



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)**  
**INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA**

**EL CORRELATO NEURAL DE LA COMPRENSIÓN DE LA  
METÁFORA EN ADULTOS HISPANOHABLANTES**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:  
MIGUEL ANGEL ZAMORA URSULO

TUTOR PRINCIPAL  
DRA. MARÍA MAGDALENA GIORDANO NOYOLA  
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:  
DRA. ELIA HAYDEE CARRASCO ORTIZ  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
DR. ERICK HUMBERTO PASAYE ALCÁRAZ  
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM

QUERÉTARO, MÉXICO, 2018



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.

Universidad Nacional Autónoma de México  
Instituto de Neurobiología

Los miembros del Jurado certificamos que la tesis elaborada por: Miguel Angel Zamora Ursulo, cuyo título es: “**EL CORRELATO NEURAL DE LA COMPRESIÓN DE LA METÁFORA EN ADULTOS HISPANOHABLANTES**” se presenta como uno de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Neurobiología) y cumple con los criterios de originalidad y calidad requeridos por la División de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Firma

**Presidente**

Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho

**Secretario (Tutor)**

Dra. María Magdalena Giordano Noyola

**Vocal**

Dr. Israel Vaca Palomares

**Suplente**

Dr. Erick Humberto Pasaye Alcaraz

**Suplente**

Dra. Gloria Nélica Avecilla Ramírez

Aprobado por el Comité Académico

---

Coordinadora del Programa

## **Dedicatoria**

A ese pequeño espacio de amor, que me concede fortaleza, esperanza y esencia: mi familia

## Agradecimientos

Agradezco la Universidad Nacional Autónoma de México. Al programa de Maestría en Ciencias (Neurobiología). A los contribuyentes de impuestos, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CVU/Becario:770504/612272) por el apoyo económico otorgado durante la realización de esta tesis y a todos los que participaron como sujetos de estudio en esta tesis.

Agradezco a la Dra. Magda Giordano por permitirme formar parte de su grupo de investigación de: “Lenguaje Pragmático”, por haber confiado en mí, por sus enseñanzas en todo momento y por su gran calidad humana.

Agradezco a todos los integrantes del laboratorio D-12 por su amistad y apoyo, agradezco a la Dra. Azalea Reyes por ser guía en la construcción de estímulos lingüísticos.

De la misma forma agradezco a mi comité tutor integrado por el Dra. Haydee Carrasco y el Dr. Erick Pasaye, por sus valiosas sugerencias.

A la Unidad de Resonancia Magnética: Al Dr. Erick Pasaye y la Dra. Azalea Reyes por sus sugerencias y apoyo técnico.

A todos los integrantes de mi Jurado de examen profesional por su atención, por sus valiosas cuestiones y observaciones.

A la unidad de enseñanza y posgrado: a la Mtra. Leonor Casanova Rico, a las secretarías Guadalupe Amador y Ma. Del Carmen Mendoza por su pertinente ayuda en trámites académicos. A la unidad de Videoconferencia: María de Lourdes Lara Ayala.

A los miembros de la unidad de cómputo: A los Ing. Ramón Martínez Olvera, Omar González Hernández, Alberto Lara y el M.C. Leopoldo González Santos.

A la presencia de mis padres, Miguel y Columba, a mi abuelos, Pedro y Ma. Elena, a mis hermanas y sobrinas. Agradezco a Anahí. A mis amigos de siempre, Juan Manuel y demás.

En memoria de Santiago (†) y Daniela (†).

Agradezco a Dios.

"Pero el pensar es un decir poético, y no sólo poesía en el sentido del poema y del canto. El pensar del ser es el modo originario del decir poético. Es en él donde por vez primera el lenguaje accede al habla, esto es, accede a su esencia. El pensar dice el dictado de la verdad del ser. El pensar es el dictare originario. El pensar es el decir poético originario, que precede a toda poesía, pero también es el elemento poético del arte, en la medida en que este llega a ser obra dentro del ámbito del lenguaje. Todo lenguaje poético, tanto en este sentido amplio como en el más estricto de lo poético, es en el fondo un pensar. La esencia poética del pensar guarda el reino de la verdad del ser. "

**Martin Heidegger. Ser y Tiempo.**

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	I
<b>ABSTRACT</b>	II
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>2. ANTECEDENTES</b>	5
2.1. MÉTAFORA	5
2.2. ENFOQUES PSICOLINGÜÍSTICOS DE LA MÉTAFORA	7
2.3. FUNDAMENTOS COGNITIVOS DE LA MÉTAFORA	10
2.4. FUNDAMENTOS NEURALES DE LA MÉTAFORA A TRAVÉS DE fMRI	11
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	18
<b>4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b>	19
<b>5. OBJETIVOS GENERALES</b>	19
<b>6. FASES DE ESTUDIO</b>	20
6.1. PARTICIPANTES	20
<b>7. PRIMERA FASE: CONSTRUCCIÓN DE ESTÍMULOS LINGÜÍSTICOS</b>	21
7.1. ETAPA “A”	21
7.1.1. MÉTODO Y PROCEDIMIENTO	21
7.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y RESULTADOS DE LA ETAPA “A ”	22
7.2. ETAPA “B”	24
7.2.1. MÉTODO Y PROCEDIMIENTO	24
7.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSITICO Y RESULTADOS DE LA ETAPA “B”	24
<b>8. SEGUNDA FASE: TAREA DE JUICIO SEMÁNTICO</b>	26
8.1. RESULTADOS	27
<b>9. TERCERA FASE: CORRELATO NEURALES DE LA METÁFORA</b>	27
9.1. PARTICIPANTES, MATERIAL Y MÉTODOS	27
9.1.1. PARTICIPANTES	27
9.1.2. PRUEBAS NEUROPSICOLÓGICAS	28
9.2.3. EQUIPO Y METODOLOGIA	29
9.1.3.1 PARADIGMA EXPERIMENTAL	29
9.1.3.2. PRESENTACIÓN DE TAREA DE JUICIO SEMÁNTICO	29

9.1.3.3. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES	30
9.1.3.4. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES	30
9.1.3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE IMÁGENES DE RESONANCIA	31
9.1.3.6. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE	31
9.1.3.7. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD FUNCIONAL	32
9.2. RESULTADOS	33
9.2.1. PRUEBAS NEUROPSICOLÓGICAS	33
9.2.2. TAREA DE JUICIO SEMÁNTICO	34
9.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE IMÁGENES DE RESONANCIA	34
9.2.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE	38
9.2.4. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD FUNCIONAL	40
<b>10. DISCUSIÓN</b>	40
10.1. CONSTRUCCIÓN DE ESTIMULOS LINGÜISTICOS	40
10.2. TAREA DE JUICIO SEMÁNTICO	44
10.3. CORRELATO NEURAL DE LA METÁFORA	46
10.4. PROCESOS COGNITIVOS DE LA METÁFORA	49
<b>11. LIMITACIONES DEL ESTUDIO</b>	52
<b>12. CONCLUSIÓN</b>	53
<b>15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	54
<b>14. ABREVIATURAS</b>	62
<b>15. ANEXO: ESTIMULOS LINGÜISTICOS</b>	63
<b>16. APÉNDICE</b>	64



## RESUMEN

En este estudio se caracterizaron las bases conductuales, neurales y cognitivas relacionadas con la comprensión de la metáfora en adultos hispanohablantes. Primero, se elaboraron y validaron los estímulos lingüísticos en una muestra de hispanohablantes, después, a otra muestra se presentaron estímulos lingüísticos seleccionados que consistieron en frases literales (“escultura de piedra”), frases metafóricas (“corazón de piedra”) y frases absurdas (“gelatina de piedra”) en un paradigma conductual para medir tiempo de categorización y en un paradigma de Imagen por Resonancia Magnética funcional (fMRI) relacionado a eventos. En el paradigma conductual se encontró mayor tiempo de categorización para las frases metafóricas en contraste con las frases literales.

En el paradigma de fMRI se encontró que las frases metafóricas en contraste con frases literales, se asociaron con aumento en la señal BOLD en el giro paracingulado (GPCi), y los giros frontales inferiores (GFI) izquierdo y derecho; cuando se contrastaron las frases absurdas con frases literales, se presentó aumento en la señal BOLD en estas mismas regiones y el giro lingual bilateralmente; cuando se contrastaron frases metáforas más que frases absurdas no se encontró aumento en ninguna región. Sin embargo, cuando se contrastaron frases absurdas más que frases metafóricas se encontró un aumento en la señal en el giro fusiforme izquierdo y los giros supramarginales izquierdo y derecho.

El GPCi, el GFI izquierdo y derecho que mostraron aumento en la señal BOLD durante la lectura de frases metafóricas se han asociado con la construcción de escenarios plausibles y la recuperación de información semántica. Además, el cambio en la señal BOLD en estas regiones se asoció con la habilidad para inferir estados mentales y empatía. En conjunto, estos resultados sugieren que la comprensión de la metáfora demanda el uso de recursos cognitivos adicionales a los del lenguaje no metafórico, posiblemente relacionados con la búsqueda de significado y con habilidades de cognición social.

## ABSTRACT

In this study, we characterized the behavioral, neural and cognitive fundamentals related to the comprehension of metaphor in Spanish-speaking adults. First, we elaborated and validated the linguistic stimuli with a sample of Spanish speakers, then we presented to another sample of Spanish speakers the selected linguistic stimuli that consisted of literal phrases (*stone sculpture*), metaphorical phrases (*heart of stone*) and phrases sentences (*stone gelatine*) in a behavioral paradigm to measure categorization time and in a paradigm event-related functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). We found an increase in the categorization time in the metaphoric phrases in contrast to literal phrases.

The fMRI paradigm demonstrated that the participants who were presented with metaphorical phrases in contrast with literal phrases, showed an increase in the BOLD signal in paracingulate gyrus (GPCi), inferior frontal gyrus (GFI) left and right. When absurd phrases were presented in contrast to literal sentences, there was an increase in the BOLD signal in the same regions and the lingual gyrus bilaterally. When we calculated metaphoric phrases more than absurd phrases we didn't find an increase in any region. However, when we calculated absurd phrases more than metaphoric phrases, there was an increase in the signal in the left fusiform gyrus, left and right supramarginal gyrus.

The GPCi, left and right GFI that showed an increase in the BOLD signal during reading of metaphorical sentences have been associated in other studies with the construction of plausible scenarios and recall of semantic information. In addition, the change in BOLD signal in these regions was associated with the ability to infer mental states and empathy. Taken together, these results suggest that the understanding of metaphors, demands the use of cognitive resources in addition to those of non-metaphorical language, possibly related to the search for meaning and social cognition skills.

## 1. INTRODUCCION

La neurolingüística constituye una disciplina que se encarga del estudio del correlato neural que subyace a los mecanismos utilizados por el cerebro humano para producir y comprender el lenguaje (Ahlsén, 2006). El lenguaje es un sistema de comunicación, expresión y representación a partir del uso de signos definidos. Dicho sistema involucra tres dimensiones: La primera es la *dimensión Funcional*, que se refiere al lenguaje como herramienta para comunicar, expresar emociones e interactuar socialmente. La segunda es la *dimensión Conductual*, que se refiere al comportamiento que realiza el hablante y el oyente cuando a través de la codificación (producción) y decodificación (comprensión) de un mensaje. La última es la *dimensión estructural*, que se refiere a la forma (sintaxis, morfología y fonología), al significado (semántica) y el uso (pragmática) de los símbolos y códigos (Belinchon, Riviere e Igoa, 1992).

La pragmática es el estudio de los principios que regulan el uso del lenguaje entre los usuarios y el contexto en el que se desarrolla la actividad lingüística (Escandell, 2013) dicho de otra forma son las expresiones que los hablantes pueden emplear a la hora de expresar sus intenciones comunicativas. Por experiencia propia sabemos que no siempre hay coincidencia entre lo que decimos y lo que queremos decir, este el punto de partida de la pragmática. De tal forma que podemos considerar dos formas de expresión: el lenguaje literal y el lenguaje no literal o figurado. El significado literal es explícito, invariante e independiente del contexto (Gibbs, 1994; 2001); mientras que el lenguaje figurado busca comunicar algo distinto a lo que codifica el contenido literal (Escandell, 2013), lo que supone la utilización de mayor cantidad de operaciones extralingüísticas e inferenciales. El lenguaje figurado tiene diferentes usos lingüísticos, los más frecuentes son: las peticiones indirectas, las ironías, los modismos y las metáforas (Vega & Cuetos, 1999, Rapp et al., 2012).

Cuando se aborda el tema de la metáfora, es difícil dejar de preguntarnos cómo es posible que seamos capaces de transmitir una idea a través del lenguaje, mientras estamos diciendo otra y aun así comunicarnos eficientemente. Durante mucho tiempo, la metáfora fue considerada como un tema periférico en filosofía y lingüística, pero hoy en día se le considera cada vez más como una característica central del pensamiento abstracto, de la

conceptualización del mundo y la organización de la información en la mente. La investigación del sustrato neural de la metáfora se ha vuelto más sofisticada, involucrando sugerencias cada vez más complejas sobre los procesos implicados para su comprensión. Desde este punto de partida se han generado varios estudios que abordan los temas de procesamiento metafórico, con el fin de vincularlo con una teoría neurolingüística y neurocognitiva adecuada. El presente trabajo tiene como objetivo conocer el correlato neural y los procesos cognitivos implicados en la comprensión de la metáfora en adultos hispanohablantes. Para propósitos de la investigación se creó un diseño experimental dividido en tres fases, en la primera se crearon y validaron los estímulos lingüísticos que se utilizaron en fases posteriores, en la segunda se evaluó la categorización de estímulos metafóricos desde el punto de vista conductual, y en la tercera fase se caracterizó el sustrato neural con la técnica de fMRI partiendo de la hipótesis de que la comprensión del lenguaje metafórico reclutaría no solo estructuras neurales implicadas en la codificación semántica, sino también en procesos cognitivos generales y de procesamiento contextual.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Metáfora

“La lengua no se limita a la palabra, al enunciado o al argumento; se asienta y engarza con múltiples lenguajes disponibles gracias a la evolución de los seres vivos, a la fisiología del cerebro y a los sistemas perceptuales y expresivos del cuerpo” (Díaz, 2015, p. 6).

La etimología de la palabra *metáfora* proviene del griego antiguo, *metapherien*, integrado por el prefijo *meta* que significa *más allá*, y el subfijo *pherien* que significa *llevar* (Camarena, 2015), entendiéndose como llevar algo más allá de su propósito. Actualmente estudiar la metáfora es una actividad científica que involucra diferentes disciplinas como la filosofía, la lingüística, la psicología, más recientemente la neurociencia y la inteligencia artificial. Para la mayoría de las personas, la metáfora es un recurso de la imaginación poética, una cuestión de lenguaje extraordinario más que ordinario. Es así que la metáfora estuvo destinada a la retórica como un instrumento estilístico desde el tiempo de Aristóteles. Posteriormente la idea de metáfora estuvo más ligada a cuestiones de conocimiento religioso o visionario que al de un conocimiento de experiencia material, en consecuencia, la filosofía analítica de finales del siglo XIX conservó una idea de la metáfora como un mero adorno del lenguaje, como una mera desviación del pensamiento científico riguroso y exacto. Tal valoración era indirecta, pues su crítica principal se dirigía a todo lenguaje no formal que careciera de una validez lógica o un principio de verificación empírica. Pero es a partir de la década de 1950 que la metáfora, comienza a entenderse como tema central de la ciencia cognitiva y la neurolingüística (Sampieri, 2014).

La revolución cognitiva contribuyó al cambio de visión, la metáfora se entiende no sólo como un fenómeno lingüístico sino también como un fenómeno mental, dicho de otra manera, se comenzó a indagar sobre los mecanismos neurales y cognitivos que subyacen a la metáfora y su relación con los mecanismos para estructurar el conocimiento de la realidad. Partiendo de esta noción, las premisas esenciales que comparten las teorías neurocognitivas contemporáneas para comprender la metáfora esta la noción de que los fenómenos lingüísticos metafóricos son la concretización de fenómenos mentales y el énfasis a la explicación de la metáfora dentro del uso diario y común del sujeto.

En este sentido, es imprescindible diferenciar las dos teorías que en un inicio pretendieron explicar la metáfora desde esta nueva perspectiva. Estas fueron la *Teoría de la Relevancia* propuesta por Sperber y Wilson en 1981 y la *Teoría Experiencialista* de Lakoff y Johnson propuesta en 1974.

La primera es una teoría sobre la comunicación humana y sobre las relaciones entre el lenguaje y otros sistemas cognitivos (Escandell, 2013) a partir de la cual se puede explicar la metáfora. Esta teoría postula que la relevancia es el principio que explica los actos comunicativos a partir de la expresión e intención lingüística, por lo tanto, un enunciado será más relevante mientras menor sea el esfuerzo necesario para su interpretación y mayor efecto cognitivo produzca (Wilson & Sperber, 2012).

Por el contrario, la teoría experiencialista pretende establecer un paradigma cognitivo general a partir de la teoría conceptual de la metáfora, propuesta por M. Johnson y G. Lakoff (1974) la cual entiende a la metáfora como mecanismo para la formación del pensamiento abstracto y afirma que el término metáfora se refiere a la operación mental mediante la cual se aplica el conocimiento que tenemos sobre un dominio conceptual más concreto a un dominio conceptual más abstracto es decir emplear experiencias corporales sensorio-motrices que tenemos (e.g. el golpear) para comprender otro dominio vital (e.g., el amor). También sostiene que las metáforas no son exclusivas del lenguaje, ni de la estructuración poética, más bien están estrechamente vinculadas con la realidad de cualquier individuo que se desenvuelva dentro de una sociedad. Por lo tanto, muchas de las expresiones que se usan habitualmente pueden estar estructuradas mediante una conceptualización metafórica. Para ellos, el lenguaje es sólo una ventana a través de la cual se evidencia ese sistema que, a su vez, determina el pensamiento y las acciones, es decir “la metáfora impregna la vida cotidiana, no solamente el lenguaje, sino también el pensamiento y la acción” (Lakoff & Johnson, 2003, p. 8).

La mayor contribución de la teoría conceptual de las metáforas es evidenciar que éstas no son únicamente frases cristalizadas por el uso continuo y habitual en cierta comunidad lingüística, ni frases singulares y creativas vinculadas a una situación concreta, sino expresiones con un núcleo conceptual común que propician la generación de nuevos conceptos. De esta manera se consolida la idea de metáfora como un sistema para expresar

y comprender situaciones complejas a partir de conceptos más básicos y conocidos. (Lakoff & Johnson, 2003).

Según esta teoría, las metáforas poseen una estructura interna llamada dominio fuente (DF), que se refiere al dominio que cede sus conceptos, y otra estructura interna, el dominio destino (DD) que se refiere al dominio sobre el que se superponen dichos conceptos. Así pues, la metáfora se entiende como la proyección (mapping) desde un dominio conceptual (DF) más concreto hacia otro dominio conceptual (DD) más abstracto, permitiendo realizar inferencias (Lakoff & Johnson, 2003). En resumen, la metáfora es una actividad del pensamiento estructurada en el lenguaje, que funciona como un instrumento de asimilación y categorización de experiencia en la constitución de los conceptos abstractos.

De tal forma, las metáforas permiten expresar ideas, actitudes y emociones, que serían difíciles de comunicar mediante expresiones literales, por ejemplo, permiten comunicar actitudes positivas o negativas (e.g. “Ella es un regalo del cielo” vs “Ella es un castigo divino”) (Vega & Cuetos, 1999). Por otro lado, las metáforas constituyen unidades de información muy complejas y compactas mediante las que el hablante aporta, con pocas palabras, imágenes, vívidas y emotivas de su experiencia que, igualmente serían difíciles de expresar de forma no figurativa (Cicciari, 2001). Las metáforas, finalmente, presuponen un modo concreto de entender el mundo y un sistema de valores compartidos con otros miembros de nuestra comunidad lingüística y cultural (Gibbs, 1994).

## **2.2 Enfoques Psicolingüísticos de la Metáfora**

Los estudios psicolingüísticos parten del supuesto de que tanto el significado literal como el figurado son susceptibles de ser interpretados y pueden activarse de manera sincrónica o selectiva. Ahora bien, el acceso a uno u otro significado depende de diversas variables de índole psicolingüístico (Glucksberg, 2001, 2003; Giora, 1999, 2007). Actualmente para los estudios psicolingüísticos, el significado literal y el figurado son interpretaciones por transmisión lingüística vinculadas al contexto en el que se encuentren referidas (Glucksberg, 2001). Del mismo modo, se considera que tanto lo literal como lo figurado demandan procesos inferenciales diferentes y su activación depende del grado de familiaridad del interlocutor con las expresiones lingüísticas o de factores extralingüísticos como el contexto verbal (Vega & Cuetos, 1999).

Las teorías psicolingüísticas contemporáneas incluyen a los modelos de acceso indirecto (Grice, 1975; Searle, 1979) y los modelos de acceso directo (Gibbs, 1994; Gibbs, 2001, 2006; Caccieri, 2001; Glucksberg, 2003). Los modelos de acceso indirecto afirman que el significado literal es el que siempre está activo y que el figurado aparece solamente cuando es necesario, es decir, si el literal no alcanza para comprender la expresión dada, se busca un significado figurado. Una vez que se recibe el mensaje, se da la interpretación literal, si el significado literal no puede ser interpretado, se busca un significado alternativo no literal con ayuda del contexto o es descartado como un absurdo. El modelo de acceso directo sugiere que los significados metafóricos están tan fácilmente disponibles como los significados literales. Aunque algunos estudios han encontrado tiempos de lectura más largos para metáforas que para afirmaciones literales y apoyan el modelo de acceso indirecto (Ortony, 1979; 1993), otros han favorecido la propuesta de acceso directo pues han mostrado que las metáforas en contexto se leen tan rápido como las declaraciones literales (Glucksberg et al., 2001). Lo más importante de estos modelos psicolingüísticos es la investigación empírica a la que han dado lugar en relación con las diferentes manifestaciones del lenguaje figurado (metáforas, modismos, ironías) y que es de gran relevancia para el propósito de esta investigación.

De igual manera, los estudios psicolingüísticos han dado cuenta no sólo de la forma en la que se procesa la metáfora sino también de cómo se estructura mentalmente. Para esto es importante mencionar que el atributo pragmático de la teoría conceptual de la metáfora es la relación entre los elementos constitutivos de la misma: DF y DD. Como hemos expuesto anteriormente, la metáfora sirve para comprender realidades abstractas a través de dominios conceptuales ya conocidos. Estos dominios conceptuales son “representaciones mentales de cómo se organiza el mundo y pueden incluir un amplio abanico de informaciones” (Hilferty y Cuenca, 1999, p 70). Actualmente la explicación de este fenómeno mental se ha dado a partir de modelos psicolingüísticos que proponen proyecciones (mapeos mentales) entre dominios conceptuales (Gentner y Wolff, 1997; Gentner y Bowdle, 2001; Glucksberg et al., 2003; Bowdle y Gentner, 2005), y también de modelos que no proponen dichas proyecciones (Giora, 2012).

El modelo psicolingüístico que explica el uso de mapeos mentales entre dominios



conceptuales es la *Teoría de Emparejamiento Estructural* propuesta por Gentner y Wolff (2001). Este plantea que las metáforas son un tipo específico de comparación, y propone que para comprender una metáfora se hace una extracción extenuante de las propiedades que involucran a los dos dominios, se examinan de forma exhaustiva y se emparejan hasta encontrar la relación entre ellas. En este sentido, las metáforas son una variedad de la analogía en la cual no hay una interacción, sino una proyección entre propiedades del DF al DD (Bowdle & Genter, 2001). Como reacción a esta propuesta, surge la hipótesis de Glucksberg et al. (2003) que afirma que los enunciados metafóricos se entienden por medio de un mecanismo de representación cualitativa, dicho de otro modo, el DF de la metáfora tiene tanto un significado literal como un significado figurado y dependiendo del contexto es como se activará este último significado. Por ejemplo, en un enunciado literal se activa el significado literal de la palabra, pero se cancela si está en un enunciado metafórico, porque se activa el significado figurado y se tiene acceso inmediato a la información que es relevante para la comprensión de la metáfora, mientras que la información no relevante es ignorada. Por lo tanto, para comprender el sentido metafórico de una oración no es necesario comprender su significado literal porque ambos significados son igualmente accesibles.

Contrariamente, Giora (2012) propuso “el modelo de la Relevancia Gradual<sup>1</sup>” el cual sugiere que la comprensión y representación mental de las metáforas no se asocia a un fenómeno de proyecciones entre dominios sino por efecto de los significados más relevantes o destacados en las mentes de los hablantes. Estos “significados relevantes” se caracterizan por su familiaridad, convencionalidad y frecuencia, es decir, cuando una oración metafórica es familiar, el sujeto la identifica y la comprende tan rápido como una oración literal. En contraste, cuando una oración metafórica es novedosa, el sujeto tardará más tiempo en procesarla debido a que no existe un registro mental previo. A manera de resumen, existen hipótesis psicolingüísticas que proponen la forma en que se procesa la metáfora con base en los dominios conceptuales o en las experiencias específicas del sujeto.

---

<sup>1</sup> No se debe confundir con la teoría de la relevancia de Sperber y Wilson. El término en inglés es “*graded salience*”. La palabra *salience* en inglés significa prominente, de significancia notable, según el diccionario Merriam-Webster.

### 2.3 Fundamentos cognitivos de la metáfora

El lenguaje y la cognición edifican un sistema orgánico corporeizado, que está en conexión específica con la experiencia personal, además de estar influenciado por el entorno cultural y social (Lakoff, 2003). Es así que la lingüística adquiere una relación con las ciencias cognitivas al intentar clarificar las correspondencias que vinculan la estructura lingüística, la experiencia corporal y el pensamiento conceptual. De acuerdo con esto, la lengua se concibe como una estructura conceptual que forma parte de la cognición humana (Gibbs, 2004). En este sentido, la comprensión de las metáforas sugiere costos adicionales de procesamiento cognitivo, que se compensan con beneficios en términos de efectividad comunicativa, y se han propuesto habilidades cognitivas que favorecen la comprensión de las metáforas (Bambini, et al., 2011). Una de estas habilidades es la *Teoría de la Mente* (TdM) que es la capacidad para identificar estados mentales, incluyendo intenciones, en el otro (Premack y Woodruff, 1978). Se cree que, para la comprensión de metáforas, la capacidad de reconocimiento de la intención participa de manera más importante que la comprensión del significado literal para que el receptor interprete lo que el emisor quiso decir (Happé, 1993; Norbury, 2005).

Otras habilidades cognitivas relevantes son las *Funciones Ejecutivas* (FEs) que permiten controlar, regular, y planear la conducta (Flores-Lázaro, Castillo-Preciado & Jimenez Miramonte, 2014). Actualmente existen pocos estudios que relacionen las FEs con la comprensión de la metáfora en sujetos sanos (Rapp, Mutschler, & Erb, 2012; Prat et al., 2012; Carriedo et al., 2016). Algunos autores han relacionado la capacidad para comprender metáforas con la memoria de trabajo, pues se requiere el acceso a los datos almacenados sobre el significado y conocimiento y relación entre DF y DD, por lo tanto, la memoria de trabajo de cada participante incluirá todas las ideas activadas como resultado de la interacción comunicativa (Monetta & Pell, 2007; Blasko, 1999; Kazmerski et al., 2003; Prat et al., 2012; Carriedo et al., 2016). Otros han postulado que se requiere flexibilidad mental para seleccionar los atributos comunes del DF y el DD y ser intercambiados entre significados literales y metafóricos debido a que el significado está menos circunscrito (Mashal & Kasirer, 2011); del mismo modo, el control inhibitorio se ha asociado a la metáfora presuntamente para evitar responder automáticamente, y permitir la reevaluación del significado de cada dominio conceptual (Gernsbacher et al., 2001, Carriedo

et al., 2016).

Por último, otra habilidad asociada a la comprensión lingüística es la *empatía* (Hoffman, 2000; Van den Brink et al., 2012). Por empatía se entiende una construcción multidimensional que incluye componentes cognitivos y afectivos. Así, la empatía se refiere a la capacidad de reconocer e identificar lo que otra persona está sintiendo (aspecto cognitivo) y compartir ese estado emocional (aspecto afectivo) para reaccionar adecuadamente en las situaciones sociales (Hoffman, 2000). De esta forma, se ha demostrado que las personas con mayor capacidad de empatía pueden integrar rápidamente información del hablante con el contenido del mensaje, ya que hacen uso de inferencias acerca del hablante para procesar el lenguaje de manera “top-down” es decir, a partir de un concepto, o sensación, previamente adquirida. Por el contrario, las personas con menor capacidad de empatía no utilizan información social implícita en las frases, más bien adoptan el lenguaje de manera “bottom-up”, es decir, buscan adquirir mayor cantidad de datos sensoriales del hablante para entender el lenguaje (Van den Brink et al., 2012).

Con esto se sugiere que la empatía es un componente clave de las interacciones sociales mediante la relación verbal, facilita la formación de un vínculo de confianza y es un acceso a las experiencias emocionales de la otra persona. Sin embargo, aún se desconoce si esta relación permanece con un lenguaje figurado.

#### **2.4 Fundamentos Neurales de la metáfora a través de estudios de Neuroimagen**

La neurolingüística ha enfatizado que la eficiencia de las tareas comunicativas depende de una activación cerebral integral. En el procesamiento lingüístico se ven involucradas varias operaciones que contemplan desde la identificación de fonemas hasta la atribución de estados mentales a terceros. El funcionamiento cerebral que subyace a la comunicación, consiste en la activación de redes neuronales que funcionan de manera integral y complementaria (Gentner & Browdle, 2001).

En los últimos treinta años se ha visto un marcado aumento en el número de estudios relacionados con la caracterización de la metáfora desde el punto de vista del sustrato neural subyacente, comenzando con los informes clínicos de pacientes con un déficit en el entendimiento del lenguaje figurativo, por ejemplo, pacientes con lesiones cerebrales, esquizofrenia, enfermedades de Parkinson o Alzheimer (Rapp et al. 2004) y ampliándose a

la exploración funcional del cerebro sano (Bottini et al., 1994; Rapp et al., 2004; Stringaris et al., 2007; Ahrens et al., 2012, Shibata et al., 2012; Lai et al., 2015).

Gran parte de la evidencia sobre la base cerebral del procesamiento de la metáfora comenzó con pacientes con lesiones cerebrales. Rapp et al. (2004), describen estudios en pacientes con daño cerebral, que utilizaron la técnica de “picture matching” que consistía en que los pacientes debían seleccionar una imagen concordante con la metáfora enunciada oralmente. Los pacientes con daño en el hemisferio izquierdo (HI) se desempeñaban adecuadamente mientras que aquellos con daño en el hemisferio derecho (HD), elegían imágenes que correspondían a una interpretación más literal. Posteriormente, Winner & Gardner (1977) (citados en Rapp et al., 2004) midieron la habilidad para dar explicaciones metafóricas en pacientes con daño cerebral. Los pacientes con lesión HD daban descripciones adecuadas a las metáforas convencionales, en tanto que los pacientes con lesión en el HI daban explicaciones verbales más concretas y literales a las metáforas, sugiriendo con esto que existe una disposición de rechazar la interpretación metafórica por parte de los pacientes con lesión en el HI y resaltando la importancia del HD en la comprensión de la metáfora.

Sin embargo, aún en la literatura se discute la función del papel del hemisferio derecho en la comprensión de las metáforas. Una característica de los estudios del procesamiento metafórico, es la importancia que se le ha otorgado a la lateralidad cerebral de las funciones semánticas. La literatura señala que las funciones lingüísticas se encuentran lateralizadas en el HI (Vigneau et al., 2005), mientras que otros estudios han mostrado que el HD tiene una participación importante en la comprensión metafórica (Mashal, Faust & Hendler, 2005; Bardolph & Coulson, 2014). Sin embargo, hay otros autores que no apoyan la afirmación de que HD tiene un papel particular en el procesamiento de metáforas (Giora, Zaidel, Soroker, Batori, & Kasher, 2000; Zaidel, Kasher, Soroker, & Batori, 2002).

Giora et al. (2000) propone que el involucramiento del HD podría variar en función de la novedad y convencionalidad de las metáforas. El HI estaría principalmente involucrado en la comprensión de metáforas convencionales y el HD estaría sobre todo involucrado en el procesamiento de las metáforas novedosas. Jung-Beeman (2005) propuso la “*Teoría de la Codificación Semántica Gruesa*” que trata de conciliar el papel de ambos hemisferios en el lenguaje. De acuerdo con esta teoría, ambos hemisferios están involucrados en el acceso,

integración y selección semántica. El HI es responsable de activar los significados centrales de las palabras y las relaciones semánticas cercanas (codificación fina), mientras que el HD juega un papel importante en la activación de significados alternativos de las palabras o conceptos relacionados distantemente (codificación gruesa). Cuando las personas comprenden significados literales, el HI se involucra mayormente porque el significado es semánticamente familiar, focalizado y dominante. Cuando las personas comprenden el lenguaje metafórico, el HD juega un papel más importante porque el significado figurado de las metáforas requiere la activación de conceptos vagamente relacionados y campo semánticos más amplios. Por lo tanto, vemos que la comprensión metafórica, como todos los procesos cognitivos, involucra redes neuronales que permiten la comunicación intra e inter hemisférica.

A continuación, haremos una breve revisión de algunos estudios que se han encargado de conocer los sustratos neurales de la comprensión de la metáfora, con base en la técnica de Imagen por Resonancia Magnética funcional (functional Magnetic Resonance Image, fMRI por sus siglas en inglés).

Brevemente, la imagenología por resonancia magnética es un método que se fundamenta en el fenómeno de la resonancia magnética nuclear, que consiste en la interacción de las moléculas propias del cuerpo humano con un campo magnético. Esta técnica permite obtener imágenes del cuerpo y distinguir entre tejidos, además de ser un método no invasivo, ni ionizante y ofrecer una alta resolución espacial (Mattson, 1996). En el caso de la técnica de fMRI, ésta permite la detección de los cambios hemodinámicos transitorios asociados a la actividad neuronal, específicamente los cambios de oxigenación de la sangre. Su fundamento parte de que las células requieren glucosa y oxígeno que reciben del torrente sanguíneo; durante la actividad neuronal se incrementa el flujo sanguíneo local (acoplamiento neurovascular) y los niveles de oxi-hemoglobina (diamagnética) aumentan respecto a los de desoxi-hemoglobina (paramagnética), esta diferencia se detecta con imágenes potenciadas (T2\*) afectadas por las inhomogeneidades del campo magnético, es decir la visualización de los cambios de concentración de oxígeno en el flujo sanguíneo cerebral es debido a que el gradiente local de campo magnético de la desoxihemoglobina crea deformaciones en el campo magnético del tejido alrededor del vaso sanguíneo, a esta

señal se le conoce como dependencia del nivel de oxigenación en la sangre o señal BOLD (*Blood Oxygen Level Dependent*, por sus siglas en inglés) (Rogers, Morgan, Newton, & Gore, 2007; Van den Heuvel, & Hulshoff, 2010) (más información en el Apéndice I).

Uno de los pioneros en los estudios de metáforas y neuroimagen fue Bottini et al. (1994), que utilizó la técnica de tomografía de emisión de positrones (PET) en 6 participantes sanos que leyeron 60 pares de oraciones cortas (en alemán) con significado metafóricos o literales y juzgaron si las oraciones tenían connotaciones positivas o negativas. Sus resultados demostraron que las oraciones metafóricas provocaban una mayor activación en el giro frontal inferior (GFI) izquierdo, el giro temporal inferior y la corteza posterior intermedia / temporal inferior que las oraciones literales. Concluyeron que la activación del GFI izquierdo podría reflejar procesos de inferencia semántica que ocurren durante la comprensión de una metáfora.

Posteriormente, Stringaris et al. (2006) examinaron en 11 sujetos la comprensión de metáforas convencionales con una tarea de juicio de relación semántica con fMRI. Los resultados indicaron que, en comparación con las oraciones literales, las oraciones metafóricas se relacionaban con un incremento en la señal BOLD en el GFI izquierdo y el tálamo izquierdo. Estos autores sugieren que sus resultados son consistentes con la noción de apertura semántica, que implica que los enunciados figurativos buscan un rango más amplio de relaciones semánticas en comparación con enunciado literales, además de que procesar el significado metafórico a nivel de entre dominios involucra el HI, mientras que la comprensión de la metáfora a nivel más amplio en cuanto a su gramática y su semántica involucrarán el HD.

Shibata Abe, Terao y Miyamoto (2007a) investigaron la comprensión de oraciones metafóricas novedosas utilizando la fMRI relacionada con eventos y evaluaron la participación del HD en la comprensión de la metáfora en 13 sujetos sanos. La batería de estímulos lingüísticos consistió en 21 oraciones literales (p. ej., "El delfín es un animal"), 21 oraciones metafóricas novedosas (p. ej., "La memoria es un almacén") y 21 oraciones anómalas (p. ej., "El tiempo es una fresa ") que eran oraciones, simples, de la forma: " Una A es una B ", que no incluían ninguna información contextual. Los participantes realizaron una tarea de juicio semántico. Los resultados mostraron que las metáforas en comparación

con las oraciones literales provocaban un aumento en la señal BOLD en el GFI izquierdo y en la corteza prefrontal medial (CPFM). En otro estudio con fMRI, con una tarea de juicio de valencia emocional, mostraron que las oraciones metafóricas provocaban un aumento en la señal BOLD en comparación con las oraciones literales, en el GFI derecho, CPFM, GFI izquierdo y la circunvolución temporal superior. El aumento en la señal BOLD en el GFI derecho con oraciones metafóricas en comparación con las oraciones literales indicó que el HD está involucrado en la comprensión de las metáforas (Shibata, et al., 2007b).

Recientemente se publicó un meta-análisis con 17 estudios de fMRI que buscaron identificar qué factores modulan el procesamiento de metáforas (Yang, 2014). El autor se centró en el contraste del procesamiento del significado metafórico versus el procesamiento del significado literal. Además, evaluó el significado metafórico convencional, versus novedoso, cuando los significados metafóricos y literales se presentaban en un contexto tanto en una tarea de juicio de valencia emocional como de relación semántica. Los resultados indicaron que las diferencias en la respuesta hemodinámica entre tipos de estímulos se localizaron en regiones frontotemporales izquierdas, incluido el GFI, el giro frontal medial, la ínsula, el giro temporal superior y el giro temporal medial, mientras que en el HD se encontraron efectos significativos en el procesamiento de la metáfora cuando el significado metafórico era novedoso, cuando el significado metafórico se presentaba en el contexto de una oración y cuando la tarea era un juicio de relación semántica. Estos resultados sugieren que la convencionalidad, la complejidad contextual y la dificultad de la tarea pueden modular el efecto figurado del lenguaje e influir en la participación del hemisferio derecho en la comprensión de metáforas (Yang, 2014).

De esta forma, la red funcional cerebral que subyace a la comprensión de la metáfora ha sido parcialmente descrita en regiones que incluye la circunvolución frontal inferior izquierda y derecha, la circunvolución temporal media y superior derecha e izquierda, y las regiones parietales inferiores izquierdas en estudios en diversas lenguas naturales como en la familia de lenguas de lenguas Altaicas como el japonés (Shibata et al., 2007, 2012) de lenguas sino-tibetanas como el chino mandarín (Ahrens et al. 2007), de lenguas semíticas como el hebreo (Mashal et al., 2009) de lenguas Germánicas como el alemán y el inglés (Rapp et al., 2004; Stringaris et al., 2006; Yang et al., 2009; Díaz, Barrett & Hogstrom,

2010) y de lenguas romance como el italiano (Bambini et al., 2011) pero no se ha reportado ningún estudio en hispanohablantes.

Adicionalmente, el procesamiento del lenguaje con frecuencia implica la activación de múltiples regiones del cerebro, incluidas áreas especializadas en la percepción visual, auditiva y táctil (Jung-Beeman et al., 2005), como consecuencia es necesario considerar un modelo de conectividad neural que explique la dependencia temporal entre regiones neurales asociadas en la comprensión de la metáfora y regiones anatómicas distantes. Las características principales del modelo de conectividad en la metáfora son la dependencia de activación cognitiva común de conocimiento, imágenes, emociones para la interpretación de la metáfora (Ritchie, 2004). Este modelo sugiere que dos conceptos pueden integrarse con base en enlaces comunes que incluyen atributos, emociones y expectativas que se activan en la memoria de trabajo. La memoria de trabajo mantiene una red de conexiones activadas entre los dominios conceptuales metafóricos dentro del contexto conversacional, que incluye conocimiento e intenciones con el objeto de darle sentido (Kintsch, 1998). De esta forma el modelo de conectividad especifica un mecanismo de conexión a nivel neural entre los atributos relevantes del DF y su conexión a los atributos relevantes del DD (Glucksberg, 2001; Fauconnier y Turner, 2002; Ritchie, 2003a). El DD está conectado con una matriz de imágenes perceptuales, esquemas de control motores y conceptos abstractos (Ritchie, 2004). El modelo de conectividad, también enfatiza la importancia de la relación entre procesos sociales y culturales con procesos cognitivos, en medida en que cada individuo tiene una representación e interpretación cognitiva del terreno común (Clark, 1996).

El modelo de conectividad es consistente con teorías psicolingüísticas descritas anteriormente como la *Teoría del emparejamiento Estructural* (Gentner y Bowdle, 2001) y la categorización (Glucksberg, 2003), sin embargo las propuestas sobre la conectividad neural son teóricas y aún no se han descrito de manera empírica los patrones de conectividad asociados a la comprensión de la metáfora.

Hasta ahora no existen estudios que propongan qué funciones cognitivas adicionales a las lingüísticas estarían involucradas en la comprensión de la metáfora. Aunque en principio, no se esperaría que el sustrato neural del lenguaje figurado fuera distinto entre lenguas



naturales, no hay suficientes estudios en otras lenguas para constatar esto de manera empírica. En relación con el procesamiento del lenguaje literal, Frederici (2011) discute que en todas las lenguas son las funciones particulares del lenguaje y no la forma de la lengua las que determinan los patrones de activación específicos, sin embargo, esta misma autora menciona estudios que han detectado diferencias de procesamiento neurocognitivo ligadas a la lengua (Bornkessel, et al. 2005; Makuuchi et al. 2009).

Con base en estos antecedentes, nuestra hipótesis fue que las frases metafóricas reclutarían áreas neurales asociadas con el procesamiento semántico y áreas de asociación lo cual implicaría la corteza frontal inferior izquierda y lóbulo temporal superior respectivamente (Stringaris 2006; Yang, 2014) y con base a la *“Teoría de la Codificación Semántica Gruesa”* propusimos que el hemisferio derecho se vería involucrado principalmente. También propusimos que existiría un patrón de conectividad funcional que involucraría regiones neurales de procesamiento semántico presente en frases metafóricas vs frases literales. Además, asumimos que la comprensión de metáforas requiere de procesos cognitivos adicionales como teoría de la mente y funciones ejecutivas en contraste con los estímulos literales. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue caracterizar el procesamiento, los procesos cognitivos y el correlato neural involucrado en la comprensión de frases metafóricas, en contraste con frases literales en adultos hispanohablantes usando la técnica de fMRI. Los resultados de este estudio contribuirán al estudio del lenguaje pragmático y su sustrato neural compartido entre diferentes lenguas naturales además de su relación con habilidades cognitivas particulares.

### 3. JUSTIFICACION

El proceso de comprensión metafórica involucra la experiencia de cada persona, ya que la esencia de la metáfora es entender y experimentar un concepto en términos de otro. Sabemos que las metáforas son esenciales para el habla y la comunicación. Conocer las estructuras neurales que modulan la comprensión de la metáfora es relevante para entender cómo funciona la comunicación humana en situaciones de la vida diaria y en patología asociadas a un defecto en la comprensión del lenguaje figurado, por ejemplo, enfermedades de neurodesarrollo (Happé, 1995; Rundblad & Annaz, 2010) neuropsiquiátricas, (Mo et al., 2008; Perlini, 2014) o neurodegenerativas (Monetta, 2006; Roncero & Almeida, 2014; Tremblay et al., 2015).

Actualmente se han desarrollado investigaciones en disciplinas como la filosofía, la psicología, la lingüística y las neurociencias cognitivas usando diferentes técnicas como la resonancia magnética, cuya intención es generar un mapa funcional y de conectividad del cerebro durante la comprensión y la producción de metáforas. Utilizando algunas herramientas de estas disciplinas, esta investigación tiene el objetivo caracterizar conductualmente, neuralmente, cognitivamente la comprensión de la metáfora en adultos hispanohablantes. Los resultados contribuirán a explorar e identificar los sustratos neurales y procesos cognitivos involucrados en la comprensión del lenguaje metafórico en hispanohablantes utilizando la técnica de fMRI.

## **HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

- 1) Las frases metafóricas requerirán mayor tiempo de categorización que las frases literales.
- 2) El correlato neural de la comprensión de frases metafóricas en contraste con frases literales involucrará el giro temporal superior derecho, giro frontal inferior derecho implicados en el procesamiento de conocimiento semántico.
- 3) Los procesos cognitivos de teoría de la mente y funciones ejecutivas estarán más vinculadas a la comprensión de las metáforas en contraste con las frases literales.
- 4) Se evidenciará un patrón diferencial en la conectividad funcional entre las áreas involucradas en la comprensión de frases metafóricas y frases literales.

## **5. OBJETIVOS GENERALES**

- 1) Caracterizar el tiempo de categorización de frases metafóricas, absurdas y literales en adultos hispanohablantes.
- 2) Caracterizar por medio de fMRI el correlato neural en la comprensión de frases metafóricas en adultos hispanohablantes.
- 3) Evaluar la contribución de teoría de la mente y funciones ejecutivas como procesos cognitivo asociados a la comprensión de frases metafóricas
- 4) Caracterizar un patrón de conectividad funcional relacionado a la comprensión de frases metafóricas en adultos hispanohablantes.

## **6. FASES DE ESTUDIO**

El presente estudio constó de tres fases: **1)** La primera fase se dividió a su vez en dos etapas y consistió en caracterizar una batería de estímulos-oraciones: La etapa “A” consistió en la creación, evaluación y validación de oraciones de diferentes categorías (literal, metafórica, absurda, literaria) de diferente tipo (físico-físico, físico-psicológico, movimiento-tiempo). En la etapa “B” se excluyeron, refinaron y revalidaron los estímulos de la etapa “A” (que serían usados como estímulos lingüísticos para las fases posteriores; **2)** La segunda fase consistió en diseñar una tarea de juicio semántico para medir el tiempo de categorización entre los distintos tipos de frases; **3)** La tercera fase consistió en la elaboración de un paradigma experimental para ser usado en el resonador y la obtención de imágenes funcionales cerebrales durante la tarea de comprensión de frases metafóricas. Todas estas etapas fueron consecutivas e independientes y en ellas participaron diferentes muestras de participantes seleccionados bajo los mismos criterios de inclusión que se describen a continuación.

### **6.1 Participantes**

Los criterios de inclusión de los participantes para todas las fases fueron: ser adultos diestros, hispanohablantes entre 20 y 35 años, con escolaridad mínima de 13 años. Los criterios de exclusión fueron tener un antecedente de diagnóstico de una enfermedad psiquiátrica o neurológica, que tuvieran prótesis metálicas. Los criterios de eliminación fueron que no completará la tarea y personas que en los estudios de resonancia magnética presentarán historia clínica de enfermedades neurológicas o psiquiátricas de acuerdo al listado de síntomas 90 (SCL-90), y/o movimiento excesivo. A cada uno de los sujetos se les solicitaron datos generales, respuesta al inventario de lateralidad de Edinburg y firma de una carta de consentimiento informado, que detallaba los procedimientos, confidencialidad de los datos obtenidos y posibilidad para retirarse del estudio en cualquier momento que lo decidiera. El procedimiento fue revisado y aprobado por el comité de Ética en Investigación del Instituto de Neurobiología (número 047.H-RM) y cumple con los lineamientos internacionales para la investigación con la participación de sujetos humanos.

## 7. PRIMERA FASE: CONSTRUCCIÓN DE ESTIMULOS LINGÜÍSTICOS

### 7.1 Etapa “A”

#### 7.1.1 Método y procedimiento

La etapa “A” de la primera fase del proyecto consistió en crear una base de oraciones que fueron inicialmente evaluadas por cuatro expertos en lingüística. Se obtuvieron 46 paquetes de oraciones, cada uno incluyó una oración metafórica y su control literal y absurdo. Las metáforas que se crearon fueron de tres diferentes tipos: Metáforas físico-físico, se refieren a aquéllas en las que el dominio fuente (DF) se experimenta de manera visual, auditiva o táctil y explica el dominio destino (DD) también experimentado sensorialmente (n =13). Metáforas físico-psicológico: se refieren a aquéllas cuyo DF se experimenta sensorialmente y sirve para explicar estados mentales o psicológicos (DD) (n=15). Metáforas movimiento-tiempo: se refieren a metáforas cuyo DF es una experiencia de desplazamiento motor (movimiento) y explica una idea abstracta como el tiempo (DD) (n=18) (46x3=138). Además, se eligieron 15 oraciones obtenidas de poemas de escritores latinoamericanos (categoría literaria). En la Tabla 1 se ejemplifica el tipo de oraciones, los tipos de las metáforas, los DF y DD y el número de palabras de cada oración.

Tabla 1. Esquema general de las oraciones creadas de acuerdo a su categoría (L, M, A), tipo de metáfora, dominio fuente, dominio destino y número de palabras. L, Literal; M, Metafórica; A, Absurdo.

Tipo	Oraciones	Dominio Fuente	Dominio Destino	No. Palabras
Físico-Físico	L. El niño tiene dulces de miel	miel	dulces	6
	M. El niño tiene ojos de miel	miel	ojos	6
	A. El niño tiene pasto de miel	miel	pasto	6
Físico-Psicológico	L. Mi papá tiene sillas de hierro	hierro	sillas	6
	M. Mi papá tiene alma de hierro	hierro	alma	6
	A. Mi papá tiene pasteles de hierro	hierro	pasteles	6
Movimiento-Tiempo	L. En las mañanas las gaviotas vuelan	vuelan	gaviotas	6
	M. En las vacaciones los días vuelan	vuelan	días	6
	A. En las mañanas las sandías vuelan	vuelan	sandías	6
Literaria	El amor es el silencio más fino			7

Se pidió a una muestra de 74 sujetos ( $25.68 \pm 4.06$  años, 24 hombres, 50 mujeres) vía internet con *Google forms* (Google, ®) que calificaran cada oración del corpus anterior en las dimensiones de comprensión, familiaridad, literalidad, sentido, y valencia emocional, con base en una escala tipo Likert de cuatro puntos, como a continuación se esquematiza (Fig. 1).

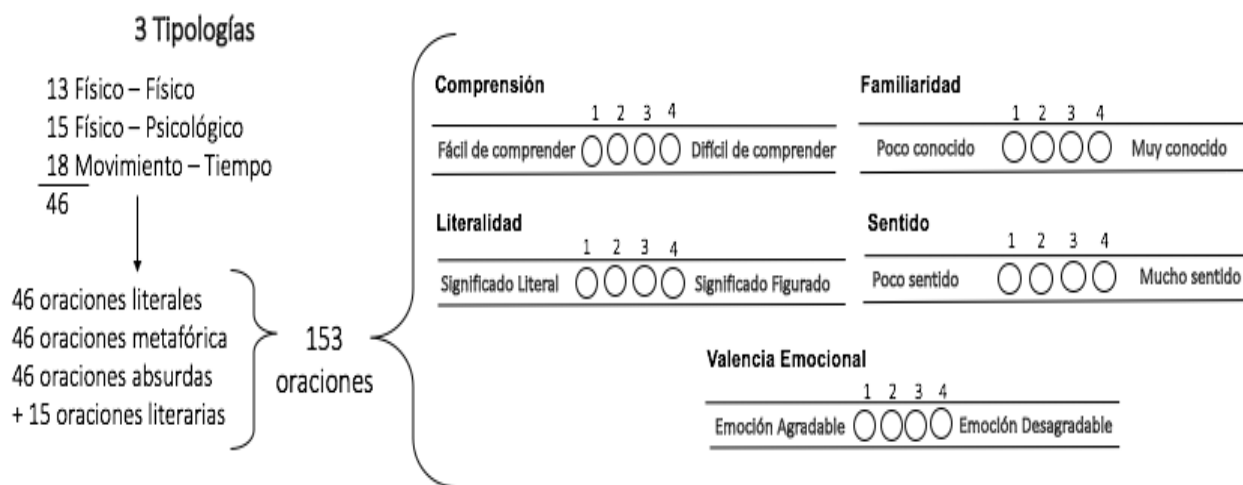


Fig. 1. Representación gráfica de la escala Likert de 4 puntos que se elaboró para calificar cada oración del corpus en cada una de las dimensiones.

### 7.1.2 Análisis estadístico y resultados de la etapa “A”

Se analizaron los puntajes que se obtuvieron por parte de los 74 sujetos para las oraciones en la escala Likert. Se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para cada categoría, una prueba no paramétrica Friedman para comparación de tres o más muestras relacionadas y una prueba post hoc Wilcoxon para hacer comparaciones entre pares de categorías con el software R-studio. Los resultados de estos análisis mostraron un efecto significativo de la categoría de las oraciones para todas las dimensiones evaluadas (Test Friedman tipo FF; comprensión  $X^2(3) = 21.7$ , familiaridad  $X^2(3) = 5.2$ , sentido  $X^2(3) = 21$ ; valencia  $X^2(3) = 11.3$ ,  $p < 0.001$ ; tipo FP, comprensión  $X^2(3) = 18.2$ , familiaridad  $X^2(3) = 8.2$ , sentido ( $X^2(3) = 25.3$ ; valencia  $X^2(3) = 18.2$ ,  $p < 0.001$ ; tipo MT, comprensión ( $X^2(3) = 12.2$ , familiaridad  $X^2(3) = 12.5$ , sentido  $X^2(3) = 23.4$ , valencia  $X^2(3) = 12.2$ ,  $p < 0.001$ ). En la Figura 2 se muestran las diferencias entre pares de categorías. Vale la pena resaltar que las oraciones literales y todos los tipos de oraciones metafóricas fueron semejantes en términos

de comprensión. En términos de familiaridad las metáforas tipo físico-físico y físico-psicológico fueron menos familiares que las literales, mientras que las de tipo movimiento-tiempo fueron tan familiares como las literales. Las oraciones literales fueron caracterizadas como literales, mientras que las metáforas fueron calificadas como figuradas, con excepción de las de tipo movimiento-tiempo que fueron calificadas como literales. En términos de sentido las oraciones metafóricas de tipo físico-físico y físico-psicológico se consideraron con menor sentido a las literales, mientras que las de tipo movimiento-tiempo tuvieron tanto sentido como las literales. En términos de valencia emocional las oraciones metafóricas tipo físico-físico fueron más agradables que las literales, las físico-psicológico y las movimiento-tiempo fueron menos agradables que las literales. En cuanto a las frases absurdas y literarias, fueron menos comprensibles, menos familiares, menos literales, con menos sentido y menos agradables que las literales.

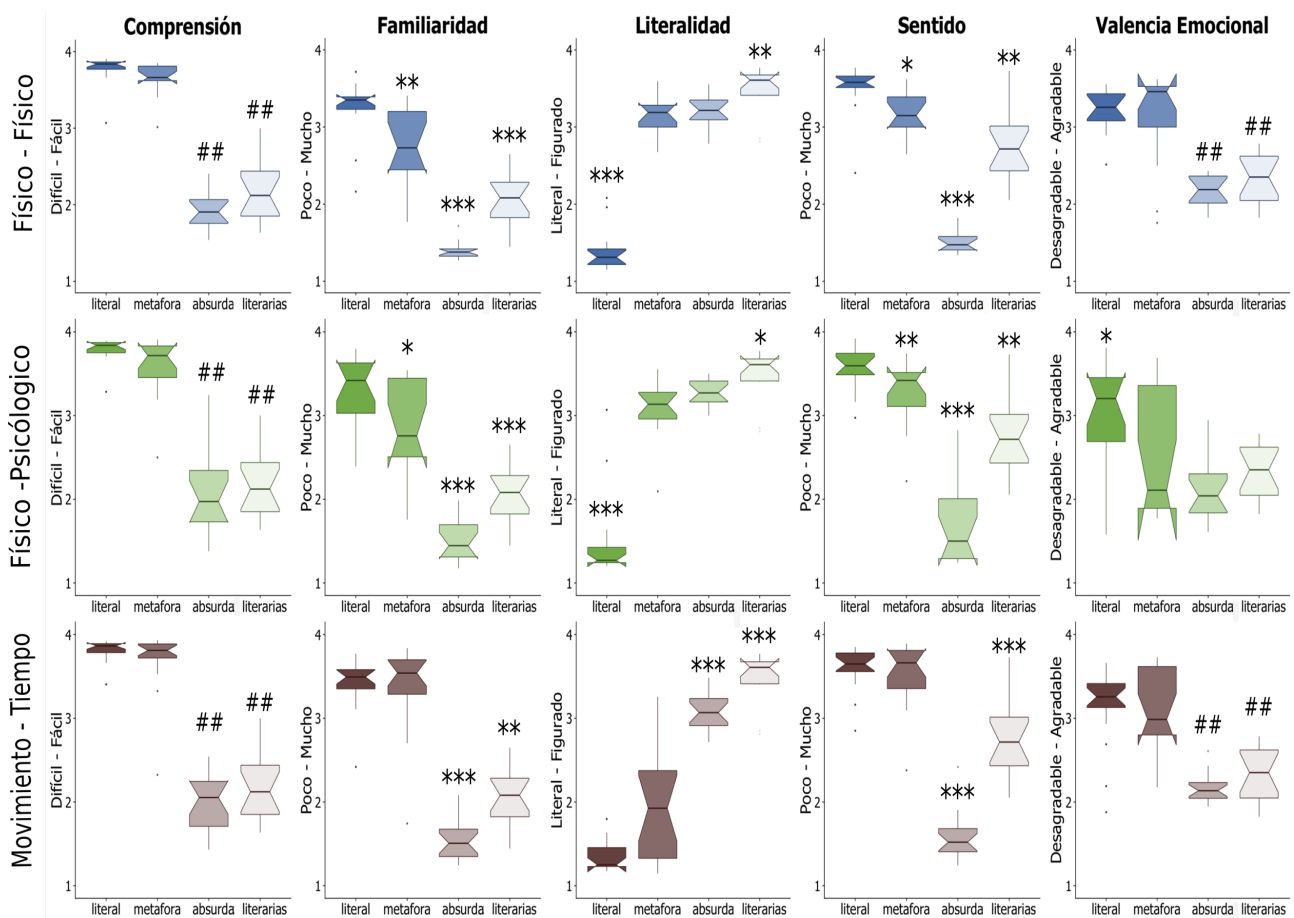


Fig. 2. Puntuaciones en escala Likert de 4 puntos para evaluar: comprensión; familiaridad; literalidad; sentido y valencia emocional en cada categoría (literal, metáfora, absurda, literaria) para cada tipo (Físico-Físico, Físico-Psicológico, Movimiento-Tiempo). (\*) diferente de todas las categorías, (#) diferente con metáfora; (\*)  $p < 0.05$  (\*\*)  $p < 0.01$ , (\*\*\*)  $p < 0.001$ , (##)  $p < 0.01$ .

## 7.2 Etapa “B”

### 7.2.1 Métodos y procedimientos

Se realizó la depuración de las oraciones de la primera etapa con la herramienta Sketch Engine, que proporciona información de palabras a nivel semántico y pragmático de 400 corpus en más de 90 idiomas (Kilgarriff et al., 2014), con el fin de conocer y controlar la frecuencia de cada palabra y evitar que esto provocara un sesgo de preferencia en los sujetos. Posteriormente se excluyeron todas las oraciones de “movimiento-tiempo” debido a que las metáforas eran calificadas como literales, y las oraciones “literarias” por su variabilidad en las frecuencias de las palabras que las formaban. Finalmente se seleccionaron 80 frases con el mismo número de palabras, formadas por tres diferentes categorías (40 frases literales, 20 frases metafóricas, 20 frases absurdas) (Tabla 2).

Los estímulos se volvieron a validar vía internet con Google Forms (Google ®) con la participación de 41 sujetos (24.09 ± 3.3 años, 21 mujeres, 20 hombres), que evaluaron cada frase con una escala tipo Likert de cuatro puntos en las dimensiones de comprensión, familiaridad, literalidad, sentido y valencia emocional.

Tabla 2. Esquema de frases de acuerdo a su categoría, dominio fuente, dominio destino, número de palabras y frecuencia de palabra por millón. L, Literal; M, Metafórica, M; A, Absurdo.

	<b>Frases</b>	<b>Dominio Fuente</b>	<b>Dominio Destino</b>	<b>No. Palabras</b>	<b>Dominio Fuente Frec/millón</b>	<b>Dominio Destino Frec/millón</b>
<b>L.</b>	Escultura de piedra	piedra	escultura	3	48.17	12.76
<b>M.</b>	Corazón de piedra	piedra	corazón	3	48.17	5.91
<b>A.</b>	Gelatina de piedra	piedra	gelatina	3	48.17	2.15

### 7.2.2 Análisis estadístico y resultados de etapa “B”

Para la depuración de las 80 frases se homogeneizó el número de palabras (2-3 palabras) así como la frecuencia de las palabras entre DF y DD de cada categoría (literal, metafórica y absurda) con la base de datos de Sketch Engine. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre la frecuencia de palabra del dominio fuente de todas las frases y el dominio destino para cada categoría, para todas las frases ( $X^2(3) = 3.14$ ,  $p = 0.37$ , Kruskal-Wallis) (Fig. 3).



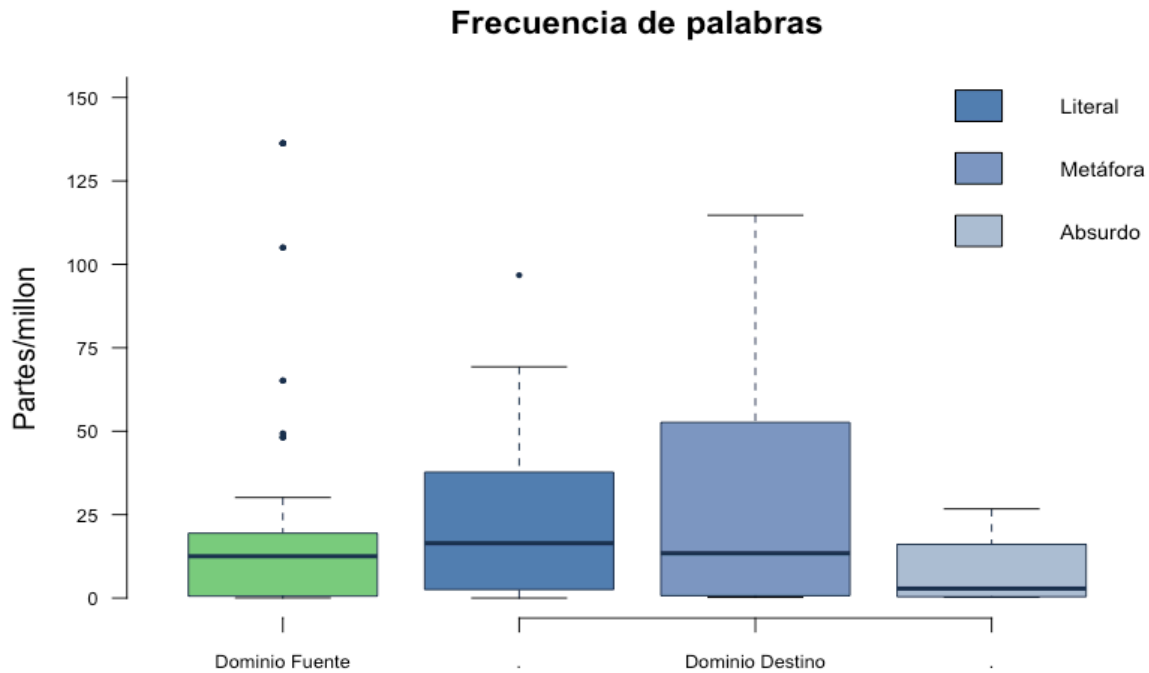


Fig. 3. Frecuencia de las palabras (por millón) del dominio fuente y los dominios destino en cada categoría (Literal, Metafórico, Absurdo) para los tres tipos.

Se analizaron los puntajes que se obtuvieron por parte de los 41 sujetos para las frases en la escala Likert. Se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilks, un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y una prueba post hoc de Wilcoxon para hacer comparaciones entre pares de categorías. Se encontraron diferencias en la dimensión de comprensión entre frases literales vs metafóricas ( $V=714$ ,  $p < 0.001$ , test Wilcoxon) entre metafóricas vs absurdas ( $V=210$ ,  $p < 0.001$ ); se encontraron diferencias en la dimensión de familiaridad entre frases literales vs frases metafóricas ( $V=731$ ,  $p < 0.001$ ) y entre metafóricas vs absurdas ( $V=210$ ,  $p < 0.001$ ). Se encontraron diferencias en la dimensión de literalidad entre frases literales vs metafóricas ( $V=0$ ,  $p < 0.001$ ), pero no entre metafóricas vs absurdas. En la dimensión de sentido se encontraron diferencias entre frases literales vs metafóricas ( $V=210$ ,  $p < 0.001$ ) y metafóricas vs absurdas ( $V=784$ ,  $p < 0.001$ ). Y en la dimensión de valencia existe diferencias entre frases metafóricas vs literales ( $V=610$ ,  $p < 0.01$ ) y metafóricas vs absurdas ( $V=201$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 4).

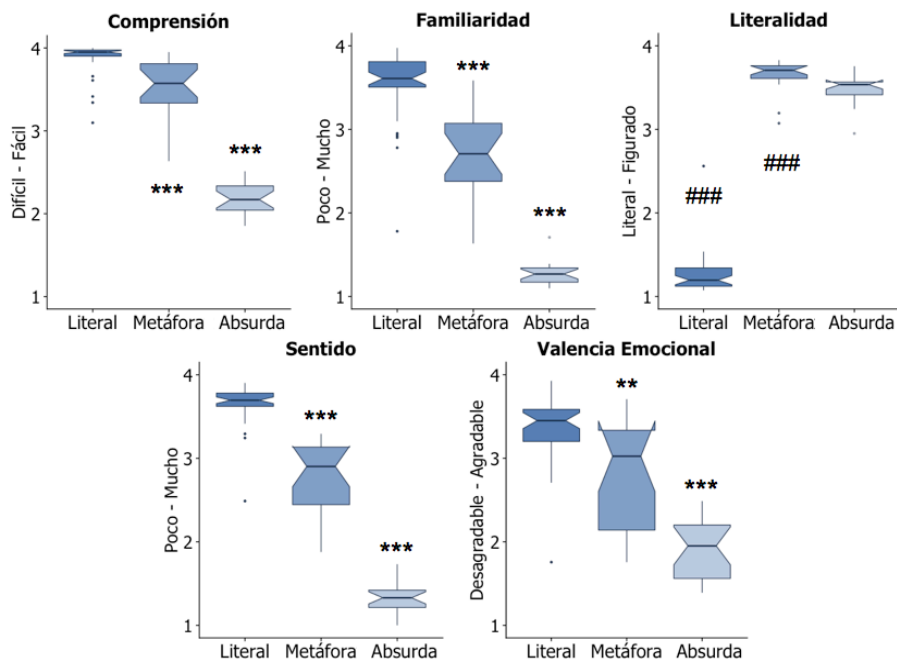


Fig. 4. Puntuaciones en escala Likert de 4 puntos para evaluar: comprensión; familiaridad; literalidad; sentido y valencia emocional en cada categoría (literal, metáfora, absurda, literaria). (\*) diferente de todas las otras categorías, (#) diferente entre pares de categorías; (\*\*)  $p < 0.01$ , (\*\*\*)  $p < 0.001$ , (###)  $p < 0.001$

## 8. SEGUNDA FASE: TAREA DE JUICIO SEMÁNTICO

En la segunda fase se presentó una tarea de juicio semántico a 43 sujetos ( $26.22 \pm 3.14$  años, 21 hombres, 22 mujeres) que incluía el tiempo de lectura, de comprensión y de selección de la categoría de los estímulos lingüísticos evaluados en la etapa anterior, usando el programa Psychopy (Pierce, 2009). En esta tarea se le presentaba aleatoriamente una frase en el centro de la pantalla y cuatro palabras en cada vértice (literal, metafórica, absurdo y ninguno), los participantes tenían que elegir la respuesta de acuerdo a su criterio, y ejecutarla con unas botoneras. Se evaluaron los aciertos y el tiempo de categorización para cada oración (Fig. 5).

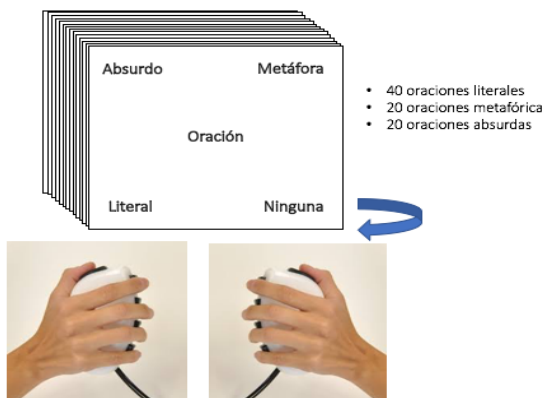


Fig. 5. Tarea conductual de estímulos lingüísticos.

## 8.1 Resultados

Se analizaron los resultados de la tarea de juicio semántico mediante una prueba de normalidad Shapiro-Wilk, un análisis de varianza para medidas repetidas y una prueba post hoc t-student pareada para hacer comparaciones entre pares de categorías.

El promedio en el tiempo de categorización en frases metafóricas 2738 ms ( $\pm 579$  ms) fue mayor que frases literales 2278 ms ( $\pm 537$  ms) ( $t(42) = -5.86, p < 0.001$ , t-test pareada) pero menor que frases absurdas 3462 ms ( $t(42) = -5.93, p < 0.001$ , t-test pareada). El promedio de porcentaje de aciertos de frases metafóricas 89.19% ( $\pm 12.43\%$ ) fue menor que frases literales 97.97% ( $\pm 3.19\%$ ) ( $t(42) = 4.65, p < 0.001$ , t-test pareada) pero mayor en contraste con las frases absurdas 75.47% ( $\pm 23.52\%$ ) ( $t(42) = 3.77, p < 0.001$ , t-pareada). (Fig. 6).

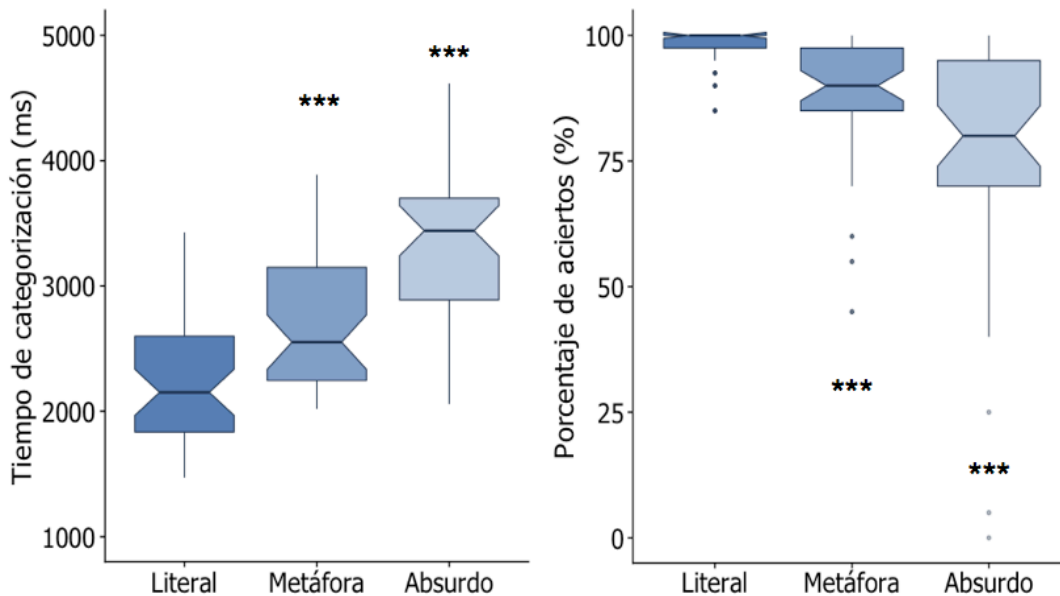


Fig. 6. Tiempo de categorización y porcentaje de respuestas correctas para cada categoría lingüística (Literal, Metáfora, Absurdo). (\*) diferente contra todas las otras categorías; (\*\*\*)  $p < 0.001$

## 9. TERCERA FASE: CORRELATOS NEURALES DE LA METÁFORA

### 9.1 Participantes, material y métodos

#### 9.1.1. Participantes

Para esta tercera fase se reclutaron 28 voluntarios (13 hombres, 15 mujeres) seleccionados de acuerdo a los criterios de inclusión: adultos hispanohablantes entre 20 y 35 años, con escolaridad mínima de 13 años, diestros, sin síntomas de “distrés” psicológico de acuerdo al listado de síntomas 90 (SCL-90) y sin tratamiento psicofarmacológico.

### **9.1.2. Pruebas neuropsicológicas**

Con el objetivo de determinar que cada participante de esta fase tuviera una adecuada comprensión de lenguaje, funcionamiento cognitivo de acuerdo a su edad y también para analizar los procesos cognitivos vinculados a la comprensión de las metáforas, antes del estudio con fMRI se realizó a todos los participantes una evaluación neuropsicológica que incluyó:

- La prueba de Edimburgo para evaluar la lateralidad cerebral (Oldfield, 1971).
- El listado de síntomas-90 para detectar distrés psicológico referido por el participante durante la semana previa al día de la aplicación (SCL90) (Gonzalez-Santos, Mercadillo, Graff, & Barrios, 2007).

#### **Pruebas que evalúan funciones cognitivas de dominio general (FEs)**

- La batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales para evaluar las capacidades que permiten al sujeto la resolución de problemas (BANFE) (Flores-Lázaro, 2008).
- La escala de inteligencia Wechsler para adultos para evaluar la capacidad cognitiva en adolescentes y adultos (WAIS IV) (Amador, 2013).

#### **Pruebas que evalúan funciones cognitivas de dominio específico (TdM y empatía)**

- Prueba de historia corta de teoría de la mente para medir diferencias individuales en teoría de la mente (Dodell-Feder, Lincoln, Coulson, & Hooker, 2013).
- El índice de reactividad interpersonal para evaluar de manera global la empatía (Interpersonal reactivity index, IRI por sus siglas en inglés) (Fernández, Dufey, & Kramp, 2011).
- La Prueba “Yoni test” para evaluar la capacidad de inferir emociones y pensamientos de otros (Shamay-Tsoory & Aharon-Peretz, 2007).

### 9.1.3. Equipo y metodología

#### 9.1.3.1. Paradigma experimental

Para el estudio de neuroimagen, se creó un paradigma experimental que se dividió en 2 corridas cada una con una duración de 8 min 30 segundos, en cada corrida se presentaron aleatoriamente 40 eventos experimentales aleatoriamente (20 frases literales, 10 frases metafóricas, 10 frases absurdas, seleccionados y usados en fases anteriores) mediante un diseño relacionado a eventos por medio del programa Psychopy (Pierce, 2009), en fondo negro dentro del resonador. Los eventos experimentales se presentaron durante 3500 ms, seguidos de una cruz de fijación de 5000 ms, y la presentación durante 3500 ms de una pregunta respecto a la categoría de oración presentada anteriormente, en la que seleccionaron una respuesta (“SI” o “NO”) con un par de botoneras compatibles con el resonador magnético, las cuales registrarían su respuesta. Cada evento tuvo un intervalo de separación por una cruz de fijación de 500 ms (fig.7). La presentación y duración de los distintos estímulos se optimizó con el programa optseq2 (Greve, 2002).

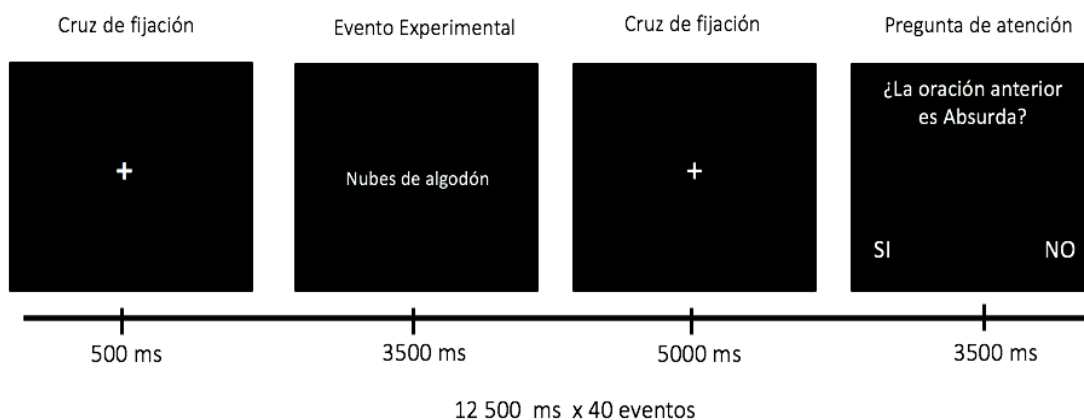


Fig. 7 Ejemplo de un evento experimental.

#### 9.1.3.2. Presentación de Tarea de Juicio Semántico

Al finalizar la presentación del paradigma experimental dentro del resonador, los sujetos realizaron la tarea de juicio semántico idéntica a la que se presentó en la segunda fase, evaluando el tiempo de categorización y el porcentaje de respuestas correctas (descrita en la sección 8) con la finalidad de saber si estaban comprendiendo y eligiendo la categoría que correspondía a cada oración que se le presentó dentro del resonador y conocer si se reproducía el mismo resultado obtenido anteriormente.

### **9.1.3.3. Adquisición de imágenes**

Para la adquisición y análisis de imágenes cerebrales por fMRI, se utilizó un equipo de 3 Teslas G.E. Discovery MR750 (General Electric, Waukesha, WI) con una bobina de cabeza de 32 canales, ubicado en la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología, UNAM, Juriquilla. Se adquirieron imágenes estructurales de alta resolución con volúmenes en 3D con contraste para T1 de  $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$  de resolución espacial con una secuencia de pulso spoiled gradient recall (SPGR). También se adquirieron imágenes funcionales que incluirán para cada volumen, 34 cortes axiales (4 mm de grosor), usando con una secuencia de pulsos eco-planar, para imágenes pesadas para T2\* con un tiempo de eco (TE) de 40 ms y tiempo de repetición (TR) de 2000 ms, en una matriz de  $64 \times 64$ , un Field of View (FOV) de 25.6 cm y un tamaño isomórfico para cada voxel de  $4 \times 4 \times 4 \text{ mm}^3$ . Todas las imágenes se guardaron en el formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine, por sus siglas en inglés).

### **9.1.3.4. Pre-procesamiento de las imágenes**

Para el análisis de las imágenes funcionales se usó del software FSL (Jenkinson, et al., 2012), el pre-procesamiento se realizó para las imágenes funcionales y estructurales. Para las imágenes funcionales se incluyó la corrección de adquisición, del movimiento del cuerpo rígido con la función MCFLIRT y la eliminación de las áreas no cerebrales. A las imágenes estructurales se les realizó una corrección de variaciones de intensidad y eliminación de áreas no cerebrales. Posteriormente se hizo un correregistro lineal de la imagen funcional a la imagen estructural, seguido de una normalización al espacio estructural estándar MNI152 (Montreal Neurological Institute, EPI template), además de un filtrado temporal eliminando frecuencias por arriba de 0.08 Hz y por debajo de 0.01 Hz. Finalmente, se realizó un filtrado espacial (suavizado de 6mm) con el objetivo de minimizar los errores de normalización espacial y la probabilidad de encontrar falsos positivos.

### **9.1.3.5. Análisis Estadístico de imágenes de Resonancia**

Los datos de las imágenes se analizaron en FSL (Jenkinson, et al., 2012), el análisis estadístico se realizó con la herramienta FEAT versión 5.98 que utiliza el Modelo Lineal General (MLG) con un criterio de umbrales significativos de  $z > 2.3$ , con un nivel de significancia corregido por cluster a  $p < 0.05$  con corrección para comparaciones múltiples (Gaussian Random Field, GFR). La señal dependiente del nivel de oxigenación en sangre (BOLD) se analizó durante la presentación del estímulo lingüístico. El análisis estadístico de los cambios hemodinámicos relacionado a eventos se realizó de acuerdo al MLG (Friston et. al., 1995), incluyó como regresores explicativos las tres categorías lingüísticas: frases literales, frases metafóricas y frases absurdas. El análisis estadístico de los cambios hemodinámicos relacionados a eventos de “primer nivel” consistió en la obtención de mapas estadísticos de cada una de las dos corridas por participante, con los que se obtuvieron los voxeles en los cuales el cambio de la señal BOLD tiene un comportamiento similar al modelo determinado por el paradigma de las tres condiciones con un modelo de efectos fijos. Posteriormente, se realizó un análisis denominado “segundo nivel” con modelo de efectos fijos, para analizar qué regiones neurales están relacionadas con la comprensión de estímulos para cada participante, que consistió en promediar los datos obtenidos en cada corrida por participante para cada condición y se realizaron 5 contrastes de interés: Metáfora>Literal, Metafórico>Absurdo, Absurdo>Metafórico, Absurdo>Literal, Metáfora>Literal+Absurdo. Finalmente, para evaluar la comprensión de los estímulos lingüísticos se realizó un análisis de “alto nivel” mediante un análisis de efectos mixtos y un umbral de significancia para cluster de  $p < 0.05$  y un umbral de  $z > 2.3$  (Worsley et al., 2002) para identificar el porcentaje de cambio en la señal BOLD en todos los participantes.

### **9.1.3.6. Análisis de Regresión Múltiple**

Se evaluaron todas las pruebas psicométricas por sujeto y se realizó un análisis por región de interés (ROIs, *region of interest*) por sujeto, en este análisis se determinaron como ROIs aquellos conjuntos de voxeles (clusters) con mayor actividad en el análisis de actividad cerebral asociadas con la comprensión de metáforas: GFI izquierdo, GFI derecho, y giro paracingulado (GPCi) izquierdo. Las ROIs fueron definidas de acuerdo a los criterios

previamente publicados (Eldar et al., 2007) para estudios de imagen funcional, los cuales consisten en incluir a todos los vóxeles que mostraron un aumento de la actividad BOLD en las condiciones experimentales respecto a los eventos control definida anatómicamente por el atlas de regiones corticales y subcorticales Harvard-Oxford. Para cada ROIs se obtuvo el promedio del cambio de porcentaje de señal BOLD ( $\% \Delta_{\text{BOLD}}$ ) para cada una de las condiciones experimentales en 4 contrastes de interés (Metáfora>Literal, Metafórico>Absurdo, Absurdo>Literal, Metáfora>Literal+Absurdo). Posteriormente se realizó análisis de regresión lineal múltiple con método escalonado (*stepwise*) para determinar si los puntajes de las pruebas psicométricas que evalúan funciones cognitivas de dominio general (FEs) y/o dominio específico (TdM y empatía) (variables dependientes) podrían predecir el  $\% \Delta_{\text{BOLD}}$  en GFI izquierdo, GFI derecho y GPCi izquierdo (variable independiente). Todos estos análisis se realizaron usando RStudio (2016), SSPS (Pallant, 2010) y Matlab (*MathWorks, Inc. MATLAB*, 2015).

#### **9.1.3.7. Análisis de conectividad funcional**

El análisis de conectividad funcional de interacción psicofisiológica (PPI, *psychophysiological interaction*) es un método de análisis de imágenes cerebrales, el cual calcula los cambios específicos en la conectividad, mediante la identificación de regiones cerebrales cuya actividad depende de una interacción entre el contexto psicológico (la tarea) y el estado fisiológico (curso temporal de la actividad cerebral de la región de la semilla o ROIs) (Friston et al., 1997). Se evaluó la influencia de la tarea cognitiva, en este caso, la comprensión de estímulos lingüísticos ('factor psicológico'), sobre la fuerza del acoplamiento funcional ('conectividad funcional') entre las regiones asociadas a la comprensión de metáforas y el resto del cerebro. De acuerdo a los resultados del análisis del GLM en todo el cerebro y las regiones reportadas en el meta-análisis ante la presencia de estímulos Metafóricos>Literales, (Yang, 2014) se determinaron las ROIs para el análisis de conectividad. Las ROIs se ubicaron de acuerdo a las coordenadas espaciales del voxel según el templete MNI en el GFI izquierdo [ $x = -54, y = 28, z = 4$ ] y GFI derecho [ $x = 36, y = 24, z = -6$ ] y GPCi [ $-6, 22, 40$ ]. Para cada una de estas ROIs se definió una esfera espacial de 6 mm alrededor del voxel. Para cada ROIs, se obtuvo el curso temporal de la señal BOLD para los tres estímulos lingüísticos. Se siguió la misma metodología del análisis de



todo el cerebro con el MLG, descrito previamente, con el curso temporal de cada ROIs como otra variable explicativa o regresor (“fisiológico”), además de las condiciones experimentales de la tarea (“psicológico”) a fin de analizar el PPI.

## 9.2. Resultados

### 9.2.1. Pruebas neuropsicológicas

Se evaluó el desempeño de las diferentes pruebas psicométricas de dominio general y específico para determinar que cada participante tuviera una adecuada comprensión del lenguaje y capacidad cognitiva de acuerdo a su edad. Ninguno de los participantes presentó historia clínica de enfermedades neurológicas o psiquiátricas de acuerdo al listado de síntomas 90 (SCL-90). Se calcularon las medias, y desviaciones estándar (DE) de las puntuaciones para cada prueba (Tabla. 3).

Tabla 3. Batería de pruebas psicométricas. Se muestra la media y la desviación estándar de los resultados para los 28 sujetos y el rango normativo para cada una de las pruebas de los 28 sujetos.

		<b>Pruebas Psicométricas</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Rango Normativo</b>
		SCL90	0.33 ± 0.5	2
Dominio General	WAIS	Índice de Comprensión verbal	112 ± 11	90-110
		Índice de Razonamiento Perceptual	103 ± 11.9	90-110
		Índice de Capacidad General	107 ± 11.7	90-110
	BANFE	Fluidez Verbal	21 ± 7.70	>5
		Control Verbal	168 ± 6.7	>94
		Flexibilidad Mental	49 ± 8.4	>40
Dominio Especifico	IRI	Toma de Perspectiva	16 ± 5.5	15.38
		Escala de Fantasía	14 ± 6	15.02
		Preocupación Empática	16 ± 5.8	18.35
		Angustia Personal	10 ± 5.9	11.43
	Historia Corta	Inferencia Espontánea	0.1±0.3	1
Yoni Test <sup>2</sup>		Comprensión	6.5±1.5	6-10
		Razonamiento de Estado Mental	11±1.6	8.6±2
		Cognitivo	30.4±5	36
		Afectivo	40.6±3.7	48

<sup>2</sup> La tarea Yoni Test no tiene rangos normativos sino número máximo de aciertos (Shamay-Tsoory & Aharon-Peretz, 2007).

### 9.2.2. Tarea de Juicio Semántico

Se analizaron los resultados de la tarea de juicio semántico que fue presentada a cada sujeto al finalizar la resonancia. Se realizó un análisis estadístico que constó de una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para cada categoría, un análisis de varianza para medidas repetidas y una prueba post hoc t-student pareada para hacer comparaciones entre pares de categorías. Los datos tuvieron una distribución normal, el promedio en el tiempo de categorización en frases metafóricas ( $2506 \pm 574$  ms) fue mayor que el de frases literales ( $2186 \pm 380$  ms) ( $t(27) = -2.93$ ,  $p < 0.01$ , t-test pareada) pero menor que el de frases absurdas ( $3364 \pm 1364$  ms) ( $t(27) = -3.16$ ,  $p < 0.01$ , t-test pareada). El promedio de porcentaje de aciertos de frases metafóricas ( $85 \pm 14.26\%$ ) fue menor que el de frases literales ( $97.50 \pm 3.22\%$ ) ( $t(27) = 5.67$ ,  $p < 0.001$ , t-test pareada) y sin diferencias significativas con el de frases absurdas ( $80 \pm 20.27\%$ ).

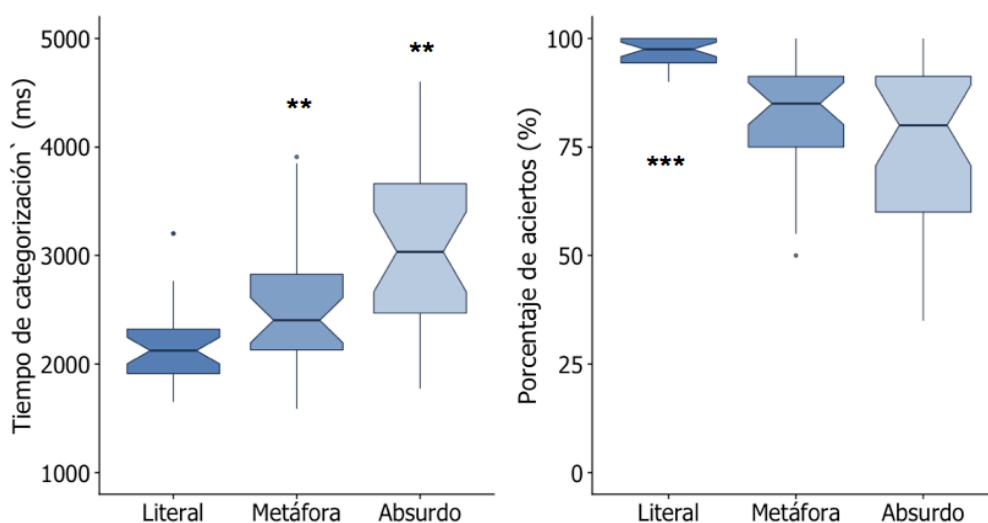


Fig. 8. Tiempo de categorización y porcentaje de respuestas correctas para cada categoría lingüística (Literal, Metáfora, Absurdo). (\*) diferente contra todas las otras categorías; (\*\*)  $p < 0.01$ , (\*\*\*)  $p < 0.001$

### 9.2.3. Análisis Estadístico de imágenes de Resonancia

En este análisis se identificaron las regiones neurales que mostraron aumento en la señal BOLD durante la presentación de frases de diferente categoría. Las regiones anatómicas fueron determinadas por el atlas de regiones corticales y subcorticales Harvard-Oxford (<http://www.cma.mgh.harvard.edu/fslatlas.html>) y las coordenadas corresponden al template del MNI152. Se creó para cada contraste una tabla que describe el tamaño del cluster, el valor z de los voxels más significativos de cada cluster, las coordenadas de los

voxeles que muestran los picos de activación con alto valor significativo, lateralidad y región anatómica de acuerdo al Atlas Cortical de Harvard-Oxford (Tabla 4). Los mapas de activación BOLD obtenidos del análisis previamente descrito fueron montados en reconstrucciones de cerebros inflados que permiten ver toda la corteza (i.e. giros y surcos) usando el programa Caret (<http://www.nitrc.org/projects/caret/>) (Van Essen, 2012) (Figs. 9 y 10).

Tabla. 4. Clusters significativos en el análisis de imagen del cerebro. La primera columna representa el número de voxeles que conforman el cluster, la segunda columna indica los voxeles significativos de cada cluster (valor z). Las siguientes tres columnas representan las coordenadas de las regiones que tuvieron aumento en la señal BOLD (x, y, z). La siguiente columna representa el hemisferio a la que pertenece (L= izquierdo, left; R= derecho; right). La última columna muestra el área anatómica a la que pertenece el cluster de acuerdo al Atlas Cortical Harvard-Oxford. NA = ninguno.

Voxeles	Z	X	Y	Z	H	Regiones Anatómicas	Abreviatura en Texto
<b>Metáfora &gt; Literal</b>							
5861	5.98	-56	26	10	L	Giro Frontal Inferior	GFI
4116	5.97	-6	22	40	L	Giro Paracingulado	GPCi
	4.3	-8	16	58	L	Giro Frontal Superior	GFI
1400	3.79	38	24	-8	R	Giro Frontal Inferior	GFI
<b>Literal &gt; Metáfora</b>							
10238	4.78	64	-30	36	R	Giro Supramarginal	-
	4.47	64	-48	24	R	Giro Angular	-
	4.36	12	-34	36	R	Giro Cingulado	GPCi
	4.23	12	-58	20	R	Precúneo	-
1670	4.58	30	26	40	R	Giro Frontal Medial	-
1087	3.63	8	44	-8	R	Giro Paracingulado	GPCi
<b>Absurdo &gt; Literal</b>							
4507	5.24	-54	30	0	L	Giro Frontal Inferior	GFI
2947	4.21	14	-84	-2	R	Giro Lingual	-
	4.14	14	-80	-2	L	Giro Lingual	-
1984	4.6	56	28	-2	R	Giro Frontal Inferior	GFI
1890	4.22	-6	8	58	L	Giro Frontal Superior	-
	4.07	-8	18	44	L	Giro Paracingulado	GPCi
<b>Literal &gt; Absurdo</b>							
3417	4.02	4	-58	32	R	Precúneo	-
	3.98	-4	-64	24	L	Precúneo	-
1039	3.57	60	-30	24	R	Corteza Orbital Frontal	-
	3.09	48	-32	40	R	Opérculo Parietal	-
<b>Metáfora &gt; Absurdo</b>							
NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-
<b>Absurdo &gt; Metáfora</b>							
1850	4.01	-58	-36	30	L	Giro Supramarginal	-
1171	3.64	-30	-44	-16	L	Giro Fusiforme	-
951	4.12	64	-44	28	R	Giro Supramarginal	-
<b>Metáfora &gt; Literal + Absurdo</b>							
6449	6.42	-54	-36	2	L	Giro Frontal Inferior	GFI
4532	5.83	-6	2	40	L	Giro Paracingulado	GPCi
1916	4.22	56	24	16	R	Giro Frontal Inferior	GFI
1085	3.64	16	-80	-36	R	Giro Supramarginal	-

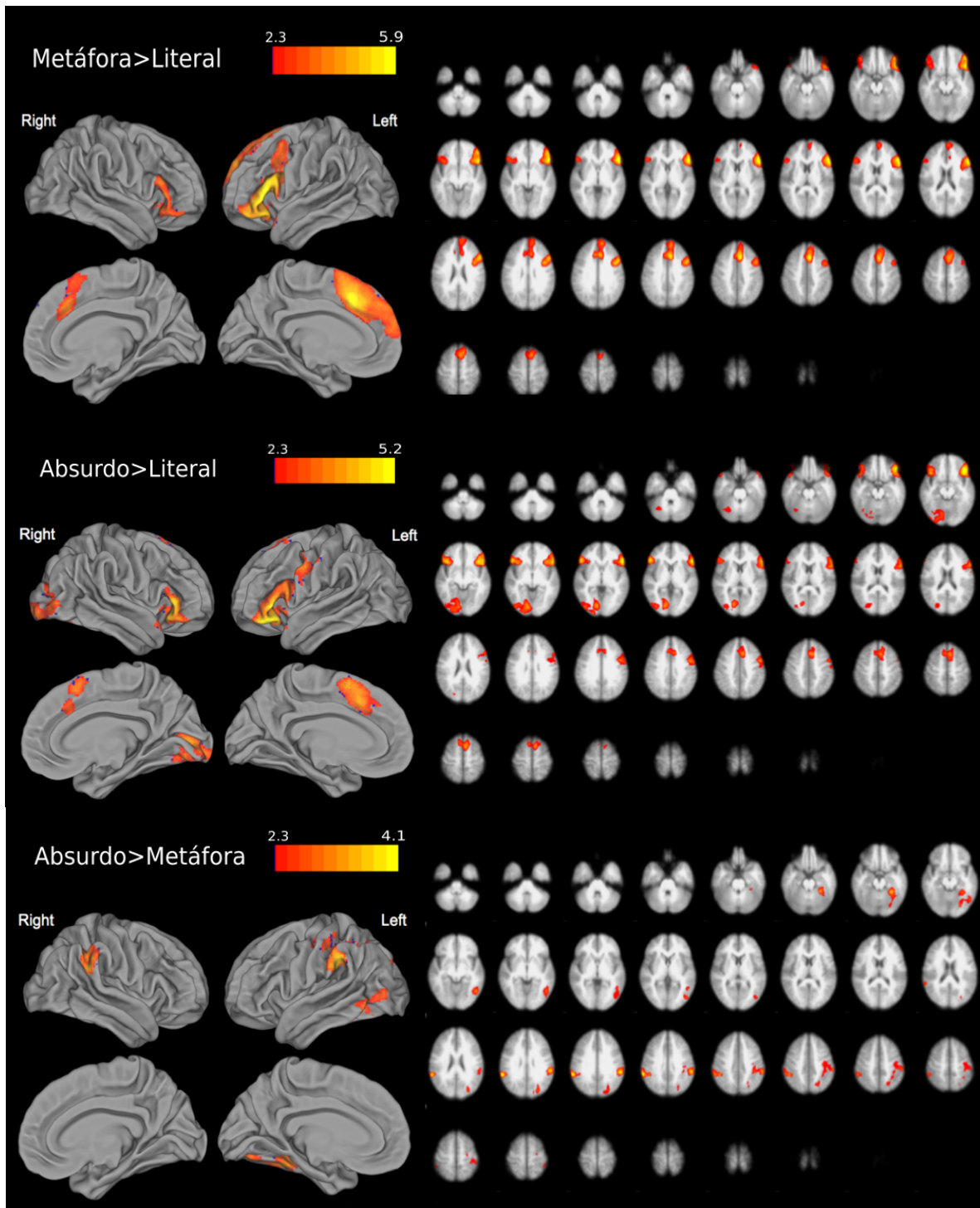


Fig. 9. Mapas de activación de todo el cerebro. Clusters significativos de los contrastes M>L, A>M, A>L, que están involucrados en la presentación de estímulos lingüísticos. La barra superior en cada imagen indica los puntajes Z.

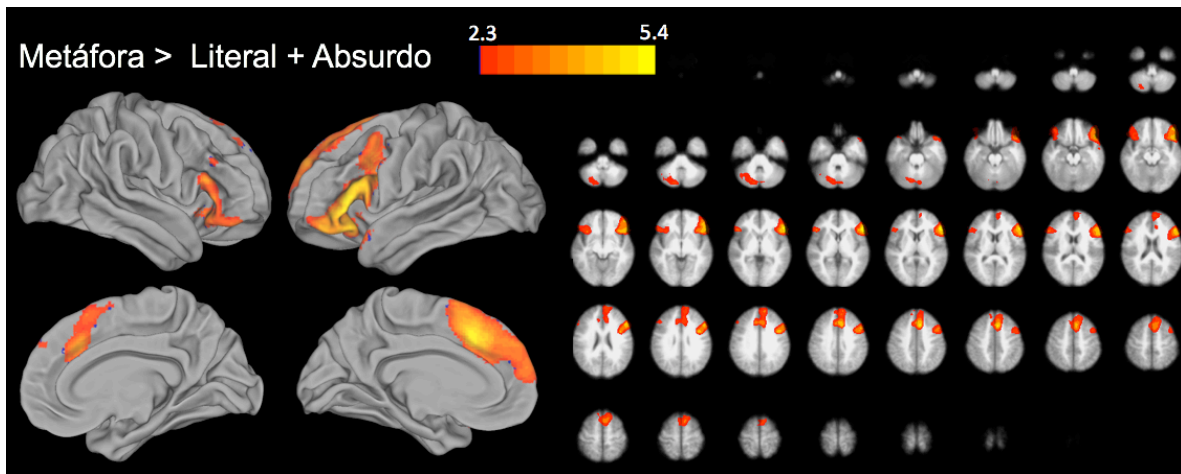


Fig. 10. Mapas de activación de todo el cerebro. Clusters significativos de los contrastes  $M > L + A$ , que están involucrados en la presentación de estímulos lingüísticos. La barra superior en cada imagen indica los puntajes Z.

Los resultados obtenidos del análisis de imágenes funcionales de todo el cerebro durante la comprensión de estímulos lingüísticos indican que durante la presentación de frases metafóricas contrastadas con frases literales ( $M > L$ ) el cambio de la señal BOLD comprende regiones ubicadas bilateralmente en GFI y GPCi izquierdo. Cuando se contrastó la comprensión de frases absurdas con frases literales ( $A > L$ ), el cambio de la señal BOLD se obtuvo en regiones similares al contraste anteriormente descrito, GFIs izquierdo y derecho y GPCi izquierdo, sin embargo, se le suma el giro lingual. Por otro lado, cuando se contrastaron frases metafóricas más que frases absurdas ( $M > A$ ) no se encontraron diferencias en el cambio de la señal BOLD, en cambio cuando el contraste frases absurdas más que frases metafóricas ( $A > M$ ) mostró un cambio en la señal BOLD bilateralmente en el giro supramarginal y el giro fusiforme izquierdo. Finalmente, cuando se contrastaron la presentación de frases metafóricas más que las frases literales y absurdas ( $M > L + A$ ) se encontró un incremento en la señal BOLD en GPCi izquierdo, GFI izquierdo y derecho.

#### 9.2.4. Análisis de Regresión Múltiple

Se realizó un análisis de regresión lineal múltiple escalonado cumpliendo los requisitos estadísticos, es decir que las variables independientes y dependientes tengan un nivel de medición escalar o intervalar, que no haya multicolinealidad, que el error residual se distribuya normalmente y no se relacione con las variables predictoras (Nathans, Oswald, & Nimon, 2012) para conocer si las puntuaciones de las pruebas cognitivas (Tabla 3.) predecían %  $\Delta$ BOLD por sujeto en las ROIs asociadas con la comprensión de metáforas (GFI izquierdo, GFI derecho, GPCi izquierdo). Se realizaron dos análisis de regresión lineal múltiple, el primero analizó el papel de las funciones de dominio general en el promedio del %  $\Delta$ BOLD para cada región de interés y el segundo modelo analizó el papel de las funciones de dominio específico con el promedio del %  $\Delta$ BOLD.

Los resultados muestran que las funciones de dominio general no predicen el cambio de %  $\Delta$ BOLD. Sin embargo, los puntajes de razonamiento de estado mental que evalúa Teoría de la mente predicen el cambio en %  $\Delta$ BOLD en las regiones GFI derecho ( $F(1, 26) = 5.2$ ,  $R^2 = 0.16$ ;  $R_{ajustada} = 0.13$ ,  $p < 0.05$ ), GFI izquierdo ( $F(1, 26) = 4.28$ ,  $R^2 = 0.14$ ,  $R_{ajustada}^2 = 0.10$ ,  $p < 0.05$ ) y GPCi izquierdo ( $F(1, 26) = 10.57$ ,  $R^2 = 0.28$ ,  $R_{ajustada}^2 = 0.26$ ,  $p < 0.01$ ) en el contraste metáforas más que frases literales. El coeficiente de regresión es negativo, es decir que mayores puntajes en esta tarea predicen un menor cambio en la señal BOLD (Fig. 11). Asimismo, se encontró que los puntajes razonamiento de estado mental que evalúa teoría de la mente junto con los puntajes en la escala de malestar personal del IRI que evalúa empatía predicen el 57% del cambio en la señal BOLD ( $F(2, 25) = 16.69$ ,  $R^2 = 0.57$ ,  $R_{ajustada} = 0.53$ ,  $p < 0.001$ ) en la región del cíngulo en el contraste entre frases metafóricas más que frases literales y absurdas (Fig. 12).

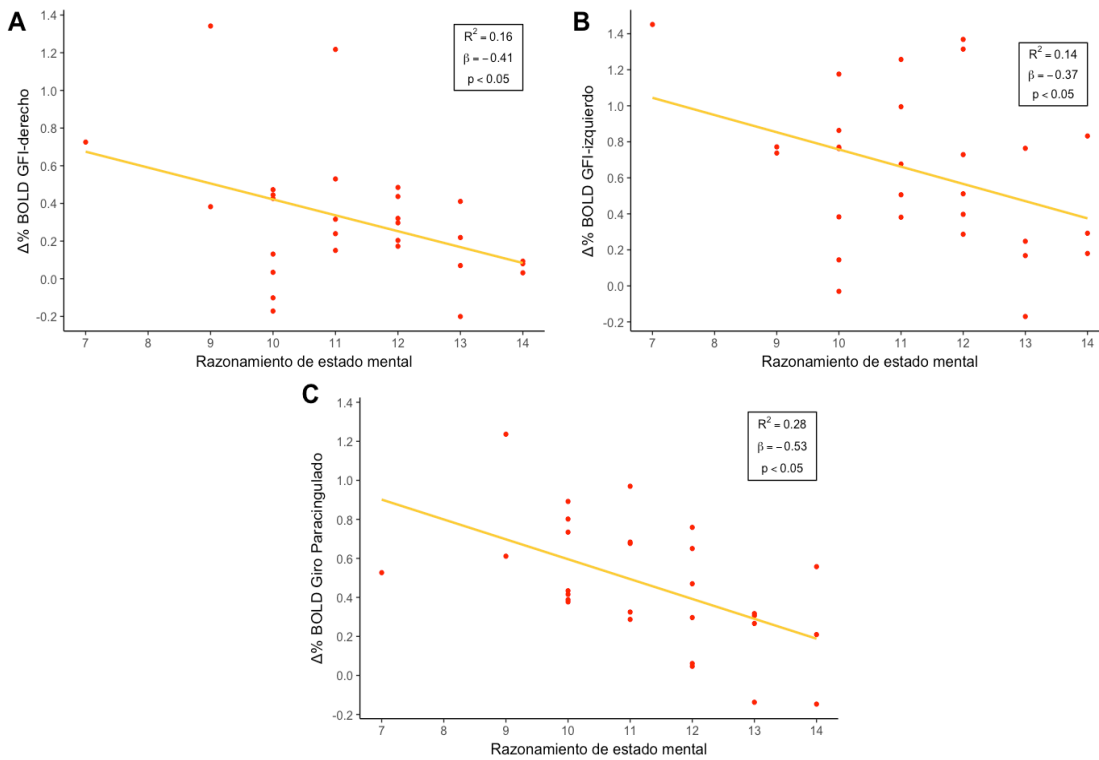


Fig. 11. Representación gráfica de la regresión lineal múltiple para el contraste M>L. La variable independiente es el puntaje en la prueba de razonamiento de estado mental, la variable dependiente es el  $\%_{\Delta BOLD}$  en (A) GFI derecho ( $R^2 = 0.16$ ;  $\beta = -0.41$ ;  $p < 0.05$ ), (B) GFI izquierdo ( $R^2 = 0.14$ ;  $\beta = -0.37$ ;  $p < 0.05$ ) y (C) GPCi izquierdo ( $R^2 = 0.28$ ;  $\beta = -0.53$ ;  $p < 0.005$ )

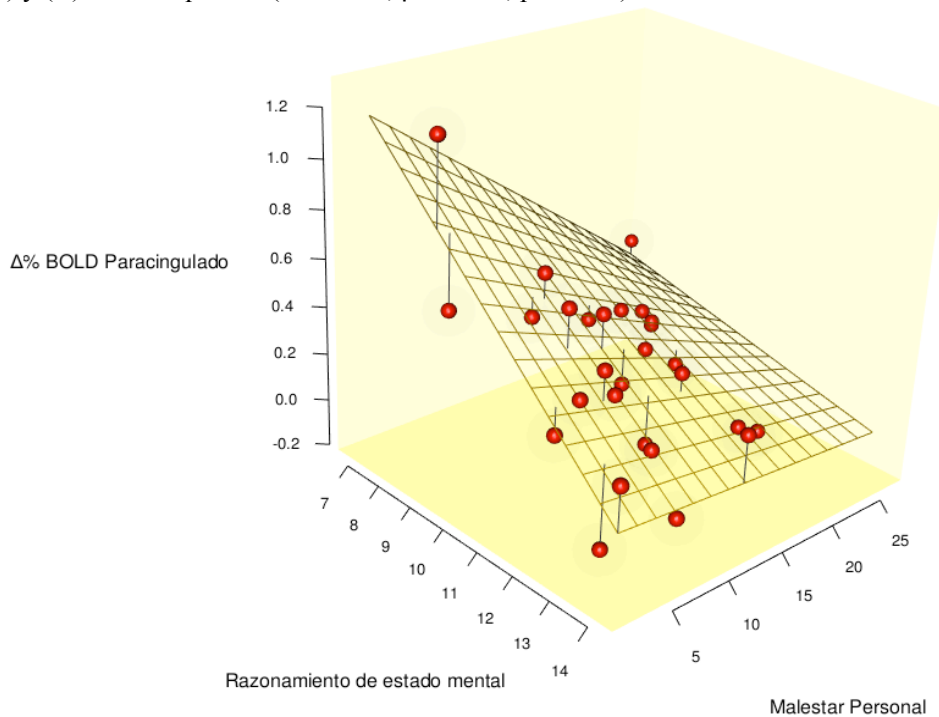


Fig. 12. Representación gráfica de la regresión lineal múltiple para el contraste M>L+A. Las variables independientes son los resultados de las pruebas de dominio específico (teoría de la mente y empatía), la variable dependiente es el  $\%_{\Delta BOLD}$  en GPCi ( $R^2 = 0.57$ ,  $\beta = -0.74$ ,  $-0.52$ , respectivamente,  $p < 0.001$ ).

### 9.2.5. Análisis de Conectividad funcional

Se realizó el análisis de conectividad funcional entre las áreas que mostraron cambios significativos en nuestro estudio durante la tarea de comprensión de estímulos lingüísticos. No se encontró conectividad funcional durante la comprensión de estímulos lingüísticos en ningún contraste con ninguna semilla propuesta (GFI izquierdo, GFI derecho, GPCi izquierdo) con otras regiones.

## 10. DISCUSIÓN

### 10.1. Construcción de estímulos lingüísticos

Los resultados en esta etapa mostraron que las metáforas con DF *físico* y DD *físico*, se comprendieron y tienen la misma valencia emocional que las oraciones literales. En términos de familiaridad y sentido, las oraciones literales eran más familiares que las oraciones metafóricas y los dos tipos de oraciones se distinguían claramente en la dimensión de literalidad (literal vs figurado). Por el contrario, las oraciones absurdas no se comprendían, no eran familiares, no tenían sentido, tenían una valencia emocional diferente y en cuanto a literalidad se consideraron como oraciones con sentido figurado. Las oraciones literarias tuvieron un comportamiento variable, más semejante al de las oraciones absurdas.

De la misma forma, las oraciones con DF *físico* y DD *psicológico*, mostraron una evaluación similar al tipo físico-físico anteriormente descrita, en sus cuatro categorías (literal, metafórica, absurdo y literaria).

Por último, en las oraciones con DF de *Movimiento* y el DD de *Tiempo* mostraron una evaluación idéntica en las oraciones literales, absurdas y literarias en los tipos FF y FP. A pesar de ello y contrario a lo descrito, las metáforas fueron evaluadas igual que las literales en términos de comprensión, familiaridad, literalidad, sentido y valencia emocional, es decir, las metáforas de movimiento tiempo eran evaluadas como literales por lo tanto no pudo obtenerse una diferencia clara entre este tipo de metáforas y las oraciones literales.

En resumen, las metáforas de tipo *físico – físico* y *físico – psicológico* fueron evaluadas de acuerdo a los requisitos esperados en la categoría metafórica (comprensible, figurada, con



sentido), las oraciones literales también fueron evaluadas como se esperaba (comprensibles, literales, con sentido), y lo mismo en el caso de las oraciones absurdas (no comprensibles, figuradas, poco familiares y sin sentido). En contraste, las metáforas de tipo *movimiento - tiempo* fueron calificadas como literales.

Con respecto a las metáforas de movimiento-tiempo, en la literatura se ha prestado atención a las diferentes expresiones de la vida cotidiana que sugieren la existencia de la metáfora que utiliza el dominio espacio como base conceptual del tiempo (Lakoff & Johnson, 1980). Se ha observado también que una variedad de términos que describen cambios en la posición espacial (e.g., movimiento) también son utilizados para señalar el transcurrir del tiempo, tal como las expresiones “*La semana pasó volando*” o “*El verano llegó y se fue demasiado rápido*” (McGlone & Harding, 1998). Muchos investigadores han notado una correspondencia ordenada y sistemática entre los dominios del tiempo y el espacio en el lenguaje (Lehrer, 1990). Es usual ordenar los eventos temporales utilizando expresiones que provienen del modo en que se ordenan los objetos sobre una línea que tiene una dirección (Lehrer, 1990).

En las últimas tres décadas, se ha sugerido la posibilidad de que los humanos representen el flujo de tiempo en una "línea de tiempo mental" a la que se accede a través de la palabra (Bonato, Zorsi & Umiltà, 2012). Además, la evidencia interlingüística reciente muestra que si las metáforas espaciotemporales difieren, también lo hacen las concepciones del tiempo (Bonato et al., 2012). Existen propiedades universales en el lenguaje para describir el tiempo con respecto al espacio (Clark, 1973). Primero, dado que el tiempo generalmente se concibe como unidimensional, los términos espaciales que se toman prestados son términos unidimensionales (por ejemplo, adelante, atrás, arriba). En segundo lugar, para capturar la secuencia temporal, se usan términos ordenados direccionalmente como enfrente / atrás y antes / después, en lugar de términos simétricos como derecho/izquierdo.

En inglés y en muchas otras lenguas naturales, hay dos sistemas metafóricos espaciales distintos. Uno es la metáfora del movimiento del ego, en la que el hablante se mueve a lo largo del tiempo hacia el futuro y el otro es la metáfora en la que el tiempo se mueve con respecto al hablante que permanece estático y se concibe en el tiempo desde el futuro hasta el pasado (Clark, 1973; McGlone & Harding, 1998). Los dos sistemas conducen a

diferentes asignaciones de adelante/atrás a la línea de tiempo (Clark, 1973; Lakoff y Johnson, 1980; Lehrer, 1990). En el sistema de movimiento del ego, el futuro normalmente se concibe como en el frente y el pasado como atrás. En el sistema de desplazamiento del tiempo, ocurre lo contrario: el tiempo se mueve del futuro al pasado, de modo que los eventos pasados están al frente y los eventos futuros están atrás.

Los sistemas de movimiento del tiempo sugieren que el espacio proporciona un marco que se transfiere al tiempo para facilitar el razonamiento temporal. Tal visión sería consistente con la evidencia de que las representaciones espaciales son abstracciones mentales (Gattis y Holyoak, 1996; Huttenlocher, 1968; Tversky, Kugelmass & Winter, 1991), y más generalmente con evidencia de que las analogías de los dominios concretos se utilizan en el razonamiento sobre dominios abstractos (Bassok y Holyoak, 1989; Gentner y Gentner, 1983; Holyoak y Thagard, 1995).

McGlone y Harding (1998) llevaron a cabo dos experimentos con el objetivo de conocer la comprensión del lenguaje referido al tiempo y el papel que cumple la metáfora conceptual *Espacio-Tiempo*. Estos autores parten de dos perspectivas de movimiento: la primera se basa en que los eventos son estacionarios en relación con un observador en movimiento (la perspectiva del yo móvil) y una segunda en la cual los eventos se mueven en relación con un observador estacionario (la perspectiva de tiempo). Ellos realizaron dos experimentos para investigar el papel de estas perspectivas en la comprensión del lenguaje temporal. El experimento 1 utilizó un paradigma en el que la comprensión de una oración temporal podría verse facilitada o alterada por la perspectiva implícita en el contexto. En el Experimento 2, el contexto anterior fue manipulado de manera para influir en las interpretaciones de los participantes de declaraciones temporales. Los resultados de ambos experimentos sugieren que las personas usan información de perspectiva cuando se encuentran con oraciones del yo en movimiento y del movimiento del tiempo.

Boroditsky (1999) evaluó si en las metáforas el dominio abstracto del tiempo se comprende a partir de un dominio más concreto asociado con el espacio. Para esto diseñó tres experimentos psicolingüísticos que involucraron la respuesta de cuestionarios y la presentación de imágenes. Sus resultados indicaron que la información espacial es útil para pensar el tiempo y que los dominios de espacio y tiempo comparten una estructura

conceptual. Estos resultados proporcionan la primera evidencia empírica para la estructuración metafórica, en el sentido de que los dominios abstractos, como el tiempo, están conformados por asignaciones metafóricas de dominios más concretos como el espacio.

También cabe subrayar la diferencia entre la “percepción” del tiempo y la “conceptualización” del tiempo. La primera hace referencia a los mecanismos biológicos para la sensación del tiempo, la segunda se refiere a la característica de cognición de alto nivel como se observa en humanos, mediada por el lenguaje, la cultura, pero sobre todo relacionada con la experiencia corporal (Nuñez & Coperrider, 2013). Por lo tanto, nuestros resultados sugieren que las metáforas de movimiento-tiempo son evaluadas como literales porque el dominio abstracto del tiempo está organizado y estructurado en términos de sistemas tomados del dominio del espacio más y más fácilmente observable. Es decir, las personas usan conceptos espaciales bien conocidos para pensar en el tiempo y por lo tanto no evalúan estas oraciones como figuradas sino como literales.

En principio, se propuso trabajar con las oraciones tipo físico-físico, físico-psicológico, y movimiento tiempo, con el objetivo de conocer si el DF y el DD de las metáforas de cada tipo implicaban diferentes regiones neurales, ya que se ha propuesto que a edad temprana el sujeto comienza a explicar el mundo a través de la relación entre su experiencia sensorial de los estímulos con otros de la misma índole (“ojos de miel”). Después, las experiencias sensoriales se relacionan con características psicológicas de los seres vivos (“alma de hierro”) y posteriormente, los atributos de las experiencias motoras se atribuyen a la experiencia del paso del tiempo (“Los días corren”) (Lakoff 1980; Özçalışkan, 2005; Carriedo et al., 2015). El objetivo de esta propuesta era conocer el correlato neural de la metáfora entendido como un método de abstracción dependiente del desarrollo psicogenético ya integrado.

Los resultados de la primera fase del estudio indicaron que las oraciones metafóricas de movimiento-tiempo no eran interpretadas como metáforas por nuestros participantes, por lo que decidimos no trabajar con estos estímulos. Asimismo, los resultados de la evaluación de las oraciones literarias también fueron inesperados, pues, aunque se calificaron como oraciones con sentido figurado, en las otras dimensiones se calificaron de manera semejante

a las oraciones absurdas. Es posible que, al extraer estas oraciones de su contexto, perdieran su significado. Al igual que las metáforas de movimiento-tiempo, estas oraciones literarias se excluyeron ya que se distinguían de las oraciones literales en más de una dimensión.

En la segunda etapa de esta fase de estudio se usaron las metáforas físico-físico y físico-psicológico y se trabajó con ambas indistintamente. Se controló el número de palabras y la frecuencia de uso de las palabras en la población hispanohablante en las frases metafóricas y literales. Todo esto con el propósito de que las frases se distinguieran fundamentalmente por su sentido metafórico versus literal y que no variaran en otras dimensiones. Aunque las frases literales se distinguieron de las frases metafóricas claramente en su sentido metafórico, difirieron también en términos de familiaridad, sentido y valencia emocional, aunque en menor grado. Por otra parte, las frases absurdas fueron clasificadas como poco comprensibles, con sentido figurado, como poco familiares y sin sentido.

## **10.2. Tarea de Juicio Semántico**

Se diseñó una tarea para evaluar el tiempo de categorización de frases literales, metafóricas y absurdas. El tiempo de categorización incluía el tiempo de lectura, de comprensión y de selección de la categoría correspondiente. Los resultados mostraron que los participantes tardan más en categorizar una oración como metafórica que como literal y aún tardan más al categorizarla como absurda, sin embargo, los participantes suelen equivocarse más al categorizar frases absurdas en contraste con las frases metafóricas y las frases metafóricas en comparación con las literales. Es posible que esto se deba a que el participante busca darle un sentido a la oración hasta asegurarse de que no lo tiene y entonces clasificarla como metafórica cuando el sentido es figurado o como absurda cuando no lo tiene. Adicionalmente, estos resultados sugieren que el proceso de categorización de frases no literales demanda un mayor procesamiento. En principio estos resultados sugerirían que la comprensión de metáforas novedosas no es un proceso automático.

En la literatura se encuentran estudios que reportan tiempos de respuesta más largos para metáforas que para afirmaciones literales (Ortony et al., 1978; Ahrens et al., 2005; Mashal et al., 2005; Shibata et al., 2007; Lai, Curran & Menn, 2009; Díaz, Barrett & Hogstrom, 2010; Shibata et al., 2012), otros han mostrado que las metáforas se leen tan rápido como

las declaraciones literales (Glucksberg et al., 2003; Rapp et al., 2004; Stringaris et al., 2007; Yang et al., 2009; Bambini et al., 2011). Esta heterogeneidad en los resultados es debida a la diferencia en los métodos empleados. En el presente proyecto se llevó a cabo una tarea de juicio semántico, esto implicó que los participantes recuperaran múltiples asociaciones semánticas al mismo tiempo, compararan diferentes datos semánticos e hicieran una selección / decisión entre diferentes posibilidades (relacionadas o no) (Lee & Dapretto, 2006; Mashal et al., 2007), esto implicaría un conjunto de procesos como la recepción del mensaje, la derivación del enunciado en una interpretación literal, la interpretación en relación con el contexto del enunciado, y la respuesta. En resumen, en las tareas de juicio semántico el procesamiento de las relaciones semánticas es explícito y más complejo que en tareas de comprensión, en las que el participante simplemente indica lo más pronto si comprendió o no una frase, además de que en la literatura se ha propuesto que la heterogeneidad en el tiempo de procesamiento de estímulos metafóricos es dependiente del contexto. Los resultados en el presente estudio mostraron que la comprensión de frases metafóricas requiere mayor tiempo de categorización que frases literales, pero menor tiempo en contraste con frases absurdas. Estos resultados concuerdan con la propuesta de la literatura que sugiere que esto se debe a la forma en que se estructuraron las frases (sólo dos dominios sin contexto), al procesamiento semántico entre dominios de las diferentes categorías y la ausencia de contexto.

Claramente, los experimentos conductuales representan una medida muy robusta, que sugiere los posibles procesos cognitivos que podrían estar involucrados al dar una respuesta como el control inhibitorio, la TdM, la flexibilidad mental y la empatía. Mientras que la fMRI proporciona información sobre los correlatos neuroanatómicos de dicha actividad. Es por eso que un aspecto importante de este estudio incluyó el examinar los correlatos cerebrales y los procesos cognitivos involucrados durante la lectura de frases metafóricas.

### **10.3. Correlato neuronal de la metáfora**

Los resultados del análisis de imágenes de todo el cerebro mostraron que cuando a los sujetos se les presentan frases metafóricas en contraste con frases literales hay aumento en la señal BOLD del GPCi izquierdo y en el GFI bilateralmente. Por otro lado, en el contraste entre oraciones absurdas y oraciones literales encontramos las mismas regiones con la diferencia de que además se encontraron cambios significativos en el giro lingual (Tabla 4 y Figura 9). En función de los resultados de este y otros estudios es claro que, la activación en el GFI izquierdo juega un papel clave en los procesos de comprensión de metáforas (Rapp, 2012; Yang, 2014). El aumento en la señal BOLD en GFI se observó tanto en presencia de frases metafóricas como absurdas cuando se contrastaron con frases literales. La activación bilateral de esta región apoya la propuesta de que mientras el hemisferio derecho hace una búsqueda más amplia de información semántica, el GFI izquierdo media la recuperación y / o selección del conocimiento semántico cercano (Jung-Beeman, 2005; Duncan & Owen, 2000). Estudios previos de neuroimagen (Ahrens et al., 2007; Stringaris, et al., 2007, Rapp et al., 2012; Yang, 2014) sugieren que la activación del GFI es esencial para la comprensión de frases, detección de anomalías semánticas después de la presentación de una declaración ambigua (Hagoort et al., 2004; Zempleni et al., 2007) y durante la construcción de un modelo de la situación (Menenti et al., 2009). Por lo tanto, es concebible que la activación observada en el GFI refleje un intento de resolver frases semánticamente "inesperadas" por recuperación controlada de almacenes semánticos y/o construcción de escenarios plausibles.

Esto también se asocia con nuestro hallazgo de la activación del GPCi, esta región se ha involucrado con el monitoreo de conflictos, en la selección de respuestas, en el control ejecutivo y en la experiencia emocional (Bush, Luu & Posner, 2000). También se ha encontrado que el GPCi se activa durante tareas difíciles que implican la selección de respuestas asociadas a estímulos particulares en condiciones de flujo de información, incluidas las tareas de Stroop, tareas de selección de respuestas verbales y motoras y tareas de memoria de trabajo (Swick & Javanovic, 2002). Chan et al. (2004) investigaron por medio de fMRI, el procesamiento y representación del significado de palabras, presentando palabras con significado preciso o ambiguo. Los resultados mostraron que, en comparación

con las palabras semánticamente precisas, las palabras semánticamente ambiguas activaron el cíngulo anterior y el lóbulo parietal inferior derecho. Sugieren que la parte posterior de la corteza cingulada anterior se involucra en los flujos de información que compiten y comparten el mismo formato representativo, como en el caso de significados que compiten como las ambigüedades léxicas (Chan et al., 2004).

Otra interpretación posible que vale la pena considerar es que la activación de la corteza cingulada anterior refleje el procesamiento emocional. Recientemente se ha argumentado que la porción dorsal-caudal de la corteza cingulada está involucrada en dicho procesamiento (Etkin, Egner & Kalisch, 2018). La literatura cognitiva ha señalado que las expresiones metafóricas se relacionan con la descripción de experiencias emocionales (Kovecses, 2010). Aunque nuestro diseño experimental no fue construido explícitamente para desentrañar el componente emotivo, las metáforas empleadas tenían una valencia connotativa positiva. Es probable que su lectura haya provocado una respuesta emocional más fuerte por los efectos estéticos de este tipo de lenguaje, en comparación con los pasajes literales.

Por otro lado, cuando se contrasta el cambio en la señal BOLD ante la presencia de frases metafóricas más que frases absurdas no se encontraron diferencias significativas para ninguna región, sin embargo, cuando se contrastaron frases absurdas con frases metafóricas se encontró una diferencia en la señal BOLD en el giro fusiforme izquierdo y los giros supramarginales derecho e izquierdo, sugiriendo en un principio que las frases absurdas reclutan más regiones neurales que las frases metafóricas. Proponemos que la activación en áreas cerebrales en el contraste frases absurdas más que frases metafóricas refleja el intento de extraer un significado potencial de las frases, desplegando un extenso mecanismo de búsqueda. Asociado a lo anterior, estudios previos han sugerido que el giro fusiforme está asociado con el reconocimiento de palabras, identificación de categorías (Cohen et al., 2002) y el procesamiento ortográfico de las palabras (Tsapkini, Vindiola & Rapp, 2011). También se ha reportado el cambio en la señal BOLD en el giro fusiforme izquierdo cuando se presentan estímulos anómalos o absurdos en contraste con las metáforas (Stringaris et al., 2006). Por lo tanto, se sugiere que, ante la presentación de frases absurdas

en contraste con frases metafóricas, se reclutan más regiones cerebrales asociadas a la búsqueda de un significado, la representación mental y reconocimiento de palabras.

Por otra parte, la activación de áreas parietales en presencia de metáforas se ha asociado con la representación mental (Bottini et al., 1994, Just et al., 2004, Strinagaris et al., 2006), esto apoya los hallazgos recientes que indican que la evocación de imágenes es un componente importante de la comprensión de la oración y el razonamiento deductivo (Just et al., 2004). Parece que el intento de comprender frases semánticamente absurdas o anómalas implica una estrategia que recluta regiones que detectan errores en la información existente y que procesa representaciones mentales basadas en imágenes.

Por último, se realizó un contraste en el cual se restaba el efecto de frases literales y de frases absurdas a la actividad durante la lectura de las frases metafóricas (Fig. 10). Al hacer este contraste se conservó el aumento en la señal BOLD para el GPCi y GFI bilateralmente, equivalente a lo que se observó cuando las frases metafóricas se contrastaron con las literales. Nuestros resultados al mostrar actividad en GFI bilateralmente apoyan la *“teoría de codificación semántica gruesa”* que sugiere que el HD desempeña un papel importante en la activación de conceptos poco relacionados (Jung-Beeman, 2005). Algunos estudios de lesiones (Winner & Gardner, 1977) y de neuroimagen (Bottini et al., 1994) han sugerido que la comprensión del lenguaje figurado depende del HD, sin embargo, esto es controversial. Algunos investigadores sugieren que el HD está más involucrado en la comprensión de metáforas cuando la activación de conceptos está vagamente relacionada y/o sus campos semánticos son más amplios. (Faust et al., 1995, Yang, 2014).

Adicionalmente, nuestros resultados concuerdan con lo reportado en el meta-análisis de áreas neurales en el procesamiento de metáfora (Yang, 2014), el cual mostró que para tareas de relación semántica hubo mayor actividad en el lóbulo parietal inferior, el giro temporal superior, el GPCi, el GFI izquierdo y derecho. De acuerdo a esto, muchos investigadores sugieren que los diseños de las tareas pueden influir en el procesamiento de metáforas (Rapp et al., 2004; Ahrens et al., 2007; Yang, 2014). Cabe señalar, que de acuerdo a la estructura de nuestros estímulos lingüísticos y al objetivo de evaluar la actividad en el HD elegimos una tarea de relación semántica para examinar la comprensión



de metáforas en fMRI en contraste con las tareas de juicio emocional en la que los participantes deciden si las oraciones tienen una connotación positiva, neutra o negativa. En las tareas de juicio emocional se conoce que provocan una mayor actividad solo en regiones cerebrales izquierdas ya que sus relaciones semánticas no necesitan relacionar sus dominios más bien categorizar de acuerdo a su connotación emocional (Ahrens et al., 2007; Rapp et al., 2004). Por el contrario, en las tareas de relación semántica, se conoce que hay actividad en regiones cerebrales bilateralmente porque los participantes necesitan recuperar múltiples asociaciones semánticas al mismo tiempo, comparar diferentes datos semánticos y hacer una selección / decisión entre diferentes posibilidades (Yang, 2012).

Finalmente, el análisis de conectividad funcional no mostró patrones diferenciales en GFI derecho, ni GFI izquierdo con otras regiones anatómicas distantes. El objetivo de plantear esto, fue buscar la relación funcional entre hemisferios y otras áreas involucradas en la comprensión de los diferentes estímulos lingüísticos. Sin embargo, los resultados sugieren que el GFI asociado a la comprensión de metáforas está especializado y no requiere la coactivación de otras regiones cerebrales. Estos resultados no pueden considerarse definitivos pues es necesario evaluar la co-actividad de otras regiones que tendrá que ser investigada utilizando diferentes técnicas como electroencefalografía o en análisis de conectividad en estado de reposo.

#### **10.4. Procesos cognitivos de la metáfora**

Para tener un acercamiento a los procesamientos cognitivos asociados con la comprensión de la metáfora, se realizó una regresión lineal múltiple entre los valores del  $\% \Delta_{\text{BOLD}}$  en regiones asociadas a la comprensión de metáforas por sujeto y los puntajes en cada prueba de FEs y TdM. Los resultados mostraron que las tareas que evalúan FEs no predicen el aumento en la señal BOLD durante la comprensión de la metáfora. Estos mismos resultados mostraron que los puntajes de “razonamiento de estado mental” que evalúan TdM predicen negativamente hasta el 28% del  $\% \Delta_{\text{BOLD}}$  en el GPCi, GFI izquierdo y derecho durante la presentación de frases metafóricas en contraste con las frases literales. Es decir, entre mayores los puntajes de “razonamiento de estado mental”, menor fue el  $\% \Delta_{\text{BOLD}}$  en las regiones involucradas para la comprensión de la metáfora y viceversa. Asimismo, se

encontró que el 57% del  $\%_{\Delta BOLD}$  en GPCi se explicó a partir de los puntajes de “razonamiento de estado mental” y de “malestar personal” de la tarea del instrumento que evalúa empatía, es decir, entre mayores puntajes, menor actividad en esta región. Los puntajes de “razonamiento de estado mental” se obtuvieron de la prueba de la “Historia Corta” diseñada para evaluar las diferencias individuales en la capacidad de TdM sin sufrir efectos de techo. En esta tarea, los participantes leían una historia corta y se les hacen preguntas que evalúan el razonamiento de estado mental, la inferencia espontánea del estado mental y la comprensión de los aspectos no mentales de la historia (Dodell-Feder et al., 2013). La escala de “Malestar Personal” es una subprueba del IRI que evalúa los sentimientos negativos que el sujeto manifiesta al observar las experiencias negativas de los demás (Fernandez, Dufey, & Kramp, 2011). Los resultados del presente proyecto muestran una relación entre TdM y empatía con la comprensión de metáforas, lo que sugiere que los sujetos que tienen un mayor desarrollo en la habilidad para inferir estados mentales y empatía, presentaban menor cambio de la señal BOLD en las regiones asociadas con la comprensión de la metáfora.

Van den Brink et al. (2012) demostraron que las personas con mayor capacidad de empatía pueden integrar rápidamente información del hablante con el contenido del mensaje, ya que hacen uso de inferencias acerca del hablante para procesar el lenguaje de manera a partir de un concepto, o sensación, previamente adquirida (“top-down”), mientras que las personas con menor capacidad de empatía no utilizan información social implícita en las frases, más busca adquirir mayor cantidad de datos sensoriales del hablante para entender el lenguaje (“bottom-up”).

Recientemente Bowes & Katz (2015) llevaron a cabo tres experimentos que muestran la relación entre la lectura de metáforas y desempeño en la prueba que evalúa TdM. Esta prueba llamada ‘leer la mente en los ojos’ (RMET) consiste en la identificación del estado emocional real de personas a partir de fotografías en blanco y negro de 36 pares de ojos. En el primer experimento a los participantes se les presentaron oraciones metafóricas o literales en contextos cortos y se les hicieron preguntas sobre los personajes en las historias. Descubrieron que en la medida en que los participantes les daban sentido a las metáforas, más altos eran sus puntajes en el RMET. En el segundo experimento, los participantes

crearon contextos ficticios para generar oraciones metafóricas o literales. Esta tarea de escritura fue seguida por el RMET. Los participantes que crearon contextos metafóricos obtuvieron puntuaciones más altas en el RMET. En el tercer experimento, los participantes leyeron oraciones metafóricas o literales sin ningún contexto. Una vez más, los participantes obtuvieron una puntuación más alta en el RMET después de leer oraciones metafóricas en lugar de literales. Estos datos proporcionan evidencia de cómo la metáfora juega un rol especial al orientar hacia el estado mental del otro y favorecer la interacción social.

Las contribuciones de este proyecto fueron la caracterización de una base de estímulos lingüísticos, la demostración de que el procesamiento de la metáfora requiere mayor tiempo de categorización, un mayor número de regiones neurales asociadas con el procesamiento de información semántica y su relación con procesos cognitivos sociales en contraste con estímulos lingüísticos literales. Sin embargo, no encontramos un patrón diferencial en la conectividad funcional para la comprensión de la metáfora. También encontramos una relación entre la empatía y las habilidades para inferir estados mentales con los cambios en la activación cerebral relacionada con comprensión de las metáforas. Este es el primer estudio que evalúa los correlatos neuronales para la comprensión de la metáfora con la técnica de fMRI en hispanohablantes y de acuerdo a lo ya reportado deja claro que el aspecto pragmático del lenguaje es un sistema complejo y multifacético que implica un sustrato neural específico. De este modo la metáfora se utiliza como una estrategia de interacción social y representación mental. La metáfora es una forma alterna de materializar el pensamiento.

## 11. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Aunque los resultados en esta investigación indican una diferencia entre estímulos metafóricos, literales y absurdos en una tarea de juicio semántico y en las áreas neurales implicadas para cada tipo de estímulo, es necesario tomar en cuenta tres limitaciones de este trabajo. La primera es la tarea con la que se evaluó el tiempo de procesamiento, ya que fue una tarea de categorización, que no solo implica la comprensión de la oración, sino también la lectura, el reconocimiento de la oración y la selección de la respuesta. Es posible que una tarea GO/NO GO, permita cuantificar de forma más real el tiempo de procesamiento para cada tipo de oración. La segunda limitación, se refiere a la estructura lingüística, las frases estuvieron formadas por tres palabras, con el objetivo de homogeneizar su estructura gramatical y semántica, sin embargo, sería de gran interés el estudiar estas frases en un contexto y la influencia que en la comprensión de la oración tendría esta información adicional. La tercera limitación está relacionada a la convencionalidad de la metáfora, ya que no se distinguió estrictamente a la metáfora en esta dimensión. En este trabajo se incluyeron metáforas relativamente convencionales y no se particularmente novedosas. En resumen, las limitaciones para del estudio giraron entorno a la convencionalidad, el contexto de la oración y las diferentes tareas para evaluar la comprensión de la metáfora.

Ahora bien, una limitación técnica fue la relacionada con la temporalidad, aunque se realizó un análisis de PPI con la pretensión de contribuir en este aspecto, no se tuvieron resultados positivos. Es así que aún se desconoce qué regiones cerebrales se reclutan a lo largo del tiempo durante la comprensión de textos metafóricos.

Finalmente, estudios como este, se deben complementar con estudios en sujetos con enfermedades neurodegenerativas, psiquiátricas y durante el desarrollo para obtener mayor información sobre las áreas cerebrales y los procesos cognitivos involucrados en la comprensión de estímulos metafóricos.

## 12. CONCLUSIÓN

Los resultados mostraron que las metáforas de tipo físico-físico y físico-psicológico se distinguen claramente de las frases literales, mientras que las metáforas de tipo movimiento-tiempo se califican como si fueran frases literales. Estos resultados pueden estar relacionados con la manera en la que se conceptualiza el tiempo.

La comprensión de frases metafóricas requiere mayor tiempo de categorización que oraciones literales, pero menor tiempo en contraste con frases absurdas, probablemente esto es por un efecto del procesamiento semántico entre dominios, consecuencia del diseño de tarea y la ausencia de contexto.

La comprensión de metáforas en adultos hispanohablantes recluta el GPCi izquierdo, el GFI izquierdo y derecho asociados a procesos cognitivos sociales y al procesamiento de información lingüística, respectivamente. Estos hallazgos concuerdan con lo ya reportado en la literatura, destacando la idea de que HD refleja una búsqueda más extensa de información semántica en la comprensión de la metáfora en adultos hispanohablantes.

No se encontró un patrón de conectividad funcional entre las regiones asociadas a la comprensión de la metáfora, esto podría deberse a que la comprensión de la metáfora no exige el reclutamiento de redes neurales más extendidas.

El resultado del análisis de regresión lineal múltiple mostró que las pruebas que evalúan empatía y teoría de la mente predicen más del 50 % el cambio en la señal BOLD en regiones neurales asociadas a la comprensión de la metáfora, lo que sugiere que los procesos de cognición social juegan un rol más relevante para la comprensión de la metáfora en contraste con el lenguaje literal.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlsén, E. (2006). *Introduction to Neurolinguistics*. John Benjamins. Retrieved from [https://books.google.com.mx/books?id=ziC\\_Dbl4KnIC](https://books.google.com.mx/books?id=ziC_Dbl4KnIC)
- Ahrens, K., Liu, H.-L., Lee, C.-Y., Gong, S.-P., Fang, S.-Y., & Hsu, Y.-Y. (2007). Functional MRI of conventional and anomalous metaphors in Mandarin Chinese. *Brain and Language, 100*(2), 163–171.
- Amador Campos, J. A. (2013). Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV (WAIS-IV). *Facultat de Psicologia. Univ. de Barcelona*, 1–21.
- Amaro, E., & Barker, G. J. (2006). Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition, 60*(3), 220–232.
- Armony, J. L., Trejo-Martínez, D., & Hernández, D. (2012). Resonancia Magnética Funcional (RMf): principios y aplicaciones en Neuropsicología y Neurociencias Cognitivas. *Neuropsicología Latinoamericana . scielopepsic .*
- Bambini, V., Gentili, C., Ricciardi, E., Bertinetto, P. M., & Pietrini, P. (2011). Decomposing metaphor processing at the cognitive and neural level through functional magnetic resonance imaging. *Brain Research Bulletin, 86*(3–4), 203–216.
- Bardolph, M., & Coulson, S. (2014). How vertical hand movements impact brain activity elicited by literally and metaphorically related words: an ERP study of embodied metaphor. *Frontiers in Human Neuroscience*.
- Belinchón, M., Riviére, A. e Igoa, J.M. (1992). *Psicología del lenguaje. Investigación y teoría*. Madrid: Trotta.
- Blasko, D. G. (1999). Only the tip of the iceberg: Who understands what about metaphor? *Journal of Pragmatics, 31*(12), 1675–1683.
- Bonato, M., Zorzi, M., & Umiltà, C. (2012). When time is space: Evidence for a mental time line. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(10), 2257–2273.
- Bornkessel, I., Zysset, S., Friederici, A. D., Von Cramon, D. Y., & Schlesewsky, M. (2005). Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension. *NeuroImage, 26*(1), 221–233.
- Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., ... Frith, C. D. (1994). The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study. *Brain: A Journal of Neurology, 117*(Pt 6), 1241–53.
- Boroditsky, L. (2000). Metaphoric structuring: Understanding time through spatial metaphors. *Cognition, 75*(1), 1–28.
- Bowdle, B. F., & Gentner, D. (2005). The career of metaphor. *Psychological Review, 112*(1), 193–216.
- Bowes, A., & Katz, A. (2015). Metaphor creates intimacy and temporarily enhances theory of mind. *Memory & Cognition, 43*(6), 953–963.

- Bush, G., Luu, P., & Posner, M. (2000). Bush, G., Luu, P., & Posner, M. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 215–222.
- Cacciari, C. (2001). Figurative Thought and Figurative Language, Cognitive Psychology of. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 5632–5637).
- Camarena, J. B. (2014). *Etimologías Grecolatinas*. Grupo Editorial Patria.
- Carriedo, N., Corral, A., Montoro, P. R., Herrero, L., Ballestrino, P., & Sebastián, I. (2016). The Development of Metaphor Comprehension and Its Relationship with Relational Verbal Reasoning and Executive Function. *PLOS ONE*, 11(3), e0150289.
- Chan, A. H. D., Liu, H.-L., Yip, V., Fox, P. T., Gao, J.-H., & Tan, L. H. (2004). Neural systems for word meaning modulated by semantic ambiguity. *NeuroImage*, 22(3), 1128–1133.
- Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehericy, S., Samson, Y., Obadia, M., ... Dehaene, S. (2003). Visual Word Recognition in the Left and Right Hemispheres: Anatomical and Functional Correlates of Peripheral Alexias. *Cerebral Cortex*.
- Clark, H. H. (1973). Space, time, semantics, and the child. Cognitive development and the acquisition of language. In *Cognitive development and the acquisition of language*. (pp. 28–63).
- Clark, H. H. (1996). *Using language*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Cuenca, M. J., & Hilferty, J. (2013). *Introducción a la lingüística cognitiva*. Ariel Letras.
- Diaz, M. T., Barrett, K. T., & Hogstrom, L. J. (2011). The influence of sentence novelty and figurativeness on brain activity. *Neuropsychologia*, 49(3), 320–330.
- Diaz, J. L. (2015). La naturaleza de la lengua. *Salud Mental*. 38(1), 5-14.
- Dodell-Feder, D., Lincoln, S. H., Coulson, J. P., & Hooker, C. I. (2013). Using fiction to assess mental state understanding: A new task for assessing theory of mind in adults. *PLoS ONE*, 8(11).
- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*.
- Eldar, E., Ganor, O., Admon, R., Bleich, A., & Hendler, T. (2007). Feeling the real world: Limbic response to music depends on related content. *Cerebral Cortex*, 17(12), 2828–2840.
- Etkin, A., Egner, T., & Kalisch, R. (2018). Emotional processing in anterior cingulate and medial prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(2), 85–93.
- Escandell Vidal, M. V. (2013). *Introducción a la pragmática*. Barcelona, España: Ariel.
- Fauconnier, G., & Turner, M. (2002). *The way we think: Conceptual blending and the mind's hidden complexities*. New York, NY, US: Basic Books
- Faust, M., Babkoff, H., & Kravetz, S. (1995). Linguistic Processes in the Two Cerebral Hemispheres: Implications for Modularity vs Interactionism\*. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(2), 171–192.

- Fernandez, A. M., Dufey, M., & Kramp, U. (2011). Testing the psychometric properties of the Interpersonal Reactivity Index (IRI) in Chile: Empathy in a different cultural context. *European Journal of Psychological Assessment*, 27(3), 179–185.
- Flores Lázaro, J. C. (2008). Neuropsicología de Lóbulos Frontales, Funciones Ejecutivas y Conducta Humana. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría Y Neurociencias*, 8(1), 47–58.
- Flores-Lazaro, J. C., Castillo-Preciado, R. E., & Jimenez-Miramonte, N. A. (2014). Executive functions development, from childhood to youthhood. *Anales De Psicología*, 30(2), 463–473.
- Friederici, A. D. (2011). The brain basis of language processing: From structure to function. *Physiological Reviews*, 91(4), 1357–92.
- Friston, K. J., Buechel, C., Fink, G. R., Morris, J., Rolls, E., & Dolan, R. J. (1997). Psychophysiological and Modulatory Interactions in Neuroimaging. *NeuroImage*, 6(3), 218–229.
- Friston, K. J., Holmes, A. P., Poline, J.-B., Grasby, P. J., Williams, S. C. R., Frackowiak, R. S. J., & Turner, R. (1995). Analysis of fMRI Time-Series Revisited. *NeuroImage*, 2(1), 45–53.
- Gentner, D., & Bowdle, B. F. (2001). Convention, form, and figurative language processing. *Metaphor and Symbol*, 16(3, 4), 223–247.
- Gentner, D., & Wolff, P. (1997). Alignment in the processing of metaphor. *Journal of Memory and Language*, 37(3), 331–355.
- Gernsbacher, M. A., Keysar, B., Robertson, R. R. W., & Werner, N. K. (2001). The role of suppression and enhancement in understanding metaphors. *Journal of Memory and Language*, 45(3), 433–450.
- Gibbs, R. W. (1994). Figurative Thought and Figurative Language. In *Handbook of Psycholinguistics* (Vol. 411–445, pp. 411–446).
- Gibbs, R. (2001). Evaluating Contemporary Models of Figurative Language Understanding. *Metaphor and Symbol*, 16(3), 317–333.
- Gibbs, R. W., & Colston, H. L. (2006). Chapter 21 – Figurative Language. In *Handbook of Psycholinguistics* (pp. 835–861).
- Giora, R. (2012). *On Our Mind: Salience, Context, and Figurative Language*. *On Our Mind: Salience, Context, and Figurative Language*. Recuperado de <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780195136166.001.0001/acprof-9780195136166>
- Giora, R. (2007). Is metaphor special? *Brain and Language*, 100(2), 111–114.
- Giora, R., & Fein, O. (1999). On understanding familiar and less-familiar figurative language. *Journal of Pragmatics*, 31(12), 1601–1618.
- Giora, R., Zaidel, E., Soroker, N., Batori, G., & Kasher, A. (2000). Differential Effects of Right- and Left-Hemisphere Damage on Understanding Sarcasm and Metaphor. *Metaphor and Symbol*, 15(1–2), 63–83.
- Glucksberg, S., Newsome, M. R., & Goldvarg, Y. (2001). Inhibition of the Literal: Filtering Metaphor-Irrelevant Information During Metaphor Comprehension. *Metaphor and Symbol*, 16(3–4), 277–298.



- Glucksberg, S. (2003). The psycholinguistics of metaphor. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2).
- González-Santos, L., Mercadillo, R. E., Graff, A., & Barrios, F. A. (2007). Versión computarizada para la aplicación del listado de síntomas 90 (SCL 90) Y del Inventario de Temperamento y Carácter (ITC). *Salud Mental*, 30(4), 31–40.
- Greve, D. N. (2002). *Optseq Home Page*. Available online at: <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq> (Accessed March 1, 2018)
- Grice, H., 1975. Logic and conversation. In: Cole, P., Morgan, J. (Eds.), *Syntax and Semantics 3: Speech Acts*. Academic, New York, pp. 41–58.
- Hagoort, P., Hald, L., Bastiaansen, M., & Petersson, K. M. (2004). Integration of Word Meaning and World Knowledge in Language Comprehension. *Science*, 304(5669), 438 LP-441. Retrieved from
- Happé, F. G. E. (1995). Understanding Minds and Metaphors: Insights from the Study of Figurative Language in Autism. *Metaphor and Symbolic Activity*.
- Hoffman, M. L. (2000). *Empathy, Its Arousal, and Prosocial Functioning. Empathy and Moral Development: Implications for Caring and Justice*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2009). *Functional magnetic resonance imaging. Magnetic Resonance Imaging*.
- Jenkinson, M., Beckmann, C., Behrens, T. E., Woolrich, M. W., & Smith, S. M. (2012). FSL. *NeuroImage*, 62, 782–90.
- Jie, Y. (2013). The role of the right hemisphere in metaphor comprehension: A meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies. *Human Brain Mapping*,
- Jung-Beeman, M. (2018). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(11), 512–518.
- Just, M. A., Newman, S. D., Keller, T. A., McEleney, A., & Carpenter, P. A. (2004). Imagery in sentence comprehension: An fMRI study. *NeuroImage*, 21(1), 112–124.
- Kazmerski, V. A., Blasko, D. G., & Dessalegn, B. G. (2003). ERP and behavioral evidence of individual differences in metaphor comprehension. *Memory and Cognition*, 31(5),
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Kilgarriff, A., Baisa, V., Bušta, J., Jakubiček, M., Kovář, V., Michelfeit, J., ... Suchomel, V. (2014). The Sketch Engine: ten years on. *Lexicography*, 1(1), 7–36.
- Kövecses, Z. (2010). Metaphor: A Practical Introduction. *English Linguistics / Journal of the English Linguistic Society of Japan*, 22(1), 205–231.
- Lai, V. T., Curran, T., & Menn, L. (2009). Comprehending conventional and novel metaphors: An ERP study. *Brain Research*, 1284, 145–155.

- Lai, V. T., van Dam, W., Conant, L. L., Binder, J. R., & Desai, R. H. (2015). Familiarity differentially affects right hemisphere contributions to processing metaphors and literals. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 44.
- Lakoff, G. (1974). George Lakoff. *Discussing Language*, 1–25. Retrieved from [http://www.absoluteastronomy.com/topics/George\\_Lakoff](http://www.absoluteastronomy.com/topics/George_Lakoff)
- George Lakoff and Mark Johnsen (2003) *Metaphors we live by* London: The university of Chicago press.  
Noter om layout: Innholdsfortegnelse i Word: Journal of Philosophy.
- Lee, S. S., & Dapretto, M. (2006). Metaphorical vs. literal word meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage*, *29*(2), 536–544.
- McGlone, M. S., & Harding, J. L. (1998). Back (or forward?) to the future: The role of perspective in temporal language comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*.
- Makuuchi, M., Bahlmann, J., Anwender, A., & Friederici, A. D. (2009). Segregating the core computational faculty of human language from working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(20), 8362–8367.
- Mashal, N., & Faust, M. (2009). Conventionalisation of novel metaphors: A shift in hemispheric asymmetry. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, *14*(6), 573–589.
- Mashal, N., Faust, M., Hendler, T., & Jung-Beeman, M. (2007). An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain and Language*, *100*(2), 115–126.
- Mashal, N., & Kasirer, A. (2011). Thinking maps enhance metaphoric competence in children with autism and learning disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, *32*(6), 2045–2054.
- Menenti, L., Petersson, K. M., Scheeringa, R., & Hagoort, P. (2009). When Elephants Fly: Differential Sensitivity of Right and Left Inferior Frontal Gyri to Discourse and World Knowledge. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(12), 2358–2368.
- Mo, S., Su, Y., Chan, R. C. K., & Liu, J. (2008). Comprehension of metaphor and irony in schizophrenia during remission: The role of theory of mind and IQ. *Psychiatry Research*, *157*(1–3), 21–29.
- Monetta, L., & Pell, M. D. (2007). Effects of verbal working memory deficits on metaphor comprehension in patients with Parkinson's disease. *Brain and Language*, *101*(1), 80–89.
- Mossaheb, N., Aschauer, H. N., Stoettner, S., Schmoeger, M., Pils, N., Raab, M., & Willinger, U. (2014). Comprehension of metaphors in patients with schizophrenia-spectrum disorders. *Comprehensive Psychiatry*, *55*(4), 928–937.
- Nathans, L. L., Oswald, F. L., & Nimon, K. (2012). Interpreting Multiple Linear Regression: A Guidebook of Variable Importance. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, *17*(9), 1–19.
- Norbury, C. F. (2005). The relationship between theory of mind and metaphor: Evidence from children with language impairment and autistic spectrum disorder. *British Journal of Developmental Psychology*, *23*(3), 383–399.

- Núñez, R., & Cooperrider, K. (2013). The tangle of space and time in human cognition. *Trends in Cognitive Sciences*.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113.
- Ortony, A. (1979). Beyond literal similarity. *Psychological Review*, 86(3), 161–180.
- Ortony, A. (1993). Metaphor and Thought. *Philosophical Books*, 23(2), 678.
- Özçalışkan, Ş. (2005). Metaphor meets typology: Ways of moving metaphorically in English and Turkish. *Cognitive Linguistics*, 16(1).
- Pallant, J. (2007). SPSS survival manual. *Journal of Advanced Nursing*, 36(3), 478–478.
- Pearce, J. W. (2007). PsychoPy-Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1–2), 8–13.
- Prat, C. S., Mason, R. A., & Just, M. A. (2012). An fMRI Investigation of Analogical Mapping in Metaphor Comprehension: The Influence of Context and Individual Cognitive Capacities on Processing Demands. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 38(2), 282–294.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Premack and Woodruff: Chimpanzee theory of mind. *Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515–526.
- Rapp, A. M., Leube, D. T., Erb, M., Grodd, W., & Kircher, T. T. J. (2004). Neural correlates of metaphor processing. *Cognitive Brain Research*, 20(3), 395–402.
- Rapp, A. M., Mutschler, D. E., & Erb, M. (2012). Where in the brain is nonliteral language? A coordinate-based meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies. *NeuroImage*, 63(1), 600–610.
- Ritchie, L. D. (2004). Metaphors in Conversational Context: Toward a Connectivity Theory of Metaphor Interpretation. *Metaphor and Symbol*, 19(4), 265–287.
- Ritchie, D. (2003). “Argument is War”--Or is it a Game of Chess? Multiple Meanings in the Analysis of Implicit Metaphors. *Metaphor & Symbol*, 18(2), 125–146.
- Rogers, B. P., Morgan, V. L., Newton, A. T., & Gore, J. C. (2018). Assessing functional connectivity in the human brain by fMRI. *Magnetic Resonance Imaging*, 25(10), 1347–1357.
- Roncero, C., & de Almeida, R. G. (2014). The importance of being apt: metaphor comprehension in Alzheimer’s disease *Frontiers in Human Neuroscience*.
- RStudio Team, -. (2016). RStudio: Integrated Development for R. [Online] RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Rundblad, G., & Annaz, D. (2010). The atypical development of metaphor and metonymy comprehension in children with autism. *Autism*, 14(1), 29–46.
- Sampieri, S. (2014). Ciencia y Metáfora. Una Perspectiva desde la Filosofía de la Ciencia. Secretaria de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México

- Searle, J., 1979. Metaphor. In: Ortony, A. (Ed.), *Metaphor and Thought*. Cambridge University Press, New York, pp. 92–123.
- Shamay-Tsoory, S. G., & Aharon-Peretz, J. (2007). Dissociable prefrontal networks for cognitive and affective theory of mind: A lesion study. *Neuropsychologia*, *45*(13), 3054–3067.
- Shibata, M., Abe, J., Terao, A., & Miyamoto, T. (2007a). Neural mechanisms involved in the comprehension of metaphoric and literal sentences: An fMRI study. *Brain Research*, *1166*, 92–102.
- Shibata, M., Abe, J., Terao, A., & Miyamoto, T. (2007b). Neural mechanisms involved in the comprehension -An fMRI study-. *Cognitive Studies: Bulletin of the Japanese Cognitive Science Society*, *14*, 339-353.
- Shibata, M., Toyomura, A., Motoyama, H., Itoh, H., Kawabata, Y., & Abe, J. (2012). Does simile comprehension differ from metaphor comprehension? A functional MRI study. *Brain and Language*, *121*(3), 254–260.
- Stringaris, A. K., Medford, N. C., Giampietro, V., Brammer, M. J., & David, A. S. (2007). Deriving meaning: Distinct neural mechanisms for metaphoric, literal, and non-meaningful sentences. *Brain and Language*, *100*(2), 150–162.
- Swick, D., & Jovanovic, J. (2002). Anterior cingulate cortex and the Stroop task: Neuropsychological evidence for topographic specificity. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1240–1253.
- The Mathworks Inc. (2015). MATLAB (R2015a). *The MathWorks Inc.*
- Tremblay, C., Macoir, J., Langlois, M., & Monetta, L. (2014). The role of polysemy on metaphor comprehension processing: The example of Parkinson’s disease. *Journal of Neurolinguistics*, *30*(1), 1–13.
- Tremblay, C., Monetta, L., Langlois, M., & Schneider, C. (2016). Intermittent theta-burst stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex to promote metaphor comprehension in Parkinson disease: A case study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *97*(1), 74–83.
- Tsapkini, K., Vindiola, M., & Rapp, B. (2011). Patterns of brain reorganization subsequent to left fusiform damage: fMRI evidence from visual processing of words and pseudowords, faces and objects. *NeuroImage*, *55*(3), 1357–1372.
- Van den Brink, D., Van berkum, J. J. A., Bastiaansen, M. C. M., Tesink, C. M. J. Y., Kos, M., Buitelaar, J. K., & Hagoort, P. (2012). Empathy matters: ERP evidence for inter-individual differences in social language processing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *7*(2), 173–183.
- Van den Heuvel, M. P., & Hulshoff Pol, H. E. (2018). Exploring the brain network: A review on resting-state fMRI functional connectivity. *European Neuropsychopharmacology*, *20*(8), 519–534.
- Van Essen, D. C. (2012). Cortical cartography and Caret software. *NeuroImage*.
- Vega, M. y Cuetos, F. (coord) (1999) *Psicolingüística del español*. Madrid: Trotta.
- Vigneau, M., Beaucois, V., Hervé, P. Y., Duffau, H., Crivello, F., Houdé, O., ... Tzourio-Mazoyer, N. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: Phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage*.

- Yang, F. G., Edens, J., Simpson, C., & Krawczyk, D. C. (2009). Differences in task demands influence the hemispheric lateralization and neural correlates of metaphor. *Brain and Language, 111*(2), 114–124.
- Yang, J. (2014). The role of the right hemisphere in metaphor comprehension: A meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies. *Human Brain Mapping, 35*(1), 107–122.
- Wilson, D., & Sperber, D. (2012). Linguistic form and relevance. In *Meaning and Relevance* (pp. 149–168).
- Winner, E., & Gardner, H. (1977). The comprehension of metaphor in brain-damaged patients. *Brain, 100*(4), 717–729.
- Worsley, K. J., Liao, C. H., Aston, J., Petre, V., Duncan, G. H., Morales, F., & Evans, A. C. (2002). A General Statistical Analysis for fMRI Data. *NeuroImage, 15*(1), 1–15.
- Zaidel, E., Kasher, A., Soroker, N., & Batori, G. (2002). Effects of Right and Left Hemisphere Damage on Performance of the “Right Hemisphere Communication Battery.” *Brain and Language, 80*(3), 510–535.
- Zempleni, M. Z., Renken, R., Hoeks, J. C. J., Hoogduin, J. M., & Stowe, L. A. (2007). Semantic ambiguity processing in sentence context: Evidence from event-related fMRI. *NeuroImage, 34*(3), 1270–1279.

## 14. ABREVIATURAS

BANFE: Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales

BOLD: Niveles dependientes de oxígeno sanguíneo (Blood Oxygen Level Dependent)

DD: Dominio fuente

DF: Dominio Destino

DS: Desviación estándar

FES: Funciones Ejecutivas

fMRI: Imagen por Resonancia Magnética funcional (functional Magnetic Resonance Image)

FRH: Función de Respuesta Hemodinámica

GFI: Giro Frontal Inferior

GPCi: Giro Paracingulado

HD: hemisferio derecho

HI: hemisferio izquierdo

IRI: Índice de Reactividad Interpersonal

MLG: Modelo Lineal General

PPI: Interacción psicofisiológica (psychophysiological interaction)

ROIs: Región de interés (Region Of Interest)

TdM : Teoría de la mente

WAIS: Escala de Wechsler de Inteligencia para Adultos

%  $\Delta$ BOLD: Porcentaje de cambio en la señal BOLD

## 15. ANEXO: Estímulos lingüísticos.

### **Frases Literales**

Comida salada  
Reloj de oro  
Fruta dulce  
Sábana de algodón  
Camisa de seda  
Copa de cristal  
Espada de plata  
Cubos de hielo  
Chocolates amargos  
Suéter de algodón  
Hoja de papel  
Moneda de plata  
Alfombra de terciopelo  
Blusa de seda  
La fruta dulce  
Telas suaves  
Bebida tibia  
Vestido de terciopelo  
Paletas de hielo  
Falda de algodón  
Hilo de seda  
Varilla de hierro  
Sobre de papel  
Carta de papel  
Agua de jamaica  
Botella de cristal  
Puente de acero

Sobres de papel  
Falda de terciopelo  
Pan de dulce  
Collares de perlas  
Medalla de oro  
Panque de dulce  
Vasos de cristal  
Pista de hielo  
Moneda de plata  
Muro de piedra  
Vaso de cristal

### **Frases Metafóricas**

Dientes de perlas  
Hermana dulce  
Corazón de piedra  
Nubes de algodón  
Flores de oro  
Piernas de acero  
Piel de seda  
Nubes de terciopelo  
Estrellas de cristal  
Piel de papel  
Ojos amargos  
Mirada ardiente  
Sonrisa de hielo  
Nube de leche  
Alma de hierro

Cabello de estropajo  
Ojos de miel  
Mirada amarga  
Voz abrigadora

### **Frases Absurdas**

Gelatina de piedra  
Agua de papel  
Chocolate de acero  
Fuegos fríos  
Escobas de cristal  
Zapatos de miel  
Silla de tambor  
Casas de leche  
Coladera amarga  
Calendario de estropajo  
Candado salado  
Foco de terciopelo  
Banqueta abrigadora  
Pastel de hierro  
Edificio dulce  
Calcetas de acero  
Periódico de perlas  
Lápiz de harina  
Llanta de algodón  
Platos de terciopelo

## 16. APÉNDICE

### Principios básicos de Imagen por Resonancia Magnética Funcional

Resonancia es la capacidad de determinados núcleos atómicos, con número impar de electrones y/o protones, de absorber selectivamente energía electromagnética de radiofrecuencia si se coloca previamente bajo la influencia de un potente campo magnético. Resonancia magnética se refiere al uso de campos magnéticos generados por imanes, tales campos magnéticos son artificiales y de grandes magnitudes que pueden ser manipulados a fin de obtener diferentes propiedades de las imágenes desde la adquisición de los datos (Huettel, Song & McCarthy, 2009).

Así, el campo magnético de gran intensidad (e.g. 3 T) y una señal de radiofrecuencia son los componentes clave de la técnica de fMRI. La fMRI se basa en las propiedades de los átomos de hidrógeno pues tienen un único protón y están en grandes cantidades en los tejidos del cuerpo, pero en diferentes proporciones (e.g. hay más hidrógeno en el líquido cefalorraquídeo que en el parénquima cerebral). El término *spin* se refiere al momento intrínseco de rotación de un núcleo atómico. En este caso el protón del hidrógeno, por ser un número impar de protones, su *spin* es distinto a cero, lo que funciona como pequeños imanes. Además del movimiento de rotación, los protones realizan un movimiento de giro alrededor de la dirección del campo magnético, de tipo cónico, con un cambio en la orientación del eje de rotación, lo que se conoce como precesión. El ángulo de precesión es de 54.7 grados y la frecuencia del movimiento de precesión varía de acuerdo al tipo de átomo y a la intensidad del campo magnético, entre más grande sea el campo magnético mayor será la frecuencia de precesión de los protones del hidrógeno y mayor cantidad de protones se alinearán al campo magnético principal, i.e. al del resonador. En presencia de un campo magnético externo, los protones se alinean a él de manera paralela (baja energía) o antiparalela (alta energía). La magnetización es un vector de dos componentes: longitudinal (paralelo al campo magnético) y transversal (perpendicular al campo magnético). Cuando los protones, dentro de un campo magnético externo, reciben una señal de radiofrecuencia perpendicular al campo magnético y con la misma frecuencia a su frecuencia de precesión, se excitan pues absorben energía sincronizando su precesión.

Cuando la señal de radiofrecuencia se detiene y los protones regresan a su alineación



original liberando energía electromagnética, i.e. fase de relajación, esa energía se capta para la construcción de imágenes formadas por unidades tridimensionales llamadas voxeles. La relajación se puede registrar como relajación longitudinal (T1) y transversal (T2).

De acuerdo a los parámetros que se utilizan para presentar las secuencias de los pulsos de radiofrecuencia, se puede obtener imágenes con diferentes características. Algunos parámetros que se pueden ajustar de acuerdo a las imágenes que se quieren obtener son el intervalo de tiempo entre los pulsos de radiofrecuencia, tiempo de repetición (TR o *time repetition*), y el intervalo entre el pulso de radiofrecuencia y el registro de la señal, tiempo eco (TE o *echo time*).

La fMRI es una técnica que posibilita medir la actividad neurovascular en el cerebro mediante la señal producida por los cambios dependientes del nivel de oxigenación sanguínea (blood-oxygen-level dependent o señal BOLD por sus siglas en inglés). Gracias a la fMRI se han podido identificar asociaciones entre la activación y/o desactivación de áreas cerebrales frente a diferentes estímulos o respuestas durante la realización de tareas cognitivas específicas; entre sus ventajas están la alta resolución espacial y el ser una técnica no invasiva (Rogers et al., 2007; Van den Heuvel, & Hulshoff, 2010).

La conectividad funcional puede analizarse también mediante estudios de fMRI inducidos por una tarea o por estudios con fMRI en estado de reposo (resting state functional connectivity, rsfMR por sus siglas en inglés) posibilitando delimitar redes o circuitos de conectividad funcional completos que a su vez resultan útiles para conocer más a fondo la organización del cerebro (Rogers et al., 2007; Van den Heuvel, & Hulshoff, 2010). La conectividad funcional se define como la dependencia temporal de la actividad neuronal entre regiones cerebrales anatómicamente separadas (Rogers et al., 2007). El fundamento de la técnica de fMRI se basa en el hecho de que las células requieren glucosa y oxígeno que reciben del torrente sanguíneo. Durante la actividad celular incrementa el flujo sanguíneo local (acoplamiento neurovascular) y los niveles de oxi-hemoglobina (dimagnética) respecto a la desoxi-hemoglobina (paramagnética). Las diferencias en el aumento de oxihemoglobina respecto a la desoxihemoglobina se detectan con imágenes potenciadas a T2\*, Los valores en el tiempo de relajación T2\* dependen de las

inhomogeneidades del campo magnético, (Armony, Trejo-Martínez, & Hernández, 2012).

Por lo tanto esta señal BOLD producida se utiliza para comparar la señal en una misma región bajo dos condiciones, una de reposo y otra de actividad de la cual se obtienen valores diferentes.

El cambio en la señal BOLD asociado a la actividad neuronal se denomina Función de Respuesta Hemodinámica (FRH) (Amaro & Barker, 2006). Se sabe que entre la actividad neuronal y el cambio en el flujo sanguíneo transcurren entre 1-2 segundos después de haber sido iniciada la actividad neuronal (Friston et al., 1995; Armony et al., 2012), La función de la respuesta hemodinámica consta de un breve descenso de la señal BOLD al inicio (*initial dip*) entre 1 y 2 segundos, seguido de un aumento máximo a los 6 segundos después de la presentación del estímulo, para finalizar con un descenso de la señal, inferior a la línea base (*undershoot*), restableciéndose a niveles de la línea base a los 12-24 segundos, causando el aumento del contraste BOLD provocado por la disminución de la deoxihemoglobina (Fig. 13).

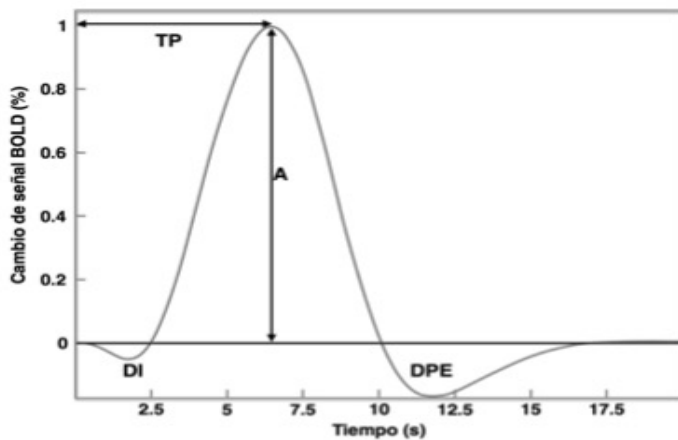


Figura 13. Función de Respuesta Hemodinámica (FRH). DI = Depresión inicial; TP = Tiempo desde el estímulo hasta el pico de la respuesta; A = Altura del cambio de señal; DPE = Depresión post-estímulo. Tomado y modificado de Poldrack, Mumford, & Nichols, 2011.

Una vez que las imágenes son adquiridas, los datos son analizados para obtener las regiones cerebrales implicadas para la tarea en estudio. El procesamiento y análisis de las imágenes comprende varias etapas. La primera consiste en un preprocesamiento que incluye la corrección temporal de la adquisición, para reducir el sesgo temporal del tiempo de adquisición inicial; corrección de movimiento, para corregir los movimientos involuntarios de la cabeza durante estudio; co-registro, para determinar las transformaciones espaciales necesarias para obtener puntos homólogos; segmentación, para asignar a cada pixel una clasificación del tipo de tejido que representa; Normalización espacial, para hacer

corresponder con un espacio anatómico estándar; suavizado, para eliminar falsos positivos y mejorar la proporción señal a ruido en las imágenes.

Posteriormente se utilizan procedimientos estadísticos para determinar la variación de la señal entre los elementos volumétricos (vóxel). El proceso estadístico utilizado más común es el denominado MLG, el cual requiere dos aspectos fundamentales para la construcción de la matriz de diseño. El primero es el tiempo de estimulación (modelo al que se ajustarán los datos). El segundo, la especificación de la FRH. En esta última cada vóxel es tratado como un sistema linealmente independiente invariante en el tiempo, con lo cual se obtiene la forma esperada de la respuesta.

De esta forma se obtiene una matriz de diseño, con valores retrasados y suavizados respecto al vector de estímulos. Ahora bien, se debe definir el contraste, correspondiente a los pesos asignados a los parámetros estimados, para que al modificar el valor del contraste se pueda visualizar cada estímulo y realizar una prueba estadística. Este análisis estadístico se llama de primer nivel y se realiza de manera individual en cada conjunto de imágenes adquiridas por sujeto. En el análisis de segundo nivel, se promedian los mapas estadísticos de cada uno de los sujetos de cada grupo y se describen los voxeles estadísticamente significativos, adquiriendo un mapa de parámetros estadísticos por grupo.

En fMRI, se requiere de un paradigma, que hace referencia a la tarea que el sujeto ejecutará dentro del equipo de resonancia magnética, el cual mostrará durante la prueba una zona cerebral activa con respecto a un estado base. Existen dos categorías de paradigmas de acuerdo a su diseño: diseño por bloques y relacionado a eventos. En diseño por bloques, las condiciones experimentales se organizan por bloques alternándose a intervalos regulares y se modela para bloque completo, mientras el diseño relacionado a eventos consiste en presentar las condiciones experimentales como eventos únicos, de duración corta y aleatoria y se modela para cada evento experimental.