



Artículo de revisión

Cerebro constructor dinámico de significados: más allá de la lingüística computacional

Brain dynamic builder meanings: beyond computational linguistic

Ronnie Videla Reyes ^{1*} y Nerea Aldunate Ruff ²

1 Escuela de Psicología, Pontificia Universidad Católica de Chile.

2 Escuela de Psicología, Universidad de Santiago de Chile.

Resumen

Desde la aparición del estudio del cerebro a partir de las redes neuronales artificiales de McCulloch & Pitts (1965) y la arquitectura cerebral de Von Neumann (1951), la explicación científica de cómo significamos el mundo sentó sus bases en la metáfora de la mente entendida como cerebro-computador (Chomsky, 1965). Aun cuando el intento de abordar la cuestión del significado desde esta perspectiva fue auspicioso, hoy es posible encontrar obstáculos asociados a la concepción estática de la representación, requiriendo una perspectiva que conciba el cerebro como un constructor dinámico de significados (Varela, Thompson & Rosch, 2005). En este artículo presentamos una revisión de tres paradigmas experimentales que conciben la mente como un sistema dinámico espacio-temporal, donde la neurodinámica, el componente N400 y la neuroimagen son los más utilizados en la actualidad en el estudio del significado.

Palabras clave: significado, neurodinámica, componente N400, neuroimagen

Abstract

Since the emergence of the study of the brain from artificial neural networks McCulloch & Pitts (1965) and brain Von Neumann architecture (1951), the scientific explanation of how mean the world laid its foundations in the metaphor of the mind understood as brain-computer (Chomsky, 1965). Although the attempt to address the question of meaning from this perspective was auspicious, it is now possible to find obstacles associated with static conception of representation, required a perspective that sees the brain as a dynamic builder of meanings (Varela, Thompson & Rosch, 2005). We present a review of three experimental paradigms which conceive the mind as a space-time, dynamic system where neurodynamics, the N400 component and neuroimaging are the most used today in the study of meaning.

Keywords: meaning, neurodynamics, component N400, neuroimaging

Introducción

El objetivo de esta investigación es proporcionar evidencia sobre cómo el cerebro construye significados a partir de la perspectiva neurocognitiva que considera la mente como un sistema dinámico espacio-temporal, en donde los paradigmas experimentales de neurodinámica, componente N400 y neuroimagen se sitúan hoy entre los más utilizados por los científicos cognitivos del mundo, los cuales reafirman lo difícil que se vuelve hoy sostener que el cerebro construye significados a través de reglas lógicas computables (Cornejo, 2008).

En la tradición cognitivista del estudio de la naturaleza física de cómo el cerebro construye significados, los lingüistas computacionales y científicos cognitivos relacionados con el tema afín, desarrollaron la hipótesis que considera al cerebro como un procesador sintáctico de información (Dreyfus, 1979; Fodor, 1983; Searle, 2001). A partir de esta perspectiva, la manera en que el cerebro construye significados quedó supeditada al operar sintáctico del cerebro en la persona, el cual, ante la presencia de un estímulo, reduce el acto semántico a la decodificación y a la representación objetiva del estímulo en la mente (Cosmelli & Ibáñez, 2008). Esta concepción cognitivista lineal de un mundo de significados estáticos, objetivos y en ausencia de contexto, análoga al de las computadoras, parece no corresponder a nuestra experiencia cotidiana en el mundo (Cornejo, 2008; Varela,

1990). Con el objetivo de avanzar más allá del carácter lineal del procesamiento de la información y la construcción estática de un mundo de significados, es que diversos autores del área de las neurociencias cognitivas han sofisticado métodos y técnicas experimentales para aproximarse a una explicación dinámica de la construcción de significado. Considerando los avances en materia empírica de la evidencia en neurociencias cognitivas respecto a ¿cómo el cerebro construye significados? y alcance que puede llegar a tener hoy en la lingüística cognitiva los diversos hallazgos neurocognitivos, es que el presente artículo da cuenta de una revisión de los últimos avances en materia experimental sobre la cuestión, asumiendo la tesis de que el cerebro se comporta análogo a un sistema dinámico espacio-temporal, en donde el procesamiento de información responde más que a un modelo sintáctico de procesamiento, a un modelo no-lineal altamente distribuido en el cerebro. La sofisticación de métodos y técnicas que desde las neurociencias cognitivas han abordado experimentalmente esta pregunta, sugieren evaluar los puntos de encuentro, alcances y obstáculos de estos hallazgos en post de la lingüística cognitiva, pues hoy la evidencia de estos estudios dista mucho de los reportados por la doctrina computacional (Ibáñez, 2008).

¹ Correspondencia: rlvidela@uc.cl.

Hacia una nueva construcción del significado

El estudio del significado ha demarcado el quehacer de la lingüística computacional teorizando y reduciendo éste a su carácter de representación objetiva en la mente del sujeto hablante (Cornejo, 2004). Respecto al estatus epistemológico de la concepción de mente, el significado en la lingüística computacional y la psicología del lenguaje ha incorporado diversas acepciones. Es así como históricamente desde el surgimiento de la Máquina de Turing que incentivó los estudios de McCulloch y Pitts (1965) en redes neuronales artificiales hasta el desarrollo de los trabajos en teoría cuántica de la conciencia mediante resonancia magnética funcional de Hameroff y Penrose (2014), se ha pretendido explicar que la manera en que se instancia el significado en la mente-cerebro es a través de la asociación forma- contenido, en donde la representación objetiva del mundo es dada a partir del procesamiento sintáctico del contenido semántico (Jackendoff, 1988). Esta noción pasiva de la actividad cognitiva análoga al funcionamiento de un computador surge en la década de los 50 producto de la caída del estructuralismo Saussuriano ante la incursión de la gramática generativista de Chomsky, el cual propuso una nueva noción de sintaxis basada en reglas y estructuras lógicas (Chomsky, 1967). Aun cuando en esta nueva perspectiva el procesamiento lingüístico se traslada desde el lenguaje a la mente, la comprensión del significado sigue reducida a conexiones fijas y estructuras predeterminadas del aparato sintáctico, sin incorporar aspectos contextuales, emocionales y perceptivos, propios del acoplamiento estructural con el cual se construyen significados del mundo (Varela, 2005). La manera de abordar la comprensión del significado desde esta perspectiva generativista es insuficiente para explicar la complejidad y dinamicidad de la experiencia humana. Aquí la actividad cerebral se adscribe a la noción de significado entendida como una sumatoria de eventos dados a partir de la conexión de experiencias aisladas:

“Mientras en la escuela estructuralista se establecía que el vínculo significado-significante era un hecho social, en la lingüística generativista esta unidad pasa a tener realidad psicológica en la cabeza del hablante nativo. En este sentido, la competencia es una suerte de “lengua en la cabeza” que incluye el conocimiento de las asociaciones estándar forma-contenido. La teoría generativista reincorpora entonces la comprensión del lenguaje al objeto de conocimiento de la lingüística; sin embargo, dicha reincorporación supone una redefinición de la experiencia de comprensión como una composición de unidades aisladas de significado” (Cornejo, 2004: 13).

Esta noción estática de significado que genera conexiones aisladas desprovistas de sentido, es trasladada a las neurociencias para explicar el procesamiento de información, la cual concibe el significado como una dimensión objetiva adosada a la cabeza, descontextualizada y anacrónica. La reducción del acto semántico de decodificación en la lingüística computacional releva la noción de mente entendida como la metáfora cerebro-computador. Esta metáfora propone entender lo mental como computable, sesgando la dimensión espacio-temporal en la cual se despliega el significado durante el devenir de la experiencia humana. Alcanzar una comprensión del significado acorde a la luz de los nuevos hallazgos en neurociencias cognitivas, requiere de una noción de lo mental que escape de lo sintácticamente computable y se integre una concepción del significado que integre la dinamicidad y variabilidad temporal de la historia de acoplamientos estructurales que se tienen en el mundo (Maturana y Varela, 2008). Actualmente las neurociencias cognitivas establecen que el cerebro debe ser entendido como un sistema dinámico no-lineal, es decir, como un sistema que cambia su comportamiento en el tiempo y no es reductible a la suma de sus componentes. Desde esta perspectiva la mente no es un sistema lineal de naturaleza sintáctica análoga a un computador, sino más bien, es un fenómeno emergente. Para profundizar la cuestión sobre ¿cómo el cerebro construye significados del mundo? y la manera en que la experiencia con sentido es modulada y localizada por medio de técnicas experimentales en neurociencias cognitivas, es menester reformular la concepción del significado heredada de la lingüística computacional, proponiendo la noción de cerebro análoga a un sistema dinámico espacio-temporal. A continuación, se presentan tres paradigmas experimentales que en estos últimos años han incorporado la noción de cerebro análoga a un sistema dinámico espacio-temporal, reportando avances importantes sobre cómo el cerebro construye significados a partir de los hitos considerados más relevantes en neurodinámica, componente N400 y neuroimagen.

Neurodinámica

La neurodinámica es un área de investigación interdisciplinaria que se caracteriza por considerar el cerebro como un sistema dinámico espacio-temporal, en donde los fenómenos conscientes se deben a la integración de diversas regiones cerebrales en un mismo momento del tiempo (Cosmelli, Lachaux y Thompson, 2007). En este sentido, el cerebro es entendido como un sistema dinámico no-lineal, en donde su comportamiento y variabilidad temporal no es reducida a la suma de sus componentes. A mediados y finales de la década de los 90 Francisco Varela y colaboradores contribuyeron con varios hallazgos respecto a ¿cómo la experiencia consciente es modulada en el cerebro a partir del estudio de la sincronía de diversas asambleas neuronales distribuidas en distintas regiones del cerebro?, realizando un giro cognitivo fundamental en materia de estudios sobre la mente (Le van quyen & Bragin, 2007). La sincronía neuronal es un constructo que aborda la integración de la actividad cerebral a partir del acoplamiento transiente entre asambleas neuronales altamente distribuidas (Le van quyen et al., 2001). La suma de hallazgos en esta materia permitió confirmar la hipótesis de la sincronía neuronal a partir del estudio de un grupo de asambleas neuronales interconectadas entre sí, las cuales evidenciaron una actividad altamente sincronizada y oscilante en una banda de frecuencia específica y que según determinadas condiciones correlaciona con diversas operaciones cognitivas (Damasio, 1990; Singer y Gray, 1995). La importancia del estudio de grupos neuronales se da en la condición basal de muchos procesos cognitivos fundamentales, en donde es posible encontrar a un nivel local el bulbo olfatorio y la corteza visual, y a un nivel global las redes neuronales distribuidas y coordinadas topológicamente por todo el cerebro, como por ejemplo regiones frontales con regiones occipitales (Amoruso et al., 2013). En este sentido la neurodinámica concibe el significado como un fenómeno que emerge espontáneamente en el cerebro a partir de la cooperación entre grupos de neuronas distribuidas a nivel local y global, alcanzando un estado homogéneamente satisfactorio, en donde la dinámica del sistema adquiere coherencia estructural, en la medida que existe acoplamiento con el mundo (Varela, Thompson y Rosch, 2005). Para cuantificar la sincronía neuronal se puede realizar el análisis espectral de potencia o variaciones de amplitud de bandas de frecuencia en el Electro Encéfalo Grama (EEG) a través de la actividad oscilatoria (Barraza et al., 2014). Esta medida es un buen indicador de sincronización de grandes grupos de neuronas localizados en distintas regiones del cerebro que están relacionados funcionalmente. Uno de los primeros experimentos que confirmaron la sincronía neuronal a gran escala en la actividad cerebral humana fue el llevado a cabo por Rodríguez et al., (1999) el cual consistió en medir con electroencefalograma (EEG) la sincronía de fase entre asambleas neuronales a través de un experimento de percepción visual de caras. El experimento contó de dos condiciones: a) percepción de cara vertical y b) percepción de cara invertida. El experimento estuvo compuesto por diez sujetos que debían percibir una figura que, presentada verticalmente daba cuenta de una cara y si se presentaba la cara de forma invertida sólo daba cuenta de formas blancas y negras. Los resultados obtenidos por los sujetos al percibir la cara vertical e invertida reportaron una actividad cerebral homogénea en la banda de frecuencia gamma (34-40 Hertz) durante los primeros 180 milisegundos desde que comenzó el experimento, sin embargo, en el intervalo de tiempo 180-720 milisegundos se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de sincronía neuronal en ambas condiciones, en donde la coordinación de asambleas neuronales fue marcadamente regional y diferida. Los sujetos sometidos a la condición de cara vertical evocaron mayor amplitud en banda gamma y mayor sincronización de asambleas neuronales distribuidas a gran escala, respecto de la condición de cara invertida, a lo que los autores denominaron percepción con sentido y percepción sin sentido. La más alta sincronía neuronal de la percepción con sentido se evidenció entre los 360 y 720 milisegundos, en donde la primera sincronización en fase registró la integración de regiones temporoparietales y parieto-occipitales entre los 360-540 milisegundos, participando activamente las operaciones cognitivas de memoria episódica y percepción visual. Sin embargo, el mayor nivel de sincronización se registró entre los 540-720 milisegundos, en donde la respuesta motora y el aprendizaje perceptual suscitaron la integración de regiones parieto-occipitales y orbitofrontales. La integración temporal de diversas de regiones cerebrales conforma una red altamente distribuida, co-determinando la acción sinérgica de mente y cuerpo como un organismo constructor de sentido en el mundo. A partir de este estudio se puede concluir que la génesis de sentido involucra una alta sincronización entre regiones cerebrales que van evolucionando con el tiempo, permitiendo primeramente la formación del percepto producto de la activación local de la actividad cerebral, para luego dar paso a la

percepción con sentido producto de la integración global de asambleas neuronales distribuidas a gran escala por todo el cerebro.

En la misma línea de investigación en neurodinámica, el neurocientífico del significado Pulvermüller (2002) plantea que, en el desarrollo de la construcción del lenguaje, las redes neuronales lingüísticas asociadas a las áreas de Broca y Wernicke producen activación simultánea con redes neuronales vinculadas a la visión y acción, como es el caso de la corteza motora inferior encargada del movimiento articulario de la boca y la región parieto-occipital encargada del aprendizaje perceptual. Su propuesta consiste que, al percibir el objeto en la mente, emergerá en el transcurso una sola gran sociedad neuronal que constituirá y representará por una parte a la palabra, así como también el objeto referido perceptual o motor vinculado al significado de la misma (Pulvermüller & Fadiga, 2010). La evidencia electrofisiológica de estos estudios, ha reportado la conformación de estas asambleas neuronales motoras y visuales a temprana edad, las cuales se distribuyen por debajo del córtex motor hasta por encima del córtex visual, producto de la integración a gran escala que promueve la significación del objeto a nivel estructural. Es así como la formación de la palabra es generada por la red funcional perisilviana, la cual participa en la estructura fonarticularia, en donde el significado de éstas se da en la asociación de sistemas sensoriales y motores, permitiendo la construcción de una asamblea neuronal más sólida y amplia que permita asociar objetos o acciones a las palabras utilizadas.

Por otra parte, estudios realizados en neurodinámica por Freeman (2015) no consideran la sincronía neuronal como hipótesis constructora de significados en la conciencia, sino más bien, plantea que el significado surge del modelo de actividad cognitiva basada en la caoticidad cerebral como correlato de la experiencia y el aprendizaje. Desde esta perspectiva la caoticidad es la forma en que se instancia la intencionalidad, la conciencia es una acción con significado y la memoria es considerada fundamental en la integración y configuración de la experiencia con sentido, cuyo comportamiento es análogo al exhibido por un atractor. El experimento clásico que utilizó Freeman (1987) para constatar su hipótesis de caoticidad basal, consistió en seleccionar 30 conejos, los cuales fueron distribuidos en dos grupos, uno condicionado a emitir una respuesta respecto al mismo odorante suministrado en la experimentación previa, y otro a emitir una respuesta con un nuevo odorante. La medición fue registrada con electroencefalograma (EEG) utilizando 64 electrodos, cubriendo el 20% del área del bulbo olfativo. Los resultados dieron cuenta que la dinámica espacio-temporal de la actividad cognitiva de los conejos que recibieron distintos odorantes se presentó homogénea cada vez que se presentaban a escenarios aromáticos diversos, sin embargo, en el grupo de conejos que recibió el mismo odorante previamente aprendido, se producía un cambio en la dinámica, la cual exhibió un estado caótico bajo-dimensional, en donde todos los patrones previos eran modificados y suscitaban nuevos atractores. A partir del experimento presentado se evidenció que el cerebro no se comporta como receptor pasivo frente a información perceptual previa, sino por el contrario, construiría significados de los sucesos según las experiencias pasadas y la nueva experiencia estaría modulada por una dinámica de actividad cerebral que exhibe caoticidad a nivel basal (Ibáñez, 2008).

Componente N400

A diferencia de los estudios en neurodinámica que ocupan métodos estadísticos de señales neuroeléctricas basados en la sincronización de asambleas neuronales a gran escala, los múltiples estudios asociados al significado utilizan diversas técnicas, una variante a las ya presentadas es el estudio de los Potenciales Relacionados a Eventos (ERPs) quienes permiten la modulación del componente N400. Desde la perspectiva del procesamiento de información en la lingüística cognitiva, el significado aún es concebido por la teoría computacionalista del lenguaje como una representación estática, objetiva y de procesamiento lineal, almacenado por representaciones de contenidos que están organizadas y estructuradas funcionalmente en módulos. Esta concepción del significado hoy se hace insostenible producto de los avances en estudios sobre la mente (Comejo, 2008). Por lo cual, es menester avanzar hacia una comprensión del significado como un proceso dinámico, altamente contextualizado y que se construye para un otro que comprende (Comejo, 2004; Urrutía & De Vega, 2012).

Respecto a esta concepción dinámica, contextualizada y constructiva del significado, las técnicas de medición experimental en neurociencias cognitivas han utilizado los potenciales relacionados a eventos o potenciales

evocados, los cuales son obtenidos a partir de la medición por electroencefalografía. Los ERPs permiten el estudio del significado por medio de la modulación del componente N400 (Lau, Phillips, & Poeppel, 2008). Este último representa un cambio de voltaje a nivel cortical como respuesta a estímulos sensoriales, kinestésicos y cognitivos, en donde el potencial de membrana de las neuronas es perturbado producto de la conexión entre neuronas durante los potenciales de acción, generando señales neuroeléctricas que evocan picos de voltajes positivos y negativos (Just et al., 2004). Uno de estos picos de voltajes más utilizados para el estudio del significado es el componente N400. El componente N400 representa un pico de voltaje negativo que se da a los 400 milisegundos después de haber procesado un estímulo que genera incongruencia semántica (Kutas & Federmeier, 2011).

Los estudios sobre cómo el cerebro construye significados mediante la evidencia de los ERPs quienes modulan el componente N400, avalan la hipótesis de que el significado es un fenómeno dinámico, constructivo y flexible que integra información de diversa índole, siendo el contexto la variable más relevante (Kutas & Hillyard, 1980). En este sentido, estudios realizados en incongruencia semántica y comprensión de lenguaje figurativo se ha evidenciado la influencia que proporciona el contexto en la génesis constructiva del significado y la tendencia a integrar la mayor información temprana, requiriendo la confección de experimentos que integren en alguna medida validez ecológica (Comejo et al., 2009). Es así como el significado en el contexto y la historia de acoplamientos y perturbaciones que vivimos a lo largo de nuestra ontogenia, es generado en el espacio de relaciones temporales con las cosas y los otros, abarcando todos los dominios del mundo en el que está circunscrita la persona, desde la inmediatez del aparecer del estímulo hasta la comprensión de éste en la mente (Varela, 2005). Para avanzar hacia una comprensión del significado es necesario repensar el contexto como el conjunto global que integra diversa información que, en el instante presente del acto semántico de decodificación de una expresión lingüística o una imagen, concurre la información simultáneamente constituyendo parte del mismo significado obtenido como resultante (Shanon, 1991).

Teniendo en cuenta el rol fundamental que ocupa el contexto en la génesis, estructuración y despliegue del significado por la persona, es que los precursores del trabajo con (ERPs) y del análisis del componente N400, han propuesto experimentos neurocognitivos que incorporan cierto grado de contextualización a la tarea, evidenciando que la comprensión de una palabra correlaciona con el contexto lingüístico previo, en donde el ajuste entre éste y la palabra modula la amplitud de este componente (Kutas & Hillyard, 1997). Un ejemplo clásico de experimentos con (ERPs) se basa en lo siguiente: “En estos estudios, oraciones como “Todos los zancudos son vampiros” [*All mosquitoes are vampires*], generan una mayor negatividad a los 400 milisegundos de presentar ‘zancudos’ que otras expresiones como “Todos los zancudos son insectos” [*All mosquitoes are insects*]. En estos estudios se observa que el grado de correspondencia semántica de la palabra con el contexto lingüístico previo, tiene un efecto en la modulación de la amplitud del N400, ya que cuando se piensa en la sentencia anterior, lo que produce la incongruencia semántica y que genera el pico de voltaje negativo a los 400 milisegundos es que todos los mosquitos son vampiros, pues no hay relación con el contexto de inicio de la expresión (Aldunate, 2011: 30)”. Esto indica que el contexto lingüístico presentado previamente influiría en la comprensión o detección de una palabra. Los ERPs examinados muestran la restricción de la sentencia lingüística al contexto de base, por lo cual ocurre un efecto en la modulación del N400 en función de la última palabra (Kutas & Hillyard, 1980).

A partir de los resultados anteriores, es posible concluir que el reconocimiento de la palabra final es sensible al contexto local inmediato, así como también, a las restricciones y posibilidades de cierre (Kelly et al., 2007; Martín-Loeches et al., 2004). Es necesario enfatizar que las investigaciones realizadas con N400 señalan que en la construcción de significados los datos estrictamente semánticos no sólo afectarían ésta, sino que otros elementos históricos de vida de las personas también estarían simultáneamente presentes (Haggort & van Berkum, 2007). Otro aspecto relevante en los estudios del componente N400 es que aquellos que utilizan en los experimentos estímulos visuales y auditivos. Se puede constatar la modulación de este componente para imágenes que incluso están vinculadas entre sí (Escera, Yago, & Alho, 2001; Tucker & Ellis, 2004), así como la permeación de aspectos lingüísticos y auditivos, como palabras con imágenes (Kutas & Federmeier, 2000) o sentencias, con imágenes (Özyürek, & Hagoort, 2008; Kaschak & Glenberg, 2000). Esto permite concluir que la amplitud y el curso de presentación temporal de las imágenes y las palabras, tanto en la integración como en la distinción individual de cada una de éstas, parece no haber dos sistemas autónomos de procesamiento de in-

formación para los diversos modos cognitivos que participan en la comprensión de los estímulos, sino más bien, hay una unidad global de integración intermodal (Balconi & Pozzoli, 2005; Aldunate, 2011). Finalmente es posible establecer que la construcción de significado en la cual participa el cerebro por medio de la detección de los ERPs a través de la modulación del componente N400, está influida por factores contextuales y perceptuales que pueden ser coherentes o no a la experiencia de la persona, donde la naturaleza del estímulo y el modo cognitivo de la persona convergen y divergen en un acto constructivo y dinámico de sentido.

Neuroimagen

Los paradigmas presentados anteriormente en neurodinámica y componente N400 poseen limitaciones respecto a la información específica de regiones cerebrales vinculadas al fenómeno en construcción, producto de la baja resolución espacial del EEG. Es por esto, que se ha avanzado en el desarrollo en técnicas de neuroimagen como la Resonancia Magnética Funcional (fMRI) o la tomografía por emisión de positrones (PET), las cuales permiten realizar mediciones precisas de las regiones del cerebro implicadas y sus correspondientes fenómenos cognitivos a través del uso de perfusión sanguínea (Patterson et al., 2013). Para aproximarse al lugar que ocuparía el significado en el cerebro, Binder et al. (2009) a través de estudios con (fMRI) realizó un meta-análisis basado en la detección de las áreas cerebrales específicas que participan de la comprensión semántica. Estas áreas están localizadas mayormente en el hemisferio izquierdo y corresponden a las siguientes: 1. Lóbulo parietal inferior, 2. Corteza temporal lateral, 3. Corteza temporal ventral, 4. Corteza prefrontal dorsomedial, 5. Giro frontal inferior, 6. Corteza prefrontal ventromedial, 7. Giro singular posterior.

Los investigadores señalan que las siete áreas presentadas anteriormente se encuentran articuladas en tres regiones de mayor jerarquía: 1. Región heteromodal posterior, 2. Región heteromodal prefrontal, 3. Región paralímbica medial. La primera región tiene como función otorgar sentido de unidad general a los distintos componentes que actúan en la construcción lingüística. La segunda región está articulada con la memoria de trabajo para la recuperación de información semántica y reorganización sintáctica. La tercera región está vinculada a la formación hipocámpal, las cuales participan de la regulación de procesos de constitución de expectativas de palabras por aparecer y el contenido emocional adscrito a éstas. Aun cuando la evidencia presentada anteriormente reportó regiones específicas en las cuales puede localizarse la construcción lingüística, recuperación semántica y el registro emocional evocado, no hay indicios de actividad cerebral intermodal que dé cuenta de cómo participan las diferentes regiones en la comprensión semántica. Teniendo en cuenta lo anterior, Constanzo et al. (2013) complementó la tesis de Binder et al., (2009) sobre el procesamiento modal de comprensión semántica, ampliando la tesis intermodal que se basa en la integración dinámica de regiones cerebrales que participan de forma colaborativa en la formación del significado. Para avalar esta tesis, los autores seleccionaron a diez y seis sujetos que respondieron a estímulos intermodales, a saber, visuales-auditivos, auditivos-kinestésicos y kinestésicos-visuales de manera dependiente. Los análisis efectuados con (fMRI) evidenciaron espacialmente que el conjunto de regiones parietales es crucial para la integración multisensorial y la comprensión semántica, debido a la convergencia de la región heteromodal-posterior, giro supra-marginal y lóbulo parietal izquierdo durante la construcción del significado, las cuales participan de la sintaxis, memoria de trabajo y semántica cognitiva. Estos resultados en neuroimagen que dan cuenta del procesamiento intermodal reafirman la tesis de que el cerebro comprende significados de manera dinámica, integrando varias regiones durante el acto de significación, las cuales son posibles de visualizar debido a la alta resolución espacial de la técnica de fMRI. A partir de la evidencia presentada, se puede reafirmar que el cerebro es un constructor dinámico de significados. El significado es construido a través de un proceso emergente que varía en su aparición y despliegue durante un tiempo y espacio determinado, refutando la tesis computacional de la lingüística que concibe éste como una representación estática la cual es producida por reglas sintácticas.

Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo dar a conocer los paradigmas experimentales de neurodinámica, componente N400 y neuroimagen en conjunto con sus técnicas de medición de la actividad cerebral para evidenciar que el cerebro es un constructor dinámico de significados, análogo a un sistema dinámico espacio-temporal que requiere del contexto previo y la

integración cognitiva intermodal. Este nuevo paradigma dinámico espacio-temporal, reemplaza el programa de investigación computacionalista del lenguaje que concibe el significado como una representación estática, objetiva y de procesamiento de información sintáctico. La construcción de significado desde la perspectiva neurodinámica corresponde a la integración de redes de asambleas neuronales distribuidas a gran escala que emerge en un momento del tiempo, en donde el estímulo visual, va desde la constitución del percepto hasta la comprensión de éste en la mente. Esta dinámica de actividad cerebral está basada en un proceso emergente que va de lo global a lo local, siendo la sincronización de bandas de frecuencia global de asambleas neuronales la instanciación temporal del significado (Cosmelli, Lachaux & Thompson, 2007; Ibáñez, 2008). Por otra parte, los estudios presentados sobre el componente N400 obtenidos a partir de los potenciales relacionados a eventos ERPs se puede concluir que el significado depende de la relación directa que hay entre una sentencia gramatical y su contexto previo, de manera que si existe incongruencia semántica entre éstos, se produce un peak de voltaje negativo a los 400 milisegundos que muestra como el cerebro manifiesta un patrón neuroléctrico ante frases sin sentidos (Kutas & Federmeier, 2011). En cambio, los estudios presentados en neuroimagen permiten profundizar sobre la resolución espacial y especificidad de regiones implicadas en la comprensión semántica por medio de la técnica de resonancia magnética funcional (fMRI), la cual por medio del análisis metabólico-hemodinámico da cuenta sobre cómo las regiones, heteromodal posterior, heteromodal prefrontal y paralímbica medial dan cuenta topológicamente de la constitución significado en el cerebro, expresando también, el funcionamiento dinámico intermodal del proceso semántico comprensivo (Binder et al., 2009). Finalmente, a partir de la evidencia presentada, se rechaza la tesis de que el cerebro es un receptor pasivo que procesa información a través de reglas lógicas computables. Se asume hoy a la luz de los hallazgos en neurociencias cognitivas que el cerebro es análogo a un sistema dinámico espacio-temporal, en donde la variabilidad espacio-temporal, la actividad neuroeléctrica de voltaje referida a la asociación de las experiencias pasadas con la experiencias vividas, y la amplitud de resolución espacial, caracterizan la dinámica con la cual el cerebro construye significados del mundo, permitiendo descifrar en alguna medida la manera en cómo se instancia éste en la mente-cerebro.

Referencias

- Aldunate, N. (2011). *Comprensión y análisis: Influencia de la disposición de la persona en la comprensión lingüística y sus correlatos electrofisiológicos*. Tesis realizada para obtener el grado de doctora en psicología por la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Amoruso, L., Gelormini, C., Aboitiz, F., Álvarez, M., Manes, F., Cardona, J. & Ibáñez, A. N400 ERPs for actions: building meaning in context. *Frontiers in human neuroscience*. 7 (57) 1-16. doi: 10.3389/fnhum.2013.00057.
- Baggio, G., and Hagoort, P. (2011). The balance between memory and unification in semantics: a dynamic account of the N400. *Lang. Cogn. Process.* 26, 1338-1367.
- Barraza, P., Gómez, D., Oyarzún, F. y Dartnell, P. (2015). Long-distance neural synchrony correlates with processing strategies to compare fractions. *Neuroscience letters*, 567 (40-44).
- Benítez, A. (2006). Caracterización neuroanatómica y neurofisiológica del lenguaje humano. *Revista Española de Lingüística* 35, 2, p. 461-494.
- Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W. & Conant, L. L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cereb. Cortex.*, 19, 2767-2796.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Constanzo, M., McArdle, J., Swett, B., Nechaev, V., Kemeny, S., Xu, J. & Braun, A. (2013). Spatial and temporal features of superordinate semantic processing studied with fMRI and EEG. *Frontiers Human Neuroscience*. 2013; 7: 293. doi: 10.3389/fnhum.2013.00293.

- Cornejo, C. (2004). Who says what the words say?: The problem of linguistic meaning in psychology. *Theory and Psychology*, 14, 5-28.
- Cornejo, C. (2008). Intersubjectivity as co-phenomenology: from the holism of meaning to the being-in-the-world-with-others. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 42(2), 171-178.
- Cornejo, C., Simonetti, F., Ibáñez, A., Aldunate, N., Ceric, F., & López, V. (2009). Gestures and Metaphorical Comprehension: Electrophysiological Evidence of the Influence of Gestures on Metaphorical Processing. *Brain and Cognition*, doi: 10.1016/j.bandc.2008.1012.1005.
- Cosmelli, D., Lachaux, J., & Thompson, E. (2007). Neurodynamics of Consciousness. *The Cambridge Handbook of Consciousness*.
- Cosmelli, D., & Ibáñez, A. (2008). Human Cognition in Context: On the Biologic, Cognitive and Social reconsideration of Meaning. *Integrative Psychological and Behavioral Sciences*, 42(2), 233-244.
- Damasio, A. (1990). Synchronous activation in multiple cortical regions: a mechanism for recall. *Semin.Neurosci.* 2, 287-297.
- Dreyfus, H. (1979). *What Computers Can't Do*. New York, Harper & Row.
- Edelman G. M. (2003). Naturalizing consciousness: a theoretical framework en *Proceedings of The National Academy Of Science*, 100, 5520-5524.
- Escera, C., Yago, E. & Alho, K. (2001). Electrical responses reveal the temporal dynamics of brain events during involuntary attention switching. *European Journal Neuroscience*, 14, 877-883.
- Fodor, J., (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Freeman, W. (1987). Simulation of chaotic EEG patterns with a dynamic model of the olfactory system, en *Biological Cybernetics*, 56, 139-150.
- Freeman, W. (2015). Mechanims and significance of global coherence in scalp EEG. Review article *Current Opinion in Neurobiology*, Vol (31), p.199-205.
- Fries P., Reynolds J., Rorie A., Desimone R. (2001). Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science*; 291: 1560-3.
- Hagoort, P. & van Berkum, J. (2007). Beyond the sentence given. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 362, 801-811.
- Hameroff, S. & Penrose, R. (2014). Consciousness in the universe: A review of the "Orch OR" theory", *Physics of Life Reviews* Vol, 11:39-78.
- Huang, H. W., Lee, C. L., and Federmeier, K. D. (2010). Imagine that! ERPs provide evidence for distinct hemispheric contributions to the processing of concrete and abstract concepts. *Neuroimage* 49, 1116-1123. doi: 10.1016/j.neuroimage. 2009.07.031.
- Ibáñez, A. (2008). *Dinámica de la cognición*. Editorial: Comunicaciones Noreste Limitada.
- Jackendoff, R. (1988). Conceptual Semantics. In U. Eco, M. Santambrogio, & P. Violi (eds.), *Meaning and Mental Representations* (pp. 81-97). Bloomington, IN: Indiana University Press.
- Jensen, O. & Tesche, C. (2002). Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*, 15, 1395-1399.
- Just, M. A., Newman, S. D., Keller, T. A., McEleney, A. y Carpenter, P. A. 2004. "Imagery in sentence comprehension: an fMRI study", en *Neuroimage* 21, pp. 112-124.
- Kaschak, M. P. y Glenberg, A. M. 2000. "Constructing meaning: The role of affordances and grammatical constructions in sentence comprehension", en *Journal of Memory & Language* 43, pp. 508-529.
- Kelly, S., Ward, S., Creigh, P., & Bartolotti, J. (2007). An intentional stance modulates the integration of gesture and speech during comprehension. *Brain and Language*, 101, 222-233.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, 11, 99-116.
- Kutas, M. (1997). Views on how the electrical activity that the brain generates reflects the functions of different language structures. *Psychophysiology*, 34, 383-398.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annu. Rev. Psychol.* 62, 621-647. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.131123
- Kutas, M., Federmeier, K. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event related brain potential (ERP), *Annual Review of Psychology*, 62 pp. 621-647.
- Lau E., Phillips, C. & Poeppel D. (2008). A cortical network for semantics: [de]constructing the N400. *Nat. Rev. Neurosci.* 9:920-33
- Le Van Quyen, M., Foucher, J., Lachaux, J., Rodríguez, E., Lutz, A., Martinerie, J. & Varela, F.J. (2001). Comparison of Hilbert transform and wavelet methods for the analysis of neuronal synchrony. *J Neurosci Methods*, 111, 83-98.
- Le Van Quyen, M & Bragin, A. (2007). Analysis of dynamic brain oscillations: methodological advances. *TRENDS in Neurosciences*, 30(7), 365-373.
- Martín-Loeches, M., Muñoz, F., Casado, P., Hinojosa, J.A. y Molina, V. (2004). An electrophysiological (ERP) component, the Recognition Potential, in the assessment of brain semantic networks in patients with Schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 71, 393-404.
- Maturana, H y Varela, F. (2008). *De Máquinas y Seres Vivos, Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Séptima Edición, Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Patterson, C. et al. (2013). Development of a new positron emission tomography tracer for targeting tumor angiogenesis: Synthesis, small animal imaging and radiation dosimetry. *Molecules*, 18, 5594-5610. doi:10.3390/molecules18055594
- Pulvermüller, F. (2002). A brain perspective on language mechanisms: from discrete neuronal ensembles to serial order», *Prog. Neurobiol.* 67, págs. 85-111.
- Pulvermüller, F. & Fadiga L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nat. Rev. Neurosci.* 11, 351-360.
- Rodríguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F. J. (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397(6718), 430-433.
- Searle, J. (2001). *Mente, lenguaje y sociedad*. Madrid: Alianza.
- Shanon, B. (1991). *Representations: Senses and Reasons*. *Philosophical Psychology*, 4(3), 355-374.
- Singer, W. & Gray, C. (1995). M. Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annu. Rev. Neurosci.* 18, 555-586.
- Tucker, M. y Ellis, R. 2004. "Action priming by briefly presented objects", en *Acta Psychologica* 116, pp. 185-203.
- Urrutia, M. y De Vega, M. (2012). Lenguaje y acción. Una revisión actual a las teorías corpóreas. *Revista de lingüística, Teórica y Aplicada (RLA)*, N° 50, Vol (1), 39-67.
- Varela, F. J., Lachaux, J. P., Rodríguez, E. & Martinerie, J. (2001). The brainweb: phasesynchronization and large-scale integration. *Nature Rev. Neurosci.* 2, 229-239.
- Varela, F., Thompson, E. & Rosch, E. (2005). *De cuerpo presente*. Editorial Gedisa S.A.