonancia magnética.
- 4) Expresar el deseo de no seguir participando.

**7.2.2 Pruebas para definir criterios de inclusión y exclusión de participantes**

1. Inventario de lateralidad de Edimburgo (ILE). Creado por Oldfield en 1971. El ILE es un cuestionario de 10 preguntas que evalúa la preferencia manual. Diversos grupos han probado su universalidad en muestras étnicas distintas. En población mexicana se analizó el Coeficiente de Lateralidad en 1990 con una población de estudiantes de la Universidad de Guadalajara (Cuencas & cols., 1990; Oldfield, 1971).

2. Lista de síntomas 90 (SCL-90 por sus siglas en inglés: Symptom Checklist-90). El SCL-90 desarrollado por Derogatis en 1975 es uno de los instrumentos de autoinforme más utilizados en el ámbito de la salud mental para evaluar psicopatología, tanto en muestras clínicas como en población general. Esta escala autoaplicable detecta la psicopatología a partir de la intensidad de estrés referido por el sujeto durante los últimos siete días, incluyendo el día hoy (el de la aplicación del inventario) y está compuesta por 90 reactivos tipo Likert. Estos 90 reactivos están agrupados en nueve dimensiones de sintomatología. Para su evaluación, el SCL-90 incluye el Índice de Severidad Global que indica el grado de estrés (Cruz-Fuentes & cols., 2007).

### 7.2.3 Participantes

La muestra final estuvo compuesta por 24 participantes. 12 hombres de entre 21 a 35 años (Media = 26.75, DE = 3.95), y 12 mujeres de 22 a 34 años (Media = 27.17, DE = 4.43). Los años de escolaridad iban desde los 19 hasta los 21 años (Media=19.3, DE=.7), y todos los participantes fueron diestros (criterio medido a través del Inventario de Lateralidad Manual de Edimburgo; Oldfield, 1971). Ninguno presentó patologías psicológicas o “distrés” evaluado mediante el Listado de Síntomas 90 (Derogatis, 1977), y la lengua materna de todos ellos fue el español. Además, se cuidó que los participantes no tuvieran algún tipo de objeto metálico en su cuerpo al momento del estudio en el resonador. Esto se corroboró a través de las respuestas en dos cuestionarios aplicados al inicio del estudio, es decir durante el periodo de reclutamiento y selección, y otro cuestionario aplicado el día de la cita y de forma previa al ingreso en el resonador. Originalmente la muestra estaba constituida por 27 sujetos, pero dos de ellos fueron eliminados al decidir abandonar el proyecto y uno más fue descartado debido al hallazgo de artefactos en las imágenes registradas que fueron ocasionadas por exceso de movimiento del participante durante el estudio de imagen por resonancia.

### 7.2.4 Paradigma experimental

#### **a) Estímulos**

La tarea experimental estuvo constituida por un total de 336 estímulos (lingüísticos y no lingüísticos) presentados a los participante de forma visual y divididos en tres categorías experimentales:

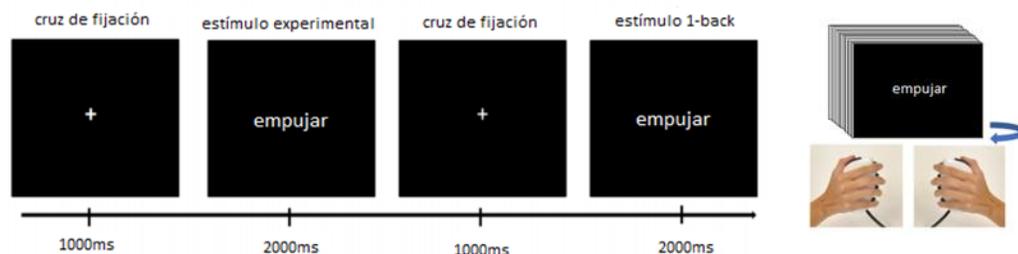
1. Verbos (n=112). Por ejemplo, empujar
2. Pseudo-verbos (n=112). Por ejemplo, ejumpar
3. Símbolos (n=112). Por ejemplo, %%\$\$##

Para fines de este estudio los verbos fueron definidos como palabras cuya terminación en infinitivo “ar”, “er” e “ir” los agrupa dentro de una misma categoría lexical. Además de que su significado está asociado a acciones. Los pseudo verbos por su parte son secuencias novedosas de sílabas que cumplen con las reglas ortográficas y fonológicas del idioma español, pero carecen de significado. Los pseudo verbos, al igual que los verbos, fueron contruidos con terminaciones “ar”, “er” e “ir”, y formados por el mismo número de sílabas y letras que los verbos, pero en orden distinto. Finalmente, los símbolos son una

clase de signos cuya estructura carece de funciones ortográficas y fonológicas, y no existe una relación entre su sonido y significado.

### ***b) Descripción del paradigma***

Se utilizó una tarea N-Back, en un diseño por bloques aplicado como prueba de detección 1-back. Cada bloque era de un mismo tipo de estímulo (verbos, pseudo-verbos o símbolos) y el orden de cada bloque era presentado de manera aleatoria. Esta tarea fue validada en estudios previos en el Laboratorio de Plasticidad Cerebral del Instituto de Neurobiología de la UNAM, campus Juriquilla, a través de múltiples piloteos, y cuidando las características psicolingüísticas de los estímulos presentados. En la tarea de detección 1-back el participante debía responder cuando el estímulo era igual al inmediatamente anterior presionando un botón con su índice derecho e izquierdo, de forma alternada (Figura.1). Esta tarea nos permitía saber si el participante mantenía la atención a lo largo de todo el estudio de imagen por resonancia magnética.



El paradigma experimental estuvo formado por un total de ocho corridas de neuroimagen. Cada corrida estuvo formada por seis bloques experimentales (dos bloques por categoría) y una pantalla de descanso entre bloques (incluyendo una inicial y una final), esta pantalla permanecía oscura y en el medio aparecía el símbolo (~). Cada uno de los seis bloques estuvo formado por 10 estímulos de la misma categoría que eran presentados de manera aleatoria. Cada estímulo aparecía en la pantalla por un segundo, y era seguido por una cruz de fijación de dos segundos. Al ser una tarea de detección 1-back, 3 de los 10 estímulos por bloque eran repetidos, es decir, un 30% de los estímulos. Finalmente, cada bloque duraba 30 segundos, y la pantalla de descanso entre bloques, tenía una duración de 12 segundos, dando un total de 264 segundos o 4.4 minutos por corrida. El total de las 8 corridas fue de aproximadamente 35.2 minutos que se realizaban en una sola sesión.

### 7.2.5 Instrumentos

#### ***Para la medición de habilidades lingüísticas se usaron las siguientes pruebas:***

1. Subprueba de “vocabulario”. Perteneciente a la escala de Inteligencia para adultos de Wechsler o WAIS-IV por sus siglas en inglés (*Wechsler Adult Intelligence Scale*), y desarrollada por Wechsler. La prueba de “vocabulario” corresponde a una de las principales subpruebas de la escala de “índice de comprensión verbal” del WAIS-I que evalúa la capacidad de comprensión lingüística en adolescentes y adultos de 16 a 90 años (Wechsler, 2014). Además, la prueba de “vocabulario” también puede ser usada como un indicador del léxico de un individuo.

2. Pruebas de fluidez verbal. Las pruebas de fluidez verbal (PFV) son tareas neuropsicológicas que evalúa la habilidad verbal y funciones como la capacidad de almacenamiento, la recuperación de información, la categorización, etc. (Gauthier & Cols., 2009; Koren & cols., 2005; Henry & Col., 2004;). Estas pruebas consisten en la evocación de un tipo determinado de palabras en una cantidad de tiempo específico. El tipo de palabra a evocar varía sistemáticamente de acuerdo con categorías estandarizadas como las semánticas, fonológicas, gramaticales, duales, etc. (Marino & Col., 2010; Schwartz & Baldo, 2001).

Para fines del presente estudio nosotros nos enfocamos en PFV de tres categorías distintas: verbos, semánticas y fonológicas:

- La PFV de verbos fue tomada de la Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales (BANFE-2) (Flores & cols., 2014). De acuerdo con Flores y cols., (2014), esta prueba consiste en evaluar la capacidad para producir dentro de un margen de tiempo reducido la mayor cantidad de verbos y es empleada para medir funciones que dependen principalmente de la Corteza Prefrontal Dorsolateral (CPF DL) (Flores & cols., 2014).
- Las PFV semántica y fonológica fueron obtenidas del Explorador Neuropsicológico de Fluidez verbal (ENFV) desarrollado por Marino y Alderete, (2010). La fluidez semántica evalúa la capacidad para producir dentro en un lapso de tiempo reducido la mayor cantidad de nombres de animales. Mientras que la fluidez fonológica evalúa la capacidad para producir dentro en un lapso de tiempo reducido la mayor cantidad de sustantivos que empiecen con la letra M.

### 7.2.6 Aparatos

Las imágenes por resonancia magnética se obtuvieron en la Unidad de Resonancia Magnética de la UNAM, Campus Juriquilla, mediante un equipo de resonancia magnética de 3.0 Teslas G.E. Discovery MR750 (General Electric, Waukesha, WI) con una antena de cabeza de 32 canales. Las imágenes funcionales para cada volumen incluyeron 38 rebanadas (4 mm de grosor), adquiridas con las siguientes características: una imagen T2\*, un eco de gradiente en una secuencia de imagen ecoplanar (EPI, por sus siglas en inglés), tiempo de repetición (TR) de 2000 ms, un eco de gradiente (TE) de 40 ms, un campo de visión de 25.6 cm, una matriz de 64 x 64, un tamaño isomórfico del cada voxel de 4 x 4 x 4 mm<sup>3</sup>. Además, se obtuvieron imágenes estructurales de alta resolución con volúmenes en 3D y contraste para T1 (3D-T1-*weighted images*) en el registro anatómico.

### 7.2.7 Procedimiento

Los participantes fueron reclutados de diversos institutos y universidades a través de carteles donde se invitaba a la comunidad a participar. Una vez seleccionados los 28 participantes a cada uno le fue enviado un correo electrónico en el que se les pedía responder a un formato en *Google Forms* con sus datos generales, y a dos pruebas psicométricas: 1) el Inventario de Lateralidad de Edimburgo (ILE) y 2) el Listado de síntomas 90 (SCL-90). El ILE evalúa la preferencia manual de acuerdo a una escala, por lo que se consideraba como criterio de exclusión un puntaje por debajo de 50 indicador de una preferencia manual izquierda. Mientras que para el SCL-90 cuya función es detectar patologías psicológicas, un puntaje superior a 2 en el “índice de severidad” era considerado criterio de exclusión pues se encontraba fuera del rango de normalidad (González-Santos & cols., 2007). Si los participantes cumplían con estos criterios se les asignaba un número y recibían un correo de confirmación en el que se les indicaba el día y la hora del estudio en el resonador, además se les pedía responder a dos cuestionarios de seguridad en los que se enlistaba una serie de objetos que podían interferir con el registro de las imágenes dentro del resonador y por tanto con el estudio. Tales objetos incluían placas, prótesis, marcapasos, DIU, etc.

#### **a) Primera sesión: Aplicación del paradigma experimental dentro del resonador y obtención de imágenes funcionales cerebrales**

El día la cita en el resonador y antes de ingresar a la sala de resonancia se le pedía al participante retirar cualquier objeto metálico que pudiera traer consigo, como aretes, reloj, cinturón, etc. Después de esto el participante debía pasar a través de un detector de metal, como medida de seguridad. Una vez en la sala de resonancia se le entregaba al participante

un consentimiento informado, donde se explicaban los objetivos y particularidades del estudio. Los participantes debían leer el formato cuidadosamente antes de firmarlo, además, se les recordaba que en todo momento su participación era voluntaria y que su identidad se mantendría en total confidencialidad. Una vez aclarado esto y firmado el consentimiento, el participante ingresaba a la cámara de resonancia donde se le instruía como debía realizar la tarea “1-back”. Además, se le pedía que durante la presentación de la tarea se mantuviera relajado y atento, e intentara mantenerse lo más quieto posible, evitando realizar cualquier movimiento. Al entrar al resonador, los participantes permanecían en decúbito supino, con una botonera en cada mano y un visor ajustado a sus ojos donde veían los estímulos. Durante todo el estudio se mantenía un monitoreo constante del participante para asegurar su bienestar dentro del resonador y una vez finalizado el estudio de resonancia se acordaba la fecha para la *aplicación de las pruebas conductuales, que comprendían la segunda y última sesión.*

***b) Segunda sesión: Aplicación de las pruebas conductuales de fluidez verbal y vocabulario***

La aplicación de las pruebas conductuales por el investigador fue dos semanas posteriores al estudio de neuroimagen. Se realizó una única aplicación en sesión individual, con una duración aproximada de 45 minutos por participante en el día y la hora previamente acordada. Para cada prueba (Fluidez de verbos, Fluidez semántica, Fluidez fonológica y Vocabulario) se leían las instrucciones en voz alta antes de comenzar su aplicación y se le daban algunos ejemplos para asegurarnos de que el objetivo de cada prueba fuera comprendido por el participante. La aplicación de las PFV fue contrabalanceada. Además, y con el fin de respaldar la información y, se pidió a los participantes su consentimiento para grabar su voz mientras respondían a las pruebas. Una vez finalizada la sesión, se agradecía a los sujetos su participación y se daba por concluida.

#### 7.2.8 Análisis de datos

***a) Medidas Conductuales***

Se realizó un análisis descriptivo de los datos sociodemográficos de la muestra (edad, sexo y escolaridad), que incluyeron la media, moda, mediana, rango, distribución, desviación y error estándar. Posterior a esto, se realizó otro análisis de los mismos datos, esta vez para determinar si la distribución de la muestra era normal; para ello, se usó la prueba de normalidad Shapiro Wilks, y se determinó la homogeneidad de varianzas en la muestra mediante la prueba de Levene. Estas pruebas nos permitieron saber si el tipo de

estadísticos que debíamos utilizar sería paramétrico o no paramétrico. Los resultados obtenidos de este análisis indicaron que los datos cumplían con los criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que hicimos uso de estadística paramétrica. Se realizaron comparaciones múltiples entre los tres tipos de fluidez verbal (fluidez de verbos, fluidez fonológica y fluidez semántica) usando ANOVA de medidas repetidas y una comparación entre las pruebas de fluidez con una T de *Student* para muestras relacionadas con corrección de Bonferroni. Después se realizó una prueba de correlación de Pearson que nos permitió conocer si existía una relación entre los tres tipos de fluidez verbal y la prueba de vocabulario del WAIS-IV.

Finalmente, se realizaron regresiones lineales entre los tres tipos de fluidez verbal y la prueba de vocabulario del WAIS-IV, la regresión lineal además de ser una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables, también nos permite realizar predicciones de los resultados con base en un valor que resulta ser la variable de la ecuación calculada por medio de la regresión de datos, por ejemplo conocer si el desempeño en la prueba de vocabulario puede predecir, de forma positiva o negativa, el número de emisiones en la prueba de fluidez verbal.

#### **b) Análisis de datos de neuroimagen**

Antes de realizar el análisis de las imágenes funcionales se llevó a cabo el preprocesamiento de los datos mediante fMRIPrep v.1.3.0 para datos funcionales. El preprocesamiento incluye la eliminación de las áreas no cerebrales, la corrección de movimiento, el filtrado espacial y el suavizado al 150% del tamaño del voxel, con el objetivo de minimizar la probabilidad de encontrar falsos positivos. La señal dependiente del nivel de oxigenación en sangre (BOLD, por sus siglas en inglés) se analizó durante la presentación de los estímulos. Las imágenes se analizaron utilizando el software FSL versión 5.06 (FMRIBs Software Library, FMRIB Centre, Department of Clinical Neurology, University of Oxford; <http://www.fmrib.ox.ac.uk/fsl/>). El análisis estadístico de los cambios hemodinámicos relacionado a eventos se realizó de acuerdo con el Modelo Lineal General, MGL (Friston & cols., 1995) usando la herramienta FEAT versión 5.98 (FMRIBs Software Library, FMRIB Centre, Department of Clinical Neurology, University of Oxford; <http://www.fmrib.ox.ac.uk/fsl/>). Los criterios de umbrales y significación corregido por clúster, de todo el cerebro, fueron de  $Z > 2.3$  y  $p > 0.05$  respectivamente, usando corrección por comparaciones múltiples (Gaussian Random Field, GFR).

Para el montaje y visualización en toda la corteza (giros y surcos) de los mapas de activación de la señal BOLD se realizó una reconstrucción de cerebros inflados usando el programa Freesurfer (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>) (Dale, 1999). Se utilizó el atlas Harvard-Oxford de regiones corticales y subcorticales correspondientes a la plantilla del Instituto Neurológico de Montreal (MNI152).

En el análisis de los cambios hemodinámicos relacionados con cada bloque de eventos se incluyeron como regresores las tres categorías de estímulos: verbos, pseudo verbos y símbolos. El análisis estadístico de dichos cambios se realizó con un modelo de efectos fijos que consistió en la obtención de mapas estadísticos para cada condición experimental de cada una de las ocho corridas, Posteriormente se realizó un análisis de “segundo nivel” con el modelo de efectos fijos para promediar los datos obtenidos en cada corrida por participante para cada condición y se realizaron 6 contrastes de interés: verbo > símbolo, verbo > pseudo verbo, pseudo verbo > símbolo, pseudo verbo > verbo, [verbo > símbolo] > [pseudo verbo > símbolo] y [pseudo verbo > símbolo] > [verbo > símbolo]. Finalmente, para evaluar el efecto a nivel de grupo se realizó un análisis de efectos mixtos, FLAME 2.

Se realizó además un análisis por región de interés (ROI por sus siglas en inglés *Region of interest*) para saber si existía una relación entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD y las medidas conductuales. Para este último análisis, las ROIs se obtuvieron mediante un meta análisis de la base de datos a Abril del 2018 de Neurosynth y el término “VERBS”, de 110 estudios y 4,314 activaciones se obtuvo un mapa de activación de 98 clúster a partir del cual se obtuvieron las 10 coordenadas o voxeles de mayor intensidad de la señal con los cuales se construyeron las ROIs (<http://neurosynth.org>, Abril, 2018).

## 8. RESULTADOS

### Descripción de la muestra

La media de edad de la muestra final del estudio ( $n = 24$ ) fue de  $26.96 \pm 3.62$  años. La media en años de escolaridad fue de  $19.33 \pm 0.76$ . A su vez la media de edad de participantes de sexo femenino ( $n = 12$ ) fue de  $27.17 \pm 4.43$  y masculino ( $n = 12$ ) fue de  $26.75 \pm 3.95$ . La media en años de escolaridad para participantes de sexo femenino y masculino fue la misma:  $19.33 \pm 0.77$ .

Tabla 1. Frecuencia y porcentajes de distribución de las características demográficas de los participantes que conformaron la muestra del presente estudio.

Características demográficas		Número	Porcentaje
Edad	20-24	5	20.83%
	25-29	14	58.33%
	30-35	5	20.83%
Sexo	Femenino	12	50%
	Masculino	12	50%
Escolaridad	15-19	20	83.33%
	20-25	4	16.66%

**8.1 Resultados de las pruebas conductuales (pruebas de fluidez verbal y vocabulario)**  
Se evaluó el desempeño de las pruebas de fluidez verbal (número de palabras emitidas) y vocabulario (puntaje de respuestas correctas), como medidas para la comprensión y producción del lenguaje verbal, el dominio lexical y la memoria semántica. Se calcularon las medias, y desviaciones estándar de las puntuaciones para cada prueba y se incluyeron los puntajes máximos que se pueden obtener para cada prueba ya que no se encontró literatura que estableciera parámetros de referencia definidos dentro del rango de edad de nuestros participantes (Tabla 2).

Tabla 2. Pruebas neuropsicológicas de habilidad lingüística. Se muestra la media y desviación estándar (DE) de los resultados y el número máximo de aciertos para cada una de las pruebas.

Pruebas psicométricas	Media ± DE	Puntaje Máximo	Rango Normativo
Fluidez de verbos (F. verbos)	24.5±6.86	40	Indefinido
Fluidez fonológica (F. fonológica)	16.17±3.86	40	Indefinido
Fluidez semántica (F. semántica)	23.9±4.08	40	Indefinido
Vocabulario	9.04±2.80	57	Indefinido

**a) Comparaciones múltiples para las Pruebas de fluidez verbal**

Mediante el uso de una ANDEVA de medidas repetidas se comparó la ejecución entre los tres tipos de fluidez verbal (verbos, fonológica y semántica). Los resultados mostraron que el desempeño en las pruebas de fluidez de verbos y semántica fue significativamente mayor que en el de la prueba de fluidez fonológica (Figura 1.).

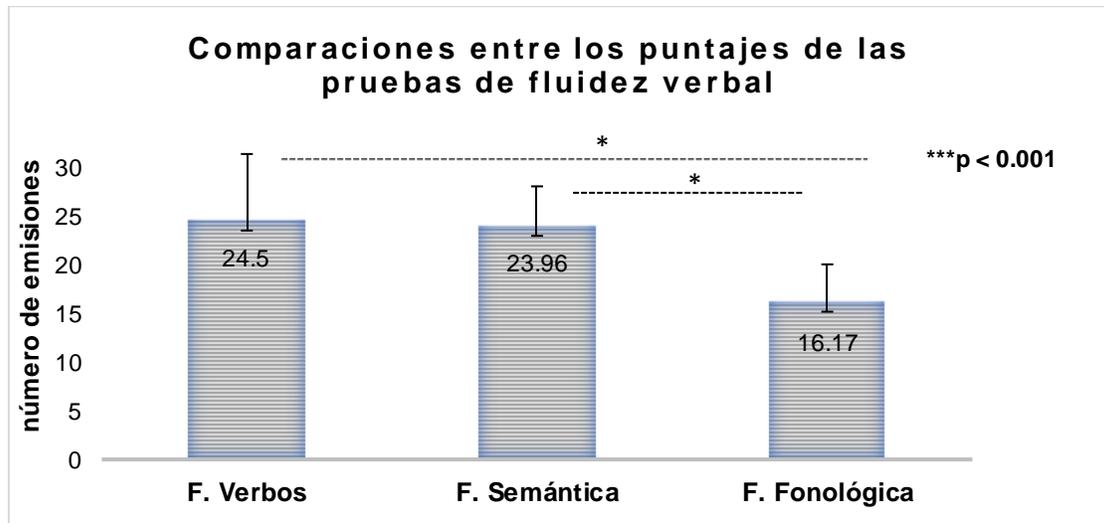


Figura 1. Comparaciones entre los puntajes de las pruebas de fluidez de verbos, semántica y fonológica (n=24). Las barras muestran la media de cada prueba y las líneas la desviación estándar de estas mismas pruebas. Se encontró un efecto significativo entre los tipos de fluidez verbal con ANDEVA de medidas repetidas:  $F(2, 46) = 33.66$ ,  $***p < .001$ . \*Comparación entre pruebas de fluidez con t de Student para muestras relacionadas: F. verbos vs F. fonológica  $t(23) = 7.17$ ,  $***p < .001$ ; F. semántica vs F. fonológica  $t(23) = 8.85$ ,  $***p < .001$ .

**b) Correlaciones entre las Pruebas de fluidez verbal y vocabulario**

Se calculó la correlación de Pearson entre las pruebas de fluidez verbal (verbos, fonológica y semántica) y la prueba de vocabulario para conocer si existía una relación en el desempeño entre estas variables. Los resultados que se presentan a continuación muestran una correlación positiva significativa entre las pruebas de fluidez de verbos y fluidez fonológica. Entre las pruebas de fluidez semántica y fluidez fonológica se encontró también una correlación positiva. Mientras que entre las pruebas de fluidez de verbos y fluidez semántica no se encontraron correlaciones significativas. Finalmente, la prueba de vocabulario mostró correlaciones positivas con las pruebas de fluidez de verbos y fluidez semántica y no así con la prueba de fluidez fonológica (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente de correlación Pearson para las pruebas de Fluidez verbal (PFV) y el vocabulario.

Pruebas psicométricas			Fluidez de verbos	Fluidez fonológica	Fluidez semántica	Vocabulario
PFV	Fluidez de verbos	R		.559*	.389	.692*
	Fluidez fonológica	R			.411*	.637
	Fluidez semántica	R				.551*

Nota: Los asteriscos significan que la diferencia fue significativa, es decir  $**p < 0.01$ . Todas las correlaciones fueron positivas.

**c) Regresiones entre las pruebas de fluidez verbal y la prueba de vocabulario**

Se realizaron los modelos de regresión lineal para las PFV y el vocabulario con el fin de conocer si el desempeño en la prueba de vocabulario podía predecir el desempeño en las pruebas de fluidez verbal. La Tabla 4 muestra el resultado de las pruebas estadísticas, sin embargo, sólo se incluyen los resultados de las pruebas de fluidez de verbos y semántica ya que en la prueba de fluidez fonológica no se encontraron resultados significativos. Mientras que, las pruebas de fluidez de verbos y semántica mostraron una relación lineal significativa positiva con respecto a la prueba de vocabulario.

Tabla 4. Modelos de regresión lineal para las pruebas de Fluidez verbal gramatical, semántica y vocabulario aplicadas a los sujetos.

	Variable	Prueba	R <sup>2</sup>	F	p
<b>Modelo 1</b>	dependiente	F. de verbos	.351	11.910	.002
	independiente	Vocabulario			
<b>Modelo 2</b>	dependiente	F. semántica	.484	9.850	.001
	independiente	Vocabulario			

Adicionalmente, se presentan las figuras de ambos modelos: Fluidez de verbos (F. verbos) y vocabulario; modelo 1 (Figura 2) y Fluidez semántica (F. semántica) y vocabulario; modelo 2 (Figura 3).

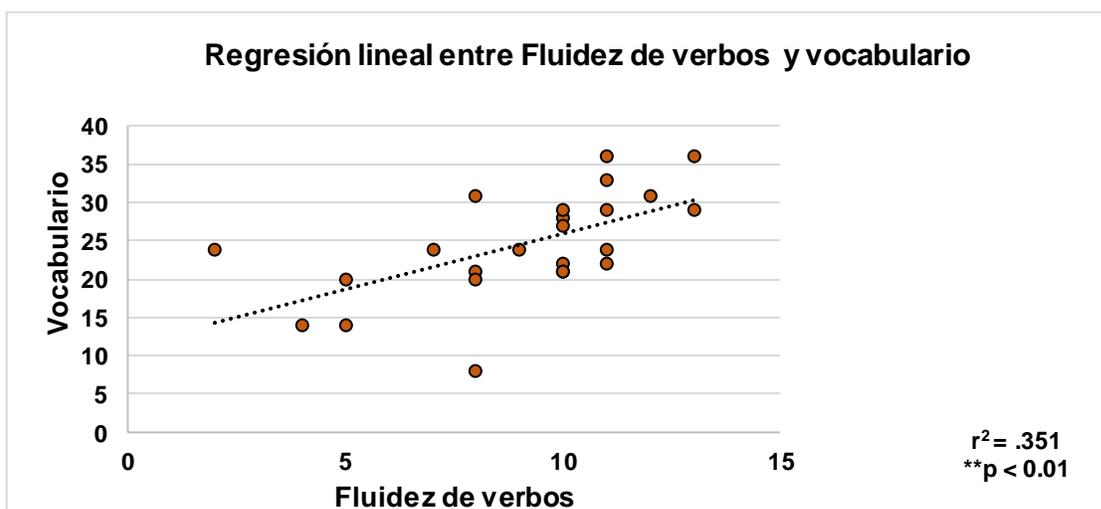


Figura 2. Regresión lineal entre los puntajes de Fluidez de verbos y vocabulario (n=24)

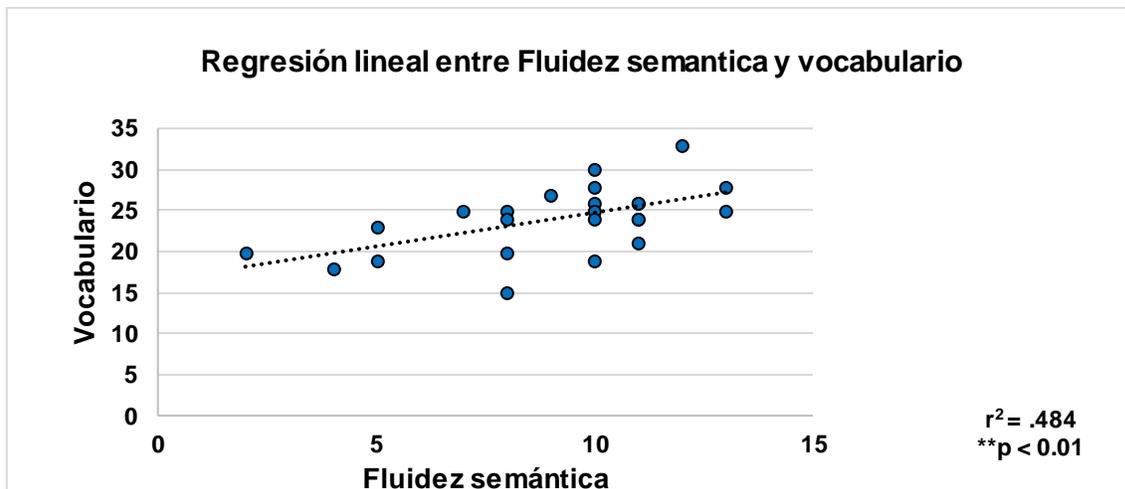


Figura 3. Regresión lineal entre los puntajes de Fluidez semántica y vocabulario (n=24)

## 8.2 Resultados del modelo general lineal

### **Resultados de la señal BOLD de todo el cerebro**

A fin de saber si el procesamiento de verbos, pseudo-verbos y símbolos reclutó de forma diferencial la red dorsal y ventral del lenguaje se realizó un análisis de IRMf con efectos mixtos/aleatorios de todo el cerebro. El reporte de estos resultados identifica las regiones neurales que mostraron aumento en la señal BOLD durante la presentación de los estímulos experimentales (verbos, pseudo verbos y símbolos). Las regiones anatómicas fueron determinadas por el atlas de regiones corticales y subcorticales Harvard-Oxford ([http://www.cma.mgh.harvard.edu/fsl\\_atlas.html](http://www.cma.mgh.harvard.edu/fsl_atlas.html)) y las coordenadas corresponden al templete del Instituto Neurológico de Montreal (MNI152). Se creó para cada contraste una tabla que describe el tamaño del cluster (conjunto de voxeles contiguos), el valor z de los voxeles de cada cluster, las coordenadas de los voxeles que muestran los picos de activación, lateralidad, región anatómica de acuerdo al atlas cortical Harvard- Oxford y el área de Brodmann a la que corresponde (Tabla 5). En las tablas suplementarias (1 a 8) se muestran todas las regiones de activación significativas para cada contraste. Los mapas de activación BOLD obtenidos del análisis descrito anteriormente fueron montados en reconstrucciones de cerebros inflados que permiten ver los elementos que conforman la corteza, por ejemplo: los giros y surcos; usando el programa Freesurfer v.4.5.0 (<http://surfer.nmr.mgh-harvard.edu/>) (Figuras 4 a 12).

Tabla 5. Contrastes de interés que resultaron significativos en el análisis de imagen se muestran en la primera columna. La segunda columna representa el número de voxeles que conforman el cluster. La tercera columna indica el valor z de los voxeles significativos de cada cluster. La 4ta, 5ta y 6ta columna representa las coordenadas de los voxeles que mostraron el mayor aumento en la señal BOLD, su posición está basada en los ejes x, y, y z. La siguiente columna representa el hemisferio al que pertenece el área anatómica. La octava columna indica el área anatómica a la que pertenece el voxel en cuestión de acuerdo con el Atlas Cortical Harvard-Oxford. La última columna indica el área de Brodmann a la que corresponde el voxel en cuestión de acuerdo con el MRICron (Rorden, 2000). (Cx= Corteza).

Contraste	Tamaño del cluster	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica	Área de Brodman n
Verbo > pseudo (V > P)	6709	4.43	-4	-50	48	Izquierdo	Precuña	7
	3881	4.01	66	-16	16	Derecho	Giro postcentral	1,2,3
	2170	4.06	22	56	18	Derecho	Polo frontal	10
Verbo > símbolo (V > S)	15269	4.81	-10	50	38	Izquierdo	Polo frontal	10
	10184	5.09	2	-76	26	Derecho	Cuña	18
	2760	4.15	64	-56	16	Derecho	Giro angular	39
Pseudo > verbo (P > V)	6604	6.29	-52	-6	38	Izquierdo	Giro precentral	4
	3275	4.91	56	18	24	Derecho	Giro frontal inferior, <i>pars opercularis</i>	44
	2985	4.63	-36	-44	42	Izquierdo	Lóbulo parietal superior	5,7
	2924	4.14	26	-64	-28	Derecho	Cerebelo (Crus II y I)	-
	1868	4.63	30	-64	38	Derecho	Cx occipital lateral, división superior	37
	1296	4.3	0	8	56	Derecho	Cx motora suplementaria	6
Pseudo > símbolo (P > S)	1280	4.55	-42	-70	-20	Izquierdo	Giro fusiforme	18
	14935	6	-54	-8	38	Izquierdo	Giro precentral	4
	1563	4.54	-4	-58	4	Derecho	Giro lingual	21
Símbolo > verbo (S > V)	865	3.78	32	-86	-32	Derecho	Cerebelo (Crus I)	-
	13541	6.57	30	-66	48	Derecho	Cx occipital lateral, división superior	37
	11357	6.25	-18	-76	48	Izquierdo	Cx occipital lateral, división superior	37
	8876	5.63	-36	-8	48	Izquierdo	Giro precentral	4
Símbolo > pseudo (S > P)	1067	4.35	-44	34	16	Izquierdo	Giro frontal inferior, <i>pars triangularis</i>	45
	13519	6.14	34	-82	8	Derecho	Cx occipital lateral, división inferior	37
	10867	5.65	-38	-86	0	Izquierdo	Cx occipital lateral, división inferior	37
	4751	4.89	30	0	46	Derecho	Giro frontal medio	46
	913	4.12	-32	-2	48	Izquierdo	Giro precentral	4

<b>[Verbo &gt; símbolo] &gt; [Pseudo &gt; símbolo] [V &gt; S] &gt; [P &gt; S]</b>	4461	4.08	-4	-56	42	Izquierdo	Precuña	7
	2176	4.03	60	-34	22	Derecho	Polo temporal	38
	1423	3.33	-16	62	-2	Izquierdo	Polo frontal	10
<b>[Pseudo &gt; símbolo] &gt; [Verbo &gt; símbolo] [P &gt; S] &gt; [V &gt; S]</b>	5734	5.94	-52	-4	40	Izquierdo	Giro precentral	4
	2824	4.75	-38	-42	36	Izquierdo	Giro supramarginal	40
	2595	4.48	50	40	14	Derecho	Polo frontal	10
	1974	4.1	26	-64	-30	Derecho	Cerebelo (lóbulo cerebelar VI y Crus I)	-
	1584	4.42	30	-66	48	Izquierdo	Cx occipital lateral, división superior	37
	1239	4.28	0	8	58	Derecho	Cx motora suplementaria	6
	925	4.22	-44	-66	-16	Izquierdo	Cx occipital lateral, división inferior	37

Los resultados obtenidos de las imágenes funcionales de todo el cerebro durante el procesamiento de los estímulos experimentales indican que en el contraste de verbos más que pseudo-verbos (V > P) los picos de activación de la señal BOLD comprenden regiones ubicadas bilateralmente en el giro postcentral en la parte más ventral, el polo frontal derecho y la precuña izquierda. Además de otras activaciones en regiones como el giro cingulado (izquierdo y derecho), el giro paracingulado y el giro temporal medio derechos, la cuña izquierda y el polo temporal derecho (Tabla suplementaria 1). Cuando se contrastó el procesamiento de verbos con símbolos (V > S), las regiones que presentaron un pico en el cambio de la señal BOLD fueron: el polo frontal izquierdo, el giro angular derecho y la cuña derecha. Además, hubo activación en otras regiones como el giro temporal medio y el giro temporal superior derechos, el giro lingual izquierdo y el polo occipital derecho (Tabla suplementaria 2). Por otro lado, en el contraste entre pseudo-verbos y verbos (P > V) el cambio de la señal BOLD se observó principalmente en regiones frontales, parietales y occipitales ubicadas bilateralmente. Estas regiones incluyen al giro frontal inferior, giro precentral, corteza occipital, giro fusiforme, lóbulo parietal y corteza motora suplementaria; además de la activación en una región subcortical: el cerebelo derecho. Mientras que en el contraste mencionado anteriormente el cambio de la señal BOLD comprendía principalmente regiones ubicadas bilateralmente, cuando se comparó el procesamiento de pseudo-verbos y símbolos (P > S), la actividad BOLD presentada en regiones como el giro lingual y el cerebelo estaban lateralizada al hemisferio derecho; sin embargo, la actividad en otras regiones como: el giro supramarginal, el polo frontal, el giro cingulado, la corteza supracalcarina y el giro temporal estaba lateralizada al hemisferio izquierdo (Tabla suplementaria 4). Por su parte, el contraste entre el procesamiento de símbolos y verbos

(S > V) muestra un cambio de la señal BOLD en regiones ubicadas lateralmente al hemisferio izquierdo, e incluye tanto áreas frontales como el giro frontal inferior, parietales como el giro precentral y bilaterales en la corteza occipital superior e inferior. Para el contraste entre símbolos más que pseudo-verbos (S > P), las principales activaciones comprendieron regiones ubicadas bilateralmente en la corteza occipital inferior y la corteza frontal medial.

En los contrastes V+S > P+S y P+S > V+S pudimos observar que al contrastar verbos con pseudo-verbos, eliminando el efecto de los símbolos, el cambio de la señal BOLD comprendió regiones tanto en el hemisferio izquierdo como: la precuña, el polo frontal y el giro cingulado; y el hemisferio derecho como: el polo temporal, el giro postcentral y el giro angular (Tabla suplementaria 7). Finalmente, el contraste entre pseudo-verbos y verbos, sin el efecto de los símbolos presentó un aumento de la actividad BOLD en regiones bilaterales de la corteza occipital y el giro frontal inferior; el polo frontal derecho y la corteza motora suplementaria derecha; el giro precentral, giro paracingulado, giro supramarginal y lóbulo parietal izquierdo; además del cambio en la señal BOLD de una región subcortical: el cerebelo derecho e izquierdo (Tabla suplementaria 8).

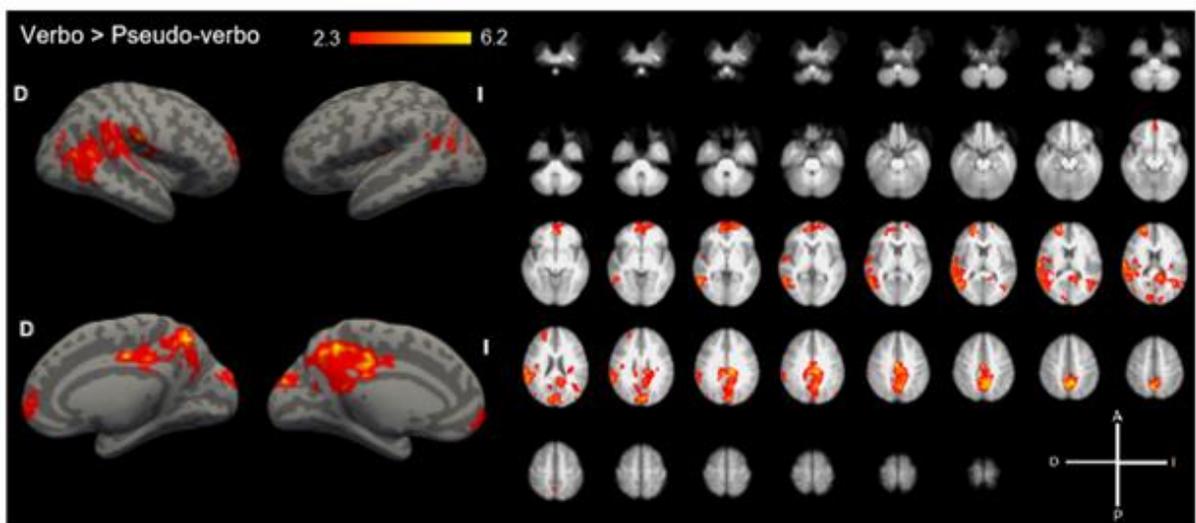


Figura 4. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del primer contraste (verbo > pseudo-verbo). La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

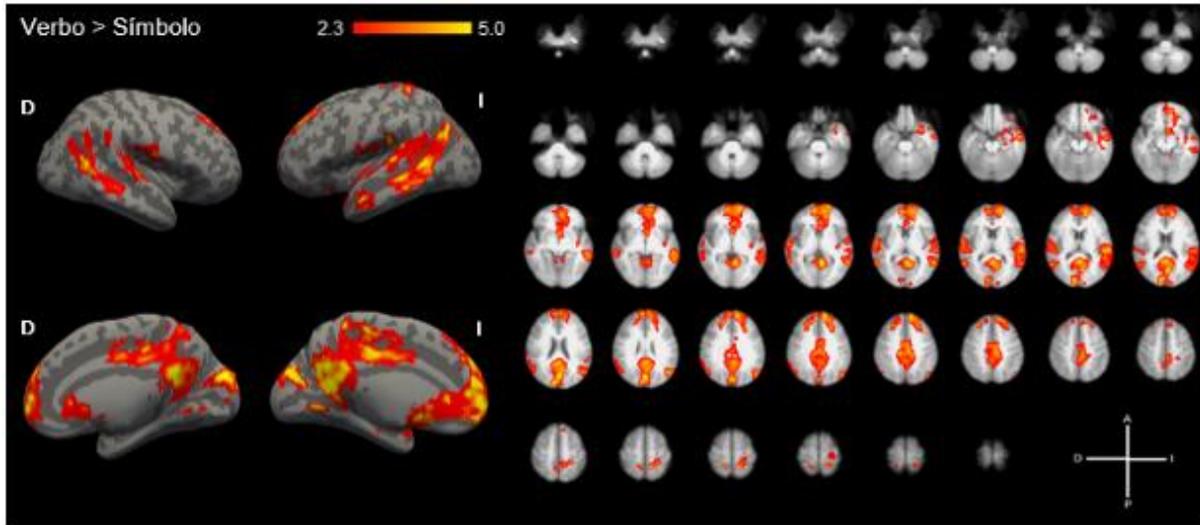


Figura 5. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del segundo contraste (verbo > símbolo). La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

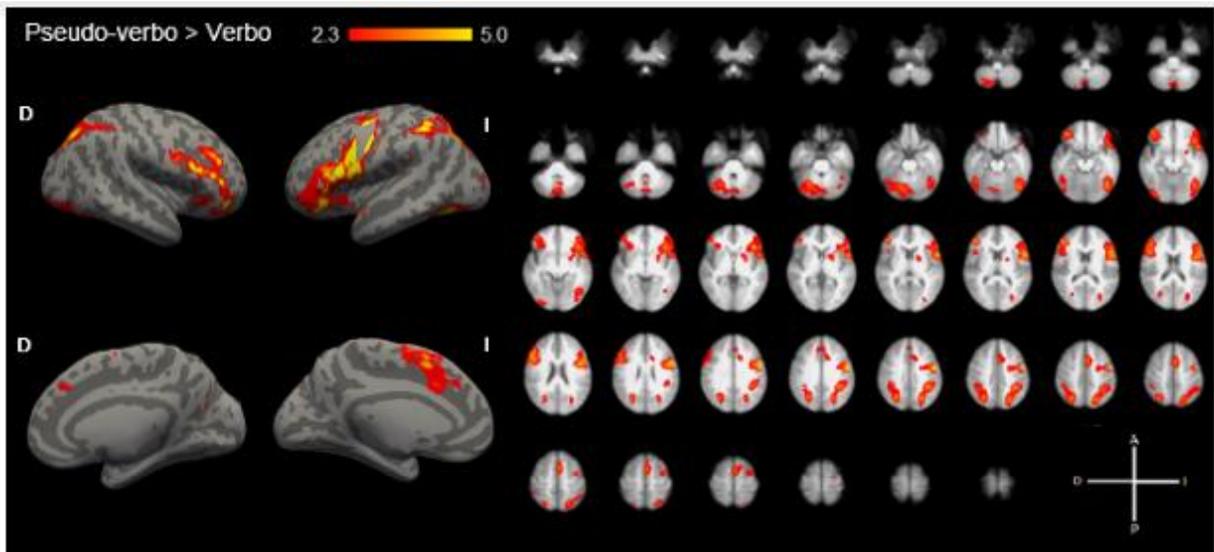


Figura 6. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del tercer contraste (pseudo-verbo > verbo). La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

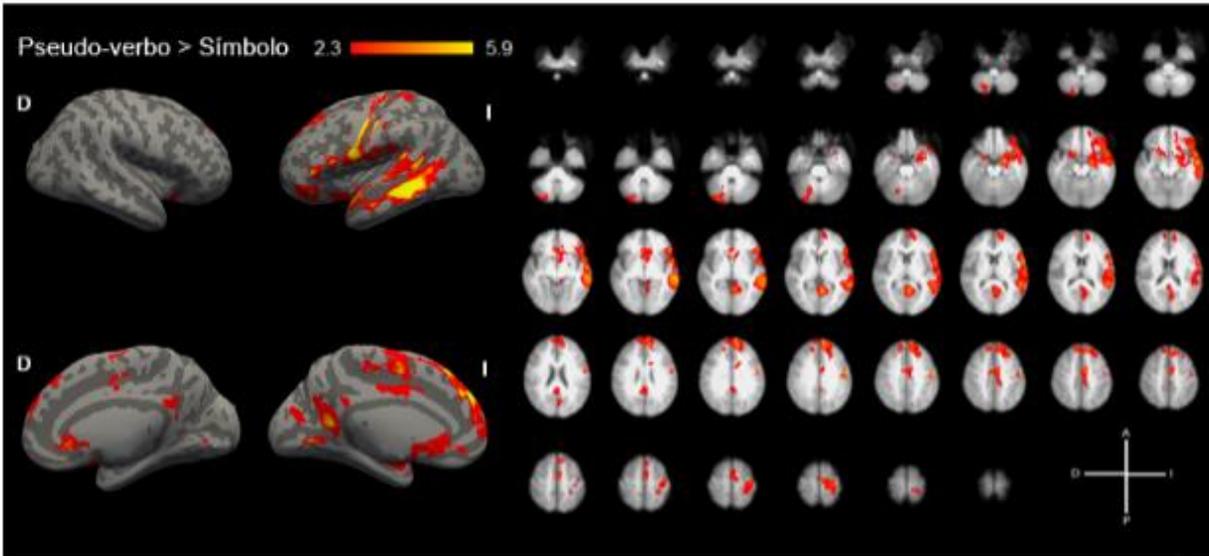


Figura 7. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del cuarto contraste (pseudo-verbo > símbolo). La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

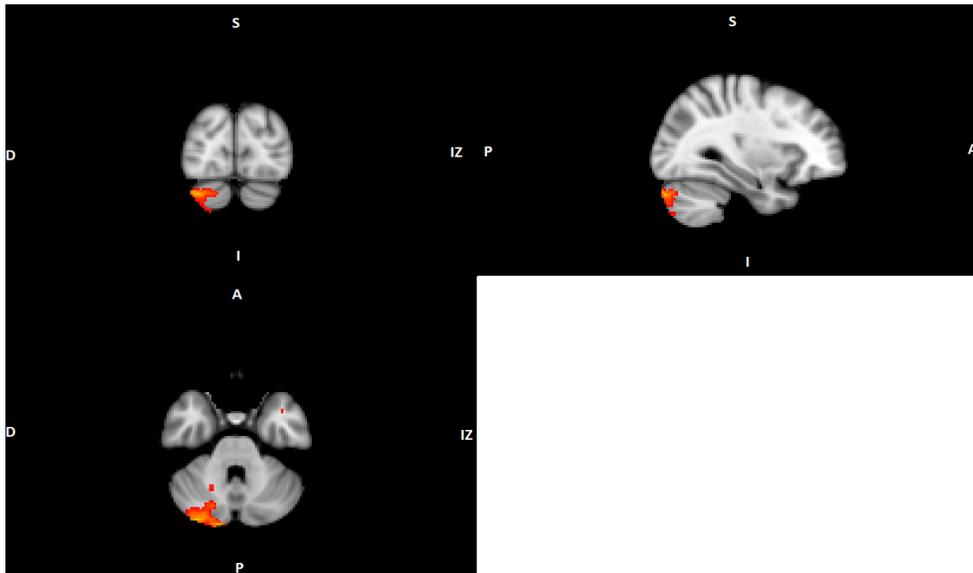


Figura 8. Activación del cerebelo para el contraste (pseudo-verbo > símbolo). Las imágenes muestran la activación vista de forma coronal (parte superior izquierda), sagital (parte superior derecha) y horizontal (parte inferior izquierda). (A= anterior, P= posterior, S= superior, I= inferior; D= derecho, IZ= izquierdo)

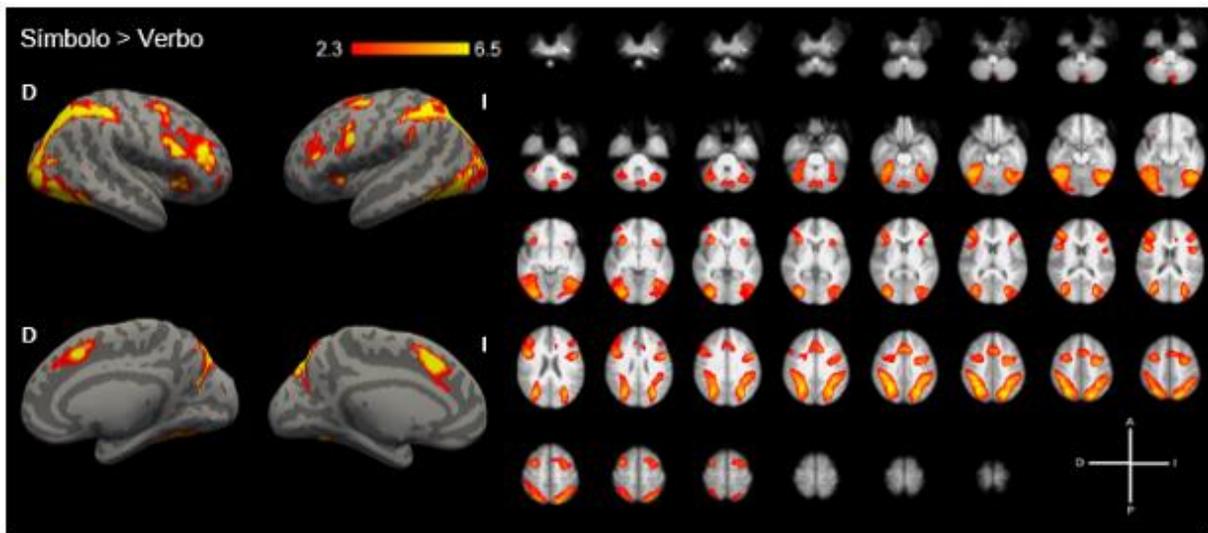


Figura 9. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del quinto contraste (símbolo > verbo). La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

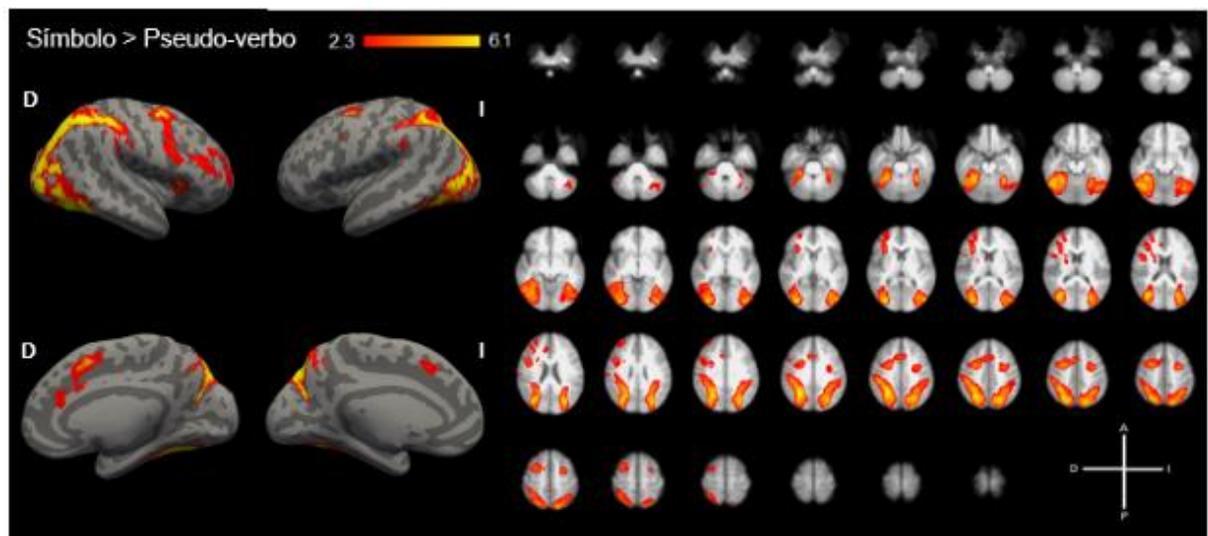


Figura 10. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del sexto contraste (símbolo > pseudo-verbo). La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

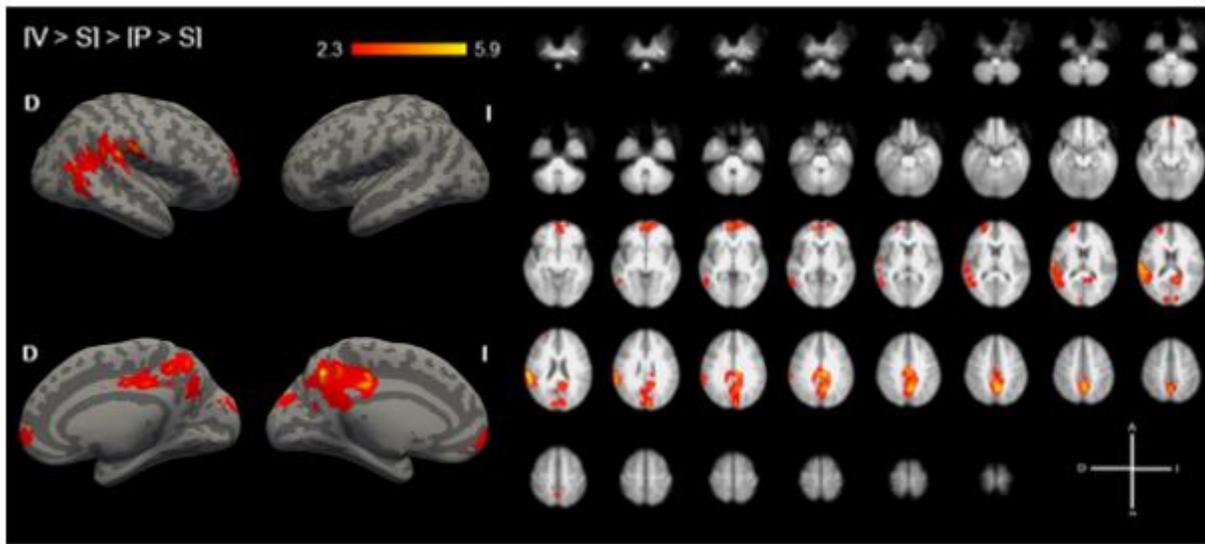


Figura 11. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del séptimo contraste [verbo > símbolo] > [pseudo-verbo > símbolo]. La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

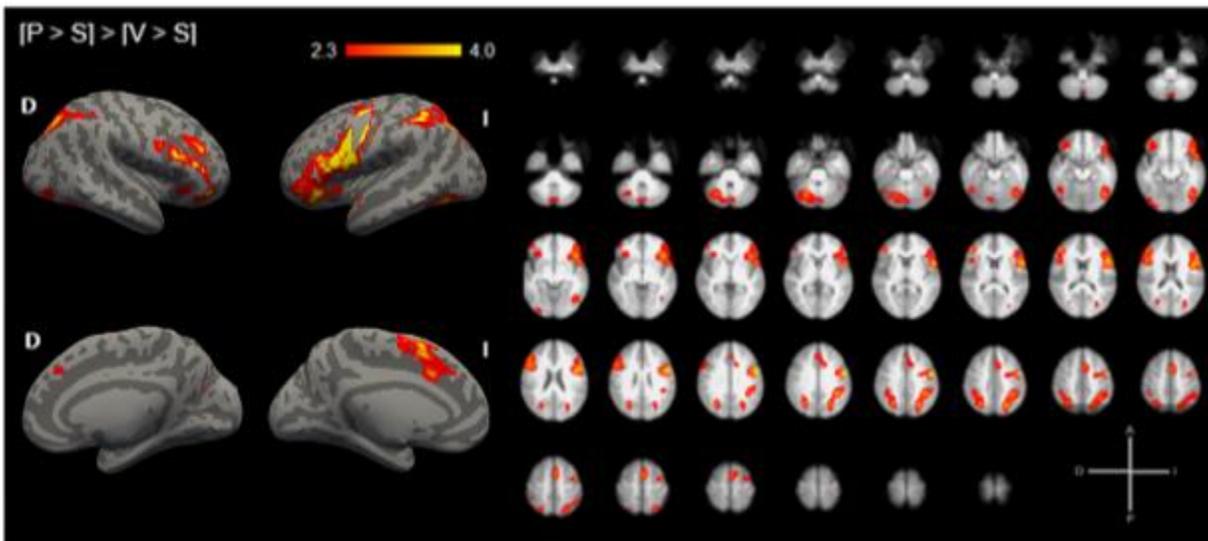


Figura 12. Mapas de activación de todo el cerebro. *Clusters* del octavo contraste [pseudo-verbo > símbolo] > [verbo > símbolo]. La barra superior en la imagen indica los puntajes z. La cruz inferior derecha indica los cuadrantes en los que se dividen las imágenes cerebrales (A= anterior, P= posterior, D= derecho, I= izquierdo).

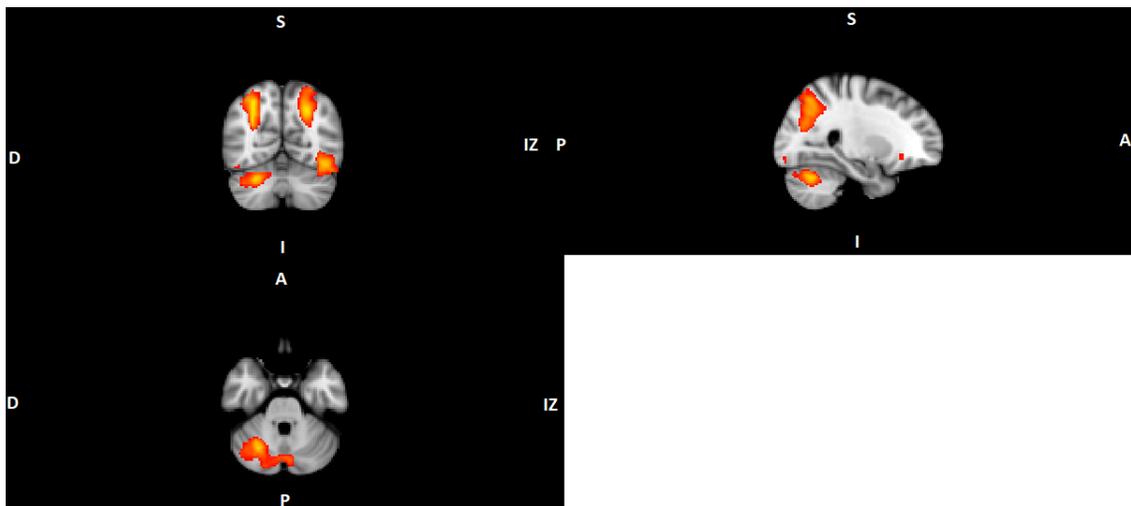


Figura 13. Activación del cerebelo para el contraste [pseudo-verbo > símbolo] > [verbo > símbolo]. Las imágenes muestran la activación vista de forma coronal (parte superior izquierda), sagital (parte superior derecha) y horizontal (parte inferior izquierda). (A= anterior, P= posterior, S= superior, I= inferior; D= derecho, IZ= izquierdo)

### 8.3 Resultados del análisis por región de interés

Con la finalidad de evaluar si existían áreas neuronales asociadas al procesamiento de verbos que estuvieran relacionadas a su vez a la ejecución y desempeño de las Pruebas de fluidez verbal y vocabulario (pruebas de habilidades lingüísticas), se utilizó una aproximación de análisis por región de interés (ROIs). Las ROIs para este análisis fueron obtenidas con la base de datos Neurosynth usando el término “VERBS” (<http://neurosynth.org>, Abril, 2018). De 110 estudios y 4314 activaciones, se obtuvo un mapa de activación de 98 clusters, del cual se obtuvieron las 10 coordenadas o voxeles de mayor intensidad de la señal y a partir de esos voxeles se construyeron las ROIs.

Para cada uno de los 10 voxeles de mayor actividad, se infló una esfera de manera equidistante a 8 mm de diámetro. La Tabla 6 muestra las 10 ROIs que fueron seleccionadas para este análisis con base en las especificaciones antes mencionadas.

Tabla 6. Regiones de interés (ROIs) seleccionadas con base en el meta-análisis realizado de la base de datos Neurosynth.

Región	Lateralidad	Tamaño	Coordenadas		
			x	y	z
Giro Frontal Inferior (IFG)	Izquierda	8mm	-50	16	16
Corteza Orbitofrontal	Derecha	8mm	36	26	-4
Corteza Occipital lateral (LOC)	Izquierda	8mm	-26	-60	-48
Giro Supramarginal (SG)	Izquierda	8mm	-60	-26	28
Giro Fusiforme (FG)	Izquierda	8mm	-40	-50	-20
Giro Temporal Medial (MTG)	Izquierda	8mm	-60	-50	0
Giro Temporal superior (STG)	Derecha	8mm	56	-32	2
Cerebelo	Derecha	8mm	34	-64	-28
Área Motora Suplementaria (SMA)	Izquierda	8mm	-2	8	60
Giro Temporal Medial anterior (MTG-ant)	Izquierda	8mm	-58	-10	-14

Las tablas 7, 8, 9 y 10 muestran los resultados de las correlaciones entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD de las ROIs para los contrastes de verbos vs pseudo verbos, pseudo verbos vs símbolos y verbos vs símbolos, y las medidas conductuales. En las cuatro tablas aparecen solo aquellos resultados que fueron significativos ( $p < 0.03$ ).

Tabla 7. Correlaciones significativas entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD de las ROIs para los contrastes de verbos vs pseudo verbos y pseudo verbos vs símbolos, y la prueba de Fluidez de verbos ( $p < 0.03$ , con corrección de Holm).

ROIs	Contraste	
	V > P	P > S
IFG	$r = -.440$	
Corteza Orbitofrontal		$r = .461$
LOC	$r = -.527$	
SG	$r = -.481$	
MTG	$r = -.410$	

Tabla 8. Correlaciones significativas entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD de las ROIs para los contrastes de verbos vs pseudo verbos, verbos vs símbolos y pseudo verbos vs símbolos, y la prueba de Fluidez semántica ( $p < 0.03$ , con corrección de Holm).

ROIs	Contraste		
	V > P	V > S	P > S
Corteza Orbitofrontal			$r = .465$
SG		$r = -.463$	
STG	$r = -.475$		$r = .414$

Tabla 9. Correlaciones significativas entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD de las ROIs para el contraste de verbos vs símbolos, y la prueba de Fluidez fonológica ( $p < 0.03$ , con corrección de Holm).

ROIs	Contraste
	V > S
FG	$r = -.576$

Tabla 10. Correlaciones significativas entre el porcentaje de cambio de la señal BOLD de las ROIs para los contrastes de verbos vs pseudo verbos, verbos vs símbolos y pseudo verbos vs símbolos, y la prueba de Vocabulario ( $p < 0.03$ , con corrección de Holm).

ROIs	Contraste		
	V > P	V > S	P > S
SG		$r = -.441$	
FG	$r = -.459$		
STG			$r = .483$

## 9.DISCUSIÓN

### 9.1 Análisis neuroanatómico de todo el cerebro

La forma en la que nuestro cerebro representa una palabra está dada por una serie de procesos sub lexicales y léxicos semánticos que las distinguen de otros estímulos como las pseudo palabras. Los verbos por su parte, al ser una categoría más dentro de las palabras deberían también distinguirse de estímulos como los pseudo verbos o los símbolos a partir de sus componentes fonológicos y semánticos, pero probablemente ser distintos en su representación semántica con respecto a otras categorías de palabras. Entonces, ¿cuáles son las diferencias a nivel funcional cerebral entre verbos, pseudo verbos y símbolos y como estas diferencias pueden ser explicadas a partir de los modelos duales de procesamiento del lenguaje?.

#### ***Diferencias en el procesamiento cerebral entre verbos y pseudo verbos***

Para responder al primer objetivo de nuestro estudio comparamos entre el procesamiento de verbos y pseudo verbos, cuyos resultados apoyan las propuestas de Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) sobre las diferencias entre el procesamiento sub-lexical y léxico-semántico del lenguaje.

Los hallazgos de esta comparación entre verbos y pseudo-verbos mostraron una mayor activación para los verbos en regiones asociadas a la vía ventral del lenguaje propuesta por Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013): el polo temporal, el giro temporal medio, la corteza frontal media, el área 45 y 47 de Brodmann, el giro postcentral en su zona más ventral, el giro angular y la precuña. Esta vía, de acuerdo con los modelos de Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) está involucrada en el procesamiento léxico semántico del lenguaje, es decir en la identificación de la palabra y la formación del concepto y significado de la misma.

Regiones como el giro angular y el área 45 y 47 de Brodmann son fundamentales para la comprensión del lenguaje tal como lo demuestran algunos estudios realizados en sujetos con lesiones en esas regiones a quienes les era imposible comprender palabras y oraciones escritas (Cavanna & Trimble, 2006). El giro angular además está involucrado en asignar significado a palabras fonológica y semánticamente reconocidas (Frank & col., 1999). El polo temporal por su parte está asociado a la integración audiovisual y a procesos lingüísticos relacionados con la comprensión del lenguaje como la discriminación fonológica (Hickok & Poeppel, 2000; Simons & col., 2002; Hickok & Poeppel, 2007; Ardila & cols.,

2016). Mientras que la precuña, estructura que proyecta a regiones como la corteza temporooccipital y la corteza prefrontal, ayuda a la integración de la información visual y auditiva de la palabra y al recuerdo de las palabras durante la lectura (Frank & Willems, 2017; Mechelli & cols., 2003) respectivamente.

En nuestros resultados también se encontró que la activación de algunas de estas regiones, principalmente aquellas en áreas temporales y frontales fue bilateral, consistente también con los modelos de Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) que sugieren que la vía ventral del lenguaje asociada a procesos léxico semánticos involucra la activación de regiones en ambos hemisferios. La interpretación de estos primeros hallazgos sugiere que los verbos a diferencia de los pseudo verbos cuentan con una representación a nivel léxico-semántica que explica las diferencias en la activación de regiones asociadas a la vía ventral del lenguaje (Hickock & Poeppel, 2002; Hickock & Poeppel, 2007; Friederici, 2013).

Por otra parte, nuestros resultados también mostraron una actividad similar en regiones como el giro paracingulado, la corteza occipital lateral, el giro fusiforme y la corteza parietal inferior durante la presentación de verbos y pseudo verbos. Esto sugiere que los verbos y los pseudo verbos comparten características fonológicas y morfológicas (Price y col., 1996) que podrían reclutar algunos mecanismos similares en nuestro cerebro (Price y col., 1996; Tagamets & cols., 2000; Simos & cols., 2002; y Polk & Farah, 2002), razón por la cual se encontraron activaciones similares en estas regiones asociadas a la vía dorsal del lenguaje (Hickock & Poeppel, 2002; Hickock & Poeppel, 2007; Friederici, 2013) y cuya función está relacionada al procesamiento perceptual de la palabra, su forma y su representación fonológica.

A pesar de la consistencia entre nuestros hallazgos y los modelos propuestos por Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) hubo dos regiones que no se encuentran dentro del marco de los modelos de Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) y que presentaron una mayor activación durante el procesamiento de verbos respecto a pseudo-verbos. La activación de estas dos regiones: el polo frontal y la corteza parietal inferior es consistente con los resultados de algunos estudios recientes (Huth & cols., 2016 y Fatma & cols., 2019) donde se explica que la representación de la información semántica en el cerebro parece no estar tan estrictamente delimitada como se creía e involucra actividad en muchas otras regiones como la corteza parietal anterior, la corteza prefrontal y la corteza premotora (Huth & cols., 2016 y Fatma & cols., 2019).

Finalmente, es importante mencionar que al analizar los contrastes entre verbos y pseudo-verbos con y sin el efecto de símbolos y el contraste de pseudo verbos > verbos, pudimos observar que los pseudo verbos presentaron una mayor activación que los verbos en regiones subcorticales como el cerebelo; el lóbulo parietal superior y la corteza frontal inferior, regiones que han sido asociadas al reconocimiento de la palabra y al procesamiento fonológico (Hickock & Poeppel, 2002; Hickock & Poeppel, 2007; Friederici, 2013; Fatma Deniz & cols., 2019). Una posible explicación es que los pseudo-verbos, aunque pueden ser identificados por sus características morfológicas y fonológicas como similares a los verbos, son estímulos desconocidos que requieren de un análisis más preciso de sus componentes fonológicos y morfológicos (Marshall & Newcomb en 1973). Por lo tanto, el procesamiento de los pseudo-verbos es más difícil al compararlo con estímulos familiares como los verbos y requiere de un mayor esfuerzo y por lo tanto de mayor activación cerebral. Mientras que los verbos al ser estímulos conocidos y almacenados en nuestro léxico mental a partir de su representación semántica (Marshall & Newcomb en 1973), requieren de un menor esfuerzo para ser procesados e interpretados y por eso la activación cerebral es menor. Además, los verbos son signos que usamos frecuentemente al comunicarnos con los demás por lo que el acceso a ellos podría ser de forma cuasi-automática permitiendo al cerebro economizar recursos y energía.

### ***Diferencias en el procesamiento cerebral de verbos y símbolos***

Para responder al segundo objetivo de nuestro estudio comparamos entre el procesamiento de verbos y símbolos. Nuestros resultados para este contraste nuevamente apoyan las diferencias entre el procesamiento sub lexical y léxico semántico del lenguaje de acuerdo a los modelos de Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013).

Los hallazgos para este contraste muestran una mayor activación para los verbos en regiones bilaterales asociadas al procesamiento fonológico y léxico semántico de la palabra que involucra ambas vías del lenguaje: la vía ventral y la vía dorsal. Entre estas regiones encontramos al polo frontal, el giro angular, el giro temporal medio y superior, el polo temporal, la corteza extraestriada (cuña) y el giro cingulado.

La activación de regiones asociadas tanto a la vía ventral como a la vía dorsal del lenguaje podría ser explicadas por el hecho de que los símbolos carecen de una representación fonológica y semántica (Petersen & col., 1989; Price & col., 1996) en nuestro cerebro. Por ejemplo, el polo frontal es un área involucrada en el procesamiento léxico-

semántico del lenguaje que se activa ante estímulos con carga semántica y está asociado al reconocimiento de la palabra (Petersen y col., 1989) o la corteza extraestriada un área involucrada en el procesamiento fonológico y morfológico de la palabra y que se activa ante la forma de la palabra (Petersen y col., 1989). Si bien los símbolos carecen de una representación fonológica y semántica que los distingue de los verbos, al parecer la forma en la que fueron procesados en este estudio, a nivel visual es similar. Esta propuesta está sustentada por el hecho de que nuestros resultados no presentan diferencias en la actividad BOLD de regiones relacionadas al procesamiento visual de la palabra como la corteza occipital lateral superior e inferior, la precuña o el giro fusiforme, resultados consistentes con los hallazgos hechos por Fujimaki y cols., en 1999 y Jenssen y cols., 1999 quienes explican que tanto palabras, como pseudo-palabras y símbolos tienen una complejidad perceptual similar y por ello su representación en el cerebro a ese nivel es similar (Fujimaki y col., 1999; Jenssen y cols., 1999).

### ***Diferencias en el procesamiento cerebral de pseudo-verbos y símbolos***

Para responder al tercer objetivo de nuestro estudio comparamos entre el procesamiento de pseudo-verbos y símbolos. Nuestros hallazgos para este contraste también comparten las ideas propuestas por Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) sobre las diferencias a nivel fonológico y semántico del lenguaje.

Los hallazgos para este contraste mostraron que los pseudo-verbos a diferencia de los símbolos presentan una mayor activación en regiones frontales y parietales inferiores del cerebro, en la corteza occipital medial y el giro lingual que forman parte de la vía dorsal del lenguaje (Hickock & Poeppel, 2002; 2007 y Friederici 2012), además la actividad de estas regiones está lateralizada al hemisferio izquierdo, consistente también con estos modelos que sugieren que la vía dorsal del lenguaje, involucrada en procesos morfológicos, fonológicos y gramaticales del lenguaje está lateralizada al hemisferio dominante del lenguaje.

Estas diferencias a nivel sub-lexical entre pseudo-verbos y símbolos incluyen que los pseudo-verbos a diferencia de los símbolos tienen una representación fonológica y morfológica en nuestro cerebro pues comparten similitudes con los verbos a este nivel, mientras que los símbolos son representados en nuestro cerebro sólo por sus características físicas-visuales y carecen de una representación fonológica y morfológica. Además de las diferencias en la activación de regiones asociadas a la vía dorsal del

lenguaje también encontramos que durante la presentación de pseudo-verbos respecto a símbolos había una mayor activación del cerebelo derecho, importante como mediador de procesos cognitivos como el lenguaje (Silveri & Misciagna, 2000), particularmente por sus conexiones con la corteza frontal relevantes en la manipulación de información lingüística novedosa y de operaciones fonológicas y semánticas (Coplan & cols., 2000; Xiang & col., 2003). Dicha activación presente en regiones del hemisferio derecho, durante el procesamiento de los pseudo-verbos y no en los símbolos, aunque ambos son estímulos novedosos, pero sólo los pseudo-verbos tienen características fonológicas.

Nuestros hallazgos respecto al procesamiento cerebral de verbos vs pseudo-verbos y símbolos apoyan las ideas propuestas por Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013). Este hallazgo es importante pues a pesar de que estos modelos han sido propuestos para explicar el procesamiento a nivel sub-lexical y lexical del lenguaje en su modalidad oral, nuestros resultados demuestran que estos modelos también pueden ser usados para explicar el procesamiento lingüísticos a nivel sub-lexical y lexical-semántico en su modalidad escrita. Nuestros hallazgos son consistentes con un estudio reciente realizado por Fatma y cols., en 2019. En este estudio se comparaban las áreas del cerebro que se activaban ante el procesamiento semántico de una historia breve al ser leída y después al ser escuchada. Lo que los autores encontraron en este estudio es que sin importar la modalidad por la que entraba la información, pareciera ser que el significado estaba siendo representado de igual forma en el cerebro.

## 9.2 Análisis por ROIS

Se eligieron las ROIS de un metaanálisis de Neurosynth usando la palabra clave “verbs” y se evaluó si el desempeño en las pruebas cognitivas que aplicamos podía predecir el cambio en la señal BOLD para cada uno de los contrastes de interés, en esas áreas para responder al cuarto objetivo de nuestro estudio. Cabe mencionar que sólo en los contrastes verbos > pseudo verbos, verbos > símbolos y pseudo verbos > símbolos se encontraron correlaciones significativas entre el cambio de señal BOLD y las pruebas cognitivas.

### ***Verbos respecto a pseudo-verbos***

Los primeros resultados de este contraste mostraron una correlación negativa entre la prueba de fluidez de verbos con regiones como el giro frontal inferior, la corteza occipital lateral, el giro supramarginal y el giro temporal medio. Por su parte, la prueba de fluidez verbal semántica también mostró una correlación negativa en el giro temporal superior; mientras que la prueba de vocabulario mostró una correlación negativa con respecto al giro

frontal. Estos hallazgos nos indican que a mayor desempeño en estas pruebas menor es el aumento en la señal BOLD para las regiones cerebrales mencionadas durante el procesamiento de verbos respecto a pseudo-verbos. Si bien no existen estudios previos donde se hayan realizado correlaciones similares a las nuestras creemos que, los sujetos que tienen más habilidades lingüísticas por lo que requieren un menor esfuerzo al procesar los verbos y por ende menor activación a nivel cerebral es mínima, lo cual debería ser analizado más detalladamente en futuros estudios.

### ***Verbos respecto a símbolos***

Para este contraste las correlaciones que encontramos también fueron negativas. Nuestros hallazgos mostraron que, a mayor desempeño en las pruebas de fluidez semántica y vocabulario, menor aumento de la señal BOLD en el giro superior durante el procesamiento de verbos en comparación al de símbolos. Estos resultados también se encontraron para la prueba de fluidez fonológica y el giro frontal. Al igual que en contraste anterior, verbos más que pseudo verbos, estos resultados reafirman que los sujetos con mejores habilidades lingüísticas procesan estímulos familiares como los verbos de una forma más fácil y por ello no hay una activación significativa en estas regiones.

Algo que es importante mencionar es que las regiones que presentaron correlaciones negativas con las pruebas de fluidez verbal y vocabulario para los dos contrastes: verbos más que pseudo verbos y verbos más que símbolos son regiones que están asociadas a procesos como el juicio semántico, la categorización y el acceso léxico-semántico (Price & col., 1996; Tagamets & cols., 2000; Simos & cols., 2002; y Polk & Farah, 2002). Lo cual tiene sentido pues si los sujetos tienen un buen desempeño en las pruebas de habilidades lingüísticas es probable que sean buenos al realizar juicios semánticos o categorizar y por ello la activación del cerebro en esas regiones sea menos demandante porque el esfuerzo cognitivo también lo es.

### ***Pseudo-verbos respecto a símbolos***

En este último contraste encontramos resultados opuestos a los presentados para el contraste de verbos más que pseudo verbos y de verbos más que símbolos. Los primeros hallazgos nos muestran una correlación positiva entre las pruebas de fluidez de verbos y la corteza orbitofrontal. Además, también se encontró una correlación positiva para la prueba de fluidez semántica con el giro temporal superior y la corteza orbitofrontal.

Los hallazgos de este contraste sugieren que los sujetos que tienen un mejor desempeño en las pruebas de fluidez de verbos y fluidez semántica presentan una mayor actividad en regiones como el giro temporal superior y la corteza orbitofrontal. Una posible explicación a esto es que, contrario a lo que sucede con los verbos, el procesamiento de estímulos no familiares como los pseudo verbos implica un mayor esfuerzo a nivel cognitivo y cerebral por lo que no importa que los sujetos tengan buenas habilidades lingüísticas la activación a nivel cerebral se mantiene.

Las regiones que para este contraste presentaron un mayor cambio en la señal BOLD fueron regiones asociadas a procesos como la memoria de trabajo fonológica, la percepción fonológica y el procesamiento sintáctico y gramatical (Price & cols., 1996; Tagamets & cols., 2000). Esto podría mostrar que cuando se tiene un buen desempeño en las pruebas de habilidades lingüísticas, esta clase de procesos implican un mayor esfuerzo a nivel cognitivo comparado con otros procesos como la categorización o el acceso léxico-semántico y por lo tanto de una mayor activación a nivel cerebral.

### 9.3 Análisis de las pruebas conductuales

Para responder al quinto objetivo de nuestro estudio en el que buscamos evaluar y comparar el desempeño de las pruebas de fluidez verbal y la prueba de vocabulario. Al comparar el desempeño de las tres pruebas de fluidez verbal: fluidez de verbos, semántica, y fonológica la prueba de fluidez verbal fonológica presentó un desempeño significativamente más bajo que las dos primeras. Esta diferencia puede ser explicada por una diferencia en la dificultad de la tarea lingüística (Troyer & cols., 1997), es decir, las diferencias en la disponibilidad léxica entre los tres tipos de pruebas de fluidez verbal. Las pruebas de fluidez verbal son un tipo de tarea lingüística que implica la búsqueda de palabras dentro del léxico mental (Troyer & cols., 1997). Sin embargo, la facilidad con la que se accede a estas palabras está estrechamente relacionada con su disponibilidad léxica. La prueba de fluidez verbal fonológica es considerada una prueba de menor disponibilidad léxica (Troyer & cols., 1998 y Dräger & cols., 2004), en esta prueba se le pide al participante que acceda a las palabras a través de su representación fonológica y no semántica; lo cual demanda un mayor número de recursos para identificar y seleccionar la palabra (Marshall & Newcomb, 1973). Además, en estudios previos se ha visto que la ejecución de pruebas de fluidez verbal fonológica implica mayor activación en áreas prefrontales del cerebro al ser comparadas con otro tipo de pruebas de fluidez verbal (Dräger & cols., 2004). Esto podría ser un indicio de que la ejecución de este tipo de pruebas

de fluidez verbal fonológica demanda un mayor esfuerzo cognitivo, por ejemplo, de memoria de trabajo. En consecuencia, la búsqueda y acceso a palabras relacionadas con este tipo de fluidez verbal es más difícil y lenta. Encontramos también que a mejor desempeño en la prueba de fluidez fonológica mejor desempeño también para las pruebas de fluidez de verbos y semántica. Este resultado puede ser explicado si pensamos en que la prueba de fluidez fonológica es la de más difícil acceso al léxico mental. Por lo tanto, si un sujeto en una prueba de fluidez fonológica tiene un buen desempeño se esperaría que el resultado fuera similar en las pruebas cuyo acceso al léxico es más fácil (Troyer & cols., 1997 y Dräger & cols., 2004) y requieren de un menor esfuerzo a nivel cognitivo.

Por otra parte, para la prueba de vocabulario y las pruebas de fluidez verbal, encontramos que la prueba de vocabulario mostró una correlación positiva con las tres pruebas de fluidez verbal. La prueba de vocabulario es una prueba que permite medir la comprensión verbal en un individuo. La comprensión verbal es una función que a su vez requiere de otras habilidades lingüísticas como el conocimiento léxico, la precisión conceptual, la capacidad expresiva verbal, etc. Las pruebas de fluidez verbal permiten evaluar algunas de estas habilidades como el léxico mental de un individuo y la capacidad para generar lenguaje espontáneo, que es un índice de la capacidad expresiva verbal (Stuss & col., 1992). Esta relación entre la comprensión verbal y habilidades lingüísticas como el conocimiento léxico o la capacidad expresiva verbal pueden explicar por qué los sujetos que tienen un buen desempeño en la prueba de vocabulario también obtienen buenos resultados en las pruebas de fluidez verbal. Dicho de otra forma, para que nuestra comprensión verbal sea eficaz y podamos resolver tareas como el “vocabulario” necesitamos primero de otras habilidades lingüísticas como la capacidad de formar conceptos, de expresar relaciones entre conceptos, tener un léxico amplio, expresarnos verbalmente de forma espontánea, etc.

Finalmente, algunas de las limitantes que presentó nuestro estudio fueron; el número de participantes, esto debido al tiempo que se requería para llevar a cabo el estudio. Otra de las limitantes de nuestro estudio fue el tiempo que los participantes pasaban en el resonador resolviendo la tarea, ya que la duración fue mayor a una hora por lo que su interés en la tarea se pudo haber perdido o bien su atención pudo haber disminuido. En cuanto a la fase de la aplicación de las pruebas cognitivas quizá una de sus limitantes fue que sólo aplicamos dos pruebas distintas de habilidades lingüísticas y quizá el uso de otras pruebas relacionadas a aspectos como el uso gramatical de las palabras y la identificación

y categorización lexical de las mismas pudo haber complementado nuestros hallazgos. Además, es importante mencionar que para las pruebas de fluidez verbal fonológica y semántica no existía información sobre el valor típico o esperado para el rango de edad en el que se encontraban los participantes por lo que sería importante considerar usar otras pruebas ya que una puntuación sin ese contraste puede tener poca validez. Por último, la que creemos la limitante más importante de nuestro estudio fue que para la tarea del resonador no incluimos estímulos de otra categoría lexical, por ejemplo, sustantivos, esto nos hubiera permitido comparar entre el procesamiento de dos categorías lexicales distintas (verbos y sustantivos). El análisis de esta comparación hubiera sido importante para conocer si el procesamiento a nivel léxico semántico entre categorías lexicales es distinto o bien si es independiente a ellas. Esta información sin duda hubiera ayudado a complementar nuestros resultados sin embargo esto también abre la posibilidad a futuras investigaciones.

## 10. CONCLUSIÓN

Nuestros hallazgos respecto al procesamiento cerebral de verbos respecto a pseudo-verbos y símbolos apoyan las ideas propuestas por Hickock y Poeppel (2007) y Friederici (2013) en sus modelos duales de procesamiento del lenguaje. A pesar de que estos modelos han sido propuestos para explicar el procesamiento a nivel sub-lexical y léxico-semántico del lenguaje en su modalidad oral, nuestros resultados demuestran que estos modelos también pueden ser usados para explicar el procesamiento lingüísticos a nivel sub-lexical y léxico-semántico en su modalidad escrita a nivel de la palabra. La idea de que algunos componentes en el procesamiento del lenguaje pueden ser representados de igual forma en nuestro cerebro independientemente de la modalidad por la que entra la información también ha sido propuesta recientemente (Fatma y cols., en 2019).

En cuanto a las diferencias encontradas en la activación cerebral entre el procesamiento de verbos y pseudo-verbos, a pesar de que ambos estímulos tienen componentes fonológicos y morfológicos, la forma en la que los verbos y los pseudo-verbos se representan en nuestro cerebro es distinta y posiblemente los recursos cognitivos que usan para interpretarlos también lo son. Mientras que los verbos son representados en nuestro cerebro por sus características léxico-semánticas, los pseudo-verbos estarían siendo representados principalmente por sus características fonológicas (fonemas, sílabas, etc.). En cuanto a la actividad adicional de los pseudo-verbos respecto a verbos en regiones encargadas del reconocimiento de la palabra podemos concluir que en las pseudo-palabras la asociación fonológica no es familiar por lo que su búsqueda e interpretación es menos fácil, requiere de un mayor esfuerzo y por lo tanto de mayor activación en estas regiones cerebrales. Mientras que, en las diferencias de actividad entre verbos y símbolos, así como pseudo-verbos y símbolos podemos concluir que aunque los símbolos carecen de una representación fonológica y semántica en nuestro idioma, tanto verbos como pseudo-verbos y símbolos comparten una complejidad perceptual similar a nivel visual razón por la que la actividad en regiones como la corteza occipital y la corteza extraestriada es tan parecida.

Finalmente, para el análisis de las ROIs podemos concluir que en los contrastes verbos más que pseudo-verbos y verbos más que símbolos un buen desempeño en las pruebas de fluidez de verbos y vocabulario correlacionó con una menor activación en regiones asociadas a la comprensión del lenguaje. Esto quiere decir que en los sujetos que tienen buenas habilidades lingüísticas el aumento de actividad neuronal para procesar los

verbos es mínimo. Contrario a esto, para procesar los pseudo-verbos el aumento de actividad neuronal en áreas relacionadas a la comprensión del lenguaje es mayor. Esto sucede porque los pseudo-verbos a diferencia de los verbos son estímulos desconocidos que requieren un mayor esfuerzo neuronal independiente de las habilidades lingüísticas que tengamos.

## 11.GLOSARIO

*Categoría léxica:* Es un grupo bien definido de palabras, que tienen la particularidad de hacer referencia a ciertos conceptos, ya sea abstractos o tangibles, y que tienen un significado independiente de su contexto. Este tipo de palabras suele ser clasificado según su comportamiento a nivel morfológico o sintáctico.

*Cognitivo:* Hace referencia a los procesos mentales que influyen en la conducta de cada individuo y su desarrollo intelectual.

*Fonema:* La palabra fonema proviene del griego φώνημα (phōnēma), que significa 'sonido de la voz'. El fonema es la unidad mínima sonora que tiene un valor distintivo en el sistema fonológico de una lengua, es decir, es la representación de cada uno de los sonidos que posee una lengua. Ejemplo: /a/, /p/, /b/, etc.

*Fonético:* Que está relacionado con los sonidos de una lengua.

*Grafema:* Es la representación escrita o gráfica del sonido a que hace referencia el fonema.

*Gramática:* Es el conjunto de normas o reglas que rigen el empleo de una lengua. Tanto en su forma oral o hablada y escrita.

*Lexema:* También conocido como raíz, es la unidad mínima de una palabra con valor léxico, es decir, con significado. El lexema es la parte de la palabra que se mantiene igual en todas sus variaciones y derivaciones. Ejemplo: **libr**-o, **libr**-ito, **libr**-ería, etc.

*Léxico:* Es el conjunto de palabras que constituyen una lengua. Léxico también se conoce el conjunto de palabras que son de uso particular en una región.

*Léxicon:* Es el conjunto total de palabras que contemplan las diferentes categorías léxicas de una misma lengua.

*Léxico mental:* Se refiere al conjunto de palabras que una persona usa cotidianamente, conoce o entiende. Este tipo de léxico es referido particularmente al hablante.

*Lingüística:* Es la disciplina que tiene como objetivo el estudio, descripción y explicación de la lengua entendida como un sistema de signos autónomo. La lingüística estudia la lengua

a distintos niveles: el fonético-fonológico, el morfológico, el sintáctico, el léxico y el semántico.

*Morfema:* Es la unidad mínima analizable que tiene significado gramatical. El morfema es la parte variable de una palabra y puede expresar significado siempre que se encuentre unido a un lexema. Ejemplo: no, yo, le, etc.

*Morfológico:* Que está relacionado con la estructura de las palabras, sus partes. La morfología de una palabra implica la separación de sus estructuras: morfemas, lexemas, prefijos, sufijos, etc.

*Palabra:* Son signos lingüísticos, que establecen asociaciones arbitrarias entre un sonido y un significado.

*Predicado:* Es la parte de la oración cuya función es indicar qué se dice del sujeto. El predicado está formado por un verbo, que es el núcleo y un complemento.

*Pseudo-palabra:* Son secuencias novedosas de sílabas que cumplen con las reglas ortográficas y gramaticales del idioma; están compuestas por elementos visuales, morfológicos y fonológicos, al igual que las palabras, pero a diferencia de ellas, las pseudopalabras carecen de un componente semántico o significado.

*Semántico:* Referente a la semántica, es decir al significado de las palabras habladas y escritas.

*Sílaba:* Es la unidad o unidades fonológicas en que se divide una palabra de acuerdo a la agrupación mínima de sus sonidos articulados, lo cual generalmente significa la unión de una vocal y una o varias consonantes. Dicho en términos más simples, se trata de los fragmentos sonoros en que podemos dividir una palabra, respetando la lógica de su pronunciación.

*Símbolo:* Es una representación no verbal de una idea compleja, y que resulta de una asimilación y síntesis de dicha idea en una cultura o contexto social.

*Sintáctico:* Que está relacionado con la sitaxis, es decir, con las relaciones de concordancia y jerarquía que guardan las palabras cuando se agrupan entre sí para formar oraciones.

*Sintaxis:* La sintaxis tiene como función ofrecer pautas o normas para crear oraciones de forma coherente, con el objetivo de expresar o enunciar el significado correcto de las palabras.

*Sistema fonológico:* Es el inventario que da cuenta de todos los sonidos que una lengua tiene en su realización en el habla.

*Sustantivo:* Es un tipo de palabra o categoría léxica que nombra o designa a personas, animales, objetos, lugares, sentimientos o ideas. En gramática los sustantivos se caracterizan por tener género (masculino o femenino) y número (singular o plural).

*Verbo:* Clase de palabra con la que se expresan acciones, procesos o estados del sujeto; tiene variación de tiempo, aspecto, modo, voz, número y persona y funciona como núcleo del predicado.

## 12. REFERENCIAS

- Ardila, A., Bernal, B. y Roselli, M. (2016). The language area of the brain: a functional reassessment. *Rev Neurol* 62 (3), 97-106.  
<https://www.neurologia.com/articulo/2015286>
- Blumstein, S.E., Baker, E., y Goodglass, H. (1977). Phonological factors in auditori comprehension in aphasia. *Neuropsychologia* 15 (1), 19-30.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0028393277901117?via%3Dihub>
- Brunswick, N., McCrory, E., Price, C. J., Frith, C. D., y Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics. A search for Wernicke's Wortschatz? *Brain*, 122 (Pt 10), 1901–1917.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10506092>
- Cavanna, A. E. y Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain* 129 (Pt 3) , 564-583.  
<https://academic.oup.com/brain/article/129/3/564/390904>
- Cifuentes- Honrubia, J.L. (2010). Clases semánticas y construcciones sintácticas: alternancias locales en español. Lugo: Axae
- Copland, D.A., Chenery, H.J., y Murdoch, B.E. (2000). Persistent deficits in complex language function following dominant nonthalamic subcortical lesions. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 8 (1), 1–14.  
<https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:141972>
- Coseriu, E. (1986). Introducción a la lingüística. Gredos.
- Cruz-Fuentes, C.S., López, B.L., Blas, G.C., González, M.L. y Chávez, B.R.A. (2005). Datos sobre la validez y confiabilidad de la Symptom Check List 90 (SCL90) en una muestra de sujetos mexicanos. *Salud Mental* 28 (1), 72-81.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=58212808>
- Cuencas, Z., Ramón, Von Seggern, B., Toledo R. y Harrell, E. (1990). El inventario de Edinburgo: evaluación de la lateridad cerebral en una población mexicana. *Salud Ment* 13 (2), 11-17.  
[http://revistasaludmental.mx/index.php/salud\\_mental/issue/view/50](http://revistasaludmental.mx/index.php/salud_mental/issue/view/50)
- Cuetos, V. F. (2012). Neurociencia del lenguaje: bases neurológicas e implicaciones clínicas. 1er Edición, pp. 15-103. Editorial medica panamericana.

- Dräger, B., Jansen, A., Bruchmann, S., Förster, A. F., Pleger, B., Zwitserlood, P. y cols. (2004). How does the brain accommodate to increased task difficulty in Word finding?: A functional MRI study. *Neuroimage*, 23 (3), 1152-1160. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1053811904003702>.
- Derogatis, L. R., y Cleary, P. (1977). Confirmation of dimensional structure of the SCL-90: A study in construct validation. *Journal of Clinical Psychology*, 33(4), 981-989. [https://doi.org/10.1002/10974679\(197710\)33:4<981::AIDJCLP2270330412>3.0.C;0](https://doi.org/10.1002/10974679(197710)33:4<981::AIDJCLP2270330412>3.0.C;0)
- Dronkers, N., Pinker, S. y Damasio, A. (2000). Language and Aphasias. En Kandel, J., Schwrtz, & J. Jessel (Eds.), *Principles of Neuroscience*. 4ta Edicion, pp. 1170-1187. New York: McGraw-Hill, Health Professins Division.
- Evans, N., y Wilkins D. (2000) In the Mind's Ear: The Semantic Extensions of Perception Verbs in Australian Language. *Linguistic Society of America* 76 (3), 546-592. <http://www.jstor.org/stable/417135>
- Fatma, D., Anwar, O., Nunez-Elizalde, Alexander, G., Huth, y Gallant, J.L. (2019). The Representation of Semantic Information Across Human Cerebral Cortex During Listening Versus Reading Is Invariant to Stimulus Modality. *Journal of Neuroscience*, 39 (39), 7722-7736. <https://www.jneurosci.org/content/39/39/7722.abstract>
- Fiez, J.A., Raichle, M.E., Balota, D.A., Tallal, P., y Petersen, S.E. (1996). PET activation of posterior temporal regions during auditory word presentation and verb generation. *Cereb Cortex*, 6 (1), 1-10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8670633>
- Fiske, J. (1982). Introducción al estudio de la comunicación. 1er Edición, pp. 1-52. Editorial norma S.A. <https://es.slideshare.net/SeminarioComunicacin/fiske-john-introduccion-al-estudio-de-la-comunicacion-61677590>
- Flores-Lázaro, J.L., Ostrosky-Shejet, F., Lozano-Gutiérrez, A. (2014). Batería Neuropsicológica de funciones ejecutivas y lóbulos frontales. (BANFE-2). Manual Moderno.
- Frank, S.L. y Willems, R.M. (2017). Word predictability and semantic similarity show distinct patterns of brain activity during language comprehension. *Language, Cognition and Neuroscience*, 32 (9), 1192–1203. <https://psycnet.apa.org/record/2017-43259-009>

- Friederici, A.D. (2009). Pathways to language: fiber tracts in the human brain. *Trends Cogn Sci* 13 (4), 175-181. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19223226>
- Friederici, A. D. (2011). The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiol Rev* 91 (4), 1357-1392. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22013214>
- Friederici, A.D. (2012). The cortical language circuit: from auditory perception to sentence comprehension. *Trends Cogn Sci* 16 (5), 262-268. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22516238>
- Friederici, A.D., & Gierhan M.E. (2013). The language network. *Curr Opin Neurobiol* 23 (2), 250-254. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23146876>
- Friston, K. J., Holmes, A. P., Poline, J.-B., Grasby, P. J., Williams, S. C. R., Frackowiak, R. S. J., y Turner, R. (1995). Analysis of fMRI Time-Series Revisited. *NeuroImage*, 2(1), 45–53. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9343589>
- Fujimaki, N., Miyauchi, S., Putz, B., Sasaki, Y., Takino, R. y cols. (1999). Functional magnetic resonance imaging of neural activity related to orthographic, phonological, and lexico-semantic judgments of visually presented characters and words. *Hum Brain Mapp* 8, 44–59. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/\(SICI\)10970193\(1999\)8:1%3C44::AID-HBM4%3E3.0.CO;2-%23](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/(SICI)10970193(1999)8:1%3C44::AID-HBM4%3E3.0.CO;2-%23)
- García, E. (1993). La comprensión de textos. Modelo de procesamiento y estrategias de mejora. *Didáctica. Lengua y Literatura* 5, 1-28. <http://revistas.ucm.es/index.php/DIDA/article/view/DIDA9393110087A>
- García-Miguel, J.M. (2013). Categorías léxicas en tipología lingüística. *Verba. Anuario Galego de Filoloxía* 40, 355-388. <http://www.usc.es/revistas/index.php/verba/article/view/1201>
- Gauthier, C. T., Duyme, M., Zanca, M. y Capron, C. (2009). Sex performance level effects on brain activation during a verbal fluency task: a functional magnetic resonance imaging study. *Cortex* 45(2), 164-176. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19150518>

- Gernsbacher, M. A., y Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annu Rev Psychol* 54, 91-114. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12359916>
- González-Santos, L., Mercadillo, R.E., Graff, A. y Barrios, F.A. (2007). Versión computarizada para la aplicación del Listado de síntomas 90 (SCL 90) y del Inventario de Temperamento y carácter. *Salud Mental* 30 (4), 31-40. [http://revistasaludmental.mx/index.php/salud\\_mental/article/view/1177](http://revistasaludmental.mx/index.php/salud_mental/article/view/1177)
- Hagoort, P., Hald, L., Bastiaansen, M. y Petersson, K. M. (2004). Integration of Word meaning and Word knowledge in language comprehension. *Science* 304, 438-441. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15031438>
- Henry, J. D. y Crawford, J. R. (2004). A meta-analytic review of verbal fluency performance in patients with traumatic brain injury. *Neuropsychology* 18(4), 621-628. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15506829>
- Herbster, A. N., Mintun, M.A., Nebes, R. D. y Becker, J. T. (1997). Regional cerebral blood flow during word and nonword reading. *Human Brain Mapping* 5 (2) 84-92. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10096413>
- Herrera, L. (2019). Cerebral processing of language: History and theoretical evolution. *Fides et ratio* 17, 101-130. [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v17n17/v17n17\\_a07](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v17n17/v17n17_a07)
- Hickok, G., y Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams. A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition* 92 (1-2), 67-99. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15037127>
- Hickok, G., y Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nat Rev Neurosci* 8 (5), 393-402. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17431404>
- Hillis, A.E., y Caramazza A. (1995). Representation of grammatical categories of words in the brain. *J Cogn Neurosci* 7 (3), 396-407. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23961868>
- Huth, A.G., de Heer, W.A., Griffiths, T.L., Theunissen, F.E., y Gallant, J.L. (2016). Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature*, 532 (7600), 453-458. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27121839>

- Jenssen, F., Erb, M., Klose, U., Lotze, M., Grodd, W. y Heun, R. (1999). Activation of human language processing brain regions after the presentation of random letter strings demonstrated with event-related functional magnetic resonance imaging. *Neuroscience letters* 270 (1), 13-16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030439409900453X>
- Koren, R., Kofman, O., y Berger, A. (2005). Analysis of word clustering in verbal fluency of school-aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20,1087-1104. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0887617705001149>
- Lau, E. F., Philips, C. y Poeppel, D. (2008). A cortical network for semantics: (de)constructing the N400. *Nat Rev Neurosci* 9 (12), 920-933. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19020511>
- Levelt, W. J. M. (1999). Producing spoken language: A blueprint of the speaker. In C. M. Brown, & P. Hagoort (Eds.), *The neurocognition of language* (pp. 83-122). Oxford University Press. <http://www.mpi.nl/publications/escidoc-147935/@@popup>
- Marino, J., & Alderete, A. (2010). Valores normativos de Pruebas de Fluidez Verbal Catorce, Fonológicas, Gramaticales y Combinadas y análisis comparativo de la capacidad de iniciación. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 10(1),79-93 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3988275>
- Marshall, J.C., y Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research*, 2 (3), 175-200. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4795473>
- Mechelli, A., Gorno-Tempini, M. L., y Price C.J. (2003) Neuroimaging studies of words and pseudowords reading: consistencies, inconsistencies, and limitations. *J Cogn Neurosci* 15 (2), 260-271. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12676063>
- Mittelman, J. (1991). *Lenguaje y pensamiento. El Cours de Saussure y su recepción crítica en Jakobson y Derrida*. Pamplona: Cuadernos de anuario filosófico. Edición digital en: <http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/4021/3/110.pdf>
- Novick, J. M., Chalmers, M. L. y Friedman, R. B. (2000). A parametric approach to orthographic processing in the brain: An fMRI study. *J Cogn Neurosci* 12 (2), 281-97. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10771412>

- Oldfield, R.C. (1971). The assesment and analysis of handedness: The Edimburg inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0028393271900674>
- Paulesu E., McCrory E., Fazio F., Menoncello L., Brunswick N., Cappa S. F. y cols. (2000). A cultural effect on brain function. *Nat Neurosci* 3 (1), 91–96. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10607401>
- Petersen, S., Fox, P., Posner, M., Mintun, M. y Raichle, M., 1989. Positron emission tomography studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience* 1, 153 – 170. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23968463>
- Petrides, M. (2014). *Neuroanatomy of language: regions of the human brain*. 1er Edición, pp.2-29. Editorial Academic Press Elsevier.
- Price, C. J., Wise, R. J. S. y Frackowiak, R. S. J. (1996). Demonstrating the implicit processing of visual presented words and pseudowords. *Cereb Cortex* 6 (1) , 62-70. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8670639>
- Polk, T.A. y Farah, M.J. (2002). Functional MRI evidence for an abstract, not perceptual, word-form area. *J Exp Psychol Gen* 131 (1), 65–72. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11900104>
- Porto, J. y Gardey, A. (2009). <https://concepto.de/silabas/#ixzz649HoNQZt>
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences*. *Behav Brain Sci* 22 (2), 253–336. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11301524>
- Purves, D., Augustine, G., Fitzpatrick, D., Hall, W., Lamantia, A.S., McNamara, J. & Williams, M. (Eds.). (2008). *Lenguaje y Habla*. En *Neurociencia* 3er Edición, pp. 709-731. Editorial Panamericana.
- Rogers, B.P., Morgan , V.L., Newton, A.T. y Gore, J. C. (2007). Assessing functional connectivity in the human brain by Fmri. *Magn Reson Imaging*, 25 (10), 1347-1357. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17499467>
- Rumsey, J. M., Nace, K., Donohue, B., Wise, D., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1997). A positron emission tomographic study of impaired word recognition and phonological processing in dyslexic men. *Archives of Neurology*, 54 (5), 562 – 573. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9152113>

- Saur, D., Kreher, B.W., Schnell, S., Kümmerer, D., Kellmeyer, P., Vry, M.S., Umarova, R.M., Glauche, V., Abel, S., Huber, W., y cols. (2008). Ventral and dorsal pathways for language. *Proc Natl Acad Sci USA* 105, 18035-18040. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19004769>
- Schwartz, S. y Baldo, J. (2001). Distinct patterns of word retrieval in right and left frontal lobe patients: a multidimensional perspective. *Neuropsychologia* 39 (11), 1209- 1217. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11527558>
- Shiffrin, R. M., y Schnerder, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review* 84(2), 127-190. [https://www.researchgate.net/publication/232568886\\_Controlled\\_and\\_automatic\\_human\\_information\\_processing\\_II\\_Perceptual\\_learning\\_automatic\\_attending\\_and\\_a\\_general\\_theory](https://www.researchgate.net/publication/232568886_Controlled_and_automatic_human_information_processing_II_Perceptual_learning_automatic_attending_and_a_general_theory)
- Silveri, M. C., y Misciagna S. (2000). Language, memory and the cerebellum. *Journal of Neurolinguistics*, 13, 129–143. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0911604400000087?dgcid=api\\_sd\\_search-api-endpoint](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0911604400000087?dgcid=api_sd_search-api-endpoint)
- Simos, G. P., Breier, I. J., Fletcher, M. J., Foorman, R. B., Castillo, M. E. y Papanicolaou, A.C., (2002). Brain mechanisms for reading words and pseudowords: an integrated approach. *Cereb Cortex* 12 (3), 297- 305. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11839603>
- Smith, S.M., Vidaurre, D., Beckmann, C.F., Glasser, M.F., Jenkinson, M., Miller, K.L. y col. (2013). Functional connectomics from resting-state Fmri. *Trends Cogn Sci*, 17 (12), 666-682. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24238796>
- Stuss, D. (1992). Biological and psychological development of executive functions. *Brain and Cognition*, 20 (1), 8-23. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/027826269290059U>
- Tagamets, M.A., Novick, J. M., Chalmers, M. L. y Friedman, R. B. (2000). A parametric approach to orthographic processing in the brain: An fMRI study. *J. Cogn Neurosci* 12 (2), 281-297. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10771412>

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Tobón de Castro, L. (2008) La lingüística del lenguaje vista como el estudio de los procesos de significar. Boletín del Instituto Caro y Cuervo. <http://bit.ly/25474je>
- Troyer, A.K., Moscovich, M. y Winocur, G. (1997). Clustering and switching as two components of verbal fluency: Evidence from younger and older healthy adults. *Neuropsychology*, 11 (1) , 138-146. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9055277>
- Van den Heuvel, M. P. y Hulshoff Pol, H. E. (2010). Exploring the brain network: A review on resting-state fMRI functional connectivity. *European Neuropsychopharmacology*, 20(8), 519–534. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20471808>
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Herve, P.Y., Duffau, H., Crivello, F., Houde, O., Mazoyer, B. y Tzourio-Mazoyer, N. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. *Neuroimage* 30 (4), 1414-1432. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16413796>
- Wechsler, D. (2008). Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos IV (WAIS-IV). Manual Moderno.
- Wilson, S.M., Galantucci, S., Tartaglia, M.C.R.K., Patterson, D.K., Henry, M.L., Ogar, J.M., DeLeon, J., Miller, B.L. y Gorno-Tempini, M.L. (2011). Syntactic processing depends on dorsal language tracts. *Neuron* 72, 397-403. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22017996>
- Worsley, K. J., Liao, C. H., Aston, J., Petre, V., Duncan, G. H., Morales, F. y Evans, A. C. (2002). A General Statistical Analysis for fMRI Data. *Neuroimage*, 15(1), 1–15. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11771969>
- Xiang, H., Lin, C., Ma, X., Zhang, Z., Bower, J.M., Weng, X., y cols. (2003). Involvement of the cerebellum in semantic discrimination: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 18 (3) , 208–214. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12599279>
- Xu, B., Grafman J., Gaillard, W.D., Ishii, K., Vega-Bermudez, F., y cols. (2001). Conjoint and extended neural networks for the computation of speech codes: the neural basis of selective impairment in reading words and pseudowords. *Cereb Cortex* 11 (3), 267–277. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11230098>

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Bear, M.F., Connors, B. W. y Paradiso, M.A. (2007) Neuroscience: exploring the brain. 3er Edición. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Caplan, D. (1996). Language: structure, processing and disorders. 1er Edición, pp.,1-214. Editorial The MIT press.
- Coseriu, E. (1986). Introducción a la lingüística. Gredos.
- Díaz, J. L. (2015). La naturaleza de la lengua. 1er edición. p.p. 17-33. Editorial Herder.
- Diéguez-Vide, F. y Casanova-Peña, J. (2012). Cerebro y lenguaje: sintomatología neurolingüística. 1er Edición, pp.3-70. Editorial médica panamericana.
- Huettel, S. A., Song, A. W. y McCarthy G. (2009). Functional magnetic resonance imaging. 2da Edición. Editorial Sinauer Associates, Inc.
- Jenkinson, M., Beckmann, C., Behrens, T. E., Woolrich, M. W. y Smith, S. M. (2012). FSL. Neuroimage, 62 (2), 782–790. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21979382>
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H. y Jessell, T. M. (2000). Principles of Neuroscience. 4th Edition. New York: McGraw-Hill, Health Professins Division.
- Short, T. (2007). Peirce's Theory of Signs. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511498350
- Stemmer, B. y Whitaker, H. A. (2008). Handbook of the neuroscience of language. 1er Edición, pp. 3-103. Editorial Academic Press Elsevier.
- Thompson-Schill, S.L., D'Esposito, M., Aguirre, G.K. y Farah, M.J. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: a reevaluation. Proc Natl Acad Sci USA 94 (26), 14792-14797. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9405692>

## 14. TABLAS SUPLEMENTARIAS

Tabla 1.

Contraste verbo > pseudo-verbo						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica
3	4.43	-4	-50	48	Izquierdo	Precuña
3	4.28	-8	-24	32	Izquierdo	Giro cingulado, división posterior
3	4.18	4	-14	42	Derecho	Giro cingulado, división anterior
3	3.96	-2	-84	28	Izquierdo	Cuña
2	4.01	66	-16	16	Derecho	Giro postcentral
2	3.77	54	-60	12	Derecho	Corteza lateral occipital, división inferior
2	3.7	48	-32	20	Derecho	Operculo parietal
2	3.56	60	-48	12	Derecho	Giro temporal medio
2	3.51	60	-34	22	Derecho	Polo temporal
1	4.06	22	56	18	Derecho	Polo frontal
1	3.58	-2	50	-8	Izquierdo	Corteza frontal medial
1	3.51	14	54	0	Derecho	Giro paracingulado

Tabla 2.

Contraste verbo > símbolo						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica
3	4.81	-10	50	38	Izquierdo	Polo frontal
3	4.72	-12	50	18	Izquierdo	Giro paracingulado
3	4.39	-52	-42	18	Izquierdo	Polo temporal
2	5.09	2	-76	26	Derecho	Cuña
2	4.96	-2	-48	6	Izquierdo	Giro cingulado
2	4.68	-6	-50	0	Izquierdo	Giro lingual
2	4.62	10	-88	24	Derecho	Polo occipital
1	4.15	64	-56	16	Derecho	Giro angular
1	4.01	66	-50	6	Derecho	Giro temporal medio
1	3.85	64	-14	2	Derecho	Giro temporal superior
1	3.79	62	-14	12	Derecho	Opérculo central

Tabla 3.

Contraste pseudo-verbo > verbo						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Area anatómica
7	6.29	-52	-6	38	Izquierdo	Giro precentral
7	5.15	-40	26	0	Izquierdo	Opérculo frontal
6	4.91	56	18	24	Derecho	Giro frontal inferior, <i>pars opercularis</i>
6	4.83	46	46	-14	Derecho	Polo frontal
6	4.62	48	28	22	Derecho	Giro frontal medio
5	4.63	-36	-44	42	Izquierdo	Lóbulo parietal superior
5	3.49	-46	-32	32	Izquierdo	Giro supramarginal
4	4.14	26	-64	-28	Derecho	Cerebelo (Crus II y I)
4	3.73	38	-88	-10	Derecho	Corteza lateral occipital, división inferior
4	3.6	48	-56	-20	Derecho	Giro temporal inferior
3	4.63	30	-64	38	Derecho	Cx occipital lateral, división superior
3	3.32	44	-46	42	Derecho	Giro angular
2	4.3	0	8	56	Derecho	Cx motora suplementaria
2	3.42	-12	16	34	Izquierdo	Giro paracingulado
2	2.67	-6	24	58	Izquierdo	Giro frontal superior
1	4.55	-42	-70	-20	Izquierdo	Giro fusiforme
1	4.3	-40	-60	-14	Izquierdo	Giro occipitotemporal lateral

Tabla 4.

Contraste pseudo-verbo > símbolo						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Area anatómica
3	6	-54	-8	38	Izquierdo	Giro precentral
3	5.43	-60	-26	-6	Izquierdo	Giro temporal medio, división posterior
3	5.2	-60	-6	-10	Izquierdo	Giro temporal medio, división anterior
3	4.94	-52	-44	12	Izquierdo	Giro supramarginal
3	4.91	-6	56	38	Izquierdo	Polo frontal
2	4.54	-4	-58	4	Derecho	Giro lingual
2	4.51	-2	-50	6	Izquierdo	Giro cingulado
2	3.26	-6	-70	18	Izquierdo	Corteza supracalcarina
2	2.91	-6	-34	-6	Izquierdo	Tálamo
1	3.78	32	-86	-32	Derecho	Cerebelo (Crus I)

Tabla 5.

Contraste símbolo > verbo						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica
4	6.57	30	-66	48	Derecho	Cx occipital lateral, división superior
4	6.04	34	-50	44	Derecho	Lóbulo parietal superior
4	5.81	38	-40	44	Derecho	Giro supramarginal,
3	6.25	-18	-76	48	Izquierdo	Cx occipital lateral, división superior
3	5.62	-40	-58	-12	Izquierdo	Giro occipitotemporal lateral
2	5.63	-36	-8	48	Izquierdo	Giro precentral
2	5.46	48	12	24	Derecho	Giro frontal inferior
2	5.23	40	36	18	Derecho	Polo frontal
1	4.35	-44	34	16	Izquierdo	Giro frontal inferior, <i>pars triangularis</i>
1	4.35	-44	34	16	Izquierdo	Corteza insular

Tabla 6.

Contraste símbolo > pseudo-verbo						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica
4	6.14	34	-82	8	Derecho	Cx occipital lateral, división inferior
4	5.59	30	-52	40	Derecho	Lóbulo parietal superior
3	6.25	-18	-76	48	Izquierdo	Cx occipital lateral, división inferior
3	5.34	-28	-44	-24	Izquierdo	Giro fusiforme
3	5.16	-12	-72	44	Izquierdo	Precuña
2	4.89	30	0	46	Derecho	Giro frontal medio
2	4.14	36	22	12	Derecho	Opérculo frontal
2	4.13	8	12	48	Derecho	Giro paracingulado
2	3.9	32	24	4	Derecho	Corteza cingular
1	4.12	-32	2	48	Izquierdo	Giro precentral

Tabla 7.

Contraste [verbo > símbolo] > [pseudo-verbo > símbolo]						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica
3	4.08	-4	-56	42	Izquierdo	Precuña
3	3.89	-6	-26	36	Izquierdo	Giro cingulado
2	4.03	60	-34	22	Derecho	Polo temporal
2	3.95	66	-18	18	Derecho	Giro postcentral
2	3.95	64	-26	22	Derecho	Operculo parietal
2	3.03	54	-62	14	Derecho	Corteza lateral occipital
2	2.99	58	-56	12	Derecho	Giro angular
1	3.33	-16	62	-2	Izquierdo	Polo frontal

Tabla 8.

Contraste [pseudo-verbo > símbolo] > [verbo > símbolo]						
Cluster Index	Valor z	x	y	z	Hemisferio	Área anatómica
7	5.94	-52	-4	40	Izquierdo	Giro precentral
7	5.28	-58	12	10	Izquierdo	Giro frontal inferior
7	4.69	-44	24	-6	Izquierdo	Corteza orbitofrontal
6	4.75	-38	-42	36	Izquierdo	Giro supramarginal
6	4.46	-36	-44	42	Izquierdo	Lóbulo parietal
5	4.48	50	40	14	Derecho	Polo frontal
5	4.17	52	16	24	Derecho	Giro frontal inferior
5	3.88	50	30	22	Derecho	Giro frontal medio
4	4.1	26	-64	-30	Derecho	Cerebelo (lóbulo cerebelar VI y crus I)
4	3.29	-4	-78	-26	Izquierdo	Cerebelo (Crus II)
3	4.42	30	-66	48	Izquierdo	Cx occipital lateral, división superior
3	3.36	40	-50	44	Derecho	Giro angular
2	4.28	0	8	58	Derecho	Cx motora suplementaria
2	3.87	-6	16	46	Izquierdo	Giro paracingulado
1	4.22	-44	-66	-16	Izquierdo	Cx occipital lateral, división inferior