



Estudio de la conectividad funcional cerebral asociada a la comprensión del lenguaje pragmático a través del desarrollo de la infancia a la adolescencia

Norma Edna E. Navarrete Acevedo

Abril, 2019

Comité Tutor

Dra. María Magdalena Giordano Noyola (INB)
Dr. Mario Arturo Rodríguez Camacho (FES-I)
Dr. Luis Concha Loyola (INB)

1- INTRODUCCIÓN: LENGUAJE PRAGMÁTICO, METÁFORA Y DESARROLLO

El componente pragmático del lenguaje se refiere a su función comunicativa. Su comprensión implica no solo entender lo que el otro dice con sus palabras, sino lo que el otro quiere decir, su intención comunicativa (Crespo y Cáceres, 2006), ello involucra la interacción y maduración de procesos cognitivos y emocionales que ocurren hasta el periodo de adolescencia o incluso en la adultez temprana. Uno de los recursos del lenguaje pragmático es el lenguaje figurado, que es un fenómeno lingüístico en que una expresión se utiliza para comunicar un significado distinto al literal. Dentro del lenguaje figurado existen diversos recursos como las metáforas, los proverbios, los refranes, la ironía y la metonimia, entre otros.

La presente investigación aborda una sola de las manifestaciones del lenguaje figurado: la metáfora, la cual puede definirse como la expresión lingüística en la que una determinada entidad se presenta, describe o clasifica a través de la referencia a otra entidad proveniente de una categoría distinta. (Belinchón, 1999). Puede por tanto ser definida como un tipo de analogía, en el que se da un desplazamiento del significado de los términos con una finalidad estética.

Desde el estudio de los procesos de pensamiento, uno de los aspectos más interesantes de este fenómeno es que la palabra metáfora ha llegado a significar un mapeo o proyección de dominios cruzados en el sistema conceptual, ésta es la propuesta de Lakoff (1993) que considera las metáforas, más que como una expresión lingüística, como fenómenos del pensamiento y la razón, un instrumento por el que las personas pueden explicar realidades abstractas e intangibles, proyectando rasgos de elementos que pueden percibir concretamente. Esta proyección es el origen del fenómeno metafórico que opera en el ámbito de la conceptualización, más que del lenguaje en sí.

Nuestro sistema lingüístico está íntimamente relacionado con todo el sistema cognitivo y conceptual con el que se interpreta la realidad, por tanto, la importancia de la metáfora en la cognición humana sería que permite entender información nueva en función de esquemas ya conocidos.

Existen diversos enfoques en el estudio del desarrollo cognitivo, uno de ellos ha sido el de Jean Piaget (1972) fundamentado en su teoría constructivista del aprendizaje. En su propuesta distingue entre cuatro estadios en el desarrollo cognitivo por los que se transita desde el nacimiento hasta la adolescencia. Retomando esta propuesta teórica, es de particular interés para esta investigación la diferencia que existe entre el estadio de las operaciones concretas, que correspondería a la infancia tardía, y el estadio de las operaciones formales, que correspondería con la etapa de la adolescencia. El acceso al razonamiento hipotético deductivo, sería una diferencia distintiva de este estadio con respecto al anterior. Se supone que con el razonamiento hipotético deductivo se posibilita el pensamiento abstracto. Dado que la teoría de Lakoff señala que la metáfora es un medio que permite acceder a la comprensión de conceptos abstractos, y que existen propuestas desde la lingüística que señalan que la comprensión de metáforas es un fenómeno del desarrollo tardío del lenguaje, el presente trabajo tiene como eje central el indagar sobre la comprensión de metáforas a través del desarrollo entre la infancia tardía y la adolescencia y caracterizar su evolución, si es que en efecto tal existe. La evolución de aspectos del desarrollo relacionados a la comprensión del componente pragmático del lenguaje ha sido poco documentada, su abordaje pretende generar conocimiento sobre la interacción entre el lenguaje pragmático, aspectos cognitivos y el funcionamiento cerebral a través del desarrollo entre la infancia tardía y la adolescencia.

2- ANTECEDENTES

Aunque ningún estudio previo ha abordado este tema de forma integral, algunos han evaluado la comprensión de la metáfora en niños, otros los cambios en la conectividad funcional durante el desarrollo y otros más han abordado la comprensión de metáforas y su correlato con la actividad cerebral en adultos. Como parte del proceso de investigación, se ha realizado una revisión sistemática

de la literatura (ver sección de Métodos), que permite considerar que factores cognitivos como funciones ejecutivas, capacidades de mentalización (o teoría de la mente), y habilidades de lenguaje pueden estar relacionados con la comprensión de metáforas. El siguiente es un esbozo de lo que se ha encontrado al respecto en algunas investigaciones y que permite establecer las hipótesis de investigación que guían este trabajo.

2.1- METÁFORA

Según Lakoff y Johnson (1999), la mayor parte de nuestro sistema cognitivo está estructurado metafóricamente. Esto lleva a la identificación de dos características de los procesos cognitivos: la direccionalidad (entender una cosa en términos de otra) y la asimetría (comprender algo más abstracto en términos de algo más concreto). Es así que las metáforas residen y estructuran el pensamiento, pues en el caso de conceptos tan abstractos como la vida y la muerte, la única forma que tiene la mente de entenderlos es a través de un sistema de metáforas. Las metáforas funcionarían como vehículos de la comprensión en los que se une la razón (a través de procesos como la categorización, implicación e inferencia) y la imaginación (ver una cosa en términos de otra). La metáfora por tanto, constituiría un modelo de interacción entre lenguaje y pensamiento.

En este sentido, es posible identificar dos elementos principales en la metáfora: el dominio fuente y el dominio destino. El dominio fuente (DF) es la palabra o concepto de donde se extraerá una o más propiedades, que serán trasladadas al dominio destino (DD), para explicarlo y, de cierta forma, describirlo. Existen tipologías que describen el tipo de traslado conceptual entre los dominios. Por ejemplo:

- Tipología físico-físico: Ambos, el DF y el DD corresponden a conceptos referidos a entidades físicas cuyas características son asequibles a los sentidos humanos. Ej: “cabello de zacate”
- Tipología físico-psicológico: el DF refiere a una entidad física, mientras que el DD lo hace a una psicológica. Ej: “mi dulce hermana” (El DD sería una entidad psicológica porque el concepto “hermana” refiere al carácter o la personalidad de dicho sujeto)
- Tipología movimiento-tiempo: En este caso, para explicar la temporalidad (DD) se utilizan propiedades de tipo espacial o de movimiento en el espacio (DF) más asequibles al entendimiento, porque son experimentables en el mundo físico. Ej: “la noche quedó atrás”.

2.2- FACTORES COGNITIVOS RELACIONADOS CON LA COMPRENSIÓN DE METÁFORAS

Existe evidencia acerca de que las personas con autismo suelen interpretar el lenguaje figurado de manera literal, debido a ello, encuentran muchas dificultades para comprender varios aspectos del lenguaje figurado, entre ellos, la metáfora (Happé 1993, 1995). Por ello, varios estudios sobre comprensión de lenguaje pragmático y, en específico, sobre comprensión de metáforas, se han desarrollado en personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA). Algunos de estos estudios, han vinculado la comprensión metafórica a:

- Habilidades de lenguaje en general
- Funciones Ejecutivas (FE)
- Mentalización (Teoría de la Mente-TdM)

2.2.1- Habilidades de lenguaje en general

Norbury (2005), examinó la comprensión de oraciones con significado léxico doble (como oraciones metafóricas) en cuatro grupos: niños con dificultades del lenguaje, niños con autismo y dificultades de lenguaje, niños con desarrollo típico y niños con autismo y habilidades verbales normales. En este estudio se encontró que los grupos de niños que sufrían alteraciones del lenguaje (con y sin autismo) tuvieron menos éxito para resolver el significado doble de las oraciones. A diferencia de ellos, los niños con autismo, pero con puntuaciones normales en lenguaje mostraron un mejor desempeño en esta prueba, similar al de los niños con desarrollo típico. El estudio propone entonces que, habilidades lingüísticas y un conocimiento semántico extenso predicen el éxito en la comprensión de oraciones con significados múltiples.

2.2.2- Funciones Ejecutivas (FE)

Las Funciones Ejecutivas (FE) pueden definirse como las habilidades para regular el pensamiento y las acciones, tales como la planeación, el control conductual (inhibición), la flexibilidad mental, la memoria de trabajo y la fluidez.

Con respecto a las Funciones Ejecutivas y su papel en la comprensión metafórica, Chiappe y Chiappe (2007) examinaron adultos sanos en tareas de comprender y crear metáforas. Los resultados de su estudio mostraron que algunas FE, como la memoria de trabajo y las habilidades de inhibición influían en el tiempo de comprensión de metáforas, y predecían la calidad de interpretación, así como la diferencia en la calidad de las metáforas creadas.

Según Mashal y Kasirer, (2014) una disfunción en las FE podría afectar la transición de un significado de una palabra o una expresión a otra (en los casos del lenguaje ambiguo o figurativo). Por ello, cuando las acciones que exigen FE y pensamiento verbal fallan, la interpretación se limitará al significado de los ítems léxicos; En otras palabras, solo se ofrecerá un significado literal. Al respecto, se conoce que en las personas con TEA, existen diversos déficit en FE. Uno de los primeros estudios que documentó esto, fue el de Rumsey (1985) que reportaron dificultades significativas en las FE particularmente en flexibilidad cognitiva en participantes con TEA.

La investigación de Mashal y Kasirer en 2014 realizada entre adolescentes con autismo (12-15 años de edad) trató de comprobar la conexión entre la comprensión de metáforas verbales y las FE. Encontraron que las dificultades en FE estaban directamente relacionadas con la capacidad de comprender metáforas, y especialmente, metáforas novedosas. La explicación de los autores considera que la flexibilidad cognitiva se requiere para realizar ambas tareas, --comprensión de metáforas y creación de significados--. En la creación de significados, se requiere flexibilidad cognitiva para activar diferentes significados y pasar de un significado dominante a uno secundario, mientras que al comprender metáforas novedosas, se requiere una conexión semántica entre dos conceptos de diferentes áreas para lograr una nueva interpretación.

2.2.3- Mentalización o Teoría de la Mente (TdM)

La Teoría de la Mente (TdM), también llamada mentalización, es la capacidad de crear representaciones mentales de situaciones experimentadas por otras personas y utilizar estas representaciones para entender, predecir y juzgar las expresiones y el comportamiento durante la comunicación social. Diferentes investigaciones señalan que existe una conexión entre la deficiencia de TdM y la comprensión pragmática en personas con TEA (Bahron-Cohen et al. 1985; Frith 1989).

Varios estudios, entre ellos, el de Bahron-Cohen y cols. (1985) han documentado y estudiado que en personas con TEA se encuentra déficit en los procesos relacionados con la TdM.

Happé (1993) atribuyó el fracaso de los adolescentes con TEA en tareas metafóricas (como completar oraciones con una metáfora) a un déficit en la TdM de primer orden. En un estudio previo, Happé (1991) había examinado la idea de la importancia de la TdM en la comprensión del lenguaje figurado, utilizando un conjunto de viñetas sobre situaciones diarias donde la gente decía cosas que requerían de una interpretación no literal (entre ellas, metáforas). En este estudio se observó que niños con TEA, aun cuando lograban realizar tareas de TdM de segundo orden, no podían proporcionar una explicación de un estado mental para expresiones no literales en las figuras de las historias en comparación con los grupos control de niños con DT y de niños con déficit intelectual.

2.3- ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO CEREBRAL Y SU RELACIÓN CON PROCESOS COGNITIVOS

En el campo de las Neurociencias, la Imagen por Resonancia Magnética (MRI) es una técnica que ha fortalecido el estudio sobre la cognición humana y su relación con el funcionamiento cerebral. El metabolismo cerebral, implica cambios en la concentración de oxígeno de la hemoglobina en ciertas regiones, que en un resonador pueden ser registrados porque generan pequeños cambios en la señal de Resonancia Magnética local, a este fenómeno se le ha denominado señal BOLD (Blood Oxygen Level Dependent), y a partir de ella es posible inferir actividad neuronal en humanos, *en vivo*. (Uludag et al., 2005).

La técnica de Resonancia Magnética aplicada al estudio del funcionamiento cerebral, recibe el nombre de Resonancia Magnética funcional, o fMRI. La fMRI básicamente se puede dividir en dos campos, los estudios que tratan de entender el funcionamiento cerebral a partir de la realización de una tarea experimental en el resonador (fMRI en tarea) y estudios que a través de la correlación, vinculan la conectividad funcional cerebral entre ciertas regiones con capacidades cognitivas que se evalúan mediante instrumentos pertinentes, fuera del resonador. Debido a la ausencia de una tarea dentro del resonador, a este abordaje se le denomina fMRI en estado de reposo.

La fMRI en estado de reposo se basa en el cálculo de la *conectividad funcional*, que se define como la dependencia temporal de patrones de activación neuronal entre regiones cerebrales anatómicamente separadas, lo que refleja el nivel de comunicación funcional entre ellas (Van den Heuvel & Hulshoff, 2011). En 1997, Biswal y sus colaboradores observaron que mediante el análisis de la actividad cerebral de personas en estado de reposo, podía observarse un alto nivel de actividad neuronal espontánea continuada, y que entre regiones cerebrales anatómicamente separadas, era posible observar una intensa correlación entre patrones de esta actividad espontánea si se comparaban series temporales de señal BOLD.

Estudios posteriores (Beckman et al., 2005; Fox & Raichle, 2007; Fox et al., 2005), documentaron la existencia de *redes* de conectividad funcional cerebral. Es decir, regiones que en estudios intersujetos e intrasujetos, consistentemente mostraban conectividad funcional entre ellas. El nivel de conectividad entre dichos conjuntos de regiones ha podido asociarse a determinadas funciones o habilidades específicas, que además en muchos casos e incluso utilizando otras técnicas, se ha encontrado evidencia de que efectivamente tales regiones podrían tener un papel relevante para los procesos descritos.

2.4- COMPRENSIÓN DE METÁFORAS Y FUNCIONAMIENTO CEREBRAL

2.4.1- Activación de Áreas Cerebrales en experimentos de Resonancia Magnética funcional (fMRI) con tarea

Los estudios realizados sobre comprensión de metáforas y funcionamiento cerebral se han realizado en adultos. Un metaanálisis sobre comprensión del lenguaje pragmático y su correlato neural, (Reyes-Aguilar et al., 2018) analizó las áreas cerebrales de activación reportadas en 28 estudios que utilizando neuroimagen, indagaron sobre la comprensión de metáforas implementando una tarea dentro de un resonador.

Las activaciones medias a lo largo de todos los estudios que analizaron la metáfora como forma pragmática mostraron mayor convergencia en el hemisferio izquierdo en tres clústers:

1. el giro frontal inferior (IFG) izquierdo (BA 44) extendiéndose a las regiones temporales, el giro supramarginal y la corteza occipital lateral anterior;
2. la corteza cingulada medial anterior (aMCC) izquierda (BA 24) que se extiende a la corteza prefrontal dorsomedial (dmPFC); y
3. la corteza occipital lateral posterior izquierda (BA 19)

2.4.2- Conectividad Funcional y comprensión de metáforas

La noción de que el procesamiento del lenguaje, y más aún del lenguaje pragmático, implica una complejidad mayor que la participación de regiones cerebrales específicas (Price, 2012), sustenta la inquietud de estudiar la comprensión de metáforas y su relación con la conectividad funcional.

En este sentido, se ha considerado que si la comprensión de metáforas pudiera estar relacionada con los procesos y habilidades que ya se han descrito (habilidades de lenguaje, FE y TdM) entonces la conectividad de las redes cerebrales asociadas a estos procesos, debieran tener correlación también con la comprensión metafórica. Se han documentado vínculos entre:

- La conectividad de regiones frontotemporales con habilidades de lenguaje (Friederici, 2011, Verly, 2014)
- La conectividad de regiones frontoparietales con las Funciones Ejecutivas (Raichle, 2011)
- La conectividad de una así denominada Red de Teoría de la Mente, con los procesos correspondientes (TdM), que involucra principalmente la unión temporoparietal bilateral, el precúneo y la corteza prefrontal medial. (Marchetti, et al., 2015)

Como ya se ha mencionado, los estudios que han analizado la comprensión de metáforas específicamente en relación con el funcionamiento cerebral, han sido realizados en adultos utilizando fMRI con tarea. Estos estudios han tratado de definir qué regiones son las que serían especialmente relevantes para la comprensión de metáforas, restando de los mapas de activación la actividad relacionada con el procesamiento del lenguaje literal o de frases sin sentido, por ejemplo. La revisión de estos estudios¹, permitió identificar que algunas regiones que son relevantes en cuanto a la

¹ (Ahrens et al., 2007; Bambini et al., 2011; Benedek et al., 2013; Chen et al., 2008; Desai et al., 2011; Diaz et al., 2011; Diaz & Hogstrom 2011; Lacey et al., 2012; Lee & Dapretto, 2006; Mashal et al., 2009; Mashal & Faust, 2010; Mejía-Constain et al., 2010; Obert et al., 2014; Shibata et al., 2012; Schmidt & Seger, 2009; Stringaris et al., 2007; Uchiyama et al., 2012; Yang et al., 2008; Yang et al., 2010.)

comprensión metafórica, también son relevantes en su conectividad en alguna o algunas redes de conectividad de las que ya se ha hablado (redes frontotemporales (lenguaje), redes frontoparietales (funciones ejecutivas) y red de Teoría de la Mente. Es decir, que estos estudios permiten pensar que, a nivel de funcionamiento cerebral, el sustrato de la comprensión metafórica podría estar vinculado con la conectividad funcional de estas redes, que a su vez están relacionadas con las habilidades que fundamentarían también dicha comprensión.

Regiones que según la revisión mencionada, tendrían coincidencia con un papel relevante en las redes, así como con la comprensión metafórica son:

Para habilidades de lenguaje (red frontotemporal): En el hemisferio izquierdo, giro frontal inferior (IFG), corteza premotora, giro frontal medial (medFG), giro temporal medio (MTG). En el hemisferio derecho, giro frontal inferior (IFG), giro temporal medio (MTG).

Para Funciones Ejecutivas (redes frontoparietales): En el hemisferio izquierdo, giro frontal inferior (IFG), giro superior frontal (SFG), giro precentral, giro frontal medio, giro frontal medial (medFG), giro temporal medio (MTG), lóbulo inferior parietal, precúneo, giro fusiforme. En el hemisferio derecho: precúneo

Para Teoría de la Mente (red de TdM): En el hemisferio izquierdo: unión temporo parietal (TPJ) (surco temporal superior), precúneo. En el hemisferio derecho: precúneo.

2.4.3- Desarrollo y Conectividad Funcional

Después de la pubertad, ocurre el proceso de poda sináptica, que en el desarrollo cerebral típico, dará como resultado redes cerebrales más especializadas y eficientes, lo que podría explicar un mejoramiento post-pubescente en ciertas habilidades de pensamiento (McGivern et al., 2002).

Estudios sobre la organización funcional cerebral a través del desarrollo han coincidido en que durante la infancia, la organización funcional se caracteriza por más interacciones locales entre las regiones y que con la edad se desplaza a una arquitectura más distribuida que es posible apreciar en los adultos jóvenes. La maduración funcional es impulsada tanto por la segregación de las áreas funcionales cercanas, a través del debilitamiento de las conexiones de corto alcance, y la integración de las regiones distantes en redes funcionales, por el reforzamiento de las conexiones funcionales de largo alcance. (Johnson, 2001; Fair et al, 2007; Fair et al, 2009; Supekar, 2009)

3- JUSTIFICACIÓN

La relevancia del presente estudio está en función de hacer dialogar por lo menos, tres campos de conocimiento: la lingüística, la psicología y la neurociencia, para dar cuenta de un fenómeno del desarrollo tardío del lenguaje que no ha sido suficientemente estudiado y menos aún de manera interdisciplinaria. La comprensión de metáforas como ya se ha mencionado, no solo implica la capacidad de entender una forma lingüística, sino que se enlaza con un sistema de pensamiento (estadio de desarrollo cognitivo, retomando a Piaget) que posibilita el pensamiento abstracto. Visto así, la metáfora vendría siendo una especie de partícula de lenguaje que daría cuenta de la capacidad conceptual de las personas, y estudiar esta capacidad a través de un período crítico para ello que sería el paso de la infancia a la adolescencia, permitiría conocer acerca de los procesos de pensamiento y sus correlatos neurales que nos permiten acceder a la abstracción desde el lenguaje, y con ello al pensamiento complejo.

4- PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Con respecto a la comprensión de metáforas, las preguntas que guían esta investigación son:

1. ¿Qué factores cognitivos son relevantes?
2. ¿Qué áreas cerebrales participan?
3. ¿Cuáles redes funcionales cerebrales están involucradas?
4. ¿Qué cambios en la conectividad funcional cerebral en el desarrollo pueden estar relacionados?

5- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. Identificar factores cognitivos relevantes para la comprensión metafórica
2. Indagar sobre áreas cerebrales relevantes en el procesamiento de metáforas
3. Establecer correlaciones entre la conectividad funcional de redes cerebrales en estado de reposo y la capacidad de comprensión de metáforas
4. Evaluar cambios en la conectividad funcional que puedan relacionarse con la mejora progresiva en la comprensión de metáforas a través del desarrollo de la infancia a la adolescencia

6- HIPÓTESIS

1. La comprensión metafórica tendrá correlación con el desempeño en pruebas que evalúen:

- a. Habilidades de lenguaje en general
- b. Funciones Ejecutivas (FE)
- c. Mentalización (Teoría de la Mente-TdM)

2. La comprensión de metáforas provocará activación relevante de las siguientes áreas cerebrales, principalmente en el hemisferio izquierdo:

- IFG
- Regiones temporales
- Corteza del Cíngulo
- mPFC

3. La capacidad de comprensión de metáforas mostrará relación con la conectividad funcional de las siguientes redes cerebrales en estado de reposo:

- Redes frontotemporales
- Redes frontoparietales
- Red de Teoría de la Mente

4. La capacidad de comprensión de metáforas tendrá relación con cambios en la conectividad funcional cerebral (segregación e integración) a través del desarrollo.

7- MÉTODOS

Ante la carencia de instrumentos que permitieran evaluar la capacidad de comprensión de metáforas en niños y adolescentes hispanohablantes mexicanos, el primer paso de esta investigación ha sido la construcción de un instrumento que permita conocer de forma cualitativa y cuantitativa la forma como niños y adolescentes comprenden metáforas, estableciendo como parámetros de comparación otras expresiones lingüísticas como frases literales, absurdas y símiles. A continuación se presenta de forma resumida la metodología y los resultados obtenidos en la construcción y aplicación de este instrumento al que es posible referirse como Instrumento para evaluar comprensión de metáforas (IECM)

7.1- DISEÑO Y APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO PARA EVALUAR COMPRENSIÓN DE METÁFORAS (IECM)

Previo a la elaboración del IECM y con base en una revisión bibliográfica sistemática se concluyó que solo una de las tareas publicadas podría adaptarse (Norbury, 2005). El problema principal con otras tareas revisadas fue el tipo de construcción de frases que en muchos casos era compleja, es decir, incluía muchas palabras. Por lo tanto su comprensión era difícil de evaluar porque requería de conocimientos contextuales y de vocabulario que no necesariamente los niños y adolescentes que conforman la muestra de este estudio podrían comprender. Un problema asociado era la lengua de origen de los otros estudios, que en la mayor parte de los casos era diferente del español y la traducción no tenía equivalentes al español o resultaba en un sentido diferente al que se buscaba. Por esta razón, para el diseño del IECM se retomaron frases construidas para un estudio realizado sobre comprensión de metáforas en español (Zamora-Úrsulo, 2018) que se estaba realizando simultáneamente en el laboratorio donde se desarrolla el presente estudio. Estas frases fueron utilizadas para los ejercicios 2 y 3 del IECM y habían sido previamente evaluadas en adultos en cuanto a nivel de comprensibilidad, familiaridad, literalidad, sentido y valencia emocional; así como en cantidad de palabras (2 a 4 palabras) y su frecuencia de uso con la herramienta Sketch Engine (Kilgarriff et al., 2014) que proporciona información sobre la frecuencia de uso de palabras basándose en 400 corpus en más de 90 idiomas.

El IECM está compuesto por 4 ejercicios. Se generaron 3 versiones distintas del instrumento manteniendo constante la estructura que se ilustra en la tabla 1 que muestra el esquema general del instrumento, las estrategias y los objetivos de cada uno de los ejercicios. Para cada una de las versiones, el orden en que se presentaron los ejercicios fue aleatorio, con la finalidad de eliminar el efecto de la fatiga. Por razones logísticas, los alumnos de primaria respondieron el instrumento de forma escrita (lápiz y papel), mientras que los de nivel secundaria respondieron una versión computarizada.

Este instrumento es de corte cualitativo con preguntas abiertas en los ejercicios 1 a 3. Para el ejercicio 1, se utilizó el poema “Pelotas” del autor Aramis Quintero (Quintero, 2014). Para los ejercicios 2 y 3 se utilizaron las frases literales, absurdas y metafóricas previamente evaluadas en adultos por Zamora-Úrsulo (2018). El ejercicio 4 se adaptó al español del estudio de Norbury (2005). La imagen del instrumento tal como se aplicó en su versión escrita puede consultarse en el Anexo 1.

Ejercicio	Reactivos	Escala de puntuación	Puntaje máximo	Estrategia	Aspectos a evaluar
1	7	1-3	21	Completar un poema y argumentar sus respuestas	Evaluar las estrategias que utilizan al producir metáforas
2	9 (3 literales 3 metáforas 3 absurdas)	1-3	27	Para cada frase, se les cuestiona sobre: -Veracidad de la frase -Sentido de la frase -Argumento por el que otorgan o no sentido a la frase	Identificar diferencias y coincidencias para distintos tipos de frase en cuanto a: -Juicio de Verdad -Sentido -Argumento
3	6 metáforas (2 físico-físico 2 físico-psicológico 2 movimiento-tiempo)	1-3	18	Para cada frase se les cuestiona sobre las características que extraen del dominio fuente y atribuyen al dominio	Explorar cómo se da el intercambio de dominios
4	18 (6 literales 6 símiles 6 metáforas)	1-0	18	Completar frases eligiendo 1 de 4 opciones posibles	Comparar desempeño entre la comprensión de frases literales, símiles y metáforas
Totales	40		84		

Tabla 1. Estructura General del IECM. Número de reactivos por cada ejercicio, escala de puntuación para cada uno de los reactivos del ejercicio, puntaje máximo a obtener por cada ejercicio, estrategia utilizada y aspectos que evalúa cada ejercicio.

7.1.1- Aplicación del IECM: Participantes

Se contó con la participación de los alumnos de 8 escuelas, 4 de nivel primaria y 4 de nivel secundaria. La tabla 2 sintetiza las principales características de las escuelas participantes. Como puede observarse, la muestra total estuvo compuesta por $n= 898$, de los cuales 428 fueron alumnos de 4° a 6° grado de primaria y 470 fueron alumnos de 1° a 3° de secundaria (rango de edad 9 a 16 años, $\bar{X}=12.08$ años ± 1.92 ; 468 mujeres, 430 hombres). En la figura 1 puede verse que en términos generales la conformación de la muestra con respecto a género, grado y nivel escolar fue equitativa.

Escuela	Nivel	Privada o Pública	Participantes por escuela	Participantes por nivel escolar
1	Primaria	Pública	93	Total de participantes primaria: 428
2	Primaria	Privada	58	
3	Primaria	Pública	253	
4	Primaria	Privada	24	
5	Secundaria	Pública	252	Total de participantes secundaria: 470
6	Secundaria	Privada	40	
7	Secundaria	Privada	66	
8	Secundaria	Privada	112	
número total de participantes, n=			898	

Tabla 2. Características principales de las escuelas que participaron la evaluación del IECM

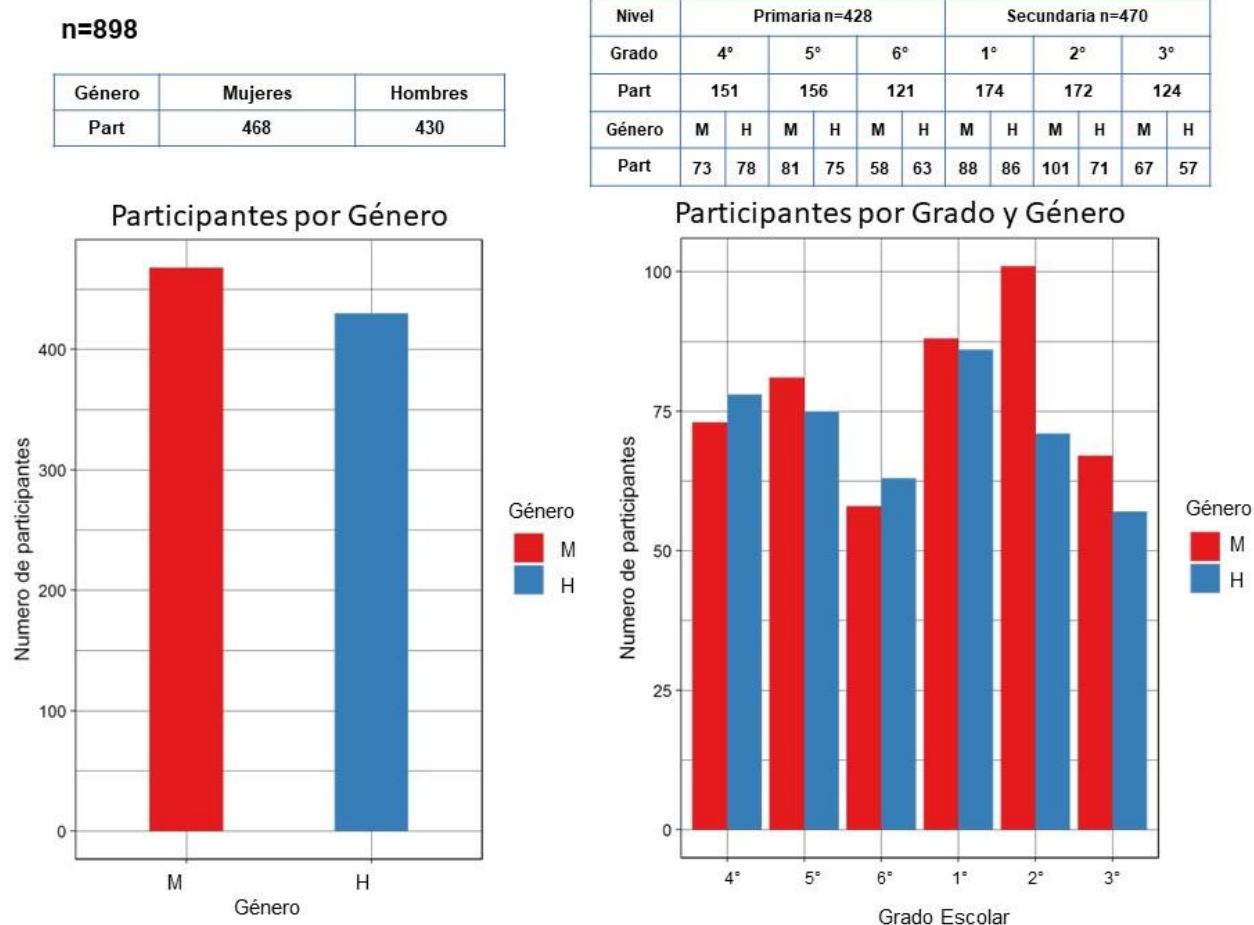


Figura 1. Número de Participantes por Género. Mujeres (M) en rojo y Hombres (H), en azul. A la izquierda se observa la participación por género correspondiente a la muestra total y a la derecha se observa la segmentación por grado y género.

7.1.2- Evaluación y clasificación de las respuestas de los participantes al IECM

7.1.2.1- Clasificación y calificación de las respuestas

Se construyó una base de datos para sistematizar las respuestas de los participantes. Se asignó un valor cuantitativo a las respuestas dadas a cada reactivo para categorizar el tipo de respuestas y poder contar con datos que permitan un análisis cuantitativo de los resultados. Para los ejercicios 1 a 3 se asignó 3 como la puntuación más alta y 1 la puntuación más baja. El puntaje se asignó en función del ajuste de la respuesta al propósito de cada reactivo en cada uno de los ejercicios. Para esto, se consideró también la frecuencia con que se emitían las respuestas (ver ejemplo en figura 2), que se calculó utilizando el paquete `tyditext` del lenguaje de programación R para análisis del lenguaje natural (Silge y Robinson, 2016). Únicamente para el ejercicio 4 el puntaje fue binario (1 o 0) por reactivo, de manera que si se elegía la opción predeterminada como correcta se le asignaba un puntaje de 1 y si se elegía cualquier otra de las 4 opciones, la puntuación era de 0, tal como lo describe Norbury (2005).



Figura 2. Grafica que ilustra la frecuencia de respuestas emitidas de forma espontánea por los participantes, para el ítem 1 del ejercicio 1 del IECM ("El _____ es una pelota de fuego"); así como el nivel de coincidencia en la frecuencia de respuestas dadas entre los dos niveles escolares: primaria (eje horizontal) y secundaria (eje vertical). La frecuencia de cada cuadrante aumenta de forma exponencial, de manera que arriba a la derecha indica una mayor frecuencia (mayor al 10%) y abajo a la izquierda una frecuencia mucho menor (menor al 1%). Mientras más cercanas las respuestas a la línea diagonal se indica una mayor coincidencia entre las frecuencias encontradas en los dos grupos de participantes y cuanto más alejada significa que los grupos difieren en la frecuencia con la que emitieron esas respuestas.

Utilizando los recursos disponibles en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2018) para estadística, se realizaron los siguientes cálculos:

7.1.2.2- Normalidad de la muestra

Previo al análisis de los datos cuantitativos obtenidos de la calificación de los reactivos del instrumento para evaluar comprensión metafórica, se realizaron pruebas para evaluar si la distribución poblacional de las variables (los puntajes de cada uno de los reactivos, puntajes totales por ejercicio y puntajes totales generales) correspondía a una distribución normal. Se realizaron distintas pruebas de normalidad, como Anderson-Darling, Lillefors, Chi cuadrada de Pearson, Shapiro-Francia y Shapiro-Wilk. En todos los casos se rechazó la hipótesis nula de normalidad. Por lo tanto, para los análisis de los datos realizados posteriormente se utilizó estadística no paramétrica.

7.1.2.3- Confiabilidad del Instrumento

Para evaluar la confiabilidad del instrumento, es decir, en qué grado los resultados obtenidos son coherentes y consistentes de manera interna (entre los reactivos que conforman cada ejercicio), se aplicó el método de mitades partidas (split-halves), para los ejercicios 1 y 3. Este método no se aplicó en los ejercicios 2 y 4, porque los reactivos se dividen en 3 categorías: metáfora, absurdo y literal para el ejercicio 2 y metáfora, símil y literal en el ejercicio 4. De tal manera que no es posible dividir en 2 mitades iguales este ejercicio ya que se tratan de categorías distintas. Además se realizó, para cada uno de los 4 ejercicios, el cálculo del coeficiente de confiabilidad alfa de Cronbach, una medida de consistencia interna que evalúa la correlación entre los valores de cada una de las variables (en este caso reactivos).

7.1.2.4- Diferencia entre Géneros y entre Niveles Escolares

Se dividió a la muestra en dos submuestras por el criterio género (femenino y masculino) y se aplicó la prueba U de Mann Whitney (para muestras independientes), para identificar si las medianas de los puntajes obtenidos por cada reactivo, así como los de sumatoria y promedio, diferían significativamente entre ambos géneros. Este mismo procedimiento se aplicó para evaluar las diferencias entre niveles escolares (Primaria y Secundaria).

7.1.2.5- Diferencias entre Grado Escolar, Grupos de Edad y Escuelas

Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para identificar si existen diferencias significativas en el desempeño entre grupos de edad por cada año entre el rango de 9 a 16 años que componen la muestra. Se trató de identificar diferencias entre los grupos en todos los puntajes del IECM. Posterior a esto se usó la prueba de Dunn para identificar diferencias entre pares de grupos. Este mismo procedimiento se repitió para evaluar diferencias por cada grado escolar (de 4º, a 6º y de 1º a 3º de secundaria) y entre los participantes de cada una de las escuelas (4 primarias y 4 secundarias)

7.1.2.6- Diferencias entre condiciones

Se realizó la prueba de Friedman para medidas repetidas para evaluar diferencias en el desempeño entre los puntajes propuestos para las distintas categorías de los ejercicios 2, 3 y 4 del IECM. Para el ejercicio 2 las categorías eran frases literales, absurdas y metafóricas. Para el ejercicio 3 las categorías eran cada una de las tipologías de las metáforas propuestas (físico-físico, físico-psicológico y movimiento-tiempo). Para el ejercicio 4 las categorías eran literal, símil y metáfora.

7.2- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TAREA PARA fMRI

Se realizó una búsqueda de artículos en las bases de datos Web of Science, PubMed y Science Direct para identificar artículos que reportaran tareas aplicadas a niños y adolescentes para evaluar la comprensión de metáforas y su correlato neural utilizando Imagen por Resonancia Magnética (IRM). La búsqueda no arrojó ningún resultado. Por esta razón se buscaron tareas aplicadas en adultos para los mismos propósitos. El meta-análisis de Reyes-Aguilar et al. (2018) realizó un compendio de las tareas aplicadas a lo largo de 28 estudios sobre comprensión de metáforas y su correlato neural en adultos, así se identificaron los principales diseños de tareas que se han implementado dentro de un resonador. Una de las tareas mayormente utilizadas ha sido la de lectura de frases metafóricas y frases literales, para posteriormente evaluar el sentido de dichas frases.

Se decidió por tanto, replicar esta tarea para la población objetivo de esta investigación, realizando todas las adaptaciones necesarias, que fueron las siguientes:

- Utilizar estímulos auditivos para evitar que los tiempos de lectura (diferentes por el nivel de desarrollo de los participantes) influyeran en el desempeño en la tarea.
- Se establecieron tres condiciones para comparar la actividad cerebral asociada a:
 1. Comprensión de frases metafóricas
 2. Comprensión de frases literales
 3. Comprensión de frases absurdas
- Se seleccionaron los estímulos previamente evaluados en el IECM.

Se seleccionaron 63 estímulos (21 metáforas, 21 literales y 21 absurdos) cuyas respuestas en el IECM permitían identificar que tanto niños como adolescentes lograban discriminar las distintas frases.

Se realizó la grabación de los audios utilizando dos voces (femenina y masculina) y se controlaron las diferencias de tono de voz (Hz) y amplitud (dB) por cada una de las condiciones utilizando los programas Audacity® (Audacity Team, 2019) para edición de sonido y Praat (Boersma y Weenink, 2019) para análisis fonético.

Se realizó un pilotaje del funcionamiento de esta prueba utilizando la misma plataforma que se utilizaría para la tarea dentro del resonador (Psychopy3, Peirce et al., 2019). En este piloteo participaron 63 niños y niñas que cursan la primaria. El objetivo de este pilotaje fue el de evaluar los tiempos requeridos por los participantes para la escucha de los estímulos y para emitir una respuesta de forma computarizada sobre si la frase tiene sentido o no.

Se realizó una encuesta a 20 participantes (niños y niñas de primaria) para evaluar las siguientes propiedades de los estímulos:

- Familiaridad
- Sentido
- Valencia Emocional
- Clasificación de las frases

Para esto se aplicó una encuesta utilizando la plataforma Google Forms® en la que se pidió a los niños que calificaran los estímulos mediante una escala tipo Likert de 4 niveles en donde 1 era un nivel bajo y 4 era un nivel alto para cada una de las primeras 3 propiedades. Para la clasificación de los estímulos se evaluó si ésta coincidía con la clasificación predeterminada por el instrumento.

Una vez establecidos los promedios de los tiempos de escucha y tiempos de reacción para emitir una respuesta, se creó un paradigma experimental que se dividió en 3 corridas cada una con una duración de 6 min. En cada corrida se presentan aleatoriamente 21 eventos experimentales (7 frases literales, 7 frases metafóricas, 7 frases absurdas, seleccionados y usados en fases anteriores) utilizando el diseño relacionado a eventos. Los eventos experimentales (audio) se presentan durante 2000 ms, seguidos de una cruz de fijación de 4000 a 8000 ms, y la presentación durante 6000 ms de una pregunta respecto al sentido de la frase presentada anteriormente, (¿tiene sentido?) en la que se debe seleccionar una respuesta (“sí” o “no”) con un par de botoneras compatibles con el resonador que permiten emitir la respuesta. Posteriormente se presenta nuevamente una cruz de fijación con duración de 2000 a 6000 ms. Para la presentación de los estímulos y el registro de las respuestas se utiliza la plataforma Psychopy3 (Peirce et al., 2019). Los audios se presentan de forma balanceada entre voz masculina y voz femenina en cada secuencia. La presentación y duración de los distintos estímulos se optimizó utilizando la herramienta optseq2 (Greve, 2002), para optimización de secuencias de tareas para resonancia magnética funcional. La figura 3 muestra el diseño del paradigma experimental.

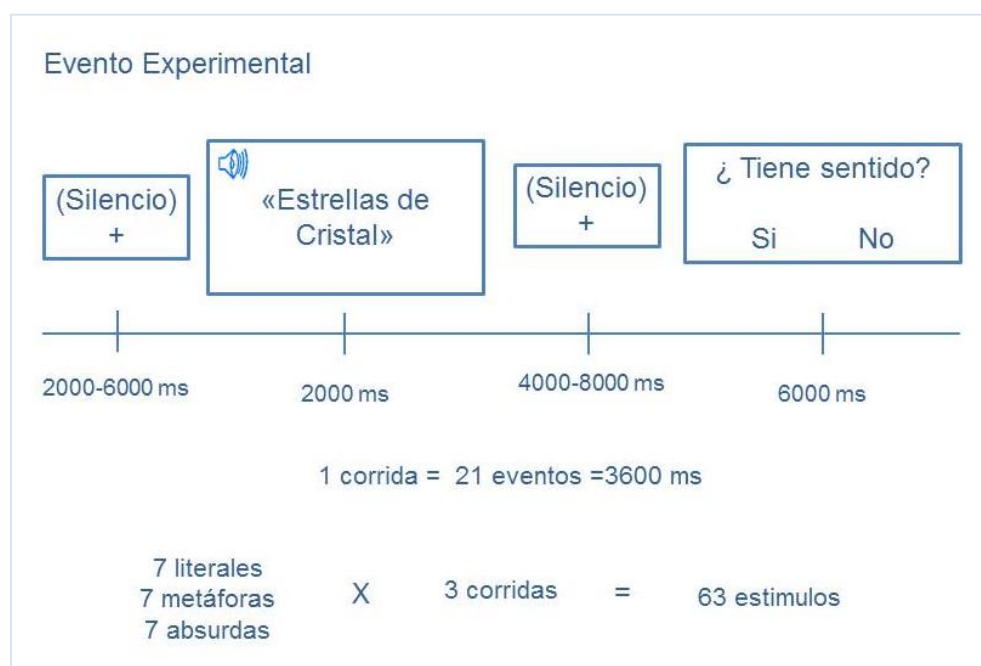


Figura 3. Ejemplo de evento experimental

7.3- PLAN DE TRABAJO A SEGUIR PARA LA CONTINUACIÓN DEL ESTUDIO

Se reclutará una muestra de al menos 30 niños y adolescentes sanos, en un rango de edad de 9 a 16 años, para registro de imagen funcional cerebral por Resonancia Magnética en estado de reposo y en la ejecución de la tarea anteriormente descrita. Además se aplicará una batería de pruebas que incluirá:

a) Evaluación Neuropsicológica Infantil (ENI) (Matute et al, 2007) Dominios:

- Memoria
- Memoria Evocación diferida
- Habilidades Perceptuales
- Lenguaje (repetición, expresión, comprensión)
- Habilidades metalingüísticas

- Lectura (precisión, comprensión, velocidad)
- Escritura (precisión, composición, velocidad)
- Habilidades conceptuales
- Funciones ejecutivas
- Fluidez (verbal, gráfica)
- Flexibilidad cognoscitiva
- Planeación y organización

b) Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales (BANFE) (Flores et al, 2012)

- Metafunciones (metamemoria, comprensión de sentido figurado, actitud abstracta)
- Funciones Ejecutivas
- Memoria de trabajo
- Funciones básicas (control inhibitorio, seguimiento de reglas, riesgo-beneficio)

c) Escala de Inteligencia de Weschler para Niños (WISC) (Wechsler, 1991)

- Razonamiento Verbal
- Razonamiento Perceptual

d) Escala Breve de Inteligencia (SHIPLEY-2) (Shipley, 2014)

- Inteligencia cristalizada
- Inteligencia fluida

e) YONI test para evaluar teoría de la mente (Shamay-Tsoory y Aharon-Peretz, 2007)

Para reclutar a la muestra, se está realizando actualmente un muestreo no probabilístico, realizando invitación a hijos o familiares del personal universitario y en escuelas cercanas al Instituto de Neurobiología. Esto debido a que se requiere que los participantes tengan facilidad para poder asistir a las sesiones de evaluación y de resonancia magnética.

Los criterios de inclusión que se proponen para los participantes son: a) encontrarse cursando un grado escolar acorde a su edad, b) estado físico saludable, c) no presentar problemas en la gestación d) no haber recibido un diagnóstico de problemas de neurodesarrollo, psicológicos, de lenguaje o de aprendizaje, e) contar con el consentimiento informado por escrito con firma de los padres y con la anuencia de los participantes d) No presentar restricciones para estudios de Resonancia Magnética

Se realizará adquisición de datos de imagen del cerebro de estos mismos participantes por resonancia magnética funcional en tarea y en estado de reposo. Los datos de imagen serán analizados por medio de las herramientas FEAT para las secuencias de tarea, e ICA (Análisis de Componentes Independientes) para el estado de reposo ambas pertenecientes a FSL (FMRIB's Software Library) (Jenkinson et al., 2012).

FEAT utiliza el Modelo Lineal General (MLG) (Friston et al., 1995), y permite obtener el análisis estadístico de los cambios hemodinámicos relacionado a eventos incluyendo como regresores explicativos las tres condiciones lingüísticas: literal, metáfora y absurda. Mediante ICA es posible obtener mapas espaciales de las redes de conectividad funcional a nivel individual y de grupo. Posteriormente se realiza un análisis de regresión lineal para identificar las relaciones significativas entre la conectividad funcional de los mapas espaciales seleccionados y las habilidades de los participantes en la comprensión del lenguaje pragmático. Se espera encontrar correlaciones positivas significativas con redes frontotemporales, frontoparietales, y red de teoría de la mente (mentalización).

Durante el proceso de investigación, se analizará el efecto de la edad tanto en el desempeño en la prueba de comprensión metafórica como en la conectividad en las redes identificadas como relevantes.

8- RESULTADOS

8.1- DISEÑO Y APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO PARA EVALUAR COMPRENSIÓN DE METÁFORAS (IECM)

8.1.1 Evaluación y clasificación de las respuestas de los participantes al IECM

8.1.1.1- Confiabilidad del Instrumento

El nivel de confiabilidad obtenido para los ejercicios 1 y 3 del IECM, mediante el método de mitades partidas (split-halves), dio como resultados correlaciones medias y significativas entre los pares de puntajes (pares y nones). Por otra parte, el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de cada ejercicio dio valores de consistencia de media a aceptable. El ejercicio 4 fue el que mostró mayor consistencia. Los valores obtenidos de estos cálculos se muestran en la Tabla 3.

Ejercicio	Mitades partidas		Coeficiente alfa
	ρ	Valor p	
1	0.6570	<2.20e-16	0.6624
2	NA	NA	0.6598
3	0.5498	<2.20e-16	0.6763
4	NA	NA	0.8819

Tabla 3. Resultados de los cálculos realizados para evaluar la confiabilidad de cada uno de los ejercicios que conforman el IECM

Desempeño Global en Comprensión de Metáforas.

Con el fin de agilizar la presentación de resultados, se muestran aquí las diferencias encontradas en los puntajes totales del IECM, sin embargo es necesario reportar que se calcularon diferencias por cada reactivo y puntajes en cada ejercicio.

8.1.1.1- Diferencias entre Géneros

Como puede observarse en la figura 4, se encontraron diferencias significativas en el desempeño global de la prueba entre mujeres y hombres, el grupo de mujeres obtuvo una puntuación más alta que el grupo de hombres.

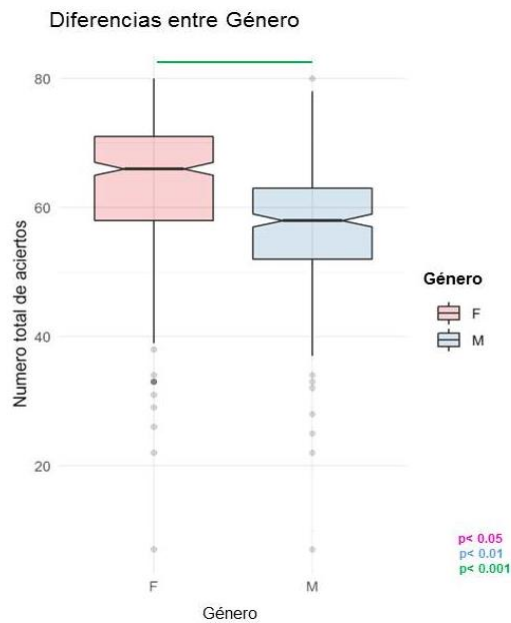


Figura 4. Gráfica comparativa de la diferencia entre géneros encontrada entre las medianas del puntaje total obtenido en el IECM. El color de la línea colocada encima de cada caja y bigote, indica el nivel de significancia de la diferencia. Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes. Mediana: Mujeres-Femenino (F)=66, Hombres-Masculino (M)=58, W=126 530, $p < .001$.

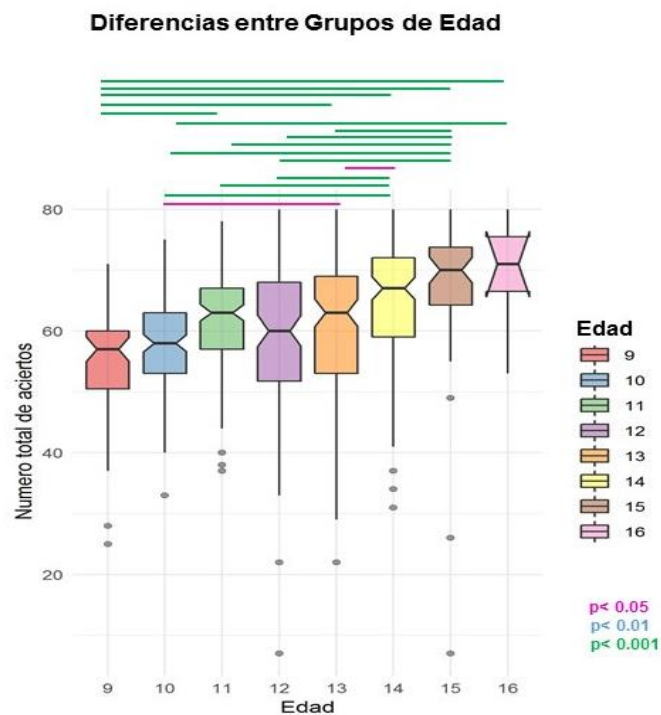


Figura 5. Gráfica comparativa de las diferencias encontradas entre grupos de edad con respecto al puntaje total del IECM. El color de las líneas colocadas por encima de cada caja y bigote indica el nivel de significancia de la diferencia. La línea central de cada gráfica indica el valor de la mediana de cada grupo de edad. $\chi^2 = 138.30$, $gl = 7$, Kruskal-Wallis $p < .001$.

8.1.1.2- Diferencias entre Edad, Grado Escolar y Escuela.

Edad

Se encontraron diferencias significativas entre los grupos, y se observó que la tendencia fue hacia un puntaje más alto en la evaluación conforme aumentaba la edad. También se observó que la mayor parte de las diferencias significativas se encontraban entre grupos de edad distantes, y que esto podría estar en concordancia con diferencias dadas ya fuera por el nivel educativo (entre primaria y secundaria) o por la etapa de desarrollo (entre infancia tardía y adolescencia) o por la interacción entre ambos factores. (Ver figura 5)

Grado Escolar

Es posible observar que en general, las diferencias significativas se dan entre grupos con un diferencia de 2 o más grados escolares (no entre grados escolares sucesivos) (Figura 6).

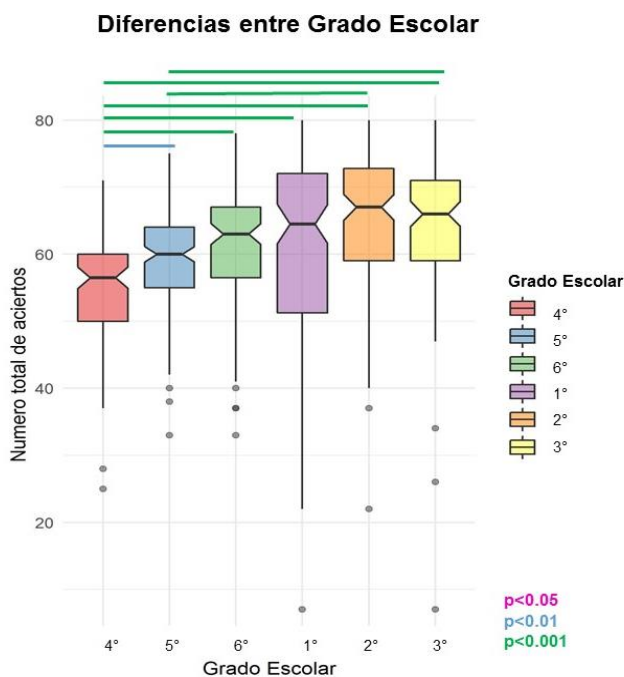


Figura 6. Diferencias encontradas en cuanto al puntaje total del IECM entre grados escolares. El color de las líneas colocadas por encima de cada caja y bigote indica el nivel de significancia de la diferencia. La línea central de cada caja y bigote indica el valor de la mediana de cada grupo de edad. $\chi^2=112.9$, gl= 5, Kruskal-Wallis $p < .001$.

Escuela

Se identificaron diferencias significativas entre escuelas. Es importante recordar que las primeras 4 escuelas corresponden a escuelas primarias y las siguientes 4, son escuelas secundarias (Tabla 1). Con excepción de una de las escuelas secundarias, puede verse que hay una tendencia hacia mayores puntajes en las escuelas de nivel secundaria, en comparación con las de nivel primaria. (Figura 7).

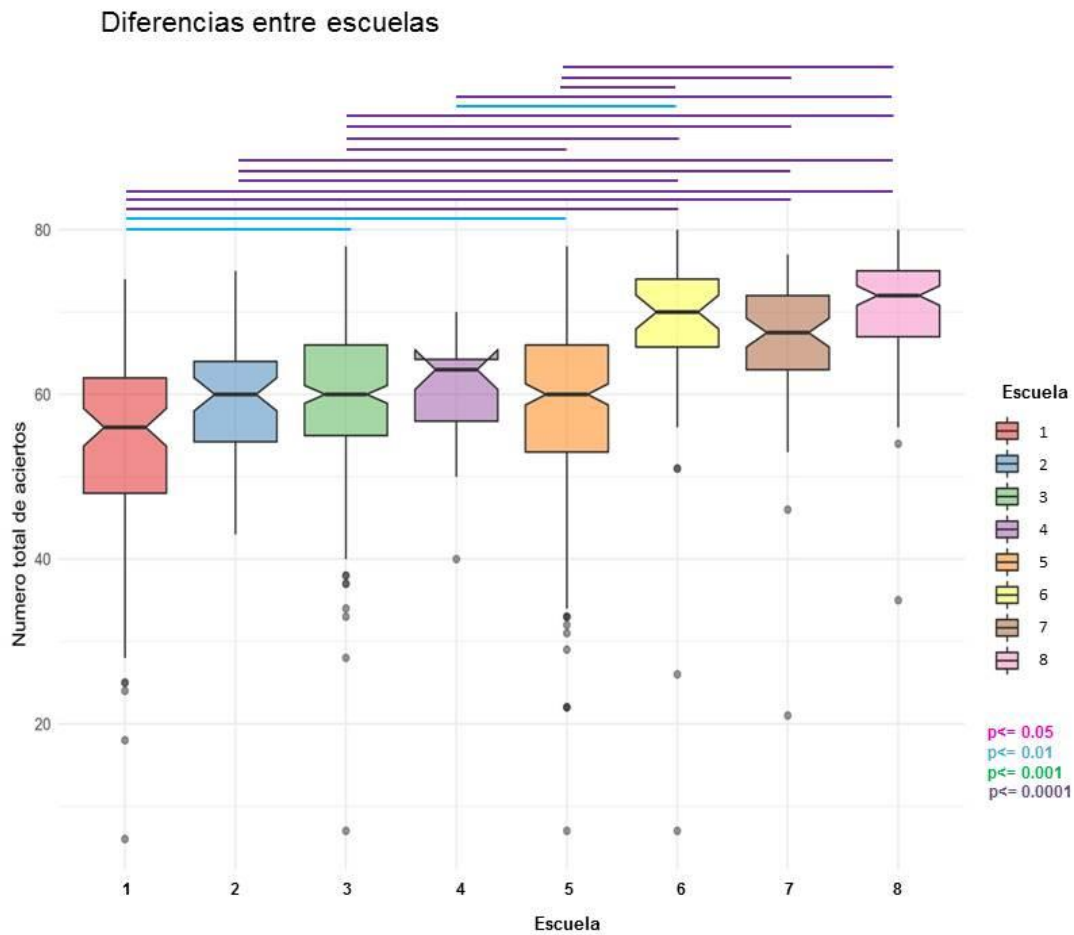


Figura 7. Diferencias encontradas en cuanto al puntaje total del IECM entre Escuelas. Por encima de las cajas y bigotes se muestran las diferencias significativas encontradas, el color de las líneas señala el nivel de significancia. La línea central de cada gráfica indica el valor de la mediana de cada grupo. $\chi^2=222.9$, $gl=7$, Kruskal-Wallis $p < .001$.

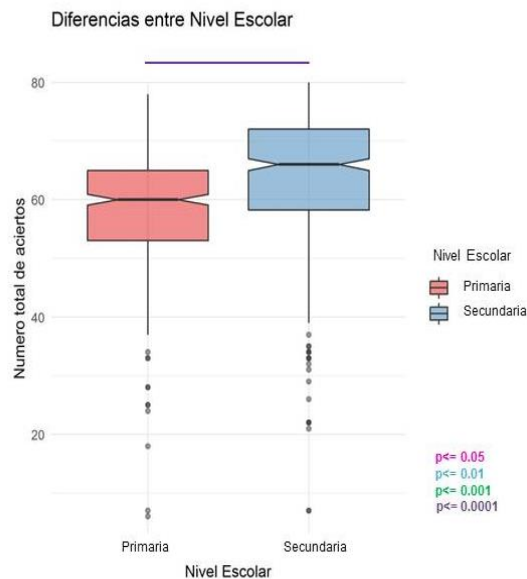


Figura 8. Diferencias encontradas en cuanto al puntaje total del IECM entre Niveles Escolares. El color de las líneas por encima de las cajas y bigotes señala el nivel de significancia. La línea central de cada gráfica indica el valor de la mediana de cada grupo de edad. Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes. Mediana: Primaria 60, Secundaria=66 $W=66733.5$ $p < .0001$

Diferencia entre Niveles Escolares

Dado que las diferencias significativas en general se encontraron entre intervalos no consecutivos, se consideró que al comparar niveles escolares (primaria y secundaria), podría encontrarse una importante diferencia. La figura 8 muestra el resultado de esta comparación, en donde efectivamente se encontraron diferencias significativas. Es evidente un mejor desempeño de los adolescentes de secundaria, con respecto a los niños de primaria.

8.1.2- Evaluación de la comprensión de las diferentes categorías de frases incluidas en el IECM

8.1.2.1- Ejercicio 2. Frases literales, absurdas y metafóricas.

Los resultados de este ejercicio se compararon para identificar el desempeño de los participantes en cada tipo/categoría de frase (condición). Estos resultados se muestran en la figura 9, en donde es posible observar que el desempeño obtenido en las respuestas a las categorías literal y absurdo fueron similares, y que hay una diferencia significativa en el desempeño entre las condiciones literal y metafórica, así como entre la condición absurdo y metáfora.

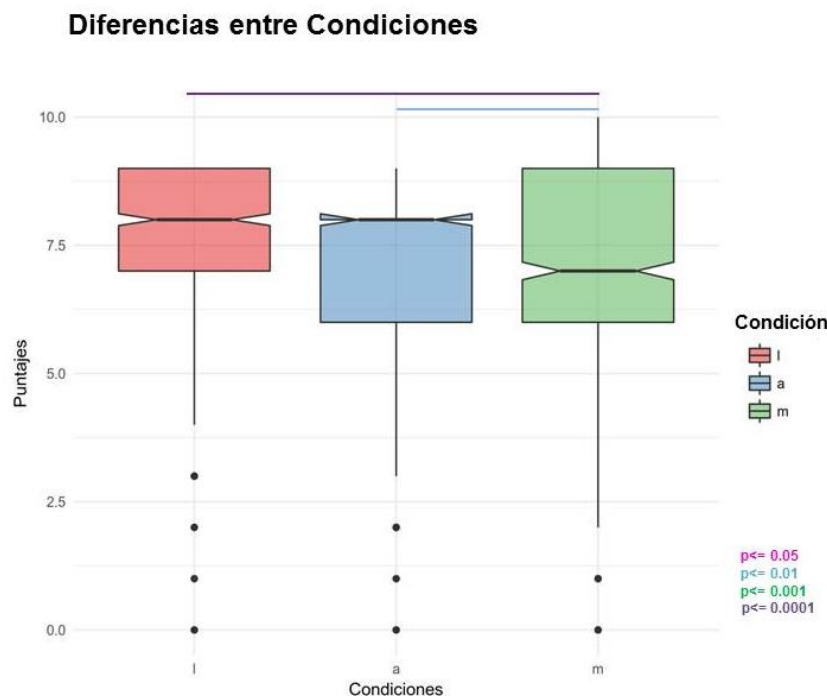


Figura 9. Diferencias en el desempeño en tres categorías del ejercicio 2. Categorías: l= frases literales, a= frases absurdas, m= frases metafóricas. Por encima de las cajas y bigotes se muestran las diferencias significativas encontradas, el color de las líneas señala el nivel de significancia. Friedman $\chi^2 = 121.3$, $gl = 2$, $p < .001$

8.1.2.2- Ejercicio 3. Comprensión de diferentes tipologías de frases metafóricas: físico-físico, físico-psicológico y movimiento-tiempo

Los resultados de la comparación se muestran en la figura 10, en donde se observa que no se encontraron diferencias en el desempeño en ninguna de las 3 tipologías.

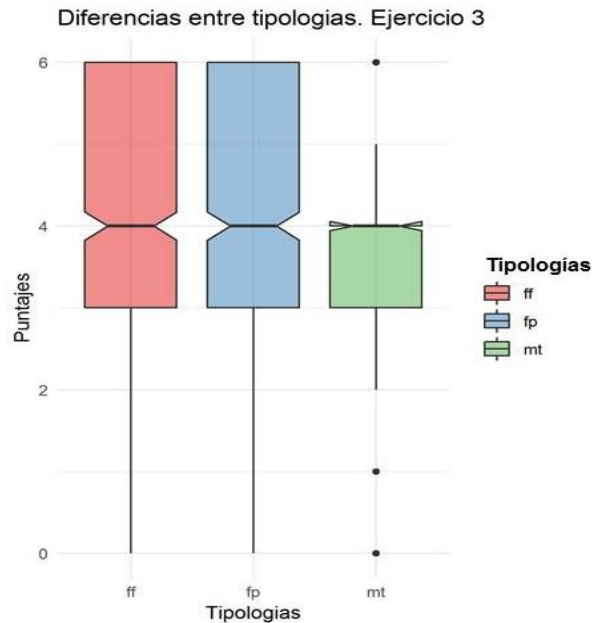


Figura 10. Diferencias en el desempeño en las tres tipologías de metáforas propuestas en el ejercicio 3. Tipologías: ff=físico-físico, fp= físico-psicológico y mt= movimiento-tiempo. En este caso no se encontraron diferencias. La línea central de cada gráfica indica el valor de la mediana.

8.1.2.2- Ejercicio 4. Frases literales, símiles y metafóricas

Ejercicio 4. Literal, Símil y Metáfora

Debido a que estudios como el de Norbury (2005) han reportado un desempeño distinto entre la comprensión de frases de estas tres categorías, literal, símil y metáfora, se evaluó si en este estudio también se encontraban diferencias en su comprensión. Los resultados de esta comparación se muestran en la figura 11, en la que se observan diferencias significativas en el desempeño tanto entre frase literales y frases metafóricas, como entre símiles y metáforas. Estos resultados sugieren que interpretar frases metafóricas resulta un poco más complejo para los participantes que frases literales y símiles, que tienen un nivel de complejidad equivalente. Esto no confirma precisamente lo que se ha observado en otros estudios en los que se propone que la escala de complejidad entre las 3 condiciones sigue una escala creciente: metáfora > símil > literal.

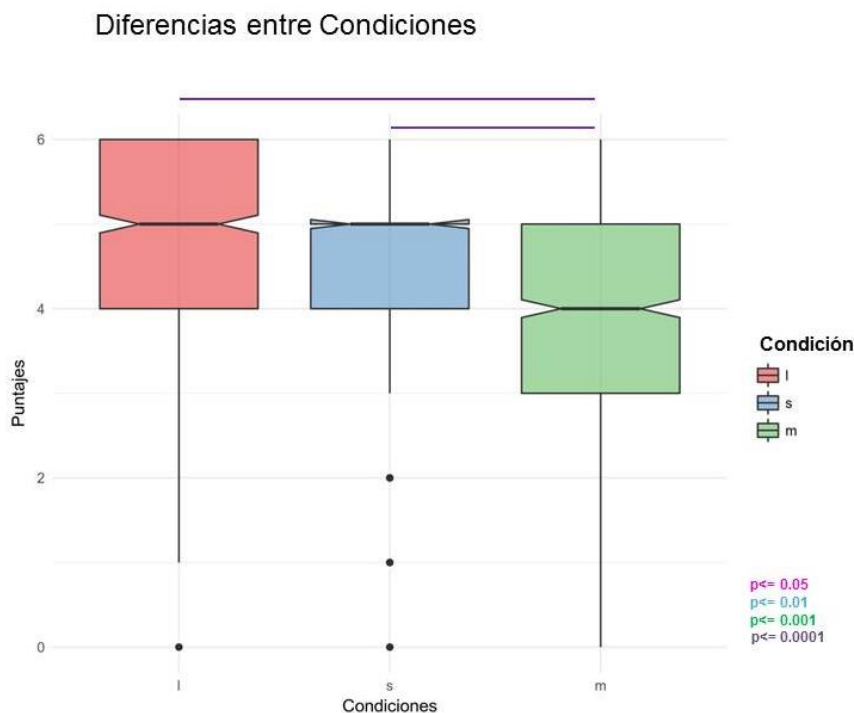


Figura 11. Diferencias en el desempeño en 3 distintas condiciones: l= literal, s=símil y m= metáfora. Por encima de las gráficas se muestran las diferencias significativas encontradas, el color de las líneas señala el nivel de significancia. Friedman $\chi^2 = 150.1$, $gl = 2$, $p < .001$. La línea central de cada gráfica indica el valor de la mediana.

9- CONCLUSIONES PRELIMINARES:

La aplicación del IECM a 898 alumnos de 4º grado de primaria al 1º de secundaria, ha permitido recabar información valiosa sobre la forma como niños y adolescentes acceden a la comprensión del lenguaje figurado, específicamente en lo relacionado a la comprensión de metáforas. Actualmente se cuenta con datos que permiten corroborar o descartar en población mexicana e hispanohablante propuestas teóricas acerca de este así propuesto mecanismo de conceptualización que es la metáfora.

Conforme a lo que otros estudios han propuesto (Morton y Trehub, 2001; Levorato y Cacciari, 2002; Crespo y Cáceres, 2006), los datos aquí contenidos corroboran que existe una mejor comprensión de la metáfora conforme aumenta el desarrollo etario, aunque observamos un indicio de que esto pudiera no ser precisamente gradual, sino que se marca una diferencia entre la infancia tardía y la adolescencia. Esto corresponde con la diferencia mencionada en la introducción, acerca de los dos estadios del desarrollo cognitivo en los que se encontraría cada uno de los grupos de edad. En este caso, podría pensarse que la comprensión metafórica puede ser una tarea con mayor complejidad para los niños que se encuentran en el estadio de las operaciones concretas, que para los adolescentes que se encuentran desarrollando habilidades propias del estadio de las operaciones formales.

A este respecto, cabe mencionar que la información recabada de las evaluaciones cualitativas aplicadas a 898 niños y adolescentes durante esta primera fase de investigación, ha sido tan amplia que brinda material suficiente para analizar más a fondo el discurso de los niños y adolescentes. Por ejemplo, sobre el número y la clase y variedad de palabras que utilizan. Una aproximación a este tipo de análisis ha sido el que se presentó para el ejercicio 1, en donde se han identificado las palabras más frecuentes y la coincidencia o diferencia en el tipo de respuestas que cada grupo emite al construir una frase de tipo metafórico. Con el desarrollo de la investigación, se continuará con estos análisis, a la par

que con la evaluación de los factores psicológicos/cognitivos y del funcionamiento cerebral involucrados en la comprensión de metáforas.

Las distintas comparaciones realizadas en la comprensión de distintos tipos de frases, como en el ejercicio 2 y 4, son evidencia de que como se propone teóricamente (Grice, 1975; Searle, 1993), la comprensión metafórica involucra un procesamiento de la información de mayor complejidad que el que se da al interpretar otro tipo de frases como frases literales y símiles.

En este estudio, se ha observado entonces que entre niños y adolescentes existen diferencias en la comprensión metafórica, y también que ésta resulta más compleja que el procesamiento del lenguaje literal. Ahora bien, más allá de que esto esté relacionado con el nivel de desarrollo cognitivo, el propósito de esta investigación es indagar en una forma más detallada qué factores psicológicos/cognitivos y del desarrollo o funcionamiento cerebral, podrían tener una relación directa con una mejor comprensión metafórica. Las hipótesis formuladas apuntan a que algunos factores psicológicos relevantes podrían ser las funciones ejecutivas, habilidades de teoría de la mente y conocimiento y manejo del lenguaje. También se considera que una mayor conectividad de las redes neuronales en estado de reposo vinculadas a los factores psicológicos antes mencionados podría por tanto vincularse directamente con la capacidad de comprender metáforas. Es por ello que el paso siguiente de este proceso de investigación consiste en la evaluación psicológica y el registro del funcionamiento cerebral ante la resolución de una tarea de comprensión de metáforas, así como en estado de reposo. En el contexto de los estudios sobre el funcionamiento cerebral, la Imagen por Resonancia Magnética (IRM) es una técnica privilegiada para comprender el funcionamiento cerebral en humanos, en vivo (Uludag et al., 2005), por ello, esta es la técnica que se propone para la adquisición de imágenes del funcionamiento cerebral. Además de su alto nivel de resolución espacial, una gran ventaja de esta técnica es que se considera completamente segura para la salud humana.

10- REFERENCIAS

Ahrens K, Liu H, Lee C, Gong S, Fang S, Hsu Y. 2007. Functional MRI of conventional and anomalous metaphors in Mandarin Chinese, *Brain Lang* 100, 163-171.

Audacity Team. 2019. Audacity®: Free Audio Editor and Recorder [Computer application]. Version 2.3.1 retrieved March 20th 2019 from <https://audacityteam.org/>

Boersma P & Weenink D. 2019. Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.50, retrieved 31 March 2019 from <http://www.praat.org/>

Bahron-Cohen S, Leslie A, Frith U. 1985. Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21, 37- 46.

Bambini V, Gentili C, Ricciardi E, Bertinetto P, Pietrini P. 2011. Decomposing metaphor processing at the cognitive and neural level through functional magnetic resonance imaging, *Brain Res Bull* 86, 203-216.

Beckmann CF, De Luca M, Devlin JT, Smith SM. 2005. Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis. *Biol. Sci*, 360,1001-1013.

Benedek M, Beaty R, Jauk E, Koschutnig K, Fink A, Silvia P, et al. 2013. Creating metaphors: The neural basis of figurative language production, *NeuroImage* 90, 99–106.

Belinchón, M. 1999. “Lenguaje no literal y aspectos pragmáticos de la comprensión”. En M. de Vega y F. Cuetos (eds.), *Psicolingüística del español*. Madrid: Editorial Trotta.

Biswal BB, Van Kylen J, Hyde JS. 1997. Simultaneous assessment of flow and BOLD signals in resting-state functional connectivity maps. *NMR Biomed. USA*, 10,165–170.

- Chen E, Widick P, Chatterjee A. 2008. Functional–anatomical organization of predicate metaphor processing, *Brain Lang* 107, 194–202.
- Crespo N. y Cáceres P. 2006. La comprensión oral de las frases hechas: un fenómeno de desarrollo tardío del lenguaje oral. *Revista de Lingüística Teórica y Aplicada*, 44, 77–90.
- Chiappe DL & Chiappe P. 2007. The role of working memory in metaphor production and comprehension. *J Mem Lang*, 56, 172-188.
- Desai R, Binder J, Conant L, Mano Q, Mark S. 2011. The neural career of sensorymotor metaphors. *J Cogn Neurosci* 23, 2376–2386.
- Diaz M, Barrett Kyle T, Hogstrom L. 2011. The influence of sentence novelty and figurativeness on brain activity. *Neuropsychologia* 49, 320–330.
- Diaz M & Hogstrom L. 2011. The influence of context on hemispheric recruitment during metaphor processing. *J Cogn Neurosci* 23,3586–3597.
- Fair D, Dosenbach N, Church J, Cohen A, Brahmbhatt S, Miezin FM, et al. 2007. Development of distinct control networks through segregation and integration. *Proc Natl Acad Sci. USA*,104, 13507–13512.
- Fair D, Cohen A, Power J, Dosenbach N, Church J, et al. 2009. Functional Brain Networks Develop from a Local to Distributed Organization. *PLoS Comput Biol* 5, USA, e1000381.
- Flores JC, Ostrosky-Solís, F, y Lozano, A. 2012. BANFE: Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales. México D.F: Manual Moderno.
- Fox MD & Raichle ME. 2007. Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nat Rev Neurosci. USA*, 8, 700–711.
- Fox MD, Snyder AZ, Vincent JL, Corbetta M, Van Essen DC, Raichle ME. 2005. The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proc Natl Acad Sci USA*, 102, 9673–8.
- Friederici, AD. 2011. The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiol Rev*, 91,1357–1392.
- Friston K, Holmes A, Poline J, Grasby, P, Williams S, Frackowiak R, Turner R. 1995. Analysis of fMRI Time-Series Revisited. *NeuroImage*, 2, 45–53.
- Frith U. 1989. *Autism: explaining the enigma*. Oxford: Basil Blackwell
- Greve D. 2002. Optseq Home Page. Disponible en línea en: <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq> (Acceso Marzo, 2019)
- Grice, H., 1975. "Logic and conversation". In: Cole, P., Morgan, J. (eds.), *Syntax and Semantics 3: Speech Acts*. New York: Academic Press.
- Jenkinson M, Beckmann C, Behrens T, Woolrich M, Smith S. 2012. FSL. *NeuroImage*, 62, 782-790.
- Happé FG. 1991. "The autobiographical writings of three Asperger syndrome adults: problems of interpretation and implications for theory". In Frith U, (ed.). *Autism and Asperger syndrome*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Happé FG. 1993. Communicative competence and theory of mind in autism: a test of relevance theory. *Cognition*, 48, 101-119.
- Happé FG. 1995. Understanding minds and metaphors: insight from the study of figurative language in autism. *Metaphor Symb Act*, UK, 10, 275–295.

- Johnson MH. 2001. Functional brain development in humans. *Nat Rev Neurosci. USA*, 2, 475-83
- Kilgarrieff A, Baisa V, Bušta J, Jakubiček M, Kovář V, Michelfeit, J, et al. 2014. The Sketch Engine: ten years on. *Lexicography*, 1, 7–36.
- Lacey S, Stilla R, Sathian K. 2012. Metaphorically feeling: Comprehending textural metaphors activates somatosensory cortex. *Brain Lang* 120, 416–421.
- Lakoff, G. 1993. “Contemporary Theories of Metaphor” En A.Ortony (ed.) *Metaphor and Thought* (2nd edition). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lakoff, G & M. Johnson. 1999. *Metaphors We Live by*. Chicago: Chicago University Press.
- Lee S & Dapretto M. 2006. Metaphorical vs. literal word meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage* 29, 536 – 544.
- Levorato MC y Cacciari C. 2002. The creation of new figurative expressions: psycholinguistic evidence in Italian children, adolescents and adults. *J Child Lang*, 29, 127- 150.
- McGivern RF, Andersen J, Byrd D, Mutter KL, & Reilly J. 2002. Cognitive efficiency on a match to sample task decreases at the onset of puberty in children. *Brain and Cognition*, 50, 73-89.
- Marchetti A, Baglio F, Costantini I, Dipasquale O, Savazzi F, Nemni R. 2015. Theory of Mind and the Whole Brain Functional Connectivity: Behavioral and Neural Evidences with the Amsterdam Resting State Questionnaire. *Front Psychol*, 6,1855.
- Mashal N, Faust M, Hendler T, Jung-Beeman M. 2009. An fMRI study of processing novel metaphoric sentences, *Laterality* 14, 30-54.
- Mashal N & Faust M. 2010. The Effects of Metaphoricity and Presentation Style on Brain Activation During Text Comprehension. *Metaphor and Symbol* 25,19-33.
- Mashal N & Kasirer A. 2014. “Verbal and Visual Metaphor Comprehension in Autism” In Patel et al. (eds.), *Comprehensive Guide to Autism*, New York: Springer Science+Business Media
- Matute E, Rosselli M, Ardila A, Ostrosky-Solís F. 2007. Evaluación Neuropsicológica Infantil [Child Neuropsychological Evaluation]. México: Manual Moderno UNAM-Univ Guadalajara.
- Mejia-Constain B, Monchi O, Walter N, Arsenault M, Senhadji N, Joannette Y. 2010. When metaphors go literally beyond their territories: The impact of age on figurative language. *Riv. Linguist*, 22, 41–60.
- Morton, JB y Trehub, SE. 2001. Children’s understanding of emotion in speech. *Child Development*, 72, 834-843.
- Norbury CF. 2005. The relation between theory of mind and metaphor: evidence from children with language impairment and autistic spectrum disorder. *Br J Dev Psychol*, 23,383-399
- Obert A, Gierski F, Calmus A, Portefaix C, Declercq C, Pierot L, et al. 2014. Differential bilateral involvement of the parietal gyrus during predicative metaphor processing: An auditory fMRI study. *Brain Lang*, 137, 112–119.
- Peirce J, Gray J, Simpson S, MacAskill M, Höchenberger R, Sogo H, et al. 2019. PsychoPy2: experiments in behavior made easy. *Behav Res Methods*, 51, 195-203
- Piaget, J. 1972. *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós
- Price, CJ. 2012. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 62, 816-847.

- Quintero, A. 2014. Cielo de Agua. México: Fondo de Cultura Económica.
- Raichle M. 2011. The restless brain. *Brain Connect*, 1, 3-12.
- Reyes-Aguilar, A., Valles-Capetillo, E., Giordano, M. 2018. A Quantitative Meta-analysis of Neuroimaging Studies of Pragmatic Language Comprehension: In Search of a Universal Neural Substrate. *Neuroscience* 395, 60–88
- Rumsey JM. 1985. Conceptual problem-solving in highly verbal, nonretarded autistic men. *J Autism Dev Disord*, 15, 23-36.
- Silge J & Robinson D. 2016. “tidytext: Text Mining and Analysis Using Tidy Data Principles in R.” *JOSS* 1 (3). The Open Journal.
- Searle, J., 1993. “Metaphor”. In: Ortony, A. (Ed.), *Metaphor and Thought*. (2nd edition). New York: Cambridge University Press.
- 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 Lang* 121, 254–260.
- Shipley WC, Gruber CP, Martin TA, Klein AM. 2014. Shipley-2: Escala Breve de Inteligencia. México: El Manual Moderno.
- Schmidt G & Seger C. 2009. Neural correlates of metaphor processing: The roles of figurativeness, familiarity and difficulty. *Brain Cogn* 71, 375–386.
- Shamay-Tsoory S & Aharon-Peretz J. 2007. Dissociable prefrontal networks for cognitive and affective theory of mind: A lesion study. *Neuropsychologia*, 45, 3054–3067.
- Stringaris A, Medford N, Giampietro V, Brammer M, David A. 2007. Deriving meaning: Distinct neural mechanisms for metaphoric, literal, and non-meaningful sentences. *Brain Lang* 100, 150–162.
- Supekar K, Musen M, Menon V. 2009. Development of Large-Scale Functional Brain Networks in Children. *PLoS Biol*, USA, 7, e1000157.
- Uchiyama HT, Saito DN, Tanabe HC, Harada T, Seki A, Ohno K, et al. 2012. Distinction between the literal and intended meanings of sentences: a functional magnetic resonance imaging study of metaphor and sarcasm. *Cortex* 48, 563–583.
- Uludag K, Dubowitz D, Buxton R. 2005. Basic Principles of Functional FMRI, pp.249-287.
- Van den Heuvel, P. & Hulshoff Pol, HE. 2011. Exploring the brain network: A review on resting-state fMRI functional connectivity, *Eur Neuropsychopharmacol*, 20, 519-534.
- Verly M, Verhoeven J, Zink I, Mantini D, Peeters R, Deprez S, et al. 2014. Altered functional connectivity of the language network in ASD: Role of classical language areas and cerebellum. *NeuroImage: Clinical*, 4, 374-382.
- Wechsler D. 1991. The Wechsler intelligence scale for children. San Antonio TX: The Psychological Corporation.
- Yang F, Edens J, Simpson C, Krawczyk D. 2008. Differences in task demands influence the hemispheric lateralization and neural correlates of metaphor. *Brain Lang*, 107, 194–202.
- Yang F, Fuller J, Khodapour N, Krawczyk D. 2010. Figurative language processing after traumatic brain injury in adults: A preliminary study. *Neuropsychologia* 48, 1923– 929.
- Zamora-Úrsulo MA. 2018. El correlato neural de la comprensión de la metáfora en adultos hispanohablantes. Tesis de Maestría. Instituto de Neurobiología, UNAM.

11- ANEXOS

Anexo 1. Imágenes de cada uno de los ejercicios que conforman la versión 1 del IECM. Esta fue la forma como se aplicó la versión escrita.

1

Nombre: _____ Edad: _____

Grado Escolar _____ Fecha: _____

Instrucción: Trata de completar el siguiente poema y responde las preguntas.

Pelotas

El _____ es una pelota de fuego

_____ es una pelota de plata

Mi _____ es una pelota de pelos

Mi mamá es una pelota que canta

Mi hermanito es una pelota de gritos

Mi pelota, una pelota cualquiera

Y son tantas que no puedo contarlas

Aramis Quintero

¿La frase "pelota que canta" tiene sentido?

Si () No () ¿Por qué? _____

Explica lo que quiere decir "Mi hermanito es una pelota de gritos"

¿Qué otra cosa podría ser una pelota de pelos? ¿Por qué?

Explica tu respuesta en la frase "pelota de plata"

Nombre _____ Edad _____

Instrucción: Responde a las preguntas sobre las siguientes frases

Frase	Pregunta
Cabello de zacate	¿Cómo es el cabello? _____ _____
Dientes de perlas	¿Cómo son los dientes? _____ _____
Mi dulce hermana	¿Cómo es mi hermana? _____ _____
Sonrisa de hielo	¿Cómo es la sonrisa? _____ _____
La noche quedó atrás	¿Qué ocurrió con la noche? _____ _____
Vendrán tiempos mejores	¿Qué significa esta frase? _____ _____

Nombre _____ Edad _____

3

Instrucción: Responde a las preguntas sobre las siguientes frases

Frase	¿Es posible?	¿Qué significa?	¿Por qué crees que SI o que NO es posible?
Estrellas de cristal	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
Vestidos de tela	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
Zapatos de miel	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
Escultura de piedra	Si () No ()	_____ _____	_____ _____

Frase	¿Es posible?	¿Qué significa?	¿Por qué crees que SI o que NO es posible?
Alma de Hierro	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
Banqueta abrigadora	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
La silla ya llegó	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
Los atletas corren	Si () No ()	_____ _____	_____ _____
El tiempo alcanza	Si () No ()	_____ _____	_____ _____

Nombre _____ Edad _____

Instrucción: Selecciona con una "X" la palabra o frase que complete mejor cada oración

1. Simón ha estado caminando en la nieve por horas, sus pies eran

() sudor () zapatos () hielo () copos de nieve

2. El árbol de mi jardín ha crecido mucho este año, está

() como un castillo () con hojas () largo () alto

3. Mi mamá dejó el pan afuera toda la noche. En la mañana era como

() algo caliente () leche () arena () una piedra

4. Mi amigo de la escuela siempre me protege de los bravucones. Él es como

() un bravucón () un soldado () un sabio () una montaña

5. Laura habla tan suavemente que apenas puedes oírla. Ella es como

() un gato () algo rápido () un ratón () un teléfono

6. Jeny siempre saca buenas calificaciones en sus exámenes. Ella es

() una obrera () inteligente () una deportista () una pluma

7. Mi papá estaba muy enojado cuando llegué tarde a la casa. Él era

() un volcán () una montaña () una tabla () un reloj

8. Peter puede levantar cosas muy pesadas sin ningún problema. Él es

() ágil () fuerte () sano () pesado

9. Nuestra nueva escuela es muy grande y yo siempre me pierdo, es

() un laberinto () un mapa () una cuerda () una red

10. Las uñas largas de July están pintadas de rojo y dorado, son

() coloridas () normales () dibujadas () bonitas

11. Luis siempre está contento y eso hace sentir bien a los demás. Él es como

() un doctor () un sol () un soplón () una lámpara

12. Paty tiene el pelo muy largo y liso. Su cabello es

() un cepillo () rizado () lacio () una sopa

13. Joe pasó mucho tiempo en la alberca. Él es

() una ciruela () un rubí () una pasa () un corcho

14. El nuevo perro de Sam es muy grande, es

() una casa () redondo () un elefante () una tortuga

15. Luisa ha estado gritando y llorando por horas. Ella es como

() una sorpresa () un arcoíris () una tormenta () una fogata

16. La calefacción ha estado prendida por horas, y la habitación está

() como una cobija () caliente () como una parrilla () picosa

17. Kate tiene una linda cara y bonitos ojos. Ella es como

() una obra de arte () un espejo () una estatua () una curiosidad

18. Julián está escondido detrás del árbol sin moverse. Él es

() una pintura () un animal () una estatua () una planta