

Procesamiento Cerebral del Lenguaje: Historia y evolución teórica

Cerebral Processing of language: History and theoretical evolution

Luis Herrera¹

Luis.herrera@gmail.com

**Departamento de Lengua Castellana y Literatura
Universidad Católica del Maule**



Resumen

Durante cerca de 150 años el modelo clásico de procesamiento del lenguaje, ha dominado el conocimiento referente a la relación lenguaje-cerebro. En esa perspectiva se considera al procesamiento como lineal, lateralizado y bien localizado. Las nuevas investigaciones han redefinido estas características. Hoy se reconoce un procesamiento del lenguaje de doble ruta, con funciones presentes en ambos hemisferios y con variadas áreas complejas, interrelacionadas y que cumplen diversas tareas; además, el cerebro se caracteriza por su plasticidad, capacidad de predicción y concentración de innumerables funciones cognitivas en cada región. Los desafíos de estudio apuntan a definir las correspondencias específicas entre elementos neuronales frente a elementos lingüísticos y el procesamiento temporal del lenguaje, entre otros avances que surgen de los nuevos descubrimientos.

Palabras claves

Modelo de procesamiento dual, lenguaje, cerebro, áreas de Broca-Wernicke, neurolingüística.

Abstract

For nearly 150 years, the classical model of language processing, has dominated the knowledge concerning the relationship language-brain. In this perspective is considered processing as linear, lateralized and well located. New researches have redefined these features. Now know a dual stream language processing, with

¹ Profesor de castellano, licenciado en educación, diplomado en lingüística aplicada y magíster en docencia universitaria. Ha sido evaluador de proyectos nacionales de investigación y ha publicado libros y artículos en las áreas de lingüística, educación y literatura.

functions present in both hemispheres and with several complex areas, interrelated and performing various tasks; further, the brain is characterized by its plasticity, predictive ability and concentration of many cognitive functions in each region. Challenges in this study point to define specific correspondences between neural units against linguistic units and temporal processing language, among other advances that arise from new discoveries.

Keywords

Dual processing model, language, brain, Broca's and Wernicke areas, neurolinguistic.



Introducción y problematización

El cerebro está compuesto por 100 mil millones de neuronas, miles de millones de fibras interconectadas y a cada segundo suceden innumerables sinapsis entre ellas: “La riqueza de estas interconexiones sinápticas es el elemento principal en la mentalidad humana” (Rodríguez, 2009, p. 213). A gran escala, está conformado por dos hemisferios conectados por el cuerpo calloso que, si no estuviera, las dos mitades funcionarían de manera independiente (Fromkin, Rodman, Hyams, 2011). Su capacidad es tal que, representando alrededor del 2 % de la masa corporal, es capaz de utilizar cerca del 20 % de la energía del ser humano (Proal, Iglesia, Castellanos en Redolar, 2014). La característica más fundamental del cerebro es su alta interconexión: “ninguna neurona está separada de cualquier otra por más allá de 4 conexiones” (González, 2007, p. 2). De tal modo, el cerebro se caracteriza por sus funciones paralelas (reconociendo formas, intuyendo patrones, abstrayendo conceptos, etc.) y su alta distribución, es decir, la información no se almacena localmente, sino que se distribuye ampliamente por el cerebro (González, 2007).

Por consiguiente, el enigma sobre la existencia de la mente aislada de la realidad física es un aspecto que subyace a gran parte de las investigaciones. Según Ferrater Mora “si el hombre se distingue de otros seres biológicos no es porque, a diferencia de ellos, posea alguna realidad además del cuerpo: es por el modo como el cuerpo, su propio cuerpo, es y funciona” (1979:

pp. 107-108 citado en González, 1994, p. 57).

En el estudio de la relación entre cerebro y lenguaje se identifica un periodo precientífico, uno de controversia localizacionista-antilocacionista y un periodo contemporáneo de grandes avances en materia de neurociencias, psicología y lingüística cognitiva (Donoso, 1998, p. 19). El primer periodo, fue desarrollado por autores como Hipócrates, Platón, Aristóteles, Galeno, Alberto Magno, Vesalio, Descartes y Francis Gall, quién supuso una relación entre el tamaño de los globos oculares, el desarrollo de la memoria (Donoso, 1998) y la localización de un área del lenguaje en esa zona (Poeppl b, 2011), alcanzando gran repercusión entre científicos e intelectuales de la época (García, González, 2014). Sin embargo, Gall también fue pionero y valiente al oponerse a la idea imperante que el cerebro era un órgano sin estructura (Fromkin, Rodman y Hyams, 2011). El segundo periodo, fue liderado por Paul Broca (1824-1880), quien, gracias a estudios en cadáveres, determinó que la zona relacionada con el lenguaje era la tercera circunvalación frontal izquierda. Igual de relevante, fue lo realizado por Carl Wernicke (1848-1904), quien, con procedimientos similares, descubrió que la comprensión del lenguaje se encontraba en la parte posterior de la primera circunvalación temporal izquierda. Entre ambas zonas, se encuentra el córtex motor que controlaría la articulación (entre otros movimientos musculares del cuerpo) y existiría un fascículo de fibras nerviosas, denominado fascículo arcuato o arqueado que, descubierto por Wernicke, conectaría ambas zonas (Yule, 2007). Por supuesto, estudios durante el siglo XX, desarrollados por varios autores, demostraron que, si bien existían localizaciones, también era cierto que algunas funciones se restauraban posterior a algunas lesiones e incluso que daños en varias áreas producían los mismos efectos.

Hoy en día, la tecnología ha sabido complementar de manera exitosa los estudios en neurociencias, permitiendo el análisis interno de las estructuras cerebrales y, sobre todo, técnicas no invasivas de investigación. De hecho, desde los años ochenta el estudio del cerebro humano ha sido dominado por las imágenes de actividad neuronal, incluso existiendo el ímpetu por generarlas durante prácticamente todas las actividades humanas (Poeppl,

2008). Cabe señalar que actualmente se habla de “rutas de procesamiento lingüístico” cerebrales, terminología que surge, según Yule (2007), como una respuesta mediada por el contexto tecnologizado de estas décadas, así como la terminología anterior respondía a otros contextos:

La metáfora de las “rutas” podría parecer particularmente apropiada para la era electrónica, ya que hace referencia al proceso, ahora muy familiar, de enviar señales a través de circuitos electrónicos. Anteriormente, en la era dominada por la tecnología mecánica, Sigmund Freud recurrió ingeniosamente a la metáfora de la “máquina de vapor” para explicar algunos aspectos de la actividad cerebral, de forma que caracterizó la represión como algo “que aumenta la presión” hasta dar lugar a un “escape” súbito. (Yule, 2007, p. 164)

En la actualidad, el profesor e investigador de psicología, neurociencias y lenguaje Poeppel (2011), concluye que existe bastante certeza en considerar que la simplicidad del modelo de regiones de Broca y Wernicke no explican lo que hoy se sabe sobre el procesamiento del lenguaje en nuestro cerebro, partiendo de la premisa capital que el cerebro utiliza diferentes regiones para comprender y producir el lenguaje, en una complejidad que involucra distintas funciones neurológicas y un modelo dual de rutas de procesamiento.

Es interesante, además, señalar que el fenómeno del lenguaje ofrece una complejidad de distintas perspectivas de análisis, que no sólo nos remite a la visión biológica que planteamos en este artículo, sino también a la ciencia lingüística cuyo camino y evolución en paralelo nos entrega información fundamental para abordar el lenguaje desde otras dimensiones: filosófica, científica, cognitivista, funcionalista, estructuralista, social, psicológica, etc.

Atendiendo que en varios textos de ciencia aún impera un modelo de 150 años y que poco espacio se ha dado a la difusión de los nuevos descubrimientos en la relación cerebro-lenguaje, sobre todo acerca de los trascendentales estudios del Dr. David Poeppel, este artículo pretende

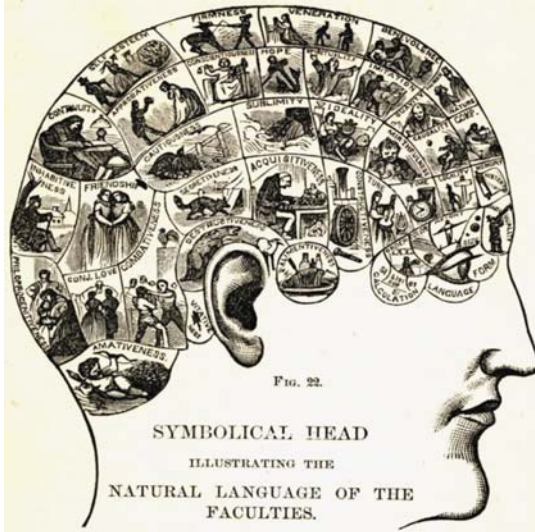
exponer la evolución de los estudios neurolingüísticos aclarando la distancia existente entre el modelo clásico y el modelo presentado por Poeppel y otros científicos, poniendo a disposición algunos importantes avances desarrollados durante la última década.

Evolución clásica del procesamiento del lenguaje

La organología y la frenología

Si bien el modelo de Broca, Wernicke y Geschwind ha sido el más importante y duradero hasta fines del siglo XX, no se puede obviar el aporte de otros científicos que cimentaron las bases lógicas para esta construcción teórica. En ese sentido, cobra relevancia el trabajo de Francis Gall (1758-1828), quien supuso que las funciones y facultades mentales, de alguna manera, debían tener una correspondencia anatómica, sobre todo en la corteza cerebral (organología), surgiendo, por tanto, la idea del locacionalismo, aunque poco sustentada en la ciencia (Donoso, 1992). Para Gall, el cerebro, de alguna manera, era el órgano que alojaba el alma, estando conformado por una serie de subórganos que poseen funciones específicas y que determinan también la forma del cráneo durante su proceso de osificación (Nofre, 2006). Por ejemplo, un discípulo de Gall, Johann Spurzheim, siguiendo a su maestro, concluyó que el área para el lenguaje debía encontrarse debajo de los ojos (Labos, Slachevsky, Fuentes y Manes, 2008) y aventuró la idea que el tamaño relativo de cada “órgano” se relacionaba directamente con su potencia (Nofre, 2006). Así surgió la frenología, rápidamente descartada, que determinaba rasgos de la personalidad de acuerdo a la forma craneal.

Fig. 1: Áreas propuestas por la frenología.



Fuente: "Time rime"

A pesar de la escasa metodología científica, a Gall se le debe, como ya se mencionó, el locacionalismo, "la concepción de que cada facultad psíquica se apoya en determinado grupo de células cerebrales" (García y González, 2014, p. 42) y el diferenciar la naturaleza biológica de la sustancia gris de la naturaleza biológica de la sustancia blanca. Poeppel ha sabido ilustrar claramente los aciertos y desaciertos de Gall:

Unfortunately, Gall's bad idea (phrenology) has overshadowed Gall's good idea (organology); nevertheless, the notion that the mind can be subdivided into psychological primitives that occupy special places in the brain has endured in contemporary cognitive science and must be viewed as one of the most important insights underlying current research on the mind/brain. (Poeppel, 2008, p. 24)

Es interesante subrayar que estas aproximaciones especulativas que comenzar a cavar las zanjas donde entrarían los cimientos realmente

científicos del procesamiento del lenguaje, coincidían con otra serie de perspectivas precientíficas que apuntaban a al fenómeno del lenguaje y que carecían de un objeto de estudio claro y robusto que fijara una verdadera ciencia lingüística (Saussure, 1945).

Modelo Broca y Wernicke

Décadas después de Gall, en 1861, Paul Broca presentó algunas conclusiones de sus investigaciones a la Sociedad Antropológica de París, precisamente durante una discusión sobre la frenología. Describió la situación de un paciente, Leborgne, quién tenía 55 años, 21 de los cuales los había pasado hospitalizado. Su única producción verbal era “Tan”, lo cual no le impedía moverse con independencia, comprender lo que se le decía o hacerse entender. A los años de su hospitalización, había perdido movilidad en su brazo derecho y, posteriormente, en su pierna izquierda, falleciendo por una infección generalizada (Caplan, 1992). En este caso en particular, Broca tuvo acceso al cerebro luego de la autopsia, pesquisando una lesión en el lóbulo frontal izquierdo.

Entre 1861 y 1865, Broca publicó varios casos clínicos de afemia, como él la llamó, que coincidían con un área en específico: tercera circunvolución frontal izquierda. De hecho, “he claimed that we speak with the left hemisphere. Broca’s finding was based on a study of his patients who suffered language deficits after brain injury to the left frontal lobe” (Fromkin et al. 2011, p. 47). Es indudable, por tanto, que su importancia radica en ser el “primero en demostrar que existe una asociación entre una función superior y una zona identificable del córtex cerebral en el hemisferio izquierdo” (Manning, 1992, p. 23).

No obstante, “estos primeros intentos de localizar el lenguaje en el cerebro fueron resistidos por los médicos e intelectuales conservadores, que se negaban a asignar un sustrato material a una facultad propia del hombre” (Donoso, 1992, p. 20). De igual manera, Broca fue mucho más allá, pues también sugirió la idea que, si una lesión cerebral en esa zona ocurría a temprana edad, el hemisferio derecho se podía hacer cargo. Incluso en

pacientes afásicos “el hemisferio derecho sí funciona en la psicología del lenguaje más general, la cual incluye el establecimiento de relaciones entre expresiones y significados: la dominancia del hemisferio izquierdo era solamente para el habla” (Caplan, 1992, p. 65).

Si bien, Broca tuvo opositores, como por ejemplo Vulpian, tras profundizarse en sus planteamientos estos se fueron imponiendo, corrigiendo (Trousseau en 1864 cambió el término de afemia a afasia, e insistió en la predominancia izquierda) y confirmando a través de Fritsch y Hitzig y, por sobre todo, por lo descrito por Carl Wernicke en 1874, referente a la afasia sensorial:

A decade later Carl Wernicke, a German neurologist, described another variety of aphasia that occurred in patients with lesions in areas of the left hemisphere temporal lobe, now known as Wernicke's area. Language, then, is lateralized to the left hemisphere, and the left hemisphere appears to be the language hemisphere from infancy on. (Fromkin et al., 2011, p. 47)

Esta área del lóbulo temporal izquierdo corresponde a la primera circunvolución temporal y la lesión en ella produce una afasia expresiva, es decir, que no se comprende el lenguaje hablado (Campillo-Valero, García-Guixé, 2005). No obstante, el aporte de Wernicke va mucho más allá que la localización en el lóbulo temporal, pues también postuló que existía una llamada “afasia de conducción” que se corresponde con lesiones en las fibras nerviosas que conectan el área de Broca con el área de Wernicke (Manning, 1992), las cuales pueden generar una “incapacidad para producir respuestas apropiadas a la comunicación auditiva, aun cuando se comprenda la comunicación” (Purves, Augustine, Fitzpatrick, Hall, Lamantia, McNamara, Williams, 2007, p. 716). En síntesis, Wernicke hizo la distinción entre la incapacidad de comprender (lesiones en la región posterior y superior del lóbulo temporal izquierdo), implicada en aspectos semánticos de las formas escritas y habladas del lenguaje (Garman, 1990, p. 116) y la incapacidad de producir lenguaje (lesiones en las regiones posterior e inferior del lóbulo frontal izquierdo o área de Broca) (Purves, et al 2007).

Otro aspecto esencial profundizado por Wernicke, tiene que ver con la idea de flujo de información, pues el autor concibió “un flujo de información entre las representaciones auditivas de las palabras y la representación de las secuencias motoras que entran en la articulación de las palabras” (Caplan, 1992, p. 73). Es decir, la información va desde área de Wernicke a área de Broca, de posterior a anterior, creando un complejo conexionista.

Profundización en el modelo clásico

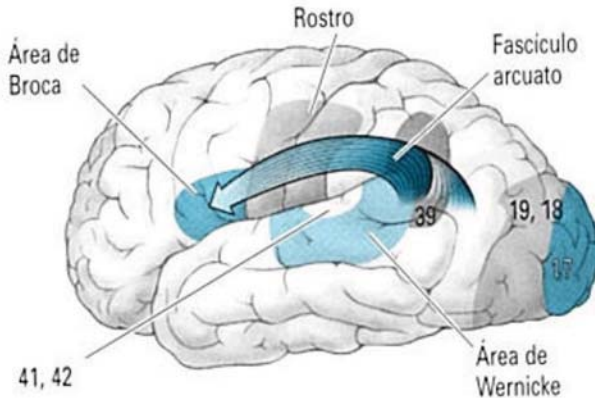
Complementando el valioso aporte de Wernicke, Lichteim en 1885 realiza un listado, aún vigente con correcciones, de distintos trastornos afásicos y generó un modelo sobre el procesamiento del lenguaje que fundamentaba la idea conexionista (Labos et al, 2008), pues “los distintos tipos de afasias serían, por tanto, producto de una lesión que afectase a un centro o a una conexión entre centros” (Martínez, 2008, p. 7).

Otros autores –Pierre Marie, Goldstein, Moutier, Dejerine- fueron modificando, refutando y corrigiendo este modelo clásico, destacando lo realizado por Luria (1947), quién generó la tendencia a comprender de manera más globalizada y menos localizada las funciones del lenguaje. Es decir, no se puede hablar de facultades mentales separadas de otras, aisladas, sino que “dependen de sistemas organizados o zonas que trabajan concertadamente, cada una de las cuales ejerce un papel dentro de un sistema funcional complejo, y que pueden estar situadas en áreas completamente diferentes y muy distantes del cerebro” (Barcia-Salorio, 2004, p. 677), por tanto, las áreas específicas no deben ser consideradas como fijas, sino como “estaciones de paso” o convergencia de distintas comunicaciones (García, González, 2014).

Más adelante, Geschwind (1926-1984) especificó que la afasia de conducción podría deberse a lesiones en el fascículo arqueado, además que incorpora a las áreas cerebrales involucradas con el lenguaje al giro angular, “región especializada en la integración de información visual, táctil y auditiva en un código fonético y auditivo que es vital para el lenguaje oral y escrito” (Labos et al, 2008, p. 102), que, según Owens,

colabora específicamente con “el recuerdo de palabras, mientras que la circunvolución supramarginal está relacionada con el procesamiento de unidades sintácticas más grandes, como la oración” (2003, pp. 115-116). Tanto así que, la información proveniente del exterior se transforma en un código fonético en esa región y luego es transmitida al área de Wernicke, donde es asociada a un significado (Labos et al, 2008, p. 102). Es más, el autor también señaló que áreas de la corteza parietal, temporal y frontal estarían implicadas en la capacidad lingüística humana (Purves et al, 2007, p. 717).

Fig. 2: Modelo clásico del procesamiento del lenguaje



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

Después de todo, ¿En qué radica el modelo Broca-Wernicke-Geschwind? Según Kandell, Jessell y Schwartz (1997) el modelo se puede explicar considerando lo que se escucha y lo que se lee. Al escuchar una palabra se transfiere información desde el “aparato auditivo hasta el nervio auditivo y el núcleo geniculado medial” (1997, p. 683), luego viaja hasta la corteza auditiva primaria y luego a la corteza auditiva de nivel superior para luego arribar al giro angular. Posteriormente, se envía al área de Wernicke y, a través del fascículo arqueado, al área de Broca que es donde “la representación auditiva se transforma en la estructura gramatical de una frase y donde se almacena la memoria para la articulación de las palabras”

(1997, p. 683). Ahora bien, frente a la lectura, la información desde el exterior se captura por la retina hasta el núcleo geniculado lateral y, luego, a la corteza visual primaria, pasando posteriormente al centro de nivel superior. Naturalmente, luego se transfiere al giro angular, después al área de Wernicke y, finalmente, a través del fascículo arqueado al área de Broca (1997). De ese modo, en la perspectiva clásica se configuraba una vía única y lineal de procesamiento del lenguaje que involucraba estas áreas.

Cabe destacar que esta visión lineal del procesamiento del lenguaje propia del siglo XIX y XX coincide con una visión particular en los estudios del lenguaje que definían la lengua como un sistema o estructura, cadenas de sintagmas, unión entre significado y significante (Saussure, (1945), simplemente, como un fenómeno en sí mismo, más o menos distante de otras disciplinas dependiendo del paradigma, y que se podía comprender bajo sus propias leyes, valores y propiedades como, por ejemplo, la linealidad y la arbitrariedad. En este sentido,

Estructura es uno de los términos esenciales de la lingüística moderna, uno de los que tienen todavía valor pragmático (...) Se entiende por estructura, particularmente en Europa, la disposición de un todo en partes y la solidaridad demostrada entre las partes del todo que se condicionan mutuamente; para la mayoría de los lingüistas estadounidenses será la repartición de los elementos tal como se verifica, y su capacidad de asociación o de sustitución. (Benveniste, 1971, p. 10)

Lo interesante o, después de todo, la gran coincidencia radica en que tanto el procesamiento del lenguaje como la lingüística habían logrado constituirse como una ciencia después de siglos de especulación, teorías no fundamentadas y aproximaciones inciertas. Si bien, la cercanía es obvia, ambas ciencias no se retroalimentan lo suficiente entre sí. Indica Saussure (1945): “la relación es unilateral, en el sentido de que el estudio de las lenguas pide aclaraciones a la fisiología de los sonidos, pero no se las proporciona a su vez” (p. 47).

Situación actual del procesamiento del lenguaje

Anatomía funcional y modelo de doble ruta de David Poeppel

Existe consenso que el modelo Broca-Wernicke-Geschwind no explica lo que en la última década se sabe sobre el procesamiento del lenguaje en nuestro cerebro, De hecho, se indica que

The number and arrangement of the cortical and subcortical regions underpinning speech and language processing demonstrate that system is considerably more complex and distributed; the age of Broca's and Wernicke's áreas and the era of left hemisphere imperialism are over (Poeppel, 2014, p. 142)

Naturalmente, los avances de la ciencia y la tecnología han logrado implementar mecanismos que, durante el siglo XIX y buena parte del XX, no eran más que utopías. Importantes avances en imagenología, neurocirugía e, incluso, el proyecto de estudio del genoma humano, han cambiado el perfil de la teoría clásica, abriéndose el abanico hacia otras estructuras y nuevas funciones, descubriéndose actividades más dinámicas en el procesamiento del lenguaje (Escobar, Suárez-Escudero, 2013, p. 45). En esa línea, el Dr. David Poeppel de la Universidad de Nueva York y también director del Max Planck Institute para Empirical Aesthetics in Frankfurt/Main ha encabezado las nuevas investigaciones en la relación lenguaje y cerebro, empleando tecnologías no invasivas como la magnetoencefalografía que, a través de pequeñas descargas de energía magnética, manipula las cargas eléctricas en el cerebro (Kaku, 2014). Este método le lleva ventajas a otras tecnologías, pues es capaz de medir actividades neuronales de muy breve tiempo, incluso cuando las personas están en silencio (Kaku, 2014).

El modelo tradicional sugería informaciones poco sostenibles científicamente. Por ejemplo, un argumento lógico, es destacar que no todas las lesiones en el área de Broca coinciden con la presencia de la afasia de Broca y, viceversa, no todas las afasias de Broca se relacionan a una lesión

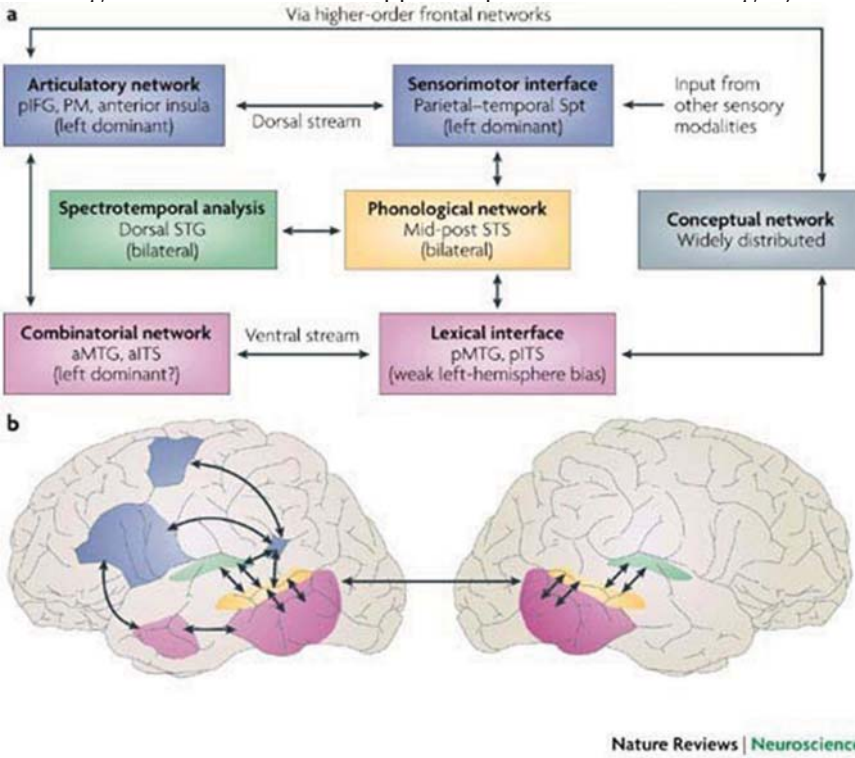
en la misma área (Poeppel, Emmorey, Hickok, Pylkkänen, 2012). De tal manera, hoy se concluye que el modelo de Broca y Wernicke claramente ha subestimado el número y distribución de las áreas cerebrales que juegan un rol clave en la producción y comprensión del lenguaje (Poeppel, et al. 2012), como también lo que se suponía frente a la lateralización:

(...) has revealed that lateralization patterns are complex and subtle –and that not all language processing components are lateralized. For example, when examining the cortical regions mediating speech perception and lexical level comprehension, lesion [30,31], imaging [32,34], and electrophysiological data [35,36*] demonstrate convincingly that both left and right superior temporal cortical regions are implicated. (...) (Poeppel, 2014, p. 143)

Lo anterior, contrasta con lo revisado en el modelo clásico. Para ser más específico en determinadas diferencias de las funciones hemisféricas, Poeppel indica que “In two separate studies, the same lateral asymmetry was observed: The higher modulation rate gamma band responses correlated with left-hemisphere auditory structures, the lower rate theta responses with the right auditory cortex” (2012, p. 44). Incluso, se ha demostrado que cuando el hablante genera narraciones extensas, durante unos 15 minutos, la producción no está localizada en el hemisferio izquierdo, sino que en redes extendidas bilateralmente (Silbert, Honey, Simony, Poeppel, Hasson, 2014) y que el área de Broca posee una serie de subregiones con distintas funciones según estudios en citoarquitectura e inmunocitoquímica (Poeppel et al, 2012).

El año 2007, Hickok y Poeppel publicaron en Nature Reviews, la correlación entre las actividades funcionales y las áreas cerebrales involucradas. Cabe insistir que, a partir de esta publicación, se considera una visión de conjunto en el procesamiento del habla (Marín, 2014):

Fig. 3 Modelo Hickok-Poeppel del procesamiento del lenguaje



Fuente: Nature Reviews, (2007)

El área verde en la superficie dorsal del giro temporal superior es la que se involucra con el Análisis Espectrotemporal (análisis de sonidos de cualquier naturaleza) que, inmediatamente, está conectada con las áreas amarillas en la mitad posterior del surco temporal superior, sector responsable de los procesos a nivel de Red Fonológica, que identifican fonológicamente tales sonidos. Desde esta red fonológica surge la conexión con las dos corrientes, ventral y dorsal. Las regiones rosadas, corriente ventral, comprenden a la Interfaz Léxica (porciones medio posterior e inferior del lóbulo temporal), que relaciona información fonológica y semántica (el sonido pesquisado fonológicamente es relacionado a nuestro léxico mental o las palabras que tenemos guardadas en el cerebro), tal reconocimiento léxico, por supuesto,

involucraría conectar a la Red Conceptual que denota a esa palabra, es decir, conectar la forma del sonido a su significado; y la Red Combinatoria (porción anterior), que nos entrega información sobre la combinación de las palabras, o sea, basándonos en que las palabras generalmente no las oímos aisladas, requerimos de reglas de combinación que nos contextualicen de mejor manera la conexión entre todos los elementos léxicos que oímos o producimos. Por arriba, la red fonológica conecta con la corriente dorsal de color azul, la cual es indicio que existen áreas cerebrales que nos permiten articular. En el área de la cisura de Silvio, en el límite parieto temporal, se encuentra la Interfaz Sensorimotora (que traduce información auditivo sensorial en motora) y, en el lóbulo frontal –probablemente área de Broca- y más dorsal de la región premotora, nos encontramos con la porción de la Red Articularia, la cual nos permite producir físicamente el habla (Hickok y Poeppel, 2007; Poeppel b, 2011).

Este modelo de procesamiento del lenguaje funciona de distinta manera a cómo operan en el cerebro otras actividades humanas:

This distributed functional anatomy for speech recognition contrasts with other systems. For example, in the study of face recognition, one brain region plays a disproportionately models that have been developed for speech recognition and phonological processing are much more extended and bear a resemblance to the organization of the visual system. (Kravitz et al. 2011 en Hagoort y Poeppel, 2013, p. 244)

Todos estos avances en la ciencia producen nuevas preguntas y desafíos a la hora de hablar de neuroanatomía y neurofisiología del lenguaje. Se ha llegado a la conclusión que no existen áreas netamente específicas para la semántica o la sintaxis, como tampoco una región puntual para los sonidos o las palabras, si no que envuelven una gran complejidad, unificación y conexión de distintas operaciones neurales (Hagoort y Poeppel, 2013, p. 254). Es decir, “the functional anatomy is not a one-to-one mapping from putative language operation to parts of brain” (Hagoort y Poeppel, 2013, p. 254).

También se ha descubierto que durante los primeros años del desarrollo del lenguaje el cerebro se caracteriza por una extraordinaria plasticidad. De hecho, si un procedimiento radical como la hemisferectomía del lado izquierdo –por ejemplo, en casos de epilepsia severa-, se realiza antes de la adquisición del lenguaje, es factible que el niño sea capaz de procesar el lenguaje como otro niño normal. No obstante, la plasticidad decrece con la edad, así como la especialización de las regiones cerebrales se incrementa (Fromkin et al, 2011). Por otro lado, hoy también se sabe que el tamaño del área del lenguaje “está relacionado de forma inversa con la capacidad para utilizarlo” Kolb y Wishaw, 2006, p. 498), como, además, daños en zonas alejadas en la corteza cerebral son capaces de producir trastornos del lenguaje o lesiones en las áreas involucradas directamente en el procesamiento pueden generar déficits “en el control motor voluntario de la musculatura facial, en la memoria a corto plazo y en la lectura” (Kolb y Wishaw, 2006, p. 498). En esa línea, existiría evidencia clara que, en la integración auditiva y motora del procesamiento del lenguaje, participarían estructuras como “el tálamo izquierdo, el núcleo caudado izquierdo, y la sustancia blanca subyacente” Kandell et al, 1997, p. 687).

Hoy en día las grandes tareas apuntan en descubrir los detalles más específicos que se encuentran en la organización de corrientes de procesamiento y las operaciones computacionales (Hickok y Poeppel, 2007), interrelacionadas en los procesos neuronales. En el fondo, estos avances nos han puesto en una encrucijada: “how these neural models relate to linguistic and psycholinguistic models of language structure and processing” (Hickok y Poeppel, 2007, p. 401) o en otras palabras, cuál es el conjunto de unidades primitivas de la mente que se relaciona con cuáles unidades primitivas del conjunto del cerebro (Poeppel, 2012; citado. en Mendivil, 2014). Si bien no es aún evidente decir que tales neuronas o circuitos son responsables específicos de tal o cual función, no se puede negar que son las neuronas y los circuitos los “elementos biológicos de la actividad mental” (Tapia, 1990, p. 23), toda vez que ya se ha superado la antigua discusión entre las teorías monistas y las dualistas, es decir, entre las teorías que indican que las actividades mentales realmente sólo son procesos físicos o las teorías que aceptan que la mente per se es de naturaleza no física (Hansberg,

1990), pues “Todos los datos científicos obtenidos hasta ahora apuntan a la conclusión general de que esa representación coherente de la realidad externa a la que llamamos ‘mente’, se corresponde directamente con los variables patrones de activación y silencio de las poblaciones de neuronas que forman las complejas redes del cerebro” (Belmonte, 2014, p. 5) . Por otro lado, se está investigando cómo distintos factores o actitudes humanas se relacionan con el procesamiento del lenguaje. De hecho, se ha descubierto que a mayor atención de la persona se determina la profundidad con que el procesamiento lingüístico trabaja el estímulo (Rimmele, Golumbic, Schröger, Poeppel, 2015) o el funcionamiento del procesamiento dual en sujetos con implantes cocleares (Montesinos, Vieiro, Gómez, García, 2014).

Finalmente, tal como se ha enfatizado en otros apartados, la evolución del estudio del procesamiento cerebral del lenguaje manifiesta tendencias que también surgen en las otras disciplinas que abordan el estudio del lenguaje. Desde la revolución cognitiva de Chomsky que originó la lingüística generativa transformacional que otorgó el rol de capacidad humana al lenguaje (Chomsky, 1977), los estudios de la lengua han ido encontrándose con otras áreas como las funciones comunicativas, las estructurales culturales y las relaciones con la mente y el cuerpo.

Actualmente, la lingüística cognitiva plantea que el lenguaje es “un aspecto del procesamiento cognitivo que puede definirse en términos de ‘patrones’ recurrentes de activación neuronal (Cucatto, 2009, p. 16) y que simboliza, a través de las estructuras lingüísticas (Langacker, 1987, 1991), el modo en que los sujetos percibimos, experimentamos y categorizamos el mundo (a partir de experiencias individuales como así también colectivas y/o sociales), y , consecuentemente, le otorgamos significación” (Pérez y Rojas, 2012, p. 2). Se comprende, por tanto, que las preguntas que movilizan actualmente el procesamiento cerebral del lenguaje, desde una perspectiva neuronal, son las mismas que atañen a la lingüística, desde una perspectiva cognitiva. Si pudiéramos realizar una analogía, podríamos apropiarnos de lo expuesto por Elders al referirse a la dicotomía Chomsky-Foucault en la afamada discusión en Amsterdam en 1971: “considerarlos como cavadores

de túneles que trabajan con herramientas diferentes en laderas opuestas de una misma montaña, y que no saben siquiera si están acercándose” (Elders, 2007, p. 7), es decir, tanto la lingüística como el procesamiento cerebral del lenguaje utilizan procedimientos distintos, pero que apuntan a las mismas problemáticas sobre la naturaleza del lenguaje y, quizás, sin saberlo, se están aproximando. Al respecto, señala:

La explicación de las propiedades de este módulo mental en términos de los tejidos y de la actividad somática realizada en los sectores cerebrales correspondientes cae en cambio fuera de la competencia de la lingüística. Ahora bien, a la luz de la evolución de ciertos dominios de la ciencia en fechas no demasiado lejanas, empieza a cobrar crédito la idea de que la lingüística, en tanto que estudio abstracto de ciertas propiedades de la mente, consiste en una disciplina de transición que prepara el terreno a una rama de la Neurociencia, que nos permitirá explicar ya las diferentes propiedades de las lenguas en términos de los mecanismos cerebrales en que se apoyan (Lorenzo, 1995-1996, p. 78)

No obstante, aún existe distancia. Para uno de los especialistas de la lingüística cognitiva, Javier Valenzuela Manzanares de la Universidad de Murcia, aún existe escepticismo frente a propuestas que pretendan describir, por ejemplo, las metáforas como conexiones neuronales, pues si bien existe evidencia sobre cómo funciona una neurona es aún aventurado el indicar cómo funcionan miles de neuronas juntas, considerando además que existen variabilidades entre sujetos, gran plasticidad cerebral y las influencias de la experiencia en todo este fenómeno (Herrera, 2016).

Organización del análisis temporal del lenguaje en el cerebro

Para que un sonido sea audible, debe cumplir con ciertos requerimientos: una fuente de producción vibratoria; un medio material que propague la vibración; y un aparato auditivo, que capture la vibración y la transforme en información comprensible (Luque, 2002). Este estímulo externo, audible por el ser humano, se encuentra desde 20 Hz a 20 kHz (Hertz,

Hz, indica la frecuencia de oscilación de un elemento en un segundo), y viaja desde el pabellón auricular hasta el cerebro, a través de tres áreas: externa (pabellón y canal), cuya función es transmitir el sonido o estímulo acústico al oído medio; media (tímpano, cadena de huesecillos), siendo su función la de acoplar la vibración externa al líquido del oído interno; y la interna (laberinto vestibular, cóclea), ya en el hueso temporal, llena de un fluido de composición electrolítica. En la cóclea se encuentran las células ciliadas, las cuales son excitadas por las oscilaciones de la membrana basilar, produciendo potenciales de acción en las neuronas, siendo muy relevante en la traducción y procesamiento de la información externa. Estas neuronas en la cóclea son alrededor de 30.000, las cuales inervan el órgano de Corti, encontrándose su soma en el canal de Rosenthal, dando forma al ganglio espiral, el cual hace sinapsis en el sistema nervioso central (Shepherd, 2004; Kandell et al. 2000; Heffner et al. 1994; Nadol 1997 citados en Prado, 2013). Posteriormente, se desarrolla el procesamiento auditivo en el sistema nervioso central.

Por otro lado, se considera al cerebro como un dispositivo computacional, que se ha demostrado es capaz de capturar la cadena hablada no de una manera continua en serie, es decir, de una manera jerárquica desde las unidades mayores a las unidades menores (Hickok y Poeppel, 2007), si no que en islas o ventanas temporales de diferentes tamaños o segmentos, elementos básicos de la señal acústica verbal, que son factibles para la comprensión (Poeppel, 2011):

Determining the order of segments that constitute a lexical ítem (such as the difference between ‘pets’ and ‘pest’) requires information encoded in temporal Windows of 20-50 ms. To achieve successful lexical access (an to succeed on numerous other temporal order tasks in auditory perception), the input signal must be analysed at this scale (Hickok y Poeppel, 2007, p. 396).

En ese sentido, se supone que cada input o estímulo externo que ingresa al sistema, posee información importante—en distintas escalas de tiempo—que la hace factible de poder procesarse o que se requieren para una

decodificación exitosa: información fonémica en décimas de milisegundos, información silábica en centésimas de milisegundos e información entonacional en 1000 milisegundos (Giraud y Poeppel, 2012; Stevens, 2002; Zion et al, 2012; citados en Rimmele, Sussman, Poeppel, 2014). A partir de los estudios de Poeppel (2003), quien explicitó la asociación entre propiedades temporales del habla y oscilaciones neuronales, y de Ghitza (2011, 2013), el cual formuló un modelo diseñado para comprender cómo las señales discursivas pesquisadas en el rango de 20-50 ms. son fragmentadas y organizadas en trozos de habla de una extensión silábica, para luego ser decodificadas (Farbood, Rowland, Marcus, Ghitza, Poeppel, 2014; Poeppel, 2014), hoy existe evidencia clara que las oscilaciones neuronales en la corteza cerebral privilegian ciertas frecuencias (delta 1-3 Hz, theta 4-8 Hz, low gamma 30-50 Hz), lo cual explicaría que hayan mecanismos que dividan el input de cadena hablada continua en estos trozos factibles de analizar (Poeppel, 2014), correspondientes con tales frecuencias:

Phonetic features (20–80 ms), for example, are associated with low gamma and beta oscillations (15– 50 Hz), while syllables and words (mean duration of 250 ms) are associated with theta (4–8 Hz) oscillations. Likewise, sequences of syllables and word embedded with in a prosodic phrase (500–2000 ms) correspond to delta oscillations (1– 3 Hz) (Farbood et al, 2014, p. 6).

Por tanto, el mecanismo neuronal logra partir la señal extendida en unidades de un tamaño apropiado que permite la activación e interacción de multitudes de neuronas. Estas oscilaciones neuronales, entonces, son capaces de interactuar con las señales acústicas recibidas de tal manera que las reajustan y generan un muestreo silábico apropiado para el “lenguaje” oscilatorio del cerebro (Fritz, Poeppel, Trainor, Schlaug, Patel, Peretz, Rauschecker, Halle, Stregapede, Parsons, 2013).

Un aspecto impresionante de estas características es que también se ha demostrado que frente a acordes musicales coinciden patrones de frecuencia que responden para el habla, suponiéndose, por consiguiente,

que el procesamiento musical y del lenguaje comparten recursos neuronales (Farbood et al, 2014). Ambos dominios, musical y lenguaje, requieren analizar elementos en escalas temporales de décimas de milisegundos (fonemas, notas, etc.), en alrededor de 150 a 300 milisegundos y escalas largas vinculadas con aspectos entonacionales o prosódicos, utilizando procedimientos de organización similar, pues estas constantes temporales, entonces, subyacen a organizaciones neuronales (Fritz et al, 2013).

Indican Rimmele, Zion, Schröger, Poeppel (2015):

Phase-locking of neural activity in auditory cortex to the temporal envelope of speech is observed primarily in the theta frequency range (3-7Hz), corresponding to the syllabic time scale in speech. It is well established that the low-frequency fluctuations in the speech envelope, which carry temporal information about syllable onsets/offsets as well as prosodic cues, are crucial for speech intelligibility (Shannon et al. 1995; Giraud and Poeppel 2012; Zion Golumbic et al. 2012; Ghitza et al. 2013; Doelling et al. 2014). (p. 6)

Ahora bien, también es cierto que lo que requiere el cerebro es desempeñar un análisis que ocurra en dos escalas de tiempo distintas. En cierto modo, según Poeppel (2011) lo que el cerebro realiza con el estímulo verbal externo es una representación interna, construida y abstracta de tal estímulo, que posee estas distintas escalas de tiempo y provenir de elementos diversos del habla: “that decoding of speech is a multi-time-resolution process, integrating the speech signal analysis on (at least) two different timescales differentially relevant for specific aspects of linguistic analysis” (Telkemeyer, Rossi, Koch, Nierhaus, Steinbrink, Poeppel, Obrig, Wartenburger, 2009, p. 14.727). Es decir, considerando lo que hoy también se sabe sobre la asimetría cerebral, pues ambos hemisferios cumplen tareas distintas en la organización temporal del lenguaje, la corteza auditiva bilateral, aunque con predominancia izquierda, operaría en la integración de fracciones temporales más rápidas o breves y la derecha con fracciones temporales más largas (Hickok, Poeppel, 2007). No obstante, ambos trabajando estas diferentes escalas temporales al mismo tiempo (Poeppel, 2011). Según

Marín(2014):

El análisis de la información en las escalas de tiempo lenta se realiza en el hemisferio derecho y el de la escala rápida bilateralmente, pero el papel fundamental de la dominancia izquierda sería en la predisposición de este hemisferio al tratamiento categorial de la información acústica. Posteriormente a los análisis corticales de naturaleza acústica la información que ha sido extraída se combina para obtener acceso al nivel léxico. (p. 5)

Boemio, Fromm, Braun y Poeppel (2005) han evidenciado lo anterior, ya que tanto el hemisferio derecho como el izquierdo, en el área de la corteza temporal superior, poseen alta demanda de oxigenación sanguínea en respuesta a modulaciones acústicas rápidas; en cambio, para transiciones temporales lentas, la activación se produce en el hemisferio derecho (Telkemeyer et al, 2009).

Por otra parte, también se sabe que la información temporal se combina para preparar a nuestro sistema en la recepción de futuros estímulos, cumpliendo un rol predictivo trascendental en el enfoque de la atención, siendo, entonces, el sistema perceptual flexible y pro activo (Schroeder et al., 2010; Zion Golumbic et al., 2012; Van Atteveldt, Thut, Schroeder, 2014; cit en Ten Oever; Schroeder; Poeppel; Van Atteveldt; Zion-Golumbic, 2014), cumpliendo un rol de predicción temporal (Giraud, Poeppel, 2012; Greenberg et al., 2003; Luo, Poeppel, 2007; citados en Ten Oever et al. 2014). Por consiguiente,

(...) sensory selection (stimulus detection or sensory weighting) can be passively or actively (through prediction) regulated through modulation of the prestimulus oscillatory state. However, whether they govern subjects' accuracy remains unclear. That is, whether oscillations play an instrumental role in determining whether an event occurs at the expected time has not been elucidated (Arnal, Doelling, Poeppel, 2014, p. 1)

Si es correcta la visión de la organización temporal del lenguaje, que segmentos del habla se corresponden con oscilaciones neuronales en determinadas escalas de tiempo factibles de analizar (Banda delta/contorno de entonación, banda theta/valor silábico, banda gamma/modulación segmental), se hace evidente entonces que esto conlleva una lógica que podría ir más allá de los procesos del lenguaje en nuestro cerebro. Los estudios revelan que las oscilaciones neuronales descritas en la organización temporal del análisis lingüístico, no sólo están presentes luego de recibir señales externas (sonidos, habla), sino que son propias de la actividad neuronal en el área motora y auditiva, tanto en animales como en seres humanos (Giraud et al. 2007; Morillon et al. 2010; citados en Hagoort y Poeppel, 2013).

Conclusiones

El modelo clásico infería que amplias regiones del cerebro estaban dedicadas a tareas puntuales en el procesamiento del lenguaje, no obstante la evidencia señala que tales regiones se ocupan de múltiples quehaceres cognitivos, incluso no sólo involucradas con el habla, sino también con otras actividades del ser humano. Es decir, la idea clásica de áreas monofuncionales y amplias ha evolucionado hasta reconocerse que las áreas son más pequeñas y especializadas, con subtareas asociadas a otras mayores.

Naturalmente, lo que hoy sabemos sobre el vínculo lenguaje-cerebro se debe, en gran parte, a las nuevas tecnologías que permiten desarrollar estudios no invasivos, no necesariamente asociados a lesiones cerebrales y mientras las personas viven.

Por ejemplo, el cerebro se caracteriza por una gran capacidad plástica. Por consiguiente, en el área del lenguaje, si bien existe una predominancia del hemisferio izquierdo (como suponía la teoría clásica), hoy se sabe que el derecho no solamente cumple tareas innumerables y fundamentales, sobre todo en los aspectos de reconocimiento del habla (ver modelo Hickok – Poeppel, 2007), sino que es capaz, incluso, de relevar al izquierdo si éste es

dañado antes de la adquisición del lenguaje.

Por tanto, las funciones cerebrales durante el procesamiento del lenguaje son complejas, interconectadas y profundas, no tan simples como se pensaba en el modelo Broca-Wernicke-Geschwind. El modelo Hickok - Poeppel no habla de 2 o 3 áreas circunscritas, si no de siete áreas funcionales, interasociadas, complejas y con funcionamientos paralelos, más que unidireccionales. En ese sentido, destaca la idea que el procesamiento del lenguaje no ocurre en una vía lineal, sino que en dos vías o corrientes de procesamiento, ventral (reconocimiento del habla) y dorsal (percepción del habla) que en su conjunto dan cuenta del proceso.

Para ser justos, sin embargo, con 150 años de historia, el mismo Poeppel subraya la relevancia fundamental y fundante del modelo clásico:

(...) in the last 10-15 years, the model of how language is processed in the brain has changed dramatically from the classical perspective developed between 1861 (Broca), 1874 (Wernicke), 1885 (Lichtheim), and the 1970s (Geschwind). These changes are a consequence of a more mature linguistics, psychology, and neuroscience. It is important to acknowledge the immense contribution to basic and clinical neuroscience that the classic model has made –but to acknowledge as well that it cannot be carried forth as a realistic view on language and the brain (Poeppel, 2014, p. 147)

Lo que hoy se sabe sobre la organización temporal de los estímulos externos verbales, que son captados por nuestro sentido de la audición, han revolucionado la teoría en el sector. En la actualidad, se ha descubierto que el sistema de análisis de la cadena hablada no es realizado en una línea temporal continua correspondiente con el estímulo verbal externo, sino que el cerebro es capaz de desintegrar las longitudes de los inputs, que provienen en distintas escalas de tiempo, generalmente en elementos básicos de señal externa de alrededor de 20-50 ms. Luego, la organización del análisis temporal es capaz de homologar distintas longitudes de input con diferentes frecuencias de trabajo cerebral. Es decir, el cerebro hace

equivalente elementos fonéticos de 20-80 ms. con oscilaciones low gamma y beta de (15-50 Hz); elementos silábicos y palabras de 250 ms. con oscilaciones theta (4-8 Hz); y frases mayores de 500-2000 ms. corresponden con oscilaciones delta (1-3 Hz), siendo la frecuencia “silábica” clave para lograr la inteligibilidad del mensaje recibido.

Ahora bien, la información de las escalas de tiempo lenta sería analizada en el hemisferio derecho y las de escala rápida de manera bilateral, confluyendo, luego del análisis, en una comprensión cabal gracias al consecuente acceso al nivel léxico.

Los desafíos en esta área radican en seguir profundizando en los interesantes aspectos de la predicción lingüística, la relación del análisis temporal verbal con el no verbal, sobre todo musical y las correspondencias aún más precisas entre unidades elementales del lenguaje con unidades elementales del sistema neuronal.

Por último, la capacidad predictora de nuestro sistema neuronal, abre nuevos caminos en áreas tan disímiles como el estudio de la telepatía. Como bien indica Poeppel, un desafío trascendental es descubrir la correspondencia exacta entre las unidades lingüísticas primitivas de la mente con las unidades neuronales primitivas del cerebro.

Referencias bibliográficas

- Acosta, J. (2012). Anatomía Oído. Consultado el 12 de enero de 2015. Disponible en: http://orlcba.com/anatomia_orl_basica.php
- Arnal, L.; Doelling, K.; Poeppel, D. (2014). Delta–Beta Coupled Oscillations Underlie Temporal Prediction Accuracy. *Cerebral Cortex* doi:10.1093/cercor/bhu103
- Barcia-Salorio, D. (2004). Introducción histórica al modelo neuropsicológico. *Revista de neurología*, 39 (7): 668-681.
- Belmonte, C. (2014). Desenmarañando el cerebro. Los caminos de las neurociencias. Conferencia inaugural leída el día 16.10.2014 en la apertura del curso de las Reales Academias celebrada en la

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, España.
Disponible en: http://www.rae.es/sites/default/files/Conferencia_inaugural_Carlos_Belmonte._Apertura_curso_Reales_Academias._161014.pdf

- Benveniste, E. (1971). Problemas de lingüística general. México D.F., México: Siglo veintiuno editores.
- Boemio A.; Fromm S.; Braun, A.; Poeppel D. (2005) Hierarchical and asymmetric temporal sensitivity in human auditory cortices. *Nat Neurosci.*; 8(3):389-95
- Campillo-Valero, D.; García-Guixé, E. (2005). Origen y evolución del lenguaje. *Revista de neurología*, 41 (supl. 1): S5-S10
- Caplan, D. (1992). Introducción a la neurolingüística y al estudio de los trastornos del lenguaje. Madrid; España: Visor Distribuciones S.A.
- Chomsky, N. (1977). Problemas actuales en teoría lingüística. Temas teóricos de gramática generativa. México D.F., México: Siglo veintiuno editores.
- Cucatto, A. (2009) Introducción a los estudios del lenguaje y la comunicación. Teoría y práctica. La Plata, Argentina: ed. De la Universidad Nacional de la Plata.
- Doelling, K.; Arnal, L.; Ghitza, O.; Poeppel, D. (2014) Acoustics landmarks drive delta-theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perception parsing. *Neuroimage* 85, 761-768
- Donoso, A. (1998). Cerebro y lenguaje. Santiago, Chile: Ed. Universitaria.
- Donoso, A. (1992). Desarrollo histórico de la correlación cerebro-lenguaje. *Revista de psicología*, Vol. 111 Ng 1
- Elders, F. (2007). La naturaleza humana: justicia versus poder. Buenos Aires, Argentina: Katz editores.
- Escobar, M.; Suárez-Escudero, J. (2013). Biología del lenguaje desde la afasia post ataque cerebrovascular: reporte de tres casos y revisión de tema. *Med. U. P. B.* [online]. vol.32, n.1, pp. 44-53.
- Farbood, M.; Rowland, J.; Marcus, G.; Ghitza, O.; Poeppel, D. (2014). Decoding time for the identification of musical key. *Atten Percept Psychophys.* 77:28-35
- Fromkin, V.; Rodman, R.; Hyams, N. (2011). An introduction to language. Boston, USA: Wadsworth Cengage learning

- Fritz, J.; Poeppel, D.; Trainor, L.; Schlaug, G.; Patel, A.; Peretz, I.; Rauschecker, J.; Halle, J.; Strögapede, F.; Parsons, L. (2013). The Neurobiology of Language, Speech, and Music. "Language, Music, and the Brain," edited by Michael A. Arbib. Strüngmann Forum Reports, vol. 10, J. Lupp, series ed. Cambridge, MA: MIT Press. 978-0-262-01810-4. 417-459
- García, R.; González, V. (2014). Las funciones psíquicas superiores, la corteza cerebral y la cultura. En-claves del pensamiento, vol. VIII, 15, 39-62.
- Garman, M. (1990). Psicolingüística. Madrid, España: Visor Libros.
- González, J. (1994). Mente y cerebro. Madrid, España: Iberediciones.
- González, J. (2007). Cerebro y Lenguaje: La Representación Neural de las Palabras y sus Significados. Texto adaptado y ampliado de: Brain and Language: The Neural Representation of Words and their Meanings Invited speech (III Conference ALFAL-NE). Oxford University, Taylor Institution, Oxford, UK. 21-22 June 2007
- Hagoort, P.; Poeppel, D. (2013). The infrastructure of the language-ready brain. En M. A. Arbib (Ed.), Language, music, and the brain: A mysterious relationship (pp. 233-255). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hansberg, O. (1990). La naturaleza de los fenómenos mentales. Revista de la Universidad Nacional Autónoma de México. V XLV, 474, 17-20.
- Herrera, L. (2016). Actualidad investigativa y perspectivas de la lingüística cognitiva: tiempo, espacio y metáfora. Lit. lingüíst. [online]. n.33 [citado 2018-12-16], pp. 349-368. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-58112016000100017&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0716-5811. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-58112016000100017>.
- Hickok, G.; Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. Nature reviews. Volumen 8, 393-402
- Kaku, M. (2014). El futuro de nuestra mente. Barcelona, España: Penguin Random House Grupo Editorial
- Kandel, E.; Jessell, T.; Schwartz, J. (1997). Neurociencia y conducta. Madrid, España: Pearson Educación S.A.

- Kandel, E.; Schwartz, J.; Jessell, T. (2001). *Principios de Neurociencias*. Madrid, España: Mc Graw- Hill Interamericana.
- Kolb, B.; Whishaw, I. (2006). *Neuropsicología humana*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Labos, E.; Slachevsky, A.; Fuentes, P.; Manes, F. (2008). *Tratado de neuropsicología clínica*. Buenos Aires, Argentina: Librería Akadia Editorial.
- Lorenzo, G. (1995-1996). El estudio del lenguaje como ciencia natural. C.I.F., XXI-XXII, 69-88.
- Luque, J. (2002). *Fundamentos físicos del habla*. Sevilla, España: Edición de la Universidad de Sevilla, Departamento de Tecnología Electrónica.
- Manning, L. (1992). *Introducción a la neuropsicología clásica y cognitiva del lenguaje. Teoría, evaluación y rehabilitación de la afasia*. Madrid, España: Ed. Trotta S.A.
- Marín, A. (2014). Relación entre discriminación auditiva, umbral diferencial tonal y dislalias en un grupo de alumnos de educación infantil y primaria. XXIX Congreso Internacional AELFA 2014, Murcia.
- Martínez, J. (2008). *Neurolingüística: patologías y trastornos del lenguaje*. Revista digital universitaria. Volumen 9, N 12, 1-18
- Mendivil, J. (2014). Breve biografía de una disciplina emergente. *Conciencias*, N° 13, V. 1, 30-45.
- Montesinos, P.; Vieiro, P.; Gómez, M.; García, T. (2014). *Análisis on-line de las estrategias de acceso léxico en sujetos con implante*. Encuentros sobre psicología, comunicación y lenguaje, Universidad de La Coruña, isbn: 978-84-9749-585-1
- Nofre, D. (2006). En el centro de todas las miradas: una aproximación a la historiografía de la frenología. *BIBLID* 0211-9536, 26; 93-124.
- Owens, R. (2003). *Desarrollo del lenguaje*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Pérez, L.; Rojas, G. (2012). Aportes de la lingüística cognitiva al análisis de discurso del periodismo audiovisual. Congreso de periodismo y medios de comunicación, Universidad Nacional de La Plata.
- Pinel, J. (2007). *Biopsicología*. Madrid: Pearson Educación S.A.

- Poeppel, D. (2014). The neuroanatomic and neurophysiological infrastructure for speech and language. *Current opinion in neurobiology*, 28: 142-149
- Poeppel, D.; Emmorey, K.; Hickok, G.; Pylkkänen, L. (2012). Towards a New Neurobiology of Language. *The Journal of Neuroscience*, 32 (41): 14125-14131
- Poeppel, D. (2012). The maps problem and the mapping problem: two challenges for a cognitive neuroscience of speech and language. *Cognitive Neuropsychology*, 29: 1-2, 34-55.
- Poeppel, D. (a 2011). Genetics and language: a neurobiological perspective on the missing link (-ing hypothesis). *Journal Neurodevelop Disord.* 3: 381-387. DOI 10.1007/s11689-011-9097-0
- Poeppel, D. (b 2011). Lenguaje en el cerebro: qué debes saber para hacer amigos y ser influyente. Conferencia en San Sebastián, España, [video] disponible en: <http://www.gipuzkoa.tv/play.php?vid=2330>
- Poeppel, D. (2008). The cartographic imperative: confusing localization and explanation in human brain mapping. Berlín, Alemania: Bildwelten des Wissens.
- Prado, P. (2013). Procesamiento temporal auditivo: maduración y dependencia de la integridad del ganglio espiral analizadas mediante potenciales evocados en modelos animales. Tesis doctoral, Centro de Neurociencias de Cuba Grupo de Neuro-estimulación.
- Purves, D.; Augustine, G.; Fitzpatrick, D.; Hall, W.; Lamantia, A.; McNamara, J.; Williams, M. (2007) *Neurociencia*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Redolar, D. (2014). *Neurociencia cognitiva*. Barcelona, España: Editorial Médica Panamericana.
- Rimmele, J.; Sussman, E.; Poeppel, D. (2014). The role of temporal structure in the investigation of sensory memory, auditory scene analysis, and speech perception: A healthy-aging perspective, *Int. J. Psychophysiol.*
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.06.010>
- Rimmele, J.; Zion Golumbic, E.; Schröger, E.; Poeppel, D. (2015). The effects of selective attention and speech acoustics on neural speech-tracking in a multi-talker scene, *CORTEX*, doi: 10.1016/j.

cortex.2014.12.014.

- Rodríguez, A. (2009). Los nuevos retos: “cerebro e inteligencia”, Aproximación científica al estudio del cerebro en relación con la inteligencia en edades tempranas. *Revista Docencia e Investigación*, N° 1, 9, 211-221.
- Saussure, F. (1945). *Curso de lingüística general*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Losada.
- Silbert, L.; Honey, C.; Simony, E.; Poeppel, D.; Hasson, U. (2014). Coupled neural systems underlie the production and comprehension of naturalistic narrative speech. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 111(43): E4687-96
- Tapia, R. (1990). La química del cerebro y las funciones mentales. *Revista de la Universidad Nacional Autónoma de México*. V XLV, 474, 21-24.
- Telkemeyer, S.; Rossi, S.; Koch, S.; Nierhaus, T.; Steinbrink, J.; Poeppel, D.; Obrig, H.; Wartenburger, I. (2009) Sensitivity of Newborn Auditory Cortex to the Temporal Structure of Sounds. *The Journal of Neuroscience*, 29(47):14726–1473
- Ten Oever, S.; Schroeder, C.; Poeppel, D.; Van Atteveldt, N.; Zion-Golombic, E. (2014). Rhythmicity and cross-modal temporal cues facilitate detection. *Neuropsychologia* 63, 43-50
- Timerime. s/año. Línea de tiempo. Disponible en: <http://timerime.com/es/>
- Yule, G. (2007). *El lenguaje*. Madrid, España: Akal

Artículo Recibido: 13-10-2018

Artículo Aceptado: 13-02-2019