



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y
SOCIALES**

**“La influencia del gen FOXP2 en las neuronas
espejo como el origen de la habilidad lingüística
en humanos”**

T E S I N A

Que para obtener el título de:

LICENCIADO EN ANTROPOLOGÍA FÍSICA

P R E S E N T A:

ALBERTO CARLO GUTIÉRREZ IXTA

DIRECTOR(A) DE TESINA:

MILDRETH LILIET HERNÁNDEZ CRUZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Este trabajo no solo es mío, sino que es el resultado del esfuerzo y apoyo de varias personas, por lo que me gustaría dedicarles este logro. A mis padres, Alberto Gutierrez Ramírez y Julia Ixta Espinosa, quiero agradecerles por siempre estar ahí para mí y nunca rendirse a pesar de los errores que he cometido. Nunca habría llegado hasta aquí sin ustedes, los amo y sé que siempre puedo encontrar refugio en ustedes. A mis hermanos, Aldo Italo Gutierrez Ixta y Julia Jakelin Gutierrez Ixta, con quienes he compartido muchos momentos maravillosos y sé que siempre puedo contar con ellos sin importar lo que pase. A mi amada, Esmeralda Godínez Serna, quien en poco tiempo me ha brindado su amor y apoyo incondicional. La persona que sé que siempre estará a mi lado.

Agradezco de todo corazón a la Profesora Isabel Sanz, quien me ayudó a prepararme para entrar a la Universidad. También quiero agradecer a Jessica Colin Aguilar, quien me brindó su amistad desde el principio de la carrera, con quien he reído y aprendido muchísimo. A mis amigos de la carrera, Alfredo García, Marlon Barajas, Noemí Alhelí, con quienes he compartido muchas risas y reflexiones. Quiero agradecer a mis primos, Yessica González Ixta, Vianey González Ixta, Manuel Vélez Ixta y Antonio Vélez Ixta, con quienes tuve muchos momentos de diversión de niño, me han aconsejado y admiro mucho por todo lo que han logrado.

De manera especial quisiera agradecer a mi directora de tesis, la Dra. Mildreth Liliet Hernández Cruz, quien me dio la oportunidad de participar como adjunto y conocer más del ámbito académico. Y, sobre todo, quisiera agradecer al Dr. Javier Bernacer María y al Dr. José Ignacio Murillo Gómez, quienes me aceptaron en el grupo Mente-Cerebro y me permitieron vivir la más grande experiencia de mi vida personal y académica en la Universidad de Navarra.

ÍNDICE DE APARTADOS

Justificación	4
Planteamiento del problema	4
Conjetura	5
Introducción	7
1. ¿Qué es el lenguaje?	9
2. Desarrollo embriológico del cerebro	15
2.1 Cerebro y lenguaje	16
2.2 El aparato fonador	21
3. Desarrollo lingüístico en infantes	23
3.1 Aprendizaje del vocabulario	25
4. Evolución del lenguaje	27
4.1 Filogenia del lenguaje	27
4.2 Comunicación en primates	34
5. Origen gestual del lenguaje	37
5.1 Neuronas espejo	39
5.2 Genética del lenguaje	44
6. El circuito motor y los ganglios basales	47
6.1 El gen que cambió nuestro cerebro	50
6.2 Entendimiento de la acción vs percepción de la acción: una nueva interpretación del sistema espejo	51
Conclusiones	55
Anexo	58
Bibliografía	64

Justificación

La antropología, a lo largo de su historia como ciencia consolidada, ha estudiado al lenguaje en su intento de dilucidar lo que es el ser humano. La antropología lingüística, por ejemplo, se ha encargado de estudiar las variantes culturales de esta habilidad, y desde la antropología social existen corrientes como el estructuralismo de Claude Leví-Strauss (1908-2009), que ven al lenguaje como una herramienta que nos ayuda a formar la realidad.

Por su parte, la antropología física no se ha quedado atrás cuando se trata del lenguaje, pues esta ha formado parte de temáticas tan importantes como la teoría de la mente o la evolución. Y a pesar de que el tema ha sido ampliamente abordado, aún quedan algunos misterios por resolver, por ejemplo: saber cómo y cuándo apareció el lenguaje.

El lenguaje es considerado un hecho social, así como un hecho biológico, por lo que han surgido distintas teorías tratando de explicar su origen desde esas perspectivas. En lo que refiere al aspecto social tenemos la hipótesis del cerebro social de Robin Dunbar (1998) y desde la perspectiva biológica contamos con el estudio de fósiles para tratar de encontrar el origen de esta habilidad en nuestro linaje (Ayala & Cela Conde, 2013; Du Brul, 1977). Sin embargo, por la complejidad y características, lo ideal sería estudiar al lenguaje desde una perspectiva que integre, precisamente, esos dos aspectos.

Para lograr ese propósito, es que la antropología física debe de hacer puente con otras disciplinas, tales como las ciencias cognitivas (las neurociencias, la filosofía de la mente) y la genética. He ahí lo innovador de este trabajo que intenta recopilar datos de distintas disciplinas para desarrollar una perspectiva integral del origen del lenguaje, lo que nos permitirá comprender mejor el camino evolutivo del ser humano.

Planteamiento del problema

El lenguaje es una compleja herramienta cognitiva que permite, entre otras cosas, la comunicación, adquirir conocimientos e interactuar con el entorno (Hernández Cruz, 2019, 2022; Hoff & Shatz, 2007; Kirby, 2017; Maldonado et al., 2018; Papalia et al., 2009; Vygotsky, 1986). Debido a que el lenguaje requiere de una gran capacidad mental para la abstracción y la conceptualización se ha caracterizado como un rasgo único de los *Homo sapiens sapiens*.

Esto quiere decir que el lenguaje apareció junto con los humanos anatómicamente modernos hace unos 200,000 años +/- (Ayala & Cela Conde, 2013). Sin embargo, para algunos autores, este lapso es muy corto para desarrollar todo el aparato cognitivo necesario para una habilidad tan compleja como el lenguaje (Corballis, 2010; Pika, 2008; Zuberbühler, 2005). Por tal motivo, se piensa que ya existían ciertos prerrequisitos en el linaje que desencadenaron el lenguaje en los humanos anatómicamente modernos.

Aunque controversiales, los estudios de fósiles del linaje homo y estudios comparativos con primates no humanos parecen apoyar esa propuesta. Como ejemplo se pueden tomar dos descubrimientos que se dieron en la década de 1990; el gen FoxP2 (Lai et al., 2001) y las neuronas espejo (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, et al., 1996).

Conjetura

Es factible pensar que las mutaciones de gen FoxP2 humano provocaron una reorganización estructural en el cerebro que actuó sobre el Sistema de Neuronas Espejo, dando como resultado el control motor y la capacidad cognitiva necesarios para el lenguaje.

Marco teórico

Conceptos principales: lenguaje, evolución, origen del lenguaje y filogenia.

Tomando en cuenta que el lenguaje es el medio que une lo biológico con lo social y cultural, conviene entender el funcionamiento del cerebro partiendo de los trabajos de los neurofisiólogos, Paul Broca y Carl Wernicke en el siglo XVIII (De la Fuente & Alvarez-Leefmans, 2015; Waxman, 2011), así como los nuevos modelos que existen del lenguaje a nivel encefálico (Hickok et al., 2003; Hickok & Poeppel, 2000).

En cuanto al aspecto social del lenguaje, es importante retomar la propuesta del padre de la lingüística moderna, Ferdinand de Saussure (Sandoval & Canales, 2015). No obstante, al intentar ser un trabajo interdisciplinar, es necesario observar perspectivas teóricas provenientes de la psicología y las ciencias cognitivas, pues ayudan a nutrir el fenómeno del lenguaje.

Asimismo, es necesario retomar las principales teorías que, desde la antropología física, se ha encargado del estudio comparativo de distintas especies de primates (incluido el

Homo sapiens) y de obtener información de los fósiles del linaje humano, lo cual, si bien no ha podido resolver el problema del origen del lenguaje, ha brindado un camino que seguir (Arbib, 2016; Arbib et al., 2008; Ayala & Cela Conde, 2013; Pika, 2008; Tomasello et al., 1997).

Una vez considerado lo anterior, es decir, la complejidad del lenguaje desde diferentes disciplinas, conviene mencionar las dos principales categorías de este proyecto: el “gen FoxP2” (Lai et al., 2001; Lieberman, 2007, 2009, 2013; Zarate, 2015) y “las neuronas espejo” (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, et al., 1996; Rizzolatti & Craighero, 2004). El motivo es que tanto el gen FoxP2 como las neuronas espejo actúan al nivel del cerebro y están relacionados intrínsecamente, es decir, están implicados con el control motor que permite el habla -así como otras habilidades cognitivas-, habilidad única de los humanos, por tal motivo, el trabajo propone un origen del lenguaje tomando como base el control motor.

Objetivos

Objetivo específico:

- Estimar una ruta evolutiva sobre la habilidad lingüística en humanos mediante la relación entre el gen FoxP2 y las neuronas espejo.

Objetivos generales:

- Explicar lo qué es el lenguaje desde una perspectiva integral.
- Realizar una recopilación de distintas teorías del origen del lenguaje.
- Analizar distintos estudios lingüísticos comparativos entre primates no humanos y humanos.
- Entender cómo funciona el lenguaje a nivel del cerebro.
- Trazar la filogenia del lenguaje.

Introducción

El lenguaje es uno de los rasgos humanos más importantes y complejos que existen. A menudo se suele pensar que es una simple herramienta comunicativa, pero tiene más aplicaciones en la vida cotidiana, por ejemplo: clasificar la realidad, estructurar nuestros pensamientos e interactuar con el entorno (Barón Birchenall & Müller, 2014; Hernández Cruz, 2019, 2022; Hoff & Shatz, 2007; Maldonado et al., 2018; Papalia et al., 2009; Vygotsky, 1986). Es por su complejidad y versatilidad que ha sido ampliamente estudiado por diversas disciplinas, como pueden ser la antropología, la psicología, la biología, la filosofía, las ciencias cognitivas o las neurociencias.

Pero, a pesar de que es uno de los rasgos más estudiados, aún encierra algunos misterios, entre ellos el de su origen. Se piensa que el lenguaje detonó toda una revolución sociocultural y cognitiva en los humanos primitivos (Ayala & Cela Conde, 2013; Benítez Burraco, 2012; Bufill & Carbonell, 2004; Corballis, 2010; Zarate, 2015), por tal motivo, al trazar una ruta evolutiva de esta habilidad, podremos comprender mejor la evolución humana.

A principios del siglo XIX surgieron teorías del origen del lenguaje, pero fueron rechazadas por carecer de un rigor científico (Soto & García, 1997; Zarate, 2015). Sin embargo, gracias a los trabajos neurológicos de Paul Broca (1861) y Carl Wernicke (1874) se dieron grandes avances en cuanto al entendimiento de la operación del lenguaje a nivel encefálico. Mientras que, a principios del siglo XX, personajes como Ferdinand de Saussure lograron extender nuestra comprensión en cuanto a qué es el lenguaje y su importancia a nivel social, lo cual se vería nutrido a mediados de ese mismo siglo por los trabajos de científicos como Lev Vygotsky, Jean Piaget, Noam Chomsky o Fredric Skinner (Barón Birchenall & Müller, 2014; Benítez Burraco, 2012; Hoff & Shatz, 2007; Kandel et al., 2021; Papalia et al., 2009; Sandoval & Canales, 2015; Vygotsky, 1986).

En la actualidad, gracias a los estudios en paleoantropología y primatología, así como los avances en genética y neurociencias, se cuenta con propuestas más sólidas sobre el origen del lenguaje, siendo una de las más destacadas la *Teoría del origen gestual*. Dicha teoría propone que el lenguaje se originó a partir de un tipo de comunicación manual (Corballis, 2010; Zarate, 2015) y se ha visto apoyada por el descubrimiento de las neuronas espejo por

parte de Rizzolatti y su equipo de investigación (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, et al., 1996). No obstante, el problema con esta teoría es que no explica cómo se integró el habla al lenguaje, lo cual, para algunos investigadores, puede tener su respuesta en la genética (Corballis, 2010).

En la década de 1990 se dio el descubrimiento del gen FoxP2, conocido por estar involucrado en la producción del habla, lo que le ha valido el alias del *gen del lenguaje* (Corballis, 2004; Lai et al., 2001; Lieberman, 2009; Zarate, 2015). Este gen está presente en todos los animales vertebrados, pero en humanos tiene dos mutaciones específicas que también se han encontrado en neandertales (Enard et al., 2002; Krause et al., 2007; Lieberman, 2013; Zarate, 2015). Además, parece que el FoxP2 tiene importantes implicaciones estructurales en el cerebro (Lieberman, 2009; Zarate, 2015).

Si bien el lenguaje se transmite por medios socioculturales, es necesaria la maduración del Sistema Nervioso Central para que pueda desempeñarse correctamente. Por tal motivo, las características del FoxP2 permiten plantear la posibilidad de que el lenguaje se haya originado de la relación de este gen con el sistema de neuronas espejo. Sin embargo, es importante mencionar que el modelo planteado en esta investigación es motor y no busca señalar a alguno de los antepasados del linaje humanos como el espécimen con el que se originó el lenguaje, sino que, el objetivo es encontrar el posible evento evolutivo que originó la habilidad lingüística en los humanos modernos.

Debido a la dificultad que presenta estudiar tanto el cerebro como al lenguaje, para lograr una operacionalización y los objetivos planteados es necesario crear un puente interdisciplinario entre la antropología, primatología, psicología, filosofía, neurociencias, entre otras ciencias. Con ello, ambas características del ser humano pueden ser abordadas de forma satisfactoria.

1. ¿Qué es el lenguaje?

¿Qué es el lenguaje? Una pregunta que, a pesar de casi 200 años de abordajes teóricos por parte de distintas disciplinas, aún es muy difícil de responder. La razón de esto es que el lenguaje oscila entre lo biológico y lo sociocultural, lo cual ha dado paso a tantas definiciones como disciplinas que lo estudian.

Entre los siglos XIX y XX se dieron varios descubrimientos que ayudaron a entender al lenguaje tanto desde la biología como de la cultura. En orden cronológico, los primeros aportes provienen de la biología, cuando, en el siglo XIX, Franz Joseph Gall, fisiólogo alemán y experto en la anatomía del cerebro, fue uno de los pioneros en tratar de identificar las áreas neuronales involucradas en el lenguaje, aunque sin mucho éxito.

Según Ramón De la Fuente y Francisco Alvarez-Leefmans (2015): “(Gall) había creído notar que las personas parlanchinas tenían grandes ojos, por lo que infirió que tal prominencia era causada por hipertrofia de las regiones supraorbitarias del cerebro, donde, por lo tanto, debía localizarse la capacidad del lenguaje”. (p.239)

No obstante, la propuesta de Gall cimentó las bases para que su discípulo y amigo, Paul Broca, pudiera identificar un área específica del lenguaje en el cerebro ante la *Sociedad Antropológica de París* en 1861. Dicha hazaña la lograría analizando el cadáver de un paciente con problemas de expresión verbal, descubriendo una lesión en el lóbulo frontal izquierdo en la tercera circunvalación. Hoy esta enfermedad -que presentaba en ese entonces el paciente de Broca- se conoce como afasia y la región cerebral descubierta ahora lleva su nombre, *área de Broca*. (De la Fuente & Alvarez-Leefmans, 2015)

A su vez, el trabajo de Broca llevó a que Carl Wernicke pudiera analizar una especie de afasia no verbal que afectaba la capacidad de comprender el lenguaje. Fue de esta manera que, en 1874, realizando exámenes *postmortem*, descubrió que la mal función era causada por una lesión “en el tercio medio de la primera circunvolución temporal izquierda, zona que desde entonces se denomina área de Wernicke”. (De la Fuente & Alvarez-Leefmans, 2015, p.241)

Sin embargo, no todo fue tan fructífero en esta época. Las teorías que se propusieron sobre el origen del lenguaje desataron mucha controversia en la academia, lo que llevó a la prohibición por parte de *Sociedad Lingüística de París* para hablar del origen del lenguaje en 1866, cosa que imitaría la *Sociedad Filológica de Londres* a comienzos de los 1900's.

Soto y García (1997) mencionan que: "La actitud negativa de la lingüística oficial puede explicarse porque, durante largo tiempo, las "hipótesis" sobre el origen del lenguaje no fueron más que especulaciones carentes de sustrato empírico, que no parecían contribuir al avance de nuestra comprensión del habla humana". (p.6)

Las primeras teorías para explicar el origen del lenguaje mencionaron que esta habilidad provenía de la capacidad que tenían los primeros humanos para imitar los sonidos de la naturaleza, lo cual, a la postre, sirvió para poder entablar la comunicación entre pares, como bien lo explican las teorías teoría onomatopéyica (*bow-wow*) y teoría interjeccional (*pooh-pooh*) de Max Müller (1823-1900). (Zarate, 2015)

Al respecto Sandra Loredo Zarate (2015) menciona que:

-(La teoría onomatopéyica) afirma que el lenguaje proviene de la imitación de los diferentes sonidos que estaban en el mundo natural, por ejemplo, bow-wow es una imitación al sonido que produce un perro (...) (La teoría interjeccional) menciona que el lenguaje tendría su principio en los sonidos que expresan exclamaciones de ciertos estados emocionales. En esta teoría el sonido pooh-pooh significa un grito de dolor, que se generalizó con el tiempo para referirse al dolor-. (p.80)

A pesar de los contratiempos, a principios de los 1900's surgieron distintos trabajos que trataron el carácter simbólico y abstracto del lenguaje. De entre todos estos trabajos destacan los del padre de la lingüística moderna, Ferdinand de Saussure, quien veía a la lengua como una herramienta comunicativa que nos ayuda a estructurar la realidad mediante oposiciones. (Sandoval & Canales, 2015)

Para Saussure el lenguaje era el resultado de la interacción de una representación mental y un sonido. Sandoval y Canales (2015) llaman a esto una "*diada*" y explican que, en nuestra mente, existen imágenes de los objetos las cuales son invocadas cuando escuchamos un sonido que podamos relacionar a dichos objetos. (p.7)

Saussure pensó al lenguaje como un hecho social, por no poder existir de forma individual, sino más bien tiene que tomar en consideración a los otros. "La aportación teórica de Saussure, y por la cual se le considera el padre del estructuralismo, es haber considerado a la lengua como un sistema de signos donde

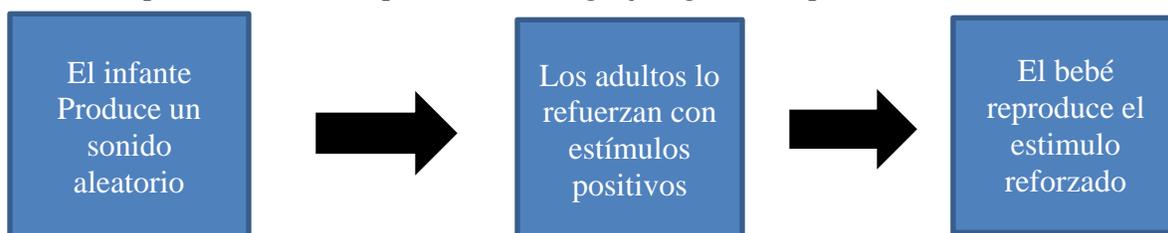
cada signo funciona al interior de ese sistema de reglas a partir de su código (su estructura); la lengua”.(Sandoval y Canales, 2015, p. 9)

Además de esto, el pragmatista Charles Sanders Peirce propuso el concepto de signo, el cual funciona mediante asociaciones de objetos y sonidos. Sandoval y Canales (2015) mencionan que, para Peirce, el signo es algo que representa un “aspecto” o una “capacidad”. El símbolo, por su parte, es una representación gráfica de los objetos y, por lo general, se trata como parte del signo. Bühler trató al símbolo como una representación que tiene relación con la realidad “extralingüística”. “A partir del lenguaje se genera, entre los individuos, el intercambio simbólico del contenido del mundo, y del estado de las cosas del mundo”. (Sandoval y Canales, 2015, p. 7)

Unos años más tarde, en 1957, para explicar la adquisición del lenguaje, el psicólogo estadounidense, B.F. Skinner postuló que esta habilidad se aprende mediante el condicionamiento operante (Hoff & Shatz, 2007; Kandel et al., 2021):

“Skinner argumentaba que el lenguaje, como todo el comportamiento animal, era un comportamiento aprendido que se desarrolla en el niño como una función que se refuerza desde el exterior con el cuidado y crianza de los padres. Para Skinner, el infante aprende el lenguaje como una rata aprende a presionar un botón; a través del seguimiento y gestión de recompensas”. (Kandel et al., 2021, p.1373)

Entonces, para Skinner la adquisición del lenguaje sigue estos pasos:



Sin embargo, esto fue criticado por Noam Chomsky (1957) quien: “argumentó convincentemente que las interpretaciones internas son necesarias para explicar el comportamiento del lenguaje. Una gramática internalizada permite a los aprendices ir más allá de la oración particular en el input, permitiendo la generalización”.(Hoff & Shatz, 2007, p.69)

Chomsky propuso la teoría de la *Gramática Generativa*, en la que postula “la existencia de una estructura mental innata que permite la producción y comprensión de cualquier enunciado en cualquier idioma natural, posibilitando además que el proceso de adquisición y dominio del lenguaje hablado requiera muy poco input lingüístico para su correcto funcionamiento y se desarrolle de manera prácticamente automática”. (Barón Birchenall & Müller, 2014)

La propuesta de Chomsky se basa en que todos los humanos (sin un defecto fisiológico) podemos producir lenguaje como resultado de nuestro proceso evolutivo común, por lo que deben de existir mecanismos biológicos que proporcionen principios semánticos universales. Ello facilita una gramática universal, que, según esta propuesta, nos permite aprender y hablar cualquier idioma.

“(Chomsky) propone la existencia de un dispositivo mental abstracto que puede generar cualquier frase de cualquier idioma natural mediante la conexión de sonidos y significados”. (Barón Birchenall & Müller, 2014, 421) Dicho dispositivo sería el resultado de un “recableado” en los circuitos neuronales del cerebro de los humanos en algún momento de la evolución.

Hubo gran apoyo al trabajo de Chomsky gracias a la capacidad de los lactantes para diferenciar los sonidos que se producen en el habla, lo que demuestra la existencia de un mecanismo innato para la producción del lenguaje (Papalia et al., 2009). Sin embargo, el enfoque de Chomsky no explica las diferencias que hay entre los infantes en la adquisición y fluidez del lenguaje. Además, algunos trabajos señalan que, si bien existen gestos que pueden considerarse universales¹, el entorno sociocultural afecta la frecuencia y la edad con que se presentan estos gestos. (Salomo & Liszkowski, 2013)

Fue a finales de los años 50 y principios de los 60 que los estudios cognitivos del lenguaje cobraron fuerza gracias a la revisión de los trabajos de los psicólogos Jean Piaget (1896-1980) y Lev Vygotsky (1896-1934). Para Piaget, el lenguaje es el resultado de la interacción del individuo con su entorno en el periodo de desarrollo sensoriomotor. El

¹ En *Sociocultural Settings Influence the Emergence of Prelinguistic Deictic Gestures (2013)*, Salomo y Liszkowski encontraron 4 grupos de gestos prelingüísticos que parecen ser una constante en las culturas: Point, Offer, Show y Place.

lenguaje en la teoría piagetiana “no es más que una de las manifestaciones de la fusión simbólica (...) el papel del lenguaje en el proceso de formación de la fusión simbólica es proveer al pensamiento de herramientas cognitivas como las relaciones y las clasificaciones”. (Maldonado et al., 2018)

Por su parte, Vygotsky (1934) también considera la interacción individuo-entorno, sobre todo, ya que el lenguaje depende de la intercomunicación entre adultos e infantes para poder desarrollarse (Vygotsky, 1986). En la teoría de Vygotsky “el lenguaje es el instrumento más importante del pensamiento y puede determinar el desarrollo de éste”. (Maldonado et al., 2018,p158)

De hecho, Andy Clark y David Chalmers, quienes propusieron la hipótesis de la cognición extendida en los años 80’s, retomaron las ideas Vygotsky para señalar dos tipos distintos de lenguaje: el social y el privado. El lenguaje social aparece de la interacción entre individuos y permite el aprendizaje, mientras que el privado permite explorar el conocimiento adquirido y guiar el comportamiento. (Hernández Cruz, 2022)

Desde la perspectiva cognitiva, el entorno social juega un papel muy importante en la adquisición y correcto desenvolvimiento de la habilidad lingüística en humanos. Hoff y Shatz (2007) distinguen tres factores sociales que participan en la adquisición del lenguaje: *input* social, capacidad de respuesta y el entendimiento social. Para estos autores, el aprendizaje del lenguaje se da en un medio social que se encarga de enviar señales (*inputs*) al individuo, sin embargo, dicho aprendizaje dependerá de la capacidad de respuesta que tenga el individuo al medio social.

Un ejemplo citado por estos autores es cuando, en la infancia, el sujeto es expuesto a estímulos lingüísticos por parte de la madre, lo cual trae consigo respuestas benéficas a la adquisición del lenguaje. Finalmente, estos dos factores sociales influyen en el tercero, que es el entendimiento social o la habilidad que tenemos para interpretar las intenciones y deseos de los otros. (Hoff & Shatz, 2007)

Mildreth Hernández (2019) menciona que algunas de las habilidades que otorga el lenguaje son: clasificar emociones, sensaciones e intenciones; distinguir el “yo” (autorreferencia); y hace posible el conocimiento del mundo exterior (heterorreferencia)

(Hernández Cruz, 2019, p.43). De esta forma, las ciencias cognitivas empiezan a distinguir más funciones del lenguaje además de comunicar y estructurar el pensamiento, ya que también permite interactuar con el entorno.

Para la autora, el lenguaje es la herramienta que permite el acoplamiento entre la mente y el mundo exterior (entorno), gracias a que oscila entre lo biológico y lo sociocultural. En este sentido: “La idea de acoplamiento, responde a que un pensamiento no se transmite por medio del lenguaje, sino más bien sólo se comunica lo que puede ser comunicado, es decir, los pensamientos no se transmiten puntualmente, sino más bien el individuo comunica lo que puede comunicar con base al contexto”. (Hernández Cruz, 2019, p.43)

En resumen, el lenguaje es el resultado de la interacción de la biológica con la cultura. Los humanos están biológicamente adaptados para procesar y producir el lenguaje mediante distintas modalidades, como el habla o la escritura. Sin embargo, esto surge de la interacción con los semejantes, ya que depende de factores como el cuidado parental.

Gracias a que ha sido objeto de estudio por parte de distintas disciplinas, se ha podido demostrar que no solo posibilita la comunicación, sino que también desempeña otras tareas cognitivas, como habilitar el aprendizaje, ayudar a clasificar el entorno, entre otras. No obstante, su proceso evolutivo sigue sin estar del todo claro, por lo que, para lograr comprenderlo, en los siguientes apartados se abordarán con mayor profundidad los aspectos biológicos y culturales del lenguaje.

2. Desarrollo embriológico del cerebro

La comunicación por medio del lenguaje se puede analizar desde la capacidad cognitiva - que involucra al control motor- y desde la anatomía. Comenzando por la capacidad cognitiva, es en el cerebro donde se dan la mayoría de los procesos de codificación y producción del lenguaje, por tal motivo es necesario comprender cuales son las partes del encéfalo que intervienen en esta habilidad.

Según Benítez Burraco (2012) el correcto desarrollo del cerebro depende de 4 factores: a) proliferación celular, b) migración neuronal, c) diferenciación neuronal, y d) establecimiento del patrón de interacción sináptica. Cada centro del procesamiento cerebral, incluidos los del lenguaje, depende de estos 4 procesos que comienzan con la formación del tubo neural -de los 16 días hasta las 6 semanas de vida intrauterina- y terminan mucho después del nacimiento.

Proliferación celular: ocurre entre los 2 y 4 meses del periodo intrauterino, cuando la mayoría de las células del Sistema Nervioso Central (SNC) se producen (Poch Olivé, 2001). En este momento aparecen las zonas de proliferación celular en el tubo neural, siendo la principal zona de proliferación la ventricular. Sin embargo, en algunas ocasiones aparece una segunda zona en otras regiones del SNC, conocida como zona subventricular (Johnson et al., 2002). Los genes involucrados en la proliferación celular son los ASPM, MCPHI, CDAKRAP2, CENPJ y SHH. (Benítez Burraco, 2012)

En lo que refiere a la migración celular: según Johnson y colaboradores (2002), la proliferación de las células ocurre en lugares distintos a su destino final, por lo que la migración se da de dos formas: pasiva y activa. La migración pasiva es cuando las células se mueven a una corta distancia de la zona de proliferación y luego son desplazadas por células nuevas que son producidas. Mientras que, en la migración activa, las neuronas se mueven una distancia mucho mayor de su zona de proliferación, En este caso, las células nuevas que migran anulan a las células anteriores, patrón que se encuentra en la mayoría del córtex cerebral y las áreas subcorticales. (Johnson et al., 2002, p.70) Según Antonio Benítez Burraco (2012), los genes involucrados en este proceso son: LIS1 (PAFAH1B1), 14-3-3 epsilon (YWHAE) y ARX. (p.59)

En la diferenciación y especialización celular, Benítez Burraco (2012) señala que: “los procesos quimiotácticos que promueven la migración de las células son los mismo que regulan el crecimiento de los axones y arborización dendrítica durante el establecimiento de los patrones de interconexión sinápticos”. (Benítez Burraco, 2012, p.60)

Estos factores quimiotácticos se encargan de repeler y atraer a las neuronas, así como promover o inhibir el crecimiento de los axones²(Benítez Burraco, 2012; Johnson et al., 2002). En este proceso, las hormonas sexuales y tiroidea son un factor determinante, pero también intervienen ciertas proteínas como las SLIT, netrinas, semaforinas, efrinas (Benítez Burraco, 2012, p.60).

Con la conclusión de estos procesos, también se puede observar la asimetría del cerebro, lo que dará lugar al hemisferio dominante -que es el izquierdo en la mayoría de los casos-. En los primeros 16-18 días de vida intrauterina , el cerebro pasa de 0 a pesar unos 350 g, pero entre los 3 y 4 años de vida del infante que alcanza casi la totalidad del tamaño que tendrá en la vida adulta, siendo los 20 años cuando está completamente desarrollado (Johnson et al., 2002). No obstante, el cerebro sigue cambiando a lo largo de todo el periodo de vida como resultado de factores ambientales, hormonales y genéticos.

2.1 Cerebro y lenguaje

En ambos hemisferios del cerebro existen regiones que se encargan del control y el procesamiento del lenguaje, no obstante, el hemisferio izquierdo presenta una clara especialización. En dicho hemisferio podemos encontrar dos de las áreas más estudiadas; el área Broca y el área de Wernicke.

El área de Broca se encuentra en la circunvalación frontal anterior a la corteza motora y coordina los movimientos de la boca. Según Stephen Waxman (2011): “(esta área) controla la capacidad para pensar en las palabras correctas, programar y coordinar la secuencia de contracciones musculares necesarias que permiten producir sonidos inteligibles y armar las palabras dentro de oraciones con significado”. (p.257)

² Prolongación mielinizada que sale del soma de una neurona, se encarga de establecer conexiones con otras neuronas (Snell, 2014)

Por su parte, el área de Wernicke, la cual se encarga de la comprensión del lenguaje, se encuentra en el lóbulo temporal del mismo hemisferio. Específicamente, menciona Waxman, esta área se ubica “en la zona posterior de la circunvalación temporal superior dentro de la corteza auditiva de asociación”. (Waxman, 2011)

Ambas áreas se encuentran conectadas entre sí por el *fascículo arqueado*, el cual es una vía de materia blanca³ al interior del hemisferio izquierdo. Sin embargo, esto no es todo, ya que el lenguaje requiere de diferentes procesos neuronales que habilitan distintas funciones que no necesariamente son lingüísticas.

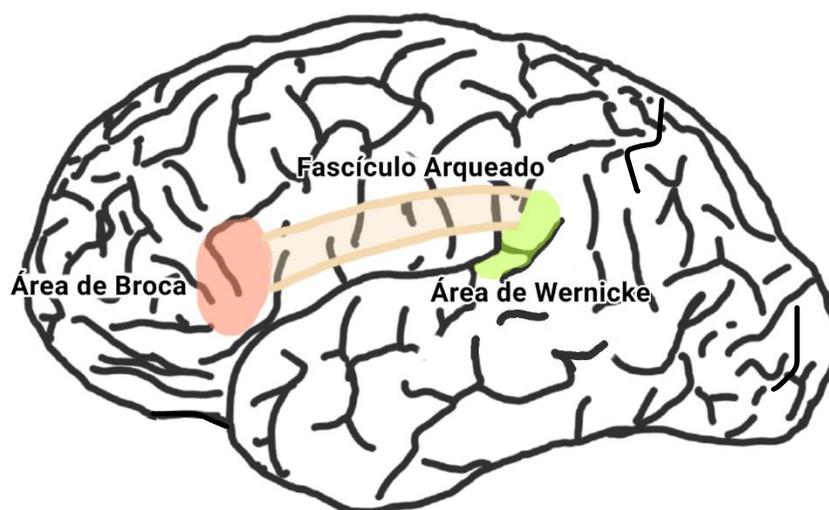


Figura 1. Se muestran las áreas de Broca en rojo y Wernicke en verde unidas por el Fascículo Arqueado como lo menciona Waxman (2011). El área de Broca corresponde a las áreas 44 y 45 de Brodmann, mientras que el área de Wernicke corresponde a las áreas 40 y 43. Imagen de elaboración propia con referencia de <https://www.psicologia-online.com/area-de-broca-y-wernicke-diferencias-y-funciones-4110.html>

Otras partes del sistema nervioso central involucradas en la producción del habla son los ganglios basales⁴, los cuales se conforman por *el núcleo caudado, el putamen, globus pallidus y nucleous accumbens*. Estos cuerpos de materia gris se localizan en medio de los hemisferios cerebrales (Waxman, 2011). Los ganglios (o núcleos) basales, según Waxman (2011), se encargan del control de los movimientos tanto conscientes como inconscientes,

³ Fibras mielinizadas de color blanco que contienen los axones de las neuronas. (Snell, 2014).

⁴ En realidad, son núcleos formados por acumulaciones de somas de las neuronas. Los núcleos cerebrales son acumulaciones de materia gris en el encéfalo. Los ganglios son acumulaciones de materia gris en la médula espinal.

aunque, Philip Lieberman (2007; 2009) menciona que también están involucrados en la producción de otras capacidades cognitivas, como el reconocimiento de palabras y la comprensión de las oraciones (Lieberman, 2009).

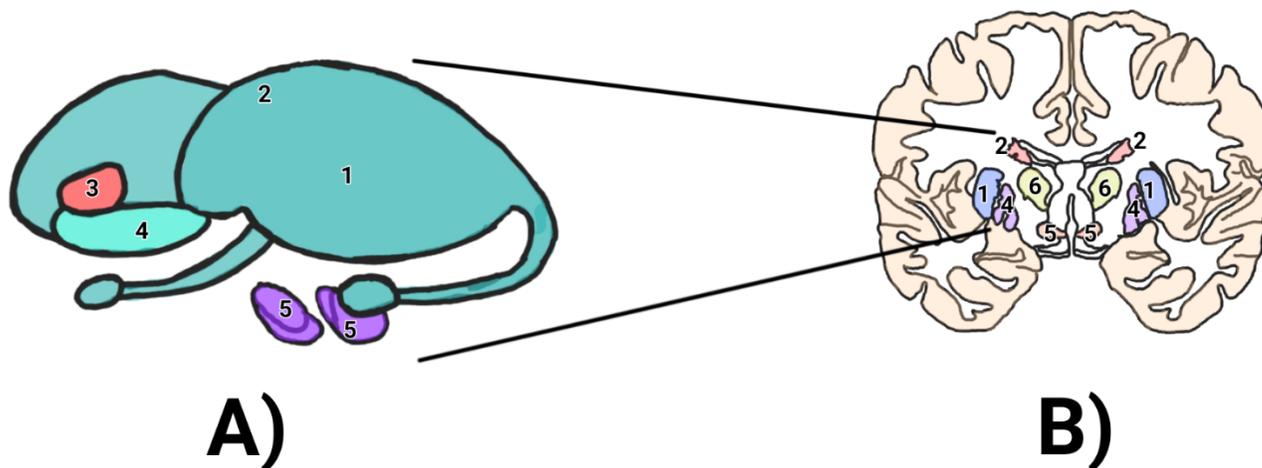


Figura 2. Se ilustran los Ganglio (Núcleos) Basales. La figura A corresponde a la vista lateral medial, mientras que la figura B muestra los ganglios basales y la corteza cerebral en corte coronal.1= putamen;2= núcleo caudado; 3= núcleo accumbens; 4= globo pálido; 5= núcleos subtalámicos; y 6= tálamo. Imagen de elaboración propia.

También se sabe que las áreas auditivas de la mitad posterior del lóbulo temporal superior de manera bilateral⁵, participan en la construcción de representaciones basadas en sonidos del habla (Hickok et al., 2003; Hickok & Poeppel, 2000). Otra área auditiva involucrada es la corteza auditiva primaria, que se encuentra en la porción superior del lóbulo temporal (López, 2006). Estas regiones reciben la información que proviene de ambos oídos, la cual previamente se transformó de energía mecánica a eléctrica gracias a las células ciliadas del oído interno, que la envían a las áreas auditivas de asociación (López, 2006, p.26).

Hickok y Poeppel (2007) propusieron un modelo de flujo dual de procesamiento de la voz -*Dual-stream model of speech processing*- el cual propone “un flujo ventral, que involucra estructuras en las porciones superior y medias de los lóbulos temporales, que están involucradas en el procesamiento y comprensión de la voz”. (Hickok & Poeppel, 2007)

⁵ Que ocurre en ambos hemisferios del cerebro.

En el nuevo modelo propuesto el procesamiento del lenguaje se da de manera bilateral en el cerebro, comenzando con las cortezas auditivas y conectando con el Giro Temporal Superior. Desde ese punto, la información se divide siguiendo dos flujos: 1) el primer flujo es dorsal y predominantemente izquierdo, y se encarga de asignar los sonidos del habla a estímulos motores; y el 2) es un flujo ventral que asigna el significado al sonido. (Hickok & Poeppel, 2007; Kandel et al., 2021)

Kandel y sus colaboradores (2021), retomando el trabajo de Hickok y Poeppel (2007), mencionan que:

“las áreas de Wernicke y Broca están conectadas en 2 vías: la primera vía dorsal conecta al Giro Temporal Superior Posterior con el Córtex Premotor: la segunda vía dorsal conecta el Giro Temporal Superior Posterior con el área de Broca. La segunda vía está involucrada en el análisis de alto orden del habla, tales como discriminar diferencias sutiles en el significado basándose en la gramática y también en la interpretación del lenguaje usando conceptos más complejos”. (Kandel et al., 2021,p.1380)

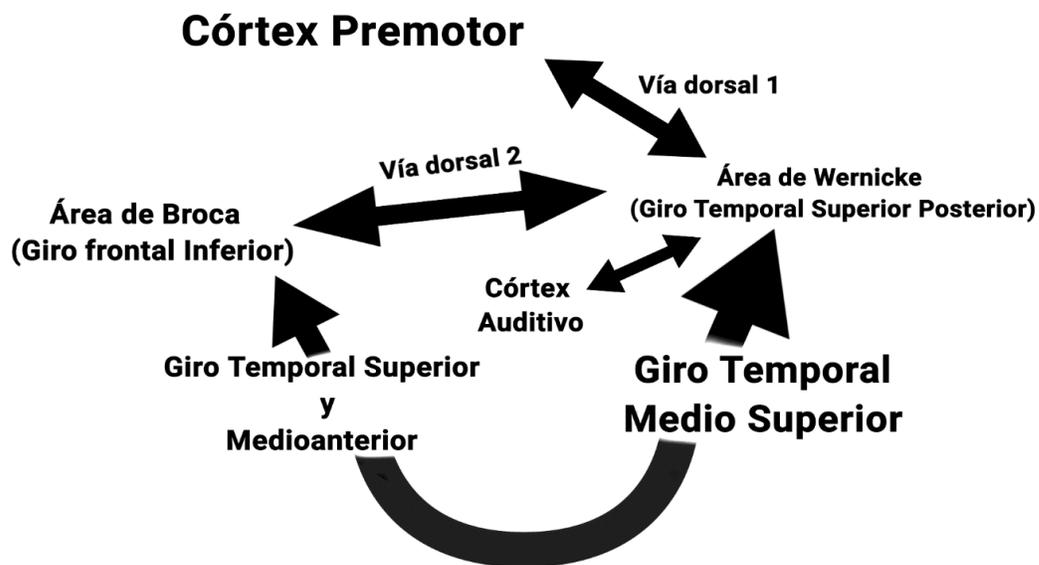


Figura 3. Este esquema representa el modelo de flujo dual de procesamiento de la voz propuesto por Hickok y Poeppel (2007), donde el giro temporal superior posterior -región donde se localiza el área de Wernicke- se conecta mediante caminos de materia blanca y de forma reciproca con el córtex auditivo, el giro temporal superior en sus porciones media y media anterior, el córtex premotor, y el área de Broca. Ambas vías dorsales son bidireccionales y conecta la información auditiva de la voz con la planeación motora que produce el habla (Kandel et al., 2021, p.1380).

Además de las regiones ya mencionadas, Hoff y Shatz (2007) mencionan que el lenguaje requiere de la memoria y del aprendizaje, de esta forma, como el resto de nuestras habilidades, necesita de estímulos o *inputs* que promuevan la aparición de nuevos circuitos neuronales por medio del uso. Esto, como resultado, nos otorga la memoria por asociación. “La memoria y el aprendizaje son propiedades intrínsecas de las mismas redes neuronales (...) En otras palabras, las estructuras cerebrales activadas en el aprendizaje de un estímulo o tarea específica son activadas también en la memoria por dicho estímulo o tarea”. (Hoff & Shatz, 2007, p.23)

Las estructuras neuronales involucradas tanto en el aprendizaje como en la memoria son el lóbulo temporal medial (que comprende la estructura límbica y el hipocampo), los ganglios basales y las estructuras involucradas en la memoria procedural e implícita. (Hoff & Shatz, 2007, p.23)

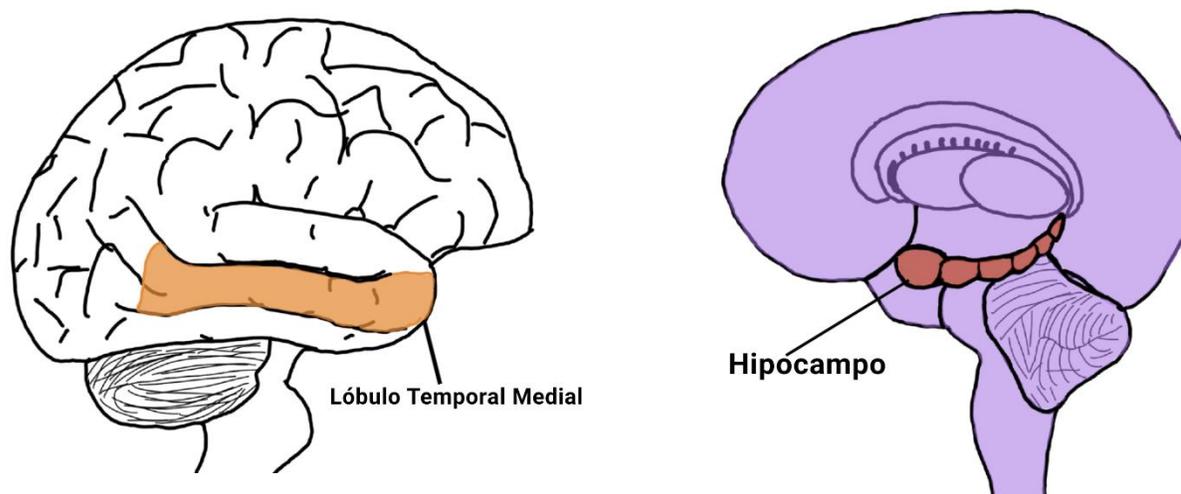


Figura 4. Áreas de la memoria a largo plazo según Waxman (2011). Imagen de elaboración propia.

Según Stephen Waxman (2011) los lóbulos temporales mediales y el hipocampo son los que se encargan de la memoria a largo plazo, la cual “permite que la gente recuerde palabras, números, a otras personas, acontecimientos y demás por muchos años”. (Waxman, 2011, p.262) No obstante, la memoria a largo plazo es una de las tres involucradas en el aprendizaje, las otras dos son el recuerdo inmediato (que se asocia a la

corteza auditiva de asociación) y la memoria a corto plazo (localizada en los lóbulos temporales).

De esta manera se demuestra que el lenguaje no se encuentra únicamente en dos regiones, el área de Broca y el área de Wernicke, como en algún momento lo habían propuesto las teorías modulares. (Zarate, 2015) Un mejor modelo teórico es pensar al lenguaje como el resultado de la interacción de distintas áreas del cerebro conectadas entre sí por varios circuitos neuronales -algunos de los cuales se desconocen aún-, formando así un complejo sistema.

2.2 El aparato fonador

Muchos de los sonidos que producimos al hablar son *pulmonares* y se producen con el aire que se expulsa de los pulmones y pasa a través de las cuerdas vocales en la laringe (Byrd & Saltzman, 2002). Si bien las frecuencias sonoras se producen en la laringe, con las cuerdas vocales abriéndose y cerrándose, otros órganos, como la lengua y los labios, son usados para alterarlos y darles un formato inteligible. (Byrd & Saltzman, 2002; Lieberman, 2007)

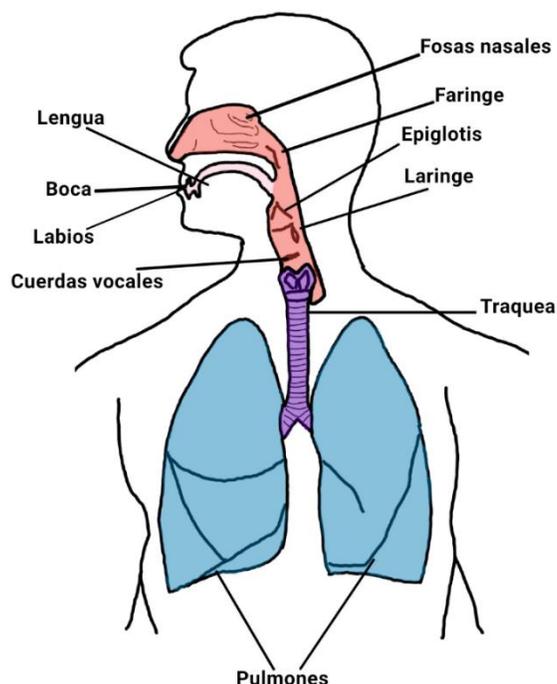


Figura 5. Muestra los órganos que conforman el aparato fonador. Imagen de elaboración propia basada en <https://www.partesdel.com/aparato-fonador.html>

Al alterar el patrón de los sonidos se produce una concentración de energía sónica en determinadas frecuencias dando como resultado las *frecuencias formantes*⁶. Según Lieberman (2007), los humanos podemos producir 3 frecuencias diferentes: F1, que es la frecuencia formante más baja; F2, que es una frecuencia más alta; y F3, que es la frecuencia más alta de todas, pero casi no se accede a ella (esto por lo menos en el idioma inglés). El habla cotidiana oscila entre los 50 y 350 Hz, aunque esto puede variar dependiendo la posición de las vocales con respecto a las consonantes. (Byrd & Saltzman, 2002)

⁶ “Las frecuencias formantes pueden considerarse como las frecuencias acústicas que el tracto vocal permite pasar a través de él con una atenuación mínima”(Lieberman, 2007,p.40).

3. Desarrollo lingüístico en infantes

Noam Chomsky, con la Gramática Generativa, propuso que los humanos adquirimos nuestras habilidades lingüísticas de forma prácticamente natural, lo cual parece ser cierto cuando se nota que los infantes pueden interactuar con los adultos al responder a la voz humana y a las configuraciones del rostro (Gómez et al., 1995). Sin embargo, esto es solo una parte del panorama, pues autores como Jean Piaget y Lev Vygotsky ya han señalado que se necesitan de 3 requisitos en constante interacción para el adecuado desarrollo lingüístico: la herencia, la experiencia y la maduración del organismo. (Maldonado et al., 2018)

Comenzando por la maduración del organismo, en los neonatos las primeras intenciones comunicativas se ven motivadas por las emociones, pues: “Las actividades que involucran el categorizar la información, son motivadas por una necesidad básica, esto es un estado motivacional no conceptual (...) Las necesidades básicas más comunes son las emociones y es por ello que estas emociones juegan un papel fundamental en el recién nacido, ya que explica la motivación y por lo tanto la intención de los bebés”. (Hernández Cruz, 2019, p.61)

En ese sentido, explica la autora, las emociones son un mecanismo regulador del sistema nervioso que motivan a los organismos a la supervivencia. Además, juegan un papel importante en la percepción del mundo exterior y la toma de decisiones, lo cual permite la excitación e inhibición del organismo. Esto habilita que el sujeto tenga dos cosas: el conocimiento de “sí mismo” y del entorno. (Hernández Cruz, 2019, p.64)

Para lograr esto, prácticamente desde el nacimiento, ya se encuentran en funcionamiento el área fusiforme que permite el reconocimiento facial, y el hemisferio izquierdo que permite el lenguaje. Sin embargo, la cóclea del oído no se desarrolla hasta la semana 18 después del nacimiento, mientras que el córtex auditivo responde a los estímulos hasta la semana 26. (Hernández Cruz, 2019, 59)

Así se confirma que los recién nacidos ya cuentan con el aparato cognitivo necesario para producir lenguaje, aunque se encuentra inmaduro. Sin embargo, esto no impide que el infante se comunique mediante gestos, llanto y movimientos corporales. Es durante este periodo que toma importancia la herencia, pues muchos de los gestos que se utilizan, por lo

general, se ven influenciados por la interacción del infante con sus cuidadores y por su entorno sociocultural.

Los gestos que más se utilizan son los deícticos y aparecen una vez que el bebé logra distinguirse del entorno y son considerados por los investigadores como la piedra angular para el desarrollo social y lingüístico, pues ayudan a los infantes a vincular las referencias verbales a los objetos. (Salomo & Liskowski, 2013). Teorías como la ya mencionada *Gramática Generativa* postulan que existen universales en el lenguaje, y aunque el tema sigue siendo objeto de debate, Salomo y Liskowski (2013) encontraron que por lo menos existen 4 grupos de gestos prelingüísticos que están presentes en varias culturas: Mostrar, Señalar, Lugar y Ofrecimiento.

Estos investigadores se dieron a la tarea de observar a 16 infantes mayas yucatecos, 16 infantes holandeses y 16 infantes chinos, todos de 12 a 18 meses de edad, con la finalidad de comprobar que tan influyente son la cultura y la socialización para el desarrollo del lenguaje en etapas tempranas de la vida. De esta manera, al comparar las influencias culturales y la relación de los infantes con sus cuidadores, se dieron cuenta que la socialización afecta la frecuencia con la que se usan estos gestos, así como la edad en la que aparecen.

Así es como se empieza a vislumbrar la importancia que tiene la interacción con los otros para la adquisición del lenguaje. Sin embargo, la experiencia de vida de los propios sujetos también juega un papel importante en el desarrollo lingüístico. Cuando se habla de la experiencia, se ha teorizado que los infantes aprenden el lenguaje mediante la imitación, no obstante, el proceso es aún más complejo, pues muchas de las palabras nuevas se adquieren mediante asociación, lo cual requiere del método inductivo para llevarse a cabo (Hernández Cruz, 2019; Hoff & Shatz, 2007). Es también en este punto que varias teorías difieren, pues si bien la mayoría aceptan que la comunicación es indispensable para el desarrollo cognitivo de los infantes, el modo de asociación entre la palabra y el objeto es distinto. (Maldonado et al., 2018)

Para Piaget (1976), el lenguaje aparece una vez que el infante ha comenzado a desarrollar la función simbólica, lo que le permite asociar e integrar objetos entre sí. “Piaget sostiene que éste (el lenguaje) aparece en un momento de transición entre la inteligencia

sensoriomotora y la que se va desarrollando en el periodo pre-operacional, debido a los aportes y sincronización de la inteligencia sensoriomotora y la función simbólica”. (Maldonado et al., 2018,p.157)

Por su parte, para Lev Vygotsky (1962), el lenguaje es producto de la interacción del niño con el ambiente, el cual depende de la intercomunicación con el adulto para formar un lenguaje egocéntrico y, posteriormente, convertirse en un lenguaje interiorizado. (Maldonado et al., 2018,p.157)

Ahora, si bien existen diferencias entre teorías de adquisición del lenguaje, lo que parece ser un hecho es que el infante puede comunicarse hablando entre los 10 y 12 meses. Siendo los sustantivos predominantes en el léxico de los infantes entre los primeros 16 y 18 meses de vida. La razón de esto, según algunos autores, es que es más fácil adquirir etiquetas de objetos que de verbos, pues los sustantivos se refieren a “distinciones perceptuales” y “unidades coherentes” de los objetos que son estables a través del tiempo y del espacio, algo que en los verbos cambia. (Hoff & Shatz, 2007)

3.1 Aprendizaje del vocabulario

La maduración del organismo permite que, alrededor del primer año de vida, los infantes sean capaces de distinguir los objetos que conforman su entorno, lo cual, al estar aprendiendo el lenguaje, les permite crear relaciones entre la palabra y el objeto. Según Hoff y Shatz (2007): “Este proceso de crear representaciones de los objetos descansa en la habilidad de los infantes para ver a un objeto como un cuerpo sólido que continúa existiendo cuando se oculta y mantiene su identidad a través del tiempo”. (p.195)

Para lograr este proceso, mencionan los autores, los niños deben de resolver dos tareas: 1) deben ser capaces de analizar las superficies de diferentes entidades (segregación de objetos); y 2) deben de ser capaces de individualizar los objetos presentes en un escenario. El proceso para desempeñar ambas tareas comienza a los 2.5 meses de vida (cuando los infantes se dan cuenta que los objetos siguen existiendo después de ser escondidos) y llega a un desempeño satisfactorio alrededor de los 12 meses. (Hoff & Shatz, 2007)

De esta forma, los infantes pueden establecer relaciones entre las palabras y puntos en común de los objetos cuando están extendiendo su vocabulario. Es entre los 3 y 4 años que

los infantes tienen la capacidad de recordar los símbolos que evocan a los objetos sin tenerlos presentes, o lo que se conoce como la *función simbólica*⁷ propuesta por Piaget (Papalia et al., 2009). Un ejemplo de esto es cuando Jorge, de 4 años y estando dentro de su cuarto, le pide a su madre una bolsa de papas aun sin tener ningún estímulo visual o auditivo que le evocara dicha imagen.

Pero ¿qué ocurre con los verbos? Hoff y Shatz (2007) mencionan que, a pesar de que existen unos cuantos en el vocabulario de los infantes entre los 12 y 16 meses, estos no son predominantes por la dificultad que implica aprenderlos; “El problema en el aprendizaje de los verbos parece estar relacionado con el mapeo de un verbo en una acción o evento en lugar de aprender los conceptos subyacentes que codifican los verbos”. (Hoff & Shatz, 2007, p.198)

No obstante, mencionan los autores, el que los niños aprendan los sustantivos antes que los verbos puede ser el resultado de la estructura de los idiomas, por ejemplo, el inglés tiene una estructura Sujeto-Objeto-Verbo (SOV) lo cual hace de los sustantivos la parte más “silenciosa” de la oración lo que facilita a los infantes prestar atención a esa parte. Sin embargo, se requiere más investigación al respecto, pues, el que los niños aprendan los sustantivos antes que los verbos, puede no ser un rasgo universal. Aunque, está presente en la mayoría de los idiomas estudiados por Hoff y Shatz -inglés, español, francés, alemán, hebreo, coreano y mandarín-.

A los 3 años los infantes pueden utilizar entre 300 y 900 palabras para comunicarse, comienzan a tener una mayor comprensión de los objetos en el espacio, la causalidad y las categorías (Papalia et al., 2009). De esta forma, los infantes logran estructurar su realidad mediante la percepción de sus sentidos y el lenguaje, el cual, dicho sea de paso, depende de un entorno sociocultural para su correcto desenvolvimiento.

⁷ Según Papalia et al. (2009) para Piaget, se trata de la capacidad de utilizar símbolos y representaciones mentales por parte del infante, ya sean palabras, número o imágenes a las que el niño les asignó un significado (p.295).

4. Evolución del lenguaje

Anteriormente se abordaron las teorías onomatopéyica e interjeccional, las cuales fueron desechadas por los académicos de principios del siglo XX por carecer de un verdadero rigor científico. Si bien aún no está claro el cómo surgió el lenguaje, en el último siglo se han dado hallazgos en paleoantropología y primatología que arrojan luz sobre este problema.

Para las ciencias del comportamiento, como la psicología y la antropología, el estudio de los primates no humanos cuenta con una larga tradición. La razón de esto es que, evolutivamente hablando, los monos y los grandes simios ⁸ -sobre todo estos últimos-, son muy cercanos al ser humano (Casinos, 2014). No obstante, el estudio del comportamiento de estos animales atraviesa por varias complicaciones, lo que limita sus resultados (Pika, 2008). Por otro lado, el análisis de los restos fósiles de otros homínidos también ha sido muy limitada, pues órganos como el cerebro no se fosilizan. (Ayala & Cela Conde, 2013; Bufill & Carbonell, 2004)

Pero, gracias a los avances en genética y neurociencia desde la década de 1990, los estudios comparativos en estas áreas se han podido sustentar. Claros ejemplos de esto son el descubrimiento del gen FoxP2 en una familia británica por parte de Jane Hurst y su grupo de investigación en 1990, y el hallazgo de las neuronas espejo por parte de Giacomo Rizzolatti y su equipo de investigación de la Universidad de Parma, Italia en 1996. Ambos descubrimientos, como se verá más adelante, están implicados en la evolución del lenguaje.

4.1 Filogenia del lenguaje

Es imposible señalar a un antepasado específico del linaje humano y afirmar con certeza que con él comenzó a perfilarse el lenguaje tal y como lo conocemos hoy con su gramática y sintaxis. Sin embargo, se pueden rescatar varios estudios comparativos que se han hecho en humanos modernos, fósiles de homínidos y primates no humanos vivos para encontrar un conjunto de rasgos que conforman el lenguaje.

Un ejemplo de estos trabajos es el realizado por Nicky Staes y sus colaboradores (2017) quienes analizaron el gen FoxP2 de varias especies de primates, entre las que se encuentran gorilas, orangutanes, chimpancés y bonobos. Este gen, como se profundizará más adelante,

⁸ Gorilas, chimpancés, bonobos y orangutanes

esta relacionado con el lenguaje en humanos, y en este trabajo, Staes y compañía llegaron a la conclusión de que es muy probable la implicación del gen en las vocalizaciones de estos animales (Staes et al., 2017). Aunque, el que la neuroanatomía del lenguaje entre humanos y simios sea tan distinta, sigue siendo un gran problema para llegar a conclusiones concretas.

Esta problemática se debe a algo que Vygotsky ya había mencionado en los años 30 y es que el desarrollo de humanos y primates no humanos pasada la infancia es muy distinto. Incluso al compararnos con los chimpancés, con los que compartimos un 99% del ADN, podemos observar que los genes que influyen en el desarrollo del cerebro se expresan de manera diferente. (Gazzaniga et al., 2009)

A pesar de que el lenguaje es una adaptación relativamente nueva, la estructura básica del tracto vocal es tan vieja que se comparte con el resto de los mamíferos (Du Brul, 1977). Sin embargo, hay tres rasgos anatómicos específicos de los homínidos que en conjunto han reestructurado el tracto vocal humano: la bipedestación, la modificación del cráneo y el aumento del tamaño del cerebro. (Ayala & Cela Conde, 2013; Du Brul, 1977)

Por esta razón, muchos de los intentos por dilucidar los orígenes del lenguaje se han centrado en nuestro propio linaje. Un ejemplo de esto son los análisis realizados al endocráneo⁹ de los fósiles de *Australopithecus*, donde se han encontrado impresiones del córtex cerebral distinguiendo que el área de Broca y las áreas de asociación de los parietales ya estaban presentes hace unos 2 o 3 millones de años (Ayala & Cela Conde, 2013; Bufill & Carbonell, 2004). Sin embargo, esta evidencia no quiere decir que los australopitecinos ya pudieran hablar, pues, como se ha expuesto a lo largo de este trabajo, el lenguaje requiere de varios otros requisitos para poder existir, como las conexiones subcorticales y la fisiología necesaria para dicha tarea.

En este sentido, el aumento del volumen cerebral también se ha atribuido como el origen de las habilidades cognitivas de los humanos modernos. Esto sería consecuencia de la relación entre la bipedestación y la liberación de las manos, lo que produjo un reacomodo total de la estructura ósea. Autores como Benítez Burraco (2012) mencionan que gracias a este conjunto de características - y un posible comportamiento simbólico - el origen del

⁹ la parte interna de los huesos del cráneo

lenguaje se le ha atribuido a *Homo habilis*, el cual vivió hace 1 o 2 millones de años. (Ayala & Cela Conde, 2013; Benítez Burraco, 2012)

Especie	Características
Australopitecos afarensis	<ul style="list-style-type: none"> - Apareció entre 3 y 2 millones de años. - Media entre 1.10 y 1.30 m. - Era bípedo y tenía una capacidad craneana de 450cm^3
Homo habilis	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad craneal de 600cm^3. - Apareció entre 2.5 y 1.5 millones de años - Altura entre 1.00 y 1.35 m.
Homo erectus	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad craneal de 1.000 a 1.100cm^3. - Apareció entre 1.80 y 110,000 años. - Altura de 1.45 a 1.85m - Se considera el primer homínido en salir de África.
Homo heidelbergensis	<ul style="list-style-type: none"> - Vivió entre 700.000 y 200.000 años - Altura entre 1.57 y 175m. - Capacidad craneana entre $1,300$ y $1,500\text{cm}^3$
Homo neanderthalensis	<ul style="list-style-type: none"> - Vivió entre 400,000 y 40,000 años. - Altura entre 1.50 y 1.65m - Capacidad craneana de 1.500 a 2.000cm^3
Homo sapiens sapiens	<ul style="list-style-type: none"> - Apareció hace unos 200,000 años. - Capacidad craneana de $1,500$ y $2,000\text{cm}^3$ - Altura de 1.60 a 1.80m

Este cuadro muestra el tamaño craneal y fechas aproximadas de aparición de algunas especies de homínidos con datos obtenidos del texto de Ayala y Cela Conde (2013) y la página web del Smithsonian National Museum of Natural History (<https://humanorigins.si.edu/>)

Sin embargo, los fósiles que más se han estudiado y comparado con los humanos anatómicamente modernos son los de Neandertal (Ayala & Cela Conde, 2013; Corballis, 2010; García-Martínez et al., 2017; Gómez-Olivencia et al., 2018). Michael Corballis (2010) menciona que se han realizado estudios en los que se compara el tracto respiratorio de los neandertales, desde la estructura craneana hasta la longitud de la laringe -todo reconstruido mediante suposiciones basadas en los restos óseos-, y, a pesar de que los

resultados siempre son controversiales, por mucho tiempo la idea de que estos homínidos no tendrían una capacidad lingüística igual a la de los humanos fue la que se impuso.

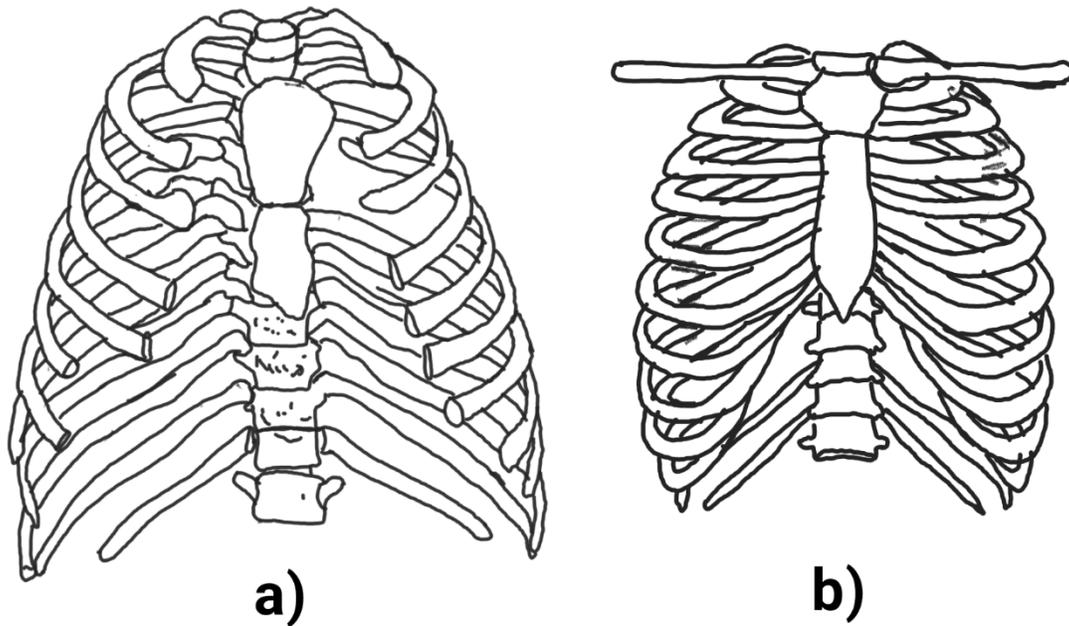


Figura 6. Diferencias anatómicas entre la caja torácica de *Homo neanderthalensis* ejemplar Kebara 2 (a) y *Homo sapiens sapiens* (b). Imagen basada en el trabajo de Gómez-Olivencia *et al.* (2018), quienes reconstruyeron en 3D al ejemplar de Kebara 2.

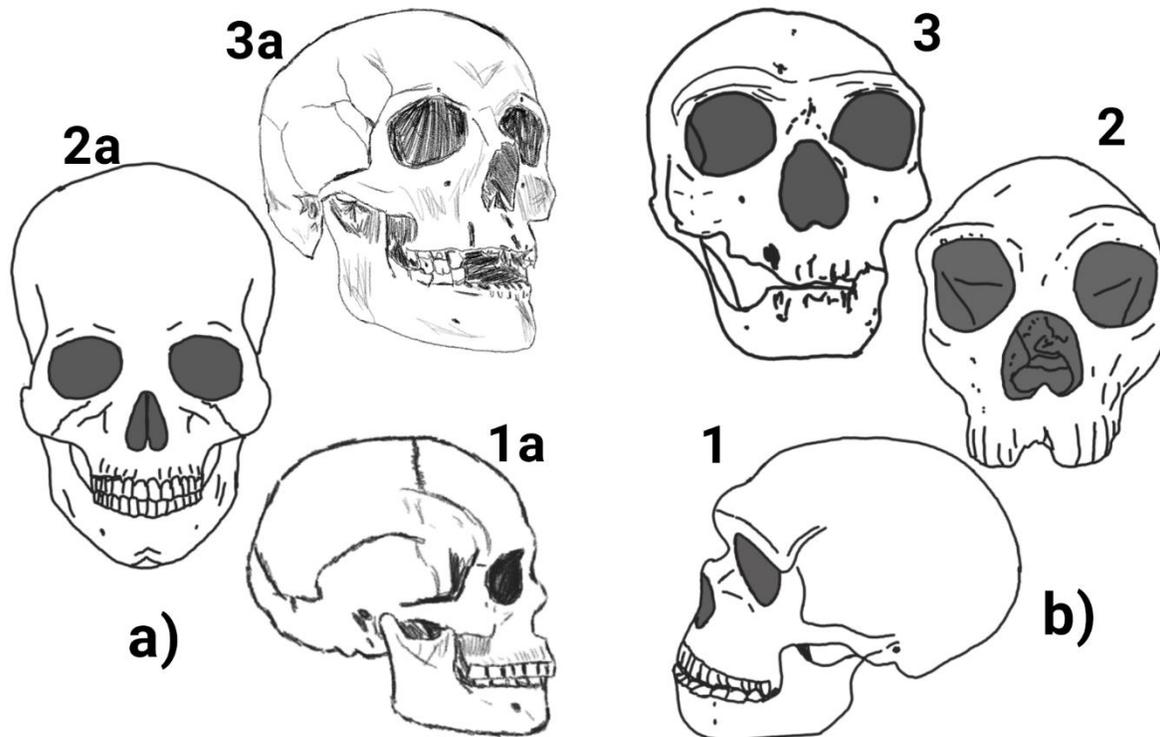


Figura 7. Imagen que compara el cráneo de *Homo sapiens sapiens* (a) y *Homo neanderthalensis* (b). 1a = cráneo de humano moderno en vista lateral derecha; 2a = cráneo de humano moderno en vista frontal; 3a = cráneo de humano moderno en vista lateral medial derecha. Los cráneos de Neanderthal están basados en imágenes rescatadas del libro de Ayala & Cella Conde (2013). 1= vista lateral izquierda del ejemplar de La Ferrassie1; 2= vista frontal del ejemplar Gibraltar1 -el cráneo se encuentra deformado por condiciones del terreno-; y 3= vista lateral medial del ejemplar “El viejo” de La Chapelle-aux-Saints (Ayala & Cella Conde, 2013).

La propuesta de que los neandertales carecían de un lenguaje similar al de los humanos actuales fue apoyada por los primeros trabajos del reloj molecular del FoxP2, el cual arrojaba que las mutaciones ligadas al lenguaje aparecieron hace unos 200,000 años, momento que coincide con la aparición de los humanos anatómicamente modernos (Bufill & Carbonell, 2004; Corballis, 2004, 2010; Enard et al., 2002; Zarate, 2015; Zuberbühler, 2005). No obstante, trabajos recientes han demostrado que las mismas mutaciones del gen FoxP2 del humano anatómicamente moderno también estaban presentes en los Neandertales y Denisovanos. (Enard et al., 2002; Krause et al., 2007; Lieberman, 2013; Preuss, 2012; Zarate, 2015)

Esto podría indicar que el lenguaje apareció hace unos 400,000 años, aunque existen problemas con esta afirmación, pues: “si bien la versión humana es similar a la de los Neandertales, pueden existir diferentes mecanismos reguladores de la expresión del gen en estos dos homínidos” (Zárate, 2015, p.64). Así mismo, por mucho tiempo se especuló que los Neandertales carecían de adaptaciones en el aparato fonador para poder comunicarse mediante el habla, ya que su laringe era más corta que la de *Homo sapiens* y su capacidad pulmonar también era distinta. (Corballis, 2010)

No obstante, en 2016, Alexander Stoessel y sus colaboradores estudiaron los huesos del oído de neandertales, humanos modernos, gorilas y chimpancés para encontrar similitudes o diferencias en la morfología del estribo, martillo y yunque, todo con el fin de determinar el rango de audición de estas especies. Y, a pesar de que se encontraron con algunos problemas, como la escasez de muestras de los huesos del oído de los neandertales y las diferencias morfológicas, pudieron determinar que estos tenían un rango auditivo similar al de los humanos anatómicamente modernos.(Stoessel et al., 2016)

Por su parte, en 2021, Mercedes Conde-Valverde y sus colaboradores también analizaron los osículos del oído de los cráneos de algunos fósiles de Neandertales con el mismo fin que Stoessel y su grupo 5 años antes. Estudiando las variables anatómicas y reconstruyendo con un escáner 3D la fisiología auditiva de los cráneos, los investigadores lograron calcular la Transmisión de Potencia de Sonido y Ancho de Banda que los Neandertales eran capaces de escuchar. De esta forma determinaron que no hay diferencia entre las frecuencias sónicas que los Neandertales podían captar en comparación con las de los humanos anatómicamente modernos y, muy posiblemente, tenían un gran repertorio de vocal en su comunicación. (Conde-Valverde et al., 2021)

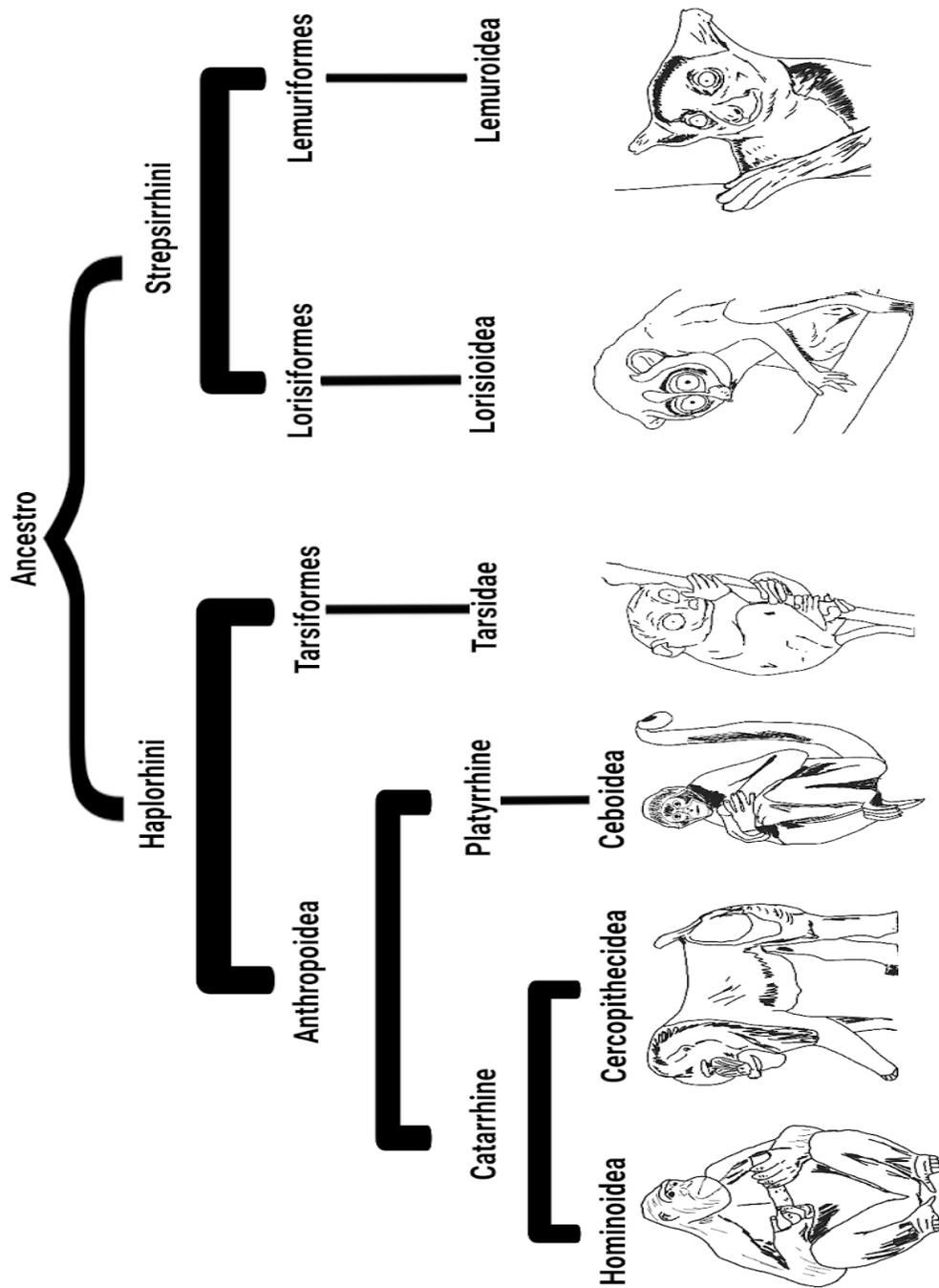


Figura 8. Esquema que representa la clasificación taxonómica de los primates basada en Casinos (2014), Michael Platt y Asif Ghazanfar (2010) y un cuaderno con apuntes de primatología. El infraorden anthropoidea -siimiforme en algunas fuentes- se divide en catarrinos -monos del viejo mundo- y platirinos -monos del nuevo mundo-. Dentro los catarrinos se encuentra la superfamilia hominoidea, en la cual se clasifican a los grandes simios: gorilas, chimpancés, bonobos, orangutanes y humanos.

4.2 Comunicación en primates

Los estudios lingüísticos en primates tienen una larga tradición, tal como lo demuestran los trabajos del psicólogo alemán, Wolfgang Köhler, hace 100 años. (Méndez-Cárdenas & Vargas, 2015; Pika, 2008; Zuberbühler, 2005). Köhler (1991) ya había propuesto que los primates antropoides, sobre todo los chimpancés, cuentan con una forma de comunicación muy parecida a la humana, aunque carente de la capacidad de hablar y del uso de símbolos. Vygotsky en *Pensamiento y Lenguaje (1934)* incluso menciona que Köhler encontró distintas formas lingüísticas entre los chimpancés, tales como gestos faciales, gestos manuales y vocalizaciones, aunque, a diferencia de los humanos, los primates parecen ser más impulsados por sus emociones que por la razón.

A 100 años de estos descubrimientos, los primates siguen siendo la principal fuente de estudios para comprender la evolución de muchos aspectos humanos, tales como la cognición y el lenguaje, y se han encontrado más similitudes de las que se pensaban. Por ejemplo, los monos de Campbell son capaces de alterar sus llamados, ya sean de alarma en respuesta a un depredador o para defender su territorio (Méndez-Cardenas & Vargas, 2015; Pika, 2008; Zuberbühler, 2005). Simone Pika (2008) menciona que, incluso, se ha descubierto que los monos verdes usan la información codificada en las vocalizaciones para una respuesta de escape, como trepar árboles o esconderse en los arbustos. (p.117)

Como resultado de estos descubrimientos, se ha propuesto que los primates también cuentan con la capacidad necesaria para trabajar con signos, símbolos y representaciones mentales tal y como ocurre con el lenguaje humano. No obstante, existe un problema con esto y es que, en recientes años, se ha encontrado que los primates no son los únicos animales capaces de producir este tipo de respuestas ante estímulos similares. Entonces, ¿por qué centrarse en los primates y no en otros animales? Según Klaus Zuberbühler (2005) lo que diferencia al lenguaje de los humanos de las formas de comunicación de la mayoría de los animales es la semántica.

Para este autor: “(En la comunicación de la mayoría de los animales) el que envía la señal simplemente debe de producirla en respuesta a los estímulos físicos, mientras que el que la recibe debe de interpretar la señal, más que asociarla a un significado (...) (En la semántica humana) las propiedades físicas de los sonidos del habla son

sólo relevantes en medida que se refieren a una estructura cognitiva asociada, representación mental o concepto compartido por el hablante y el que recibe el mensaje”.(Zuberbühler, 2005, p.3)

En este sentido, la mayoría de los animales tienen un tipo de comunicación perceptual, mientras que los humanos tienen una comunicación conceptual. Este último tipo de comunicación, al parecer, también está presente en los primates, como bien lo demuestra la investigación de Zuberbühler (2005) con los monos de Diana (*Cercopithecus diana*) y los monos de Campbell (*Cercopithecus campbelli*) en el Parque Nacional Taï de Costa de Marfil, África.

Según Pika (2008), los grandes simios han sido los más estudiados debido a su cercanía con el humano -además de ser sociables e inteligentes-, destacando a los chimpancés y a los bonobos con los que compartimos un 99% del DNA. Esto ha demostrado que su tipo de comunicación comparte algunas características más con los humanos, pues utilizan modalidades que dependen de la audición, el tacto y lo visual. No obstante, ha sido problemático estudiar el repertorio que cada especie utiliza para comunicarse, pues depende de factores como el cautiverio, la crianza por parte de humanos y si han sido instruidos en habilidades lingüísticas.

A pesar de estos problemas, la autora logró recolectar información referente a las habilidades comunicativas de los simios en distintos zoológicos, encontrando que los bonobos, cuando son infantes, son capaces de producir 20 gestos distintos para comunicarse, siendo los más comunes los que requieren un tipo de comunicación visual. Por su parte, los chimpancés pueden producir entre 25 y 30 gestos en la infancia, siendo los más comunes los visuales y los que implican contacto físico. Mientras que los gorilas pueden producir 33 gestos diferentes y los orangutanes 26. (Pika, 2008)

También pudo encontrar información sobre los gestos que utilizan los chimpancés en libertad para comunicarse, con lo que se ha establecido que los primeros gestos de los recién nacidos son décticos -al igual que ocurre con los infantes humanos-, pero solo para tratar de comunicarse con su madre, ya que no tienen ninguna intención de comunicación social. Es entre los 3 y 11 meses que los chimpancés empiezan a responder a su entorno, lo que les permite comenzar a comunicarse intencionalmente entre los 9 y 12.5 meses. De esta

manera, el repertorio comunicativo de los chimpancés alcanza un aproximado de 19 gestos cuando tienen 3 años -aunque algunos desaparecen al llegar a la adultez, posiblemente, por su tipo de organización social-. (Pika, 2008)

Hoy no existe un consenso en cómo es que los primates generan sus gestos para la comunicación, pues algunas observaciones indican que existen grupos con gestos únicos, lo que indicaría que una transmisión cultural. Un ejemplo son las observaciones de Nishida en 1980, quien reportó un gesto conocido como “recorte de hojas” *-leaf-clipping-*, el cual es único del grupo de chimpancés del parque Mahale K (Tomasello et al., 1997). No obstante, Michael Tomasello (1997) realizó observaciones en dos grupos de chimpancés y no encontró evidencia alguna de transmisión cultural, por tal motivo propuso que el origen de los gestos comunicativos de los chimpancés se debía a la *ritualización ontogenética*.

La *ritualización ontogenética* ocurre cuando un emisor, chimpancé que quiere un objeto, comienza a producir señales arbitrarias como golpear el suelo para obtener lo que quiere, y el receptor trata de adivinar qué es lo que pide el emisor -lo cual ubicaría su tipo de comunicación en una perceptual- (Pika, 2008; Tomasello et al., 1994, 1997). Sin embargo, Tomasello (1994) encontró que existen momentos donde hay un consenso referente a las señales que se emiten, por ejemplo, en la hora de juego o para ir a conseguir alimento.

Autores como Juan Carlos Gómez y sus colaboradores (1995) han señalado que los infantes humanos también recurren a gestos para comunicarse, pero lo hacen de forma esquematizada. Lo cual no es más que una ritualización de acciones que le han funcionado al niño para comunicarse con los adultos; “Se considera que esta ritualización es la característica más importante de los actos comunicativos, pues es el primer paso para la simbolización y convencionalización de la comunicación humana”. (Gómez et al., 1995,p.20)

Cabe destacar que, si bien los grandes simios cuentan con un repertorio vocal, la mayor parte del tiempo se comunican mediante gestos, sobre todo, al momento de acicalarse, jugar o forrajear (De Waal, 2019; R. I. M. Dunbar, 2003; Pika, 2008). Por esta razón, se ha teorizado que el origen del lenguaje es gestual y no vocal, lo que ha dado paso a un intenso debate académico, el cual ha alcanzado su mayor clímax con el descubrimiento de las neuronas espejo en la década de 1990.

5. Origen gestual del lenguaje

Las manos son un rasgo distintivo de los seres humanos, una afirmación que ha estado presente desde la antigüedad. Filósofos como Anaxágoras o Aristóteles ya habían notado la relación que existe entre las manos y la inteligencia, pues estas nos permiten crear gracias a sus movimientos finos. Tomas de Aquino, por su parte, afirmó que las manos eran los órganos de órganos gracias a su versatilidad y Leonardo Polo expresaría que las manos sirven como símbolo al extenderse para saludar, al alzar el puño en señal de rebeldía o al mostrarse desarmada en señal de paz (Lombo & Giménez, 2016). En este sentido, las manos tienen funciones prácticas, simbólicas y lingüísticas.

La teoría del origen gestual propone que el lenguaje se deriva de una antigua forma de comunicación manual (Zarate, 2015) y se remonta al siglo XVIII con pensadores como Giambattista Vico (1744) y Bonnot de Condillac (1746), aunque no fue muy popular debido a las prohibiciones de la Sociedad Lingüística de París mencionadas anteriormente (Corballis, 2009; Kendon, 2017). Sin embargo, fue en la década de 1970 que esta teoría comenzó a ganar fuerza gracias evidencias como el que los infantes usen los gestos para comunicarse y que la comunicación gestual aparece de manera espontánea en personas sordomudas.

Kandel y colaboradores (2021) mencionan que, normalmente, el lenguaje viaja a través de un canal auditivo-vocal, pero en personas sordas la comunicación se da por un canal visual-manual. Esto da como resultado de que la comunicación manual surja de forma tan natural como la comunicación hablada; “Los infantes sordos “balbucean” con las manos aproximadamente en la misma etapa del desarrollo que los infantes que pueden escuchar empiezan a balbucear oralmente. Otros hitos del desarrollo, como las primeras palabras y las combinaciones de dos palabras, también ocurren en el calendario del desarrollo de los bebés oyentes”. (Kandel et al., 2021, p.1376)

Los lenguajes de señas, como el *American Sign Language* (ASL), se basan en dos sistemas: uno que requiere del deletreo manual del alfabeto -sistema que en ocasiones emplean los sordos que saben leer- y el otro que se basa en signos manuales. En este último caso, se emplean distintas configuraciones manuales y gestos que se asocian a palabras y/o conceptos determinados. (Gardner et al., 1976)

También cabe destacar el éxito que se ha tenido al enseñarle a los chimpancés cautivos a comunicarse con el *ASL* (Gardner et al., 1976; Kendon, 2017; Zarate, 2015). Como menciona Michael Corballis (2009, 2017), el tratar de enseñarle a los grandes simios a comunicarse mediante el habla ha fracasado rotundamente, pues, todo parece indicar, que no cuentan con el control motor necesario para producir el habla. No obstante, el enseñarles lenguaje de señas ha sido prolífico.

Un buen ejemplo de esto es la chimpancé Washoe (1995-2002), quien, bajo los cuidados de Gardner, Lieberman, Premack y demás, fue introducida al *ASL* a la edad de 8 meses (aproximadamente). El experimento con Washoe consistió en que sus cuidadores tenían que usar el *ASL* en todo momento para comunicarse con ella, entre ellos y para clasificar los objetos, tratando de emplear lo menos posible el lenguaje hablado. El objetivo principal fue que Washoe también usará este lenguaje para comunicarse, pues actuaban bajo la premisa de que los chimpancés son muy buenos para imitar.

A la fecha en que Gardner y sus colaboradores escribieron los primeros resultados de sus experimentos, en la década de 1970, los trabajos con Washoe aún seguían en curso. No obstante, ya era capaz de usar 30 gestos manuales para comunicarse de forma deliberada y también encontraron que había cierto paralelismo con la adquisición del lenguaje de señas entre Washoe y los niños sordos, por ejemplo, “en lo que se refiere a la generalización del sentido de los signos, el aumento gradual de la longitud de las sucesiones de estos y en los tipos de relaciones semánticas que expresan con las primeras combinaciones de signos que aparecen”. (Gardner et al., 1976)

Además, ahora se cuenta con evidencia neurológica que muestra una estrecha relación entre los movimientos manuales y el procesamiento del lenguaje gracias al descubrimiento de las neuronas espejo. El sistema de neuronas espejo es un complejo circuito de neuronas bilateral, pero con una tendencia a predominar en el hemisferio izquierdo del cerebro tal y como ocurre con las áreas de producción y procesamiento lingüísticas. (Corballis, 2009, p.557)

5.1 Neuronas espejo

En 1996, Giacomo Rizzolatti y su equipo de la Universidad de Parma dieron a conocer el descubrimiento de neuronas visomotoras en el área F5 de los monos, la cual se considera homóloga del área de Broca en humanos (Rizzolatti et al., 1996). Nombraron a este descubrimiento como *neuronas espejo* y fueron detectadas al introducir microelectrodos de tungsteno en el cráneo de los macacos a través de la dura madre, lo cual sirvió para encontrar los potenciales de acción individuales al aislarlos con un discriminador de voltaje de amplitud de tiempo. (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996)

En un principio, estas neuronas fueron descritas como neuronas que se activan cada vez que el mono ve una acción hecha con la mano o la boca dirigida a un objeto. Sin embargo, se ha propuesto que estas neuronas, en especial las que se ubican en el área F5, también responden al sonido de las acciones dirigidas hacia los objetos, por ejemplo, el crujir que hacen las nueces al cascarlas. (Rizzolatti & Craighero, 2004)

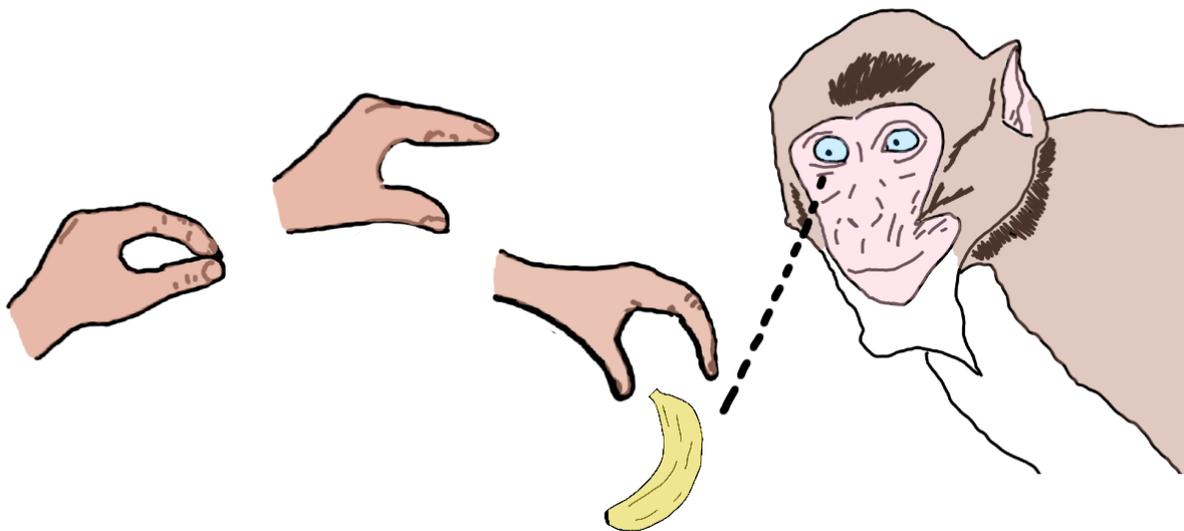


Figura 9. Ilustración que muestra el funcionamiento de las neuronas espejo en los primates no humanos según lo señalan Rizzolatti y Craighero (2004).

En años posteriores, Rizzolatti y sus colaboradores encontraron que las neuronas espejo ocupan otros 3 sectores del cerebro de los monos: un sector de la convexidad cortical (área F5c), un sector de la parte dorsal del banco posterior del surco arqueado (área F5p) y un

sector ubicado en la región ventral del mismo banco (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008; Gallese, 2008; Gazzaniga et al., 2009; Iacoboni & Dapretto, 2006; Rizzolatti et al., 2009). Además, encontraron neuronas espejo en la parte rostral del Lóbulo Parietal Inferior (IPL) y el Área Intraparietal Anterior (AIP), ambos sectores se encuentran conectados al córtex del Surco Temporal Superior (STS) y las regiones STPm y LB2.

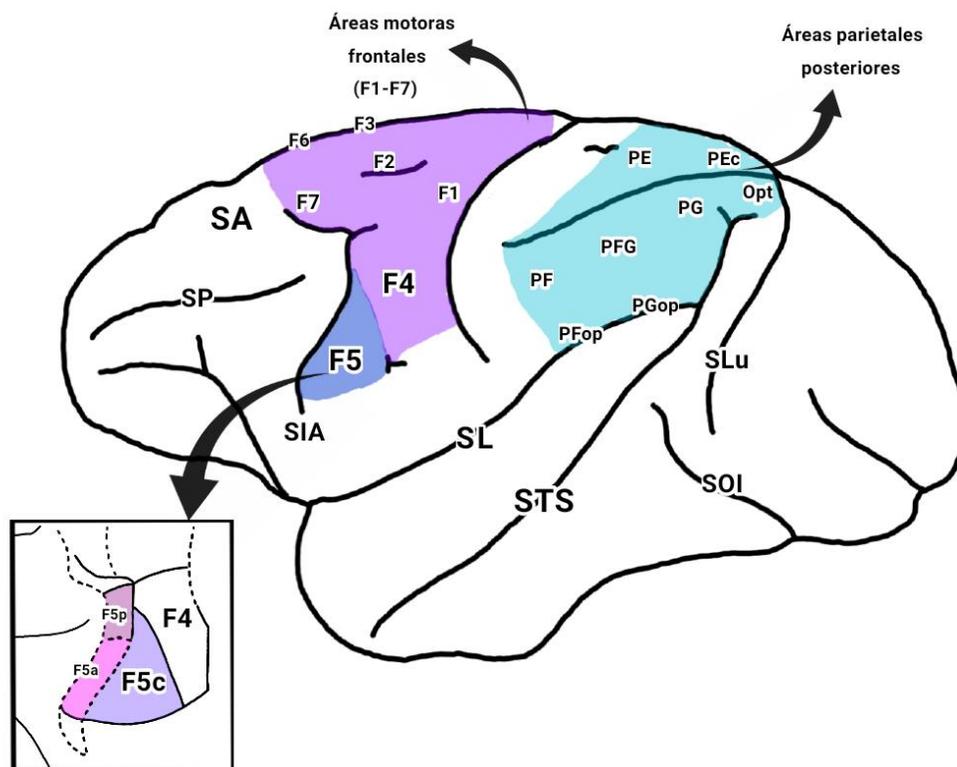


Figura 10. Ilustración del sistema espejo de los monos basada en el trabajo de Rizzolatti, Fabbri-Destro y Cattaneo (2009). Se muestran todas las áreas -incluso las subdivisiones del área F5- consideradas parte del sistema espejo. El Surco Temporal Superior (STS) no se considera parte del sistema espejo, pero está conectado a él. AS= Surco Arqueado Superior; SIA= Surco Arqueado Inferior; SL= Surco Lateral; STS= Surco Temporal Superior; SLu= Surco Lunado; SOI= Surco Occipital Inferior (Rizzolatti, Fabbri-Destro & Cattaneo, 2009, p.26).

En humanos, la metodología para encontrar las neuronas espejo fue distinta, pues, en un principio, no se usaron electrodos, sino técnicas de neuroimagen, tales como *Transcranial Magnetic Stimulation* (TMS) o *fMRI* (Imagen por Resonancia Magnética funcional). Fue hasta el año 2010 que Roy Mukamel y sus colaboradores lograron aislar y medir la

actividad de 1177 neuronas espejo humanas en 21 pacientes con epilepsia intratable farmacológicamente usando electrodos intracraneales. (Mukamel et al., 2010)

Según Maddalena Fabbri-Destro y Giacomo Rizzolatti (2008), “los dos nodos principales del sistema espejo humano son el Lóbulo Parietal Inferior (IPL) y el Córtex Premotor Ventral (PMv), además de la parte caudal del Giro Frontal Inferior (IFG)”. (p.173) El Sistema Espejo de los humanos cumple las mismas funciones que su homólogo en los primates, esto es mediar la imitación y el entendimiento de las acciones. (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008; Gazzaniga et al., 2009; Rajmohan & Mohandas, 2007; Rizzolatti et al., 2009; Rizzolatti & Craighero, 2004)

Ya que según Rizzolatti y Craighero (2004): “Cada vez que el individuo ve una acción hecha por otro individuo, las neuronas que representan esa acción se activan en el córtex premotor. Esto automáticamente induce la representación motora de la acción observada y cuyo resultado es conocido por el individuo que actúa. Así, el sistema motor transforma la información visual en conocimiento”. (p.172)

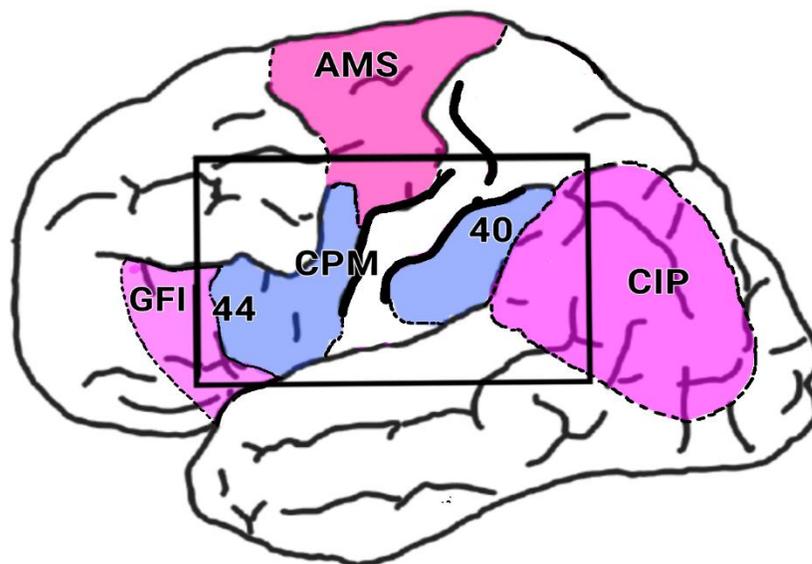


Imagen 11. Se muestra el sistema espejo en humanos en rosado con especial atención en las áreas de Broca (44) y de Wernicke (40) en azul. Según Rizzolatti, Fabbri-Destro y Cattaneo (2009) estas áreas responden a los movimientos de la mano y la boca. Ilustración basada en el trabajo de Rizzolatti, Fabbri-Destro y Cattaneo (2009). El área 45 también se considera área de Broca, pero el área 44 es la que se activa por movimientos de la mano (Corballis, 2010). AMS= Área Motora Suplementaria; CPM= Córtex PreMotor; CPS= Córtex Primario Somatosensorial; y CIP= Córtex Inferior Parietal.

Es debido a estas propiedades que, en 1998, Giacomo Rizzolatti y Michael Arbib propusieron que el lenguaje evolucionó a partir de este sistema neurofisiológico. Esta propuesta apoya la teoría del origen gestual del lenguaje, ya que: “las neuronas espejo representan la base neuronal de un mecanismo que crea un puente directo entre el que envía un mensaje y el que lo recibe. Gracias a este mecanismo, las acciones hechas por otros individuos se convierten en mensajes que son entendidos por el observador sin ninguna mediación cognitiva”. (Rizzolatti & Craighero, 2004)

El problema con esta propuesta es que, en primates no humanos, el sistema espejo no parece estar relacionado con las regiones del cerebro que se activan durante las vocalizaciones, pero en humanos este no parece ser el caso. Según Michael Corballis (2009): “Un estudio de Imagen por Resonancia Magnética Funcional (fMRI) muestra que el sistema de neuronas espejo se activa cuando la gente ve acciones hechas con la boca como morder, relamerse los labios y movimientos orales involucrados en las vocalizaciones”. (p.558)

Además, el área de Broca (considerada homóloga al área F5 de los monos) al dividirse en las áreas de Brodmann¹⁰ 44 y 45, encontramos que el área 44 se activa por movimientos complejos de la mano, el aprendizaje sensoriomotor e integración. Mientras que el área 45 se activa por el output lingüístico, ya sea hablado o por señas. (Corballis, 2010; Rizzolatti et al., 2009)

En primates, el sistema espejo Parieto-Frontal se encuentra conectado al Surco Temporal Superior, el cual se piensa que ayuda a procesar la información somatosensorial y visual, aun cuando no contiene neuronas espejo. Dicha conexión que no se ha encontrado en el sistema homólogo humano. Sin embargo, Iacoboni y Wilson (2006) mencionan que el Córtez Temporal Superior -zona donde se encuentra la cisura de Silvio, el área de Wernicke y las cortezas primarias auditivas (Hickok et al., 2003; Hickok & Poeppel, 2000) es un área de integración multisensorial que responde a estímulos auditivos y algunos visuales como el reconocimiento facial.

En este sentido, “el área de Wernicke puede realizar en el lenguaje una función análoga a la de la Corteza Temporal Superior en la imitación, es decir, puede proporcionar una representación preceptiva del input”(Iacoboni & Wilson, 2006, p.505). Lo cual, para

¹⁰ Ver anexo

algunos autores, significa que el área de Wernicke y el resto del lóbulo temporal juega un rol similar al del STS en la imitación. (Corballis, 2010)

Si bien el sistema de neuronas espejo humano aporta evidencia que apoya el origen gestual del lenguaje, este no puede responder el porqué de las vocalizaciones que utilizamos para comunicarnos. Distintos estudios en neuroimagen (Corballis, 2010; Hickok et al., 2003; Hickok & Poeppel, 2000) demuestran que el habla activa las mismas regiones pertenecientes al sistema espejo humano, lo que lleva a preguntarse: ¿cuándo se integró el habla al sistema de neuronas espejo humano? Para investigadores como Michael Corballis (2010) la respuesta podría estar en la genética.

5.2 Genética del lenguaje

Con el redescubrimiento del trabajo de Gregor Mendel a principios del siglo XX y con el desarrollo de la genética a mediados del mismo siglo, los genes se volvieron la explicación para cada conducta humana. No obstante, ahora se sabe que no son determinantes para nuestro comportamiento, aunque hay algunos implicados en rasgos que nos distinguen como especie, lo cual es el caso del gen FoxP2.

El gen FoxP2 o forkhead box P2 codifica a las proteína Foxp2 (Lai et al., 2001; Zarate, 2015) y pertenece a la familia de genes FoxP, los cuales son unos genes encargados de codificar a las proteínas que sirven como factor de transcripción para regular otros genes (Lai et al., 2001; Zárate, 2015). Según Sandra Zárate (2015): “(Los genes) de esta familia se caracterizan por poseer un dominio forkhead (-100 aminoácidos) de unión al DNA altamente conservados. Este dominio les permite regular la expresión de otros genes al activar o reprimir la transcripción”. (p.20)

El gen fue descubierto en la década de 1990 por Jane A. Hurst y su equipo, quienes estudiaron a una familia británica denominada como la “*Familia Ke*”. Esta familia, a lo largo de tres generaciones, presentó desórdenes severos del lenguaje, “dicho desorden severo del habla y el lenguaje era transmitido como un rasgo monogénico autosómico-dominante”. (Lai et al., 2001, p.519)

Esto llevó a que: “por medio de ligamiento genético se hallase que el gen que posiblemente causaba dicho trastorno se localizaba en la región denominada SPCH1 en el brazo largo del cromosoma 7”. (Zarate, 2015,p.17) Sin embargo, fue un sujeto denominado CS, no relacionado a la familia KE y con un trastorno similar, quien confirmó las sospechas de los investigadores.

El equipo de Cecilia Lai reportó en 2001 que CS presentaba una translocación balanceada en la posición t(5;7) (q22;q31.2)6. Así mismo, el análisis molecular realizado con cromosomas artificiales bacterianos (BAC) al cromosoma 7 arrojó un solo clon en la posición NH0563O05 (Lai et al., 2001,519). Zárate (2015), siguiendo la investigación de Celia et al (2001), menciona que: “al buscar la secuencia de este clon y los BAC adyacentes se halló una secuencia aminoacídica, en la que el extremo carboxi-terminal contenía un segmento de 84 aminoácidos (exones 12-14) con alta similitud al dominio forkhead de unión al DNA, el cual es característico de la familia de factores de transcripción que

pertenecen a la familia Fox. De acuerdo con la nomenclatura estándar, el gen se denominó FoxP2 -Forkhead box P2-". (Zarate, 2015,p.18)

Cecilia Lai y colaboradores mencionan que las mutaciones del FoxP2 presentes en la "Familia Ke" se relacionaban con dificultades severas en la selección y secuenciación correcta de los movimientos orofaciales necesarios para articular el lenguaje (Cecilia et al., 2001,p.519). A su vez, los miembros afectados presentaban un IQ más bajo, pero esto no fue significativo y podría estar más relacionado con la marginación social por no poder hablar bien.

No obstante, los miembros afectados también presentaban anomalías en la morfología de ambos hemisferios del cerebro. En general, las anomalías tenían que ver con una menor densidad de materia gris en zonas como la circunvalación frontal inferior, la cabeza del núcleo caudado, el giro precentral, los lóbulos temporales y el área ventral del cerebro. Aunque, a su vez, presentaban mayor densidad de la normal en el área de Wernicke, el giro angular y el putamen. (Benítez Burraco, 2012)

5.3 Funciones del FoxP2

Como se mencionó anteriormente, este gen se relaciona estrechamente con la capacidad lingüística, pero ¿por qué? Primero hay que mencionar que el gen presenta una gran actividad en el desarrollo ontogénico de varias especies, pues es un gen altamente conservado entre los vertebrados, codificando en áreas del cerebro homólogas de diferentes animales. (Enard et al., 2002; Krause et al., 2007; Lieberman, 2009; Zarate, 2015)

Cabe destacar que, aunque el gen FoxP2 se encuentra altamente conservado en el reino animal, en humanos presenta dos mutaciones puntuales que lo distinguen del resto de especies. Para ser exactos, una treonina cambia por un ácido aspártico en la posición 303 y una arginina cambia por una serina en la posición 325. (Enard et al., 2002; Krause et al., 2007; Preuss, 2012; Zarate, 2015)

El FoxP2 humano se expresa en regiones del cerebro que tienen que ver con la capacidad cognitiva y la producción de los movimientos orofaciales que permiten el habla como son: el área de Broca, los ganglios basales, el tálamo, cerebelo y bulbo raquídeo¹¹. (Garcés-Vieira & Suárez Escudero, 2014; Lai et al., 2001; Lieberman, 2009; Zarate, 2015)

¹¹ En inglés se traduce como médula oblongada

En el año 2009, Philip Lieberman analizó un estudio con roedores a los que se les introdujo la mutación del FoxP2 humano, con lo que demostró lo siguiente: “los ratones presentaron alteraciones en las vocalizaciones ultrasónicas y el comportamiento exploratorio, así como cambios en las concentraciones de dopamina del cerebro” (p.800). Esto aporta un poco de evidencia sobre los efectos del FoxP2 sobre nuestra capacidad lingüística, a lo que Lieberman concluye lo siguiente:

“Las consecuencias neurológicas proveen una explicación del porqué el habla humana, el lenguaje y la capacidad cognitiva trasciende la de los primates vivos (...) En ratones con el gen FoxP2 “Humanizado”, las neuronas espinosas medianas de los ganglios basales muestran un incremento en la plasticidad sináptica y longitud de las dendritas (...) Dichos cambios facilitan la eficiencia neural de los circuitos cortico-ganglio basales, el mecanismo cerebral que en humanos es conocido por regular el control motor del lenguaje, reconocimiento de palabras, comprensión de las oraciones, reconocimiento visual de las formas, aritmética mental, y otros aspectos de la cognición”.(Lieberman, 2009, p.800)

Esta evidencia demuestra la acción neuroplástica que tiene el FoxP2 en las regiones del cerebro involucradas en el lenguaje. De hecho, varios autores mencionan que este gen, junto con los de las familias HOMER1 y NACC¹², ha sido de los más estudiados por dichos efectos en el sistema nervioso. (Bufill & Carbonell, 2004; Garcés-Vieira & Suárez Escudero, 2014; Lieberman, 2009, 2013; Preuss, 2012; Zarate, 2015)

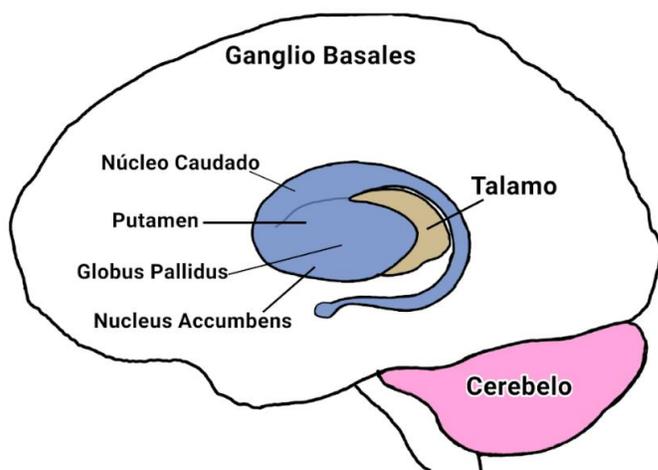


Figura 12. Se muestran las regiones del cerebro en las que codifica el gen FoxP2. Basada en el trabajo de Lieberman (2009). El globo pálido (globus pallidus) se encuentra en la parte interna del putamen. El cerebelo no se considera parte de los ganglios basales, pero de igual forma se encarga del control motor voluntario, sobre todo del equilibrio (Snell, 2014).

¹² Genes relacionados con la actividad cerebral

6. El circuito motor y los ganglios basales

Los ganglios basales son los cuerpos que reciben de forma aferente la mayor parte de la información del córtex cerebral. Facilitan e inhiben los movimientos, por lo que gracias a ellos, somos capaces de escribir, dibujar y usar las cuerdas vocales (Snell, 2014, p.320). Según Haines (1997): “Los ganglios basales integran y modulan la información cortical a lo largo de múltiples canales paralelos. Estos canales afectan el comportamiento indirectamente mediante la retroalimentación a la corteza cerebral y directamente al proporcionar información a los centros subcorticales que influyen en los movimientos”. (p.364)

Duane Haines (1997) distingue 5 circuitos que conectan a los ganglios basales con otras partes del cerebro: 1) circuito motor, 2) circuito oculomotor, 3) circuito prefrontal dorsolateral, 4) circuito lateral orbitofrontal y 5) circuito límbico. Cada uno de estos circuitos está relacionado con capacidades mentales específicas que se activan por diferentes funciones de los ganglios basales, lo que se conoce como *componente cerrado*, pero que pueden integrarse por medio de otras funciones de estos núcleos, lo que se llama “*componente abierto*” (Haines, 1997, p.372). Como ejemplo, los circuitos dorsolateral-prefrontal y lateral orbitofrontal están relacionados con procesos cognitivos. Aunque, el circuito de mayor interés y que caracteriza a los ganglios basales es el motor.

El circuito motor se origina en la corteza motora suplementaria, la corteza motora primaria, la corteza premotora y la corteza somatosensorial. Las proyecciones subcorticales terminan en el putamen que tiene conexiones eferentes hacia la parte ventral del *globus pallidus* y la porción dorsolateral de la sustancia nigra¹³. Ambas regiones se proyectan hacia el tálamo, el cual presenta conexiones de vuelta hacia las áreas de la corteza ya mencionadas. (Haines, 1997)

De esta manera, los ganglios basales, mediante los distintos circuitos que los componen, reciben estímulos de la corteza cerebral para codificarlos y enviar una señal de respuesta a la misma región de la corteza. Siendo la función más importante, pero no la única, el control motor, entre cuyas funciones esta coordinar los movimientos orofaciales necesarios para el habla.

¹³ La sustancia nigra es una región dopaminérgica relacionada con el movimiento y algunas habilidades cognitivas. Se encuentra ligada a los núcleos basales, pero no se le considera uno (Snell, 2014).

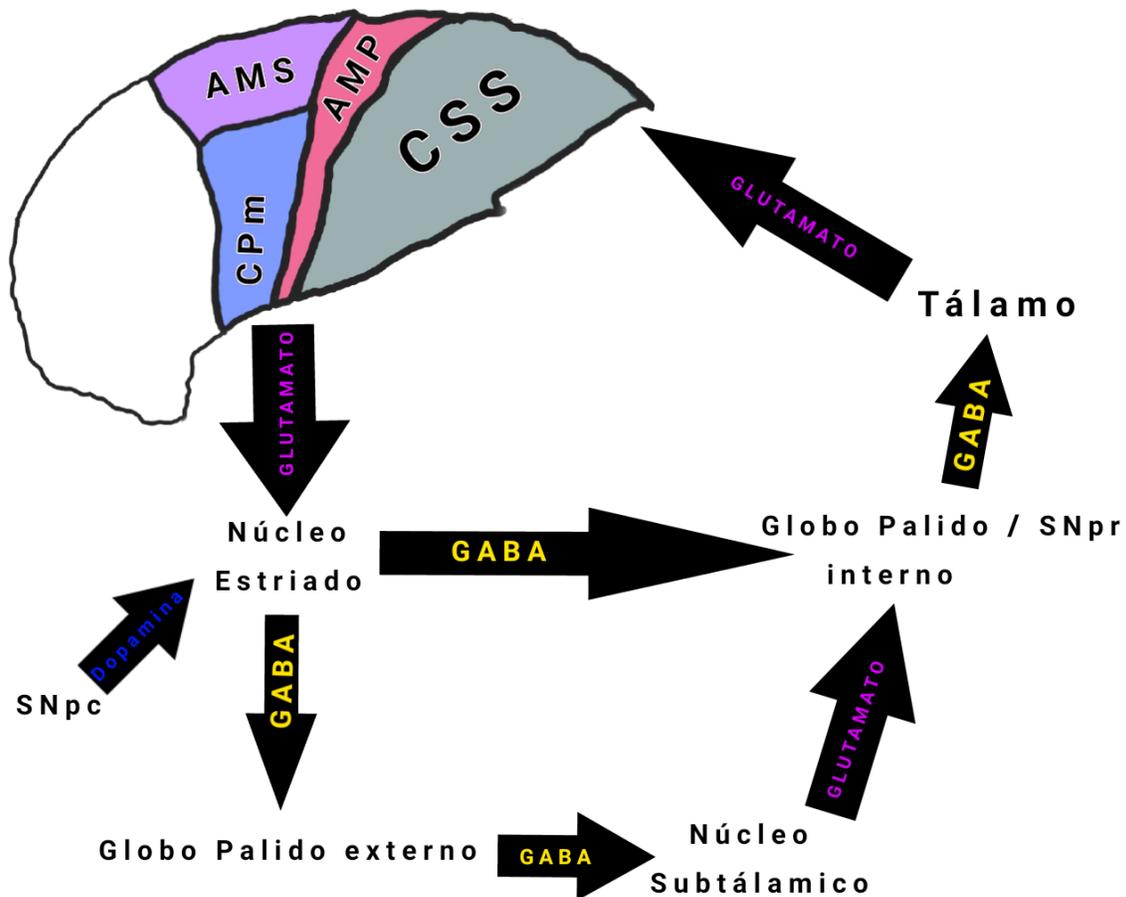


Figura 13. Esquema que ejemplifica una de las conexiones que existen entre el córtex y los ganglios basales basado en el trabajo de Duane Haines (1997). AMS= Área Motora Suplementaria; CPM= Córtex Pre-Motor; AMP= Área Motora Primaria; CSS= Córtex Somato Sensorial; SNpc= Sustancia Nigra pars compacta; y SNpr= Sustancia Nigra pars reticulata. Este circuito está conformado por conexiones que promueven e inhiben el movimiento. Las flechas purpuras representan el camino que sigue el glutamato, el cual es un neurotransmisor que facilita la comunicación entre neuronas. Las flechas azules representan el camino de la dopamina, la cual se encarga de promover el impulso del movimiento. Las flechas amarillas representan el camino del neurotransmisor GABA, el cual inhibe el impulso del movimiento.

La mayoría de estos circuitos han sido trazados utilizando animales con estructuras similares, como los simios, en los cuales se han podido implantar electrodos para mediar la actividad individual de cada neurona *in vivo*. En humanos, por el contrario, se han usado técnicas de neuroimagen que, si bien son de gran ayuda, pueden presentar errores. No

obstante, ya que el habla es un rasgo único de los humanos, esta ha sido la única manera de obtener la ruta que conecta al área de Broca con los ganglios basales.

Jean- Jacques Soghomonian (2016) señala que las conexiones directas existentes entre el área de Broca y los ganglios basales serían las encargadas de funciones del lenguaje tales como la selección del léxico, sintaxis y el procesamiento del lenguaje. Según este autor existen dos caminos directos del área de Broca a los ganglios basales: el primer camino comienza en el *pars opecularis* -área de Brodmann 44- que conecta con el putamen y finaliza en el tálamo; la segunda vía va del *pars triangularis* -área de Brodmann 45- conecta con el putamen y termina en el tálamo. (Soghomonian, 2016)

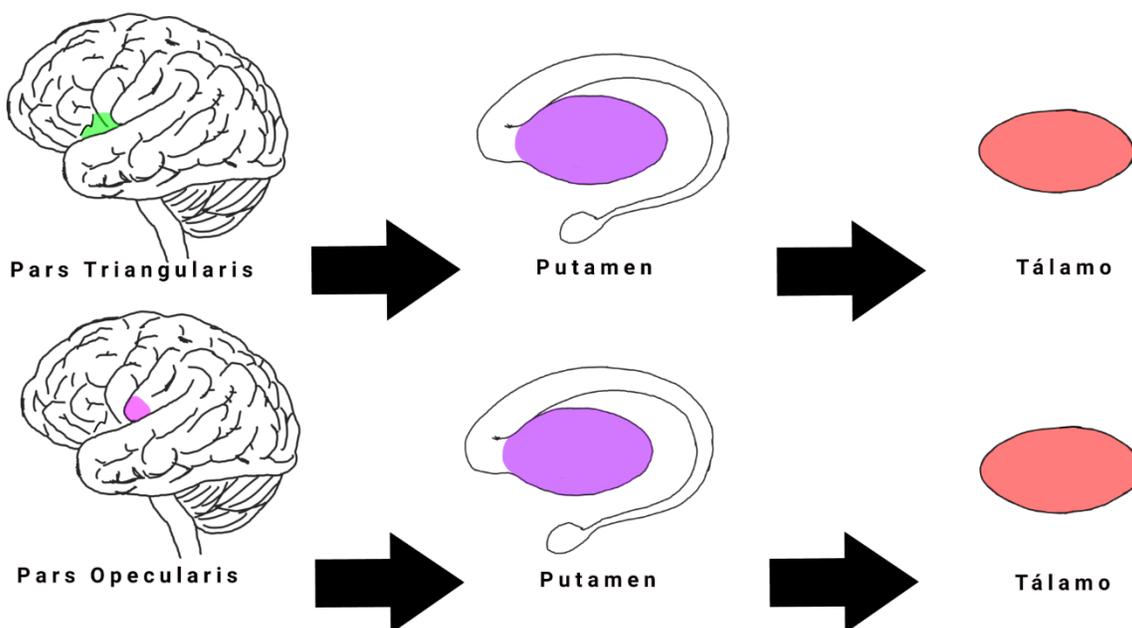


Figura 14. Representa la ruta que siguen los estímulos que son captados la región *pars triangularis* -en verde- y *pars opecularis* -en rosa- hasta llegar a los ganglios basales. Ambas regiones son subdivisiones del área de Broca y corresponden a las áreas de Brodmann 44 -*pars opecularis*- y 45 -*pars triangularis*- (Soghomonian, 2016). Imagen de elaboración propia.

Estas conexiones, al igual que las mostradas anteriormente, forman un circuito que, a manera de ilustración, comienza y termina en la corteza motora. Algo a destacar del trabajo de Soghomonian (2016) es que encontraron conexiones entre el área pre-motora suplementaria (SMA) y el área de Broca. La pre-SMA es considerada parte del sistema espejo (Mukamel et al., 2010) y parece que, junto al área de Broca, se encarga del procesamiento lingüístico. (Soghomonian, 2016, p.226)

6.1 El gen que cambió nuestro cerebro

El sistema nervioso se encuentra en constante reestructuración. Un ejemplo de esto es la neuroplasticidad que es un mecanismo epigenético más que puede definirse como: “la potencialidad del sistema nervioso de modificarse para formar conexiones en respuesta a la información nueva, la estimulación sensorial, el desarrollo, la disfunción o el daño”.(Garcés-Vieira & Suárez Escudero, 2014,p.119)

Esta habilidad del sistema nervioso depende de varios factores que pueden ser tanto físicos como químicos y se dan a distintos niveles. Algo a destacar es que la neuroplasticidad ocurre desde el desarrollo fetal, cuando hay un mayor número de redes neuronales -y, por ende, de sinapsis- hasta la senectud(Garcés-Vieira & Suárez Escudero, 2014). Sin embargo, estos cambios en el sistema nervioso se dan de manera individual y hasta hoy no se ha visto que se puedan heredar.

No obstante, a nivel evolutivo se han presentado varios cambios en la estructura del cerebro, los cuales han ido de la mano con algunos genes como los ya mencionados ASPM (genes relacionados con el tamaño del córtex cerebral) o los CASP3 (proteasa implicada en la apoptosis durante la proliferación de precursores neuronales) (Benítez Burraco, 2012). Aunque es difícil señalar en que punto exacto de la evolución del linaje humano ocurrió, existe evidencia que demuestra cambios neurológicos adaptativos en regiones específicas del habla. Como ejemplo, Buzza y Carbonell (2014) mencionan que: “Las ramificaciones dendríticas de las neuronas humanas pertenecientes al área de Broca, asociada a la expresión del lenguaje, muestran una longitud mucho mayor que las de sus homólogas en el hemisferio derecho”. (p.50)

Esto, junto con la evidencia aportada por el FoxP2, ha llevado a pensar a los investigadores que; “(el gen) podría estar implicado en la evolución de algunos aspectos que forman parte del lenguaje, por ejemplo, en el desarrollo de la praxis orofacial, en el refinamiento del control vocal del lenguaje, o en las funciones del área de Broca o de los ganglios basales”. (Zarate, 2015, p.7)

Para autores como Antonio Benítez Burraco (2012) lo novedoso de los genes implicados en el desarrollo cerebral como el FoxP2, sería la capacidad de crear conexiones nuevas que dieron como resultado estructuras más complejas a lo largo de la evolución humana. De ahí que estructuras ya presentes desempeñaran tareas nuevas.

6.2 Entendimiento de la acción vs percepción de la acción: una nueva interpretación del sistema espejo

En capítulos anteriores se mencionó que las neuronas espejo han sido propuestas como el mecanismo neurofisiológico que media el entendimiento de las acciones, lo cual se relaciona con capacidades como la imitación, el lenguaje o la teoría de la mente. No obstante, Gregory Hickok (2009) señala que existe una problemática con esto y es que la evidencia de los trabajos hechos en monos y humanos podría estar malinterpretada por Rizzolatti y sus colaboradores.

Según Hickok, las lesiones en el área F5 de los macacos deberían dificultar el entendimiento de las acciones dirigidas a los objetos, lo cual no ocurre. Esto, según el autor, podría deberse a que el sistema espejo es bilateral, o porque existe la posibilidad de que el entendimiento de las acciones se dé en otra parte del cerebro del mono. (Hickok, 2009)

Otro punto que usa Hickok para cuestionar la capacidad de las neuronas espejo de entender las acciones es que, cuando el macaco escucha una acción hecha sobre un objeto - como el citado ejemplo de Rizzolatti y Craighero (2004) sobre cascar las nueces-, solo el 15% de las neuronas espejo se activan. Esto no demuestra que el mono sea capaz de asociar el sonido de la acción con el objeto, sino, sólo con la acción. En este sentido, al estar compuesto de neuronas viso motoras, el sistema espejo está más relacionado con la percepción de las acciones que con su entendimiento.

Este hecho reduce la gama de habilidades atribuidas al sistema espejo, como la capacidad de imitar, lo cual se ve apoyado por el hecho de que los macacos no imitan. No obstante, Hickok (2009) cita un trabajo de Fogassi y colaboradores del año 2005, en cual se demuestra que la región del lóbulo parietal inferior (LPI) de los macacos, se activa cuando un semejante toma un objeto -dígase un trozo de comida- y se lo lleva a la boca o lo deposita en un recipiente cerca de su boca (Fogassi et al., 2005; Hickok, 2009). Según Hickok, los experimentos de Fogassi y sus colaboradores, efectivamente, parecen demostrar que el LPI del macaco es capaz de discernir entre ambas acciones.

No obstante, los experimentos de Fogassi podrían dar lugar a dos interpretaciones: la primera que esa parte del sistema espejo es capaz del entendimiento de las acciones; y la segunda -y la que apoya Hickok- es que esa región responde a las características peculiares

del movimiento y no a la acción en sí. En la segunda opción el entendimiento de las acciones se produce en otro lugar, siendo el surco temporal superior (STS) el mejor candidato, pues se relaciona muy estrechamente con el sistema espejo. (Hickok, 2009)

Problemas similares se presentan en el sistema espejo humano, ya que daños en el área de Broca no producen problema en el entendimiento del lenguaje, pero sí en su producción. Caso contrario a lo que ocurre con daños en el área de Wernicke, donde el entendimiento de las palabras se ve afectado. Además, los humanos son capaces de comprender acciones que no están viendo y también que nunca han realizado, lo cual demuestra que el sistema espejo está involucrado en las asociaciones sensoriales y motrices de una tarea, no con su entendimiento. (Hickok, 2009)

El hecho de que toda la evidencia demuestre que el sistema espejo está relacionado con la percepción motora y sensorial -sobre todo de las manos y la boca-. (Arbib, 2016; Arbib et al., 2008; Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008; Iacoboni & Dapretto, 2006; Iacoboni & Wilson, 2006; Rizzolatti et al., 2009; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, et al., 1996; Rizzolatti & Craighero, 2004). Lo que ha llevado a científicos como Michael Corballis (2010) a plantear que el lenguaje puede entenderse como un sistema corporizado¹⁴ que puede expresarse mediante gestos.

La idea del lenguaje corporizado significa que la comunicación surge de las interacciones del cuerpo con el mundo exterior. Este autor adopta una postura contraria a la de Hickok (2009) al señalar que, dada la evidencia por los trabajos ya citados, las neuronas espejo son una buena base cognitiva para el lenguaje, pues relacionan estrechamente la percepción del movimiento con el habla. (Corballis, 2010)

Esto ha llevado a distintos científicos a plantear que el lenguaje no solo se adquiere y utiliza por medio de un sistema simbólico abstracto, sino que el cuerpo desempeña un papel importante. Esta propuesta no es del todo nueva, pues el filósofo Maurice Merleau-Ponty (1945) habría señalado que tanto la palabra como los gestos son resultado del pensamiento, y la comunicación solo se logra cuando hay una “reciprocidad” de intenciones entre el que envía el mensaje y el que lo recibe. Además de esto, la experiencia perceptiva del cuerpo es necesaria para poder entender al otro y entablar la comunicación (Merleau-Ponty, 1945). Esta corriente dentro de las ciencias cognitivas se conoce como enactivismo.

¹⁴ La propuesta de Corballis (2010) en inglés es embodied, lo que se traduce como corporizado, encarnado o integrado.

Por su parte, Piaget ya había planteado que el lenguaje era una herramienta resultado de un cambio en la inteligencia sensoriomotora (Barrett, 1999; Papalia et al., 2009). Autores como Martyn Barrett señalan que: “una aproximación corporal de la comunicación implica entender que la comunicación es una acción y una interacción (...) la comunicación no existen como un proceso mental fuera de las acciones, sino que emerge sin seguir un guión”. (Barrett, 1999, p.34)

El sistema espejo, al relacionar estrechamente el movimiento con el habla permite crear el puente entre el lenguaje simbólico y el lenguaje corporal. Según Arbib (2016) algunas pruebas de que las neuronas espejo son un mecanismo del lenguaje corporal las podemos encontrar en los infantes que dependen de las interacciones físicas para ayudar a la adquisición de diversas habilidades lingüísticas, como la lectura o la escritura. (Arbib, 2016)

Algo a destacar de las neuronas espejo, y que se ha abordado ampliamente en la literatura¹⁵, es que parecen importantes en la intersubjetividad. Aunque no se ahondará en esto, pues supera los límites de este trabajo, es importante mencionar que esta característica del sistema espejo ha llevado al psiquiatra alemán, Thomas Fuchs (2018), a postular que funciona como un sistema de resonancia social ya que el entendimiento social y la empatía se basan primordialmente en la percepción corporal del otro. Según el autor:

“Siempre percibimos a los demás como “de nuestra propia especie”, porque en cada interacción nuestro cuerpo se sintoniza subliminalmente con sus expresiones faciales y gestuales y sus intenciones de movimientos (...) La interconexión general de la percepción y las “neuronas espejo” son, en última instancia, nada más que componentes especializados de los ciclos sensoriomotores superiores que llevan el intercambio intercorporal”. (Fuchs, 2018, p.186)

Ejemplos del sistema espejo como un mecanismo del lenguaje corporizado se observan en la vida cotidiana cuando una madre le enseña a hablar a su bebé al exagerar los movimientos de la boca para mostrarle cómo articular correctamente los labios y el lenguaje al producir una palabra; o con las personas sordas, quienes dependen de la vista y de las manos para poder comunicarse.

¹⁵ Revisar Fabbri-Destro & Rizzolatti (2008) y Fuchs (2018).

Algo que no toma en cuenta Hickok y que apoya en gran medida el papel que juega el sistema espejo en la adquisición lingüística, es el hecho de que la comunicación manual en las personas sordas activa las mismas áreas del lenguaje que en las personas que escuchan, las cuales también son pertenecientes al sistema espejo.

En cuanto a la capacidad de imitar, si bien los macacos no son buenos para ello, otras especie de primates si lo son, como los ya mencionados chimpancés (Arbib, 2016). Por desgracia, se sabe muy poco de las neuronas espejo de estos animales, debido a que es muy difícil obtener neuroimágenes de ellos por su gran tamaño y fuerza.

Aunque no hay mucha información al respecto, la principal problemática a la que se enfrentarían los investigadores al comparar las neuronas espejo de los primates, es que cada especie difiere en cuanto su sistema de comunicación, lo que tiene que ver con el proceso evolutivo de sus respectivos linajes. Por ejemplo, en los macacos, a pesar de que investigadores como Arbib (2016) señalan que tiene una gran destreza manual, su sistema de comunicación es predominantemente vocal, mientras que en los chimpancés su comunicación es gestual.

En el caso de los humanos, las neuronas espejo han sido utilizadas para apoyar la teoría del origen gestual, pero el punto no es preguntarse si el lenguaje en un inicio fue gestual o vocal, pues la evidencia demuestra que las estructuras del aparato fonador son tan primitivas que se comparten con el resto de mamíferos (Du Brul, 1977) y al provenir el linaje *Homo* de especies primates (ya extintas), es muy probable¹⁶ que la comunicación corporal estuviera tan presente como hoy. Por estos motivos es factible pensar que ambos tipos de comunicación siempre han estado presentes.

La pregunta para responder es: ¿cuáles fueron el momento y evento evolutivos que dieron paso a que el sistema cognitivo se adaptara al punto de que las señas, los gestos y las vocalizaciones derivaran en el lenguaje (hablado, escrito y gestual) que se usa actualmente? La propuesta que se ha expuesto a lo largo de este trabajo es que las mutaciones en el gen FoxP2 causaron una reorganización estructural en el cerebro que actuó sobre el sistema espejo dando como resultado el lenguaje tal y como lo conocemos.

¹⁶ Suposición basada en la revisión de varios trabajos (De Waal, 2019; R. Dunbar, 1998a, 1998b; R. I. M. Dunbar, 2003; R. Dunbar & Shultz, 2007; Kappeler & Van Shaick, 2002; Lovejoy, 2009; Platt & Ghazanfar, 2010; Terrazas, 2011; Van Shaick, 1996).

Conclusiones

La evidencia presentada en este trabajo demuestra que existe una relación directa entre el gen FoxP2 y el sistema de neuronas espejo humano. Debido a los efectos que tiene el gen en el cerebro (Bufill & Carbonell, 2004; Garcés-Vieira & Suárez Escudero, 2014; Lieberman, 2007, 2009, 2013; Preuss, 2012), es factible pensar que, en algún punto de la historia evolutiva de linaje humano, las mutaciones de este gen ocasionaron un reacomodo en la estructura del encéfalo vinculando directamente el sistema espejo con los ganglios basales.

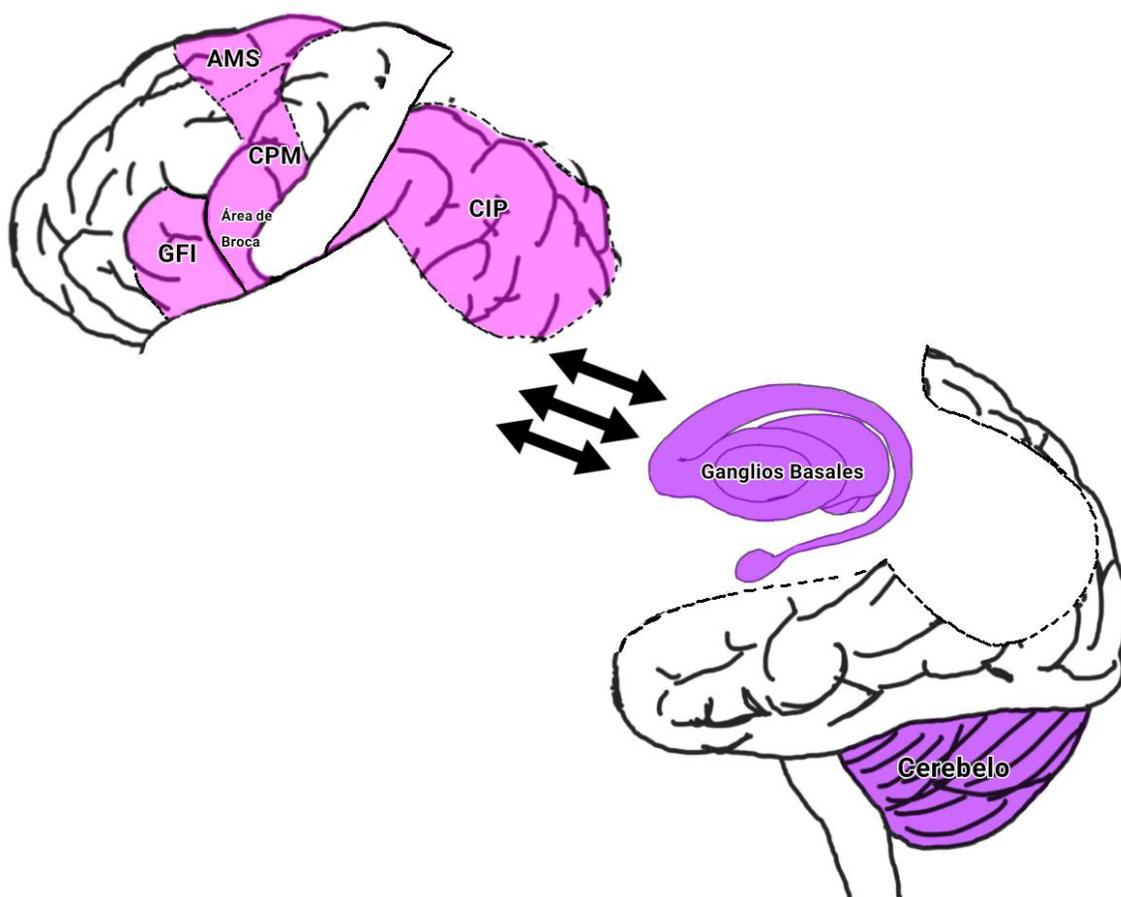


Figura 15. El esquema ilustra la relación que existe entre las regiones donde codifica el gen FoxP2 (morado) y el sistema de neuronas espejo (rosado). Como se ha expuesto a lo largo del trabajo, existen conexiones directas entre los ganglios basales y las áreas motoras, lo que habilita el lenguaje hablado y escrito (Haines, 1997; Waxman, 2011; Snell, 2014). Algo a destacar es que el área de Broca es parte del sistema espejo humano y también codifica el FoxP2. AMS= Área Motora Suplementaria; CPM= Córtex PreMotor; GFI= Giro Frontal Inferior; CIP= Córtex Inferior Parietal; y Área de Broca. Imagen de elaboración propia.

La relación entre estas partes del cerebro puede haber derivado en el lenguaje, ya que ambas se relacionan con esta habilidad en sus modalidades escrita y hablada, además del control motor, la percepción sensoriomotora, entre otros aspectos cognitivos (Arbib, 2016; Benítez Burraco, 2012; Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008; Haines, 1997; Iacoboni & Dapretto, 2006; Iacoboni & Wilson, 2006; Kandel et al., 2021; Lieberman, 2009; Rizzolatti & Craighero, 2004; Snell, 2014; Waxman, 2011; Zarate, 2015). No obstante, conviene tener en cuenta algunos puntos:

1) A pesar de que el FoxP2 se encuentra ligado al lenguaje, esto no significa que sea el único gen involucrado en su evolución, pero si es el que más se ha estudiado y del que se ha podido trazar un proceso evolutivo. (Enard et al., 2002; Gazzaniga et al., 2009; Krause et al., 2007; Lieberman, 2013)

2) La propuesta teórica de este trabajo traza una ruta evolutiva del lenguaje basada en el control motor, ya que esta parece ser la principal función del sistema espejo y del FoxP2. En este sentido, el lenguaje habría detonado al permitir a los antepasados del *Homo Sapiens* tener el control motor suficiente para coordinar los movimientos del habla, las manos y los gestos. La razón para dicha afirmación es que: “la conexión directa entre el córtex motor y las neuronas motoras vocales, es un componente crucial en la habilidad humana para el control voluntario de los detalles acústicos de las vocalizaciones; una habilidad que no está presente en monos u otros simios”. (Gazzaniga et al., 2009,p.878)

3) Si bien los estudios con chimpancés y con las personas sordas o mudas demuestran que el cuerpo juega un papel importante en la comunicación, lo cierto es que el lenguaje en humanos es predominantemente oral. Por tal motivo, las áreas auditivas y de asociación deben de haber jugado un papel importante en la evolución del lenguaje. (Hickok, 2009; Hickok et al., 2003; Hickok & Poeppel, 2000, 2007)

Esto último es importante, pues, si como señala Hickok (2009), el entendimiento de las acciones no ocurre en el sistema espejo, la tarea podría recaer en alguna otra área del cerebro asociada a él. En los macacos, un buen candidato es el surco temporal superior; el cual forma un circuito con las neuronas espejo desempeñando muchas funciones cognitivas. (Hickok, 2009; Iacoboni & Wilson, 2006; Rizzolatti & Craighero, 2004)

Sin embargo, y como ya han mencionado Rizzolatti y Craighero (2004), no parecen existir conexiones parecidas en el ser humano, aunque Corballis (2010) propone que el área

más parecida a desempeñar las mismas tareas que el STS (Surco Temporal Superior) en humanos es el lóbulo temporal, dicha afirmación la haría basándose en el trabajo de Iacoboni y Wilson (2006). Esto deja dos posibilidades: I) efectivamente, no existe un área homóloga el STS en humanos; II) el lóbulo temporal en algún momento fue homóloga al STS, pero los cambios evolutivos y estructurales en el cerebro lo modificaron lo suficiente para desempeñar otro tipo de tareas. Cualquier opción deja abierta la posibilidad a futuras investigaciones que se vinculen con este trabajo.

Anexo: áreas de Brodmann

Korbinian Brodmann (1868-1918) fue un neurólogo alemán que realizó un mapeo del cerebro marcando 47 áreas delimitadas. Para la época en que Brodmann realizó el mapeo, 1878, se tenía pensado que el cerebro se componía de módulos que realizaban tareas específicas -Teoría modular-. Hoy se sabe que esto no es así, sin embargo, el mapeo de Brodmann sigue siendo usado para ilustrar.

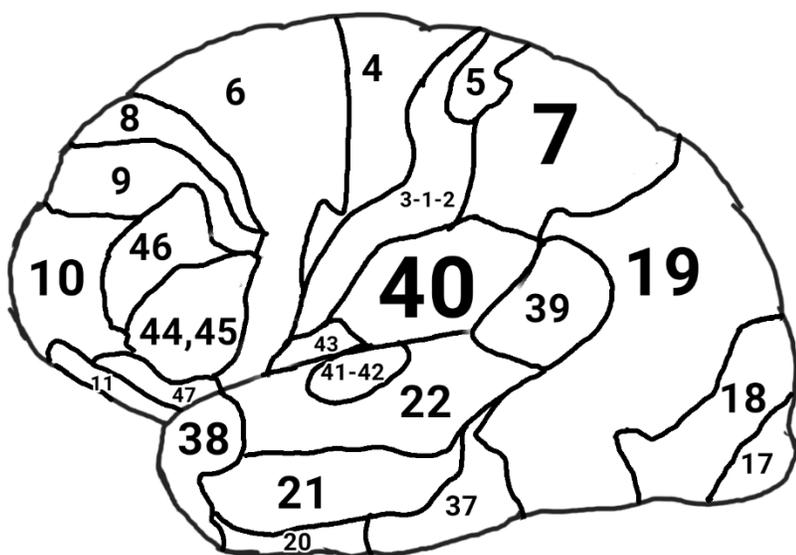


Figura 16. Ilustración lateral izquierda de las áreas de Brodmann. Solo en este hemisferio, las áreas 44 y 45 corresponden a una misma región; el área de Broca. Mientras que las áreas 40 y 43 corresponden al área de Wernicke.

Ilustración basada en: <https://www.psicoadictiva.com/blog/las-areas-brodmann-localizacion-funcion/>

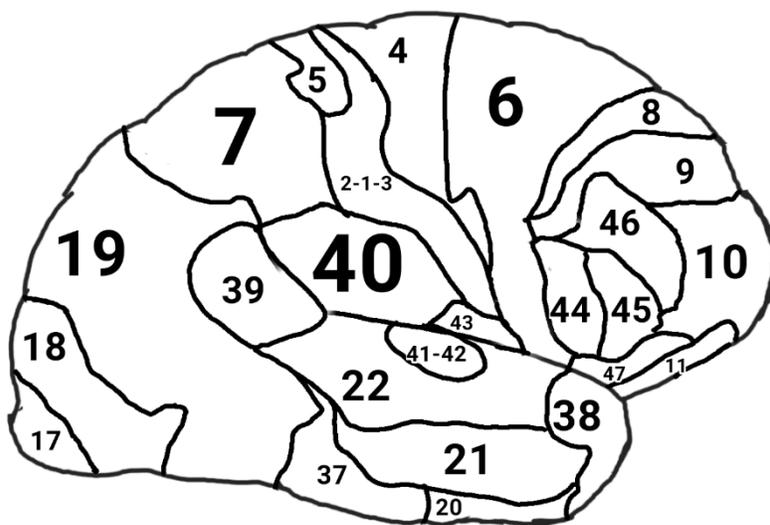


Figura 17. Ilustración lateral derecha de las áreas de Brodmann. Ilustración basada en:

<https://www.psicoadictiva.com/blog/las-areas-brodmann-localizacion-funcion/>

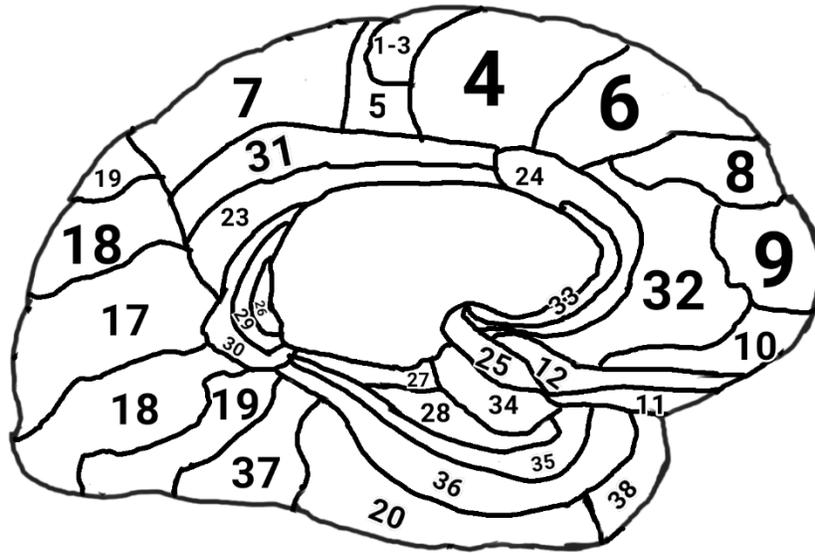


Figura 18. Vista lateral derecha. Se muestran las regiones subcorticales mapeadas de Brodmann. Imagen basada en: <https://www.psicoactiva.com/blog/las-areas-brodman-localizacion-funcion/>

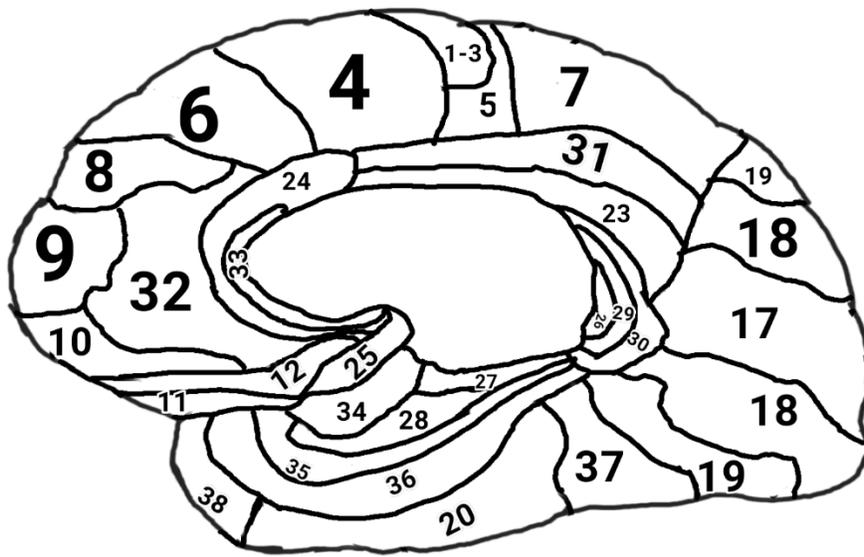


Figura 19. Vista lateral izquierda. Mapeo subcortical de las áreas de Brodmann. Imagen basada en: <https://www.psicoactiva.com/blog/las-areas-brodman-localizacion-funcion/>

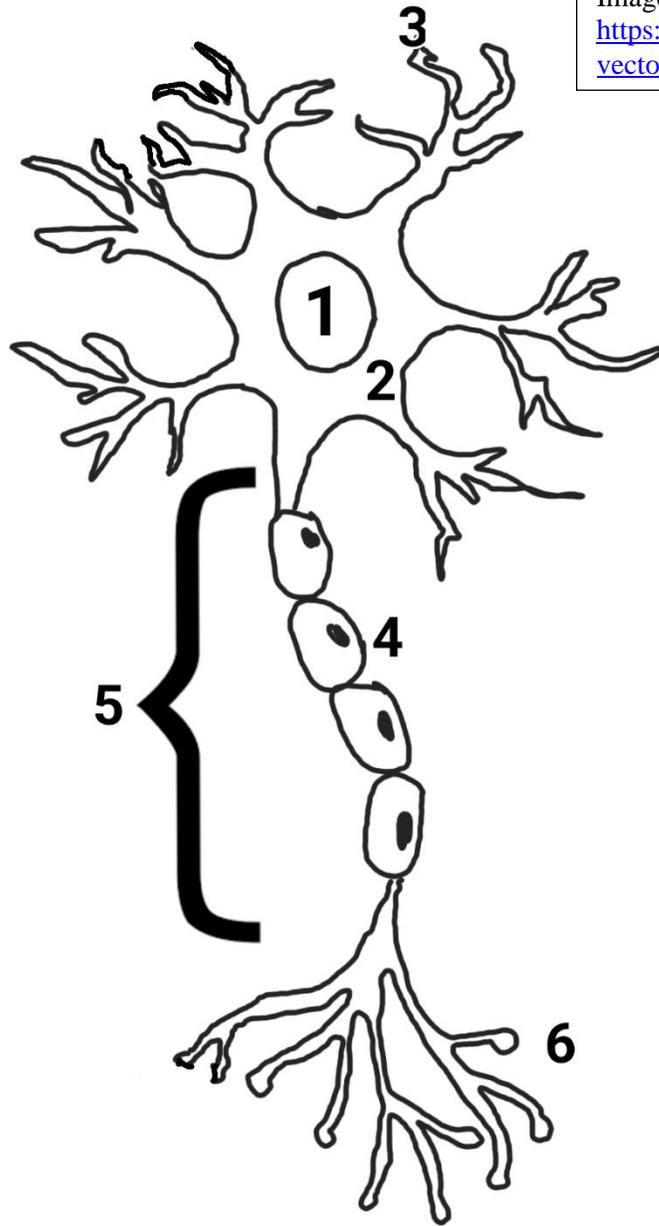
ÁREAS	LOCALIZACIÓN
1,2,3	Áreas somatosensitivas primarias: lóbulos parietales.
4	Área motora primaria: giro precentral en el lóbulo frontal
5,7	Área Sensitiva Secundaria: Lóbulo parietal superior
6	Área Premotora: Lóbulo frontal
9,10,11,12	Área Prefrontal: giro frontal
13,14,15,16	Área insular: en la época del mapeo, se pensaba que la ínsula solo estaba presente en los monos. Hoy, junto con la corteza cingulada, se considera un lóbulo. Esto da como resultado la existencia de 6 lóbulos: frontal, parietal, temporal, occipital, insular y cingulado.
17	Área Visual Primaria: surco calcarino del occipital
18,19	Área Visual Secundaria: Lóbulo occipital
20, 21	Lóbulo Temporal: lóbulo temporal
22	Área auditiva: giro temporal superior
23,24,29,30,35,38	Área límbica: giro cingulado
25	Área subgenual: porción caudal de la zona

	subcallosa
26	Área cingular: giro cingulado
27	Giro del hipocampo
28,34	Área olfativa: lóbulo temporal
31	Área dorsal cingular posterior: giro cingulado
37	Giro temporal inferior
39,40	Área de Wernicke: lóbulo parietal
41,42	Corteza auditiva primaria
43	Área Gustativa
44,45	Área de Broca: giro frontal inferior
46	Área prefrontal dorsolateral: lóbulo frontal
47	Área prefrontal: lóbulo frontal

La información de este cuadro fue obtenida de: https://www.academia.edu/44573007/AREAS_DE_BRODMANN#:~:text=Teniendo%20as%C3%AD%20que%20un%20%C3%A1rea,de%20Brodman%20con%20distintas%20funciones.

Anatomía de la neurona

Imagen de elaboración propia basada en <https://www.vecteezy.com/free-vector/neuron-anatomy>



1= Núcleo
2= Soma o cuerpo
3= Dendritas

4= Mielina
5= Axón
6= Terminal del axón

Imagen de elaboración propia basada en <https://www.psicolab.com/lobulos-cerebrales-para-principiantes/>

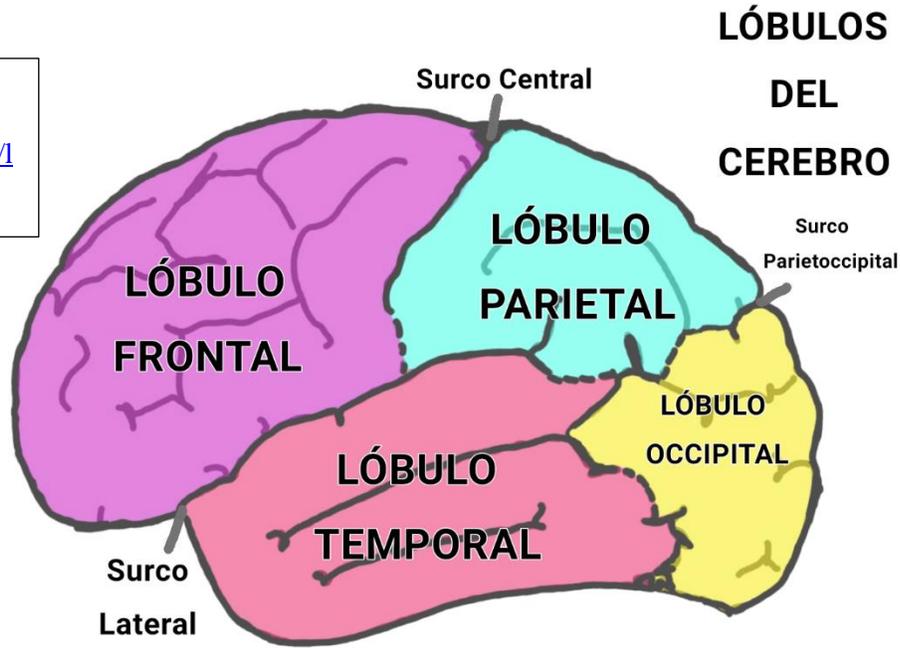


Imagen de elaboración propia basada en <https://asociacioneducar.com/ilustracion-lobulo-insula>

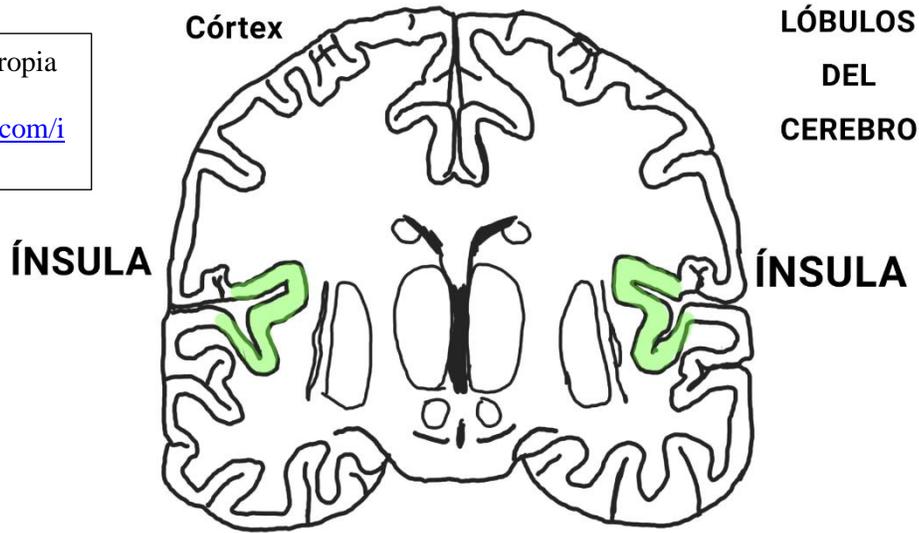
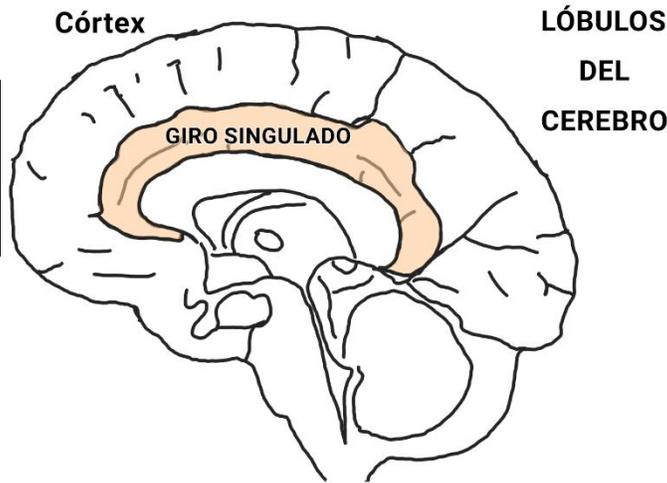


Imagen de elaboración propia basada en <https://psicologiaymente.com/neurociencias/giro-cingulado>



Bibliografía

- Arbib, M. A. (2016). Toward the Language-Ready Brain: Biological Evolution and Primate Comparisons. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(1), 142-150.
<https://doi.org/10.3758/s13423-016-1098-2>
- Arbib, M. A., Liebal, K., & Pika, S. (2008). Primate Vocalization, Gesture, and the Evolution of Human Language. *Current Anthropology*, 49(6), 1053-1076.
<https://doi.org/10.1086/593015>
- Ayala, F., & Cela Conde, C. (2013). *Evolución humana: El camino hacia nuestra especie*. Alianza Editorial.
- Barón Birchenall, L., & Müller, O. (2014). *La Teoría Lingüística de Noam Chomsky: Del Inicio a la Actualidad*. 42, 417-442. <https://doi.org/10.25100/lenguaje.v42i2.4985>
- Barrett, M. (1999). *The development of language*. Psychology Press.
- Benítez Burraco, A. (2012). *GENES Y LENGUAJE. Aspectos ontogenéticos, filogenéticos y cognitivos*. Editorial Reverté.
- Bufill, E., & Carbonell, E. (2004). Are symbolic behaviour and neuroplasticity an example of gene-culture coevolution? *Revista de neurologia*, 39, 48-55.
- Byrd, D., & Saltzman, E. (2002). *Speech Production*.
- Casinos, A. (2014). *Primates: Tamaño, forma y adaptación*.
https://www.academia.edu/10962439/Primates_tama%C3%B1o_forma_y_adaptaci%C3%B3n
- Conde-Valverde, M., Martínez, I., Quam, R. M., Rosa, M., Velez, A. D., Lorenzo, C., Jarabo, P., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E., & Arsuaga, J. L. (2021). Neanderthals and Homo sapiens had similar auditory and speech capacities. *Nature Ecology & Evolution*, 5(5), 609-615. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01391-6>
- Corballis, M. C. (2004). FOXP2 and the mirror system. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(3), 95-96.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.01.007>

- Corballis, M. C. (2009). Language as gesture. *Human Movement Science*, 28(5), 556-565.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.07.003>
- Corballis, M. C. (2010). Mirror neurons and the evolution of language. *Brain and Language*, 112(1), 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.02.002>
- Corballis, M. C. (2017). Language Evolution: A Changing Perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(4), 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.01.013>
- De la Fuente, R., & Alvarez-Leefmans, F. J. (2015). *Biología de la Mente*. Fondo de Cultura Económica.
- De Waal, F. (2019). *El Último Abrazo: Las emociones de los animales y lo que nos cuentan de nosotros* (1a ed.). Tusquets editores.
- Du Brul, E. L. (1977). Origin of the speech apparatus and its reconstruction in fossils. *Brain and Language*, 4(3), 365-381. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(77\)90031-1](https://doi.org/10.1016/0093-934X(77)90031-1)
- Dunbar, R. (1998a). The Social Brain Hypothesis. *Evolutionary Anthropology: Issues, News and Reviews*, 6(5), 178-190. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6505\(1998\)6:5<178::aid-evan5>3.0.co;2-8](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6505(1998)6:5<178::aid-evan5>3.0.co;2-8)
- Dunbar, R. (1998b). Theory of mind and the evolution of language. *Approaches to the Evolution of Language*, 92-110.
- Dunbar, R. I. M. (2003). The Social Brain: Mind, Language, and Society in Evolutionary Perspective. *Annual Review of Anthropology*, 32(1), 163-181.
<https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.32.061002.093158>
- Dunbar, R., & Shultz, S. (2007). Understanding primate brain evolution. *Phil. Trans. R, Soc, B*, 362, 649-658. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.2001>
- Enard, W., Przeworski, M., Fisher, S. E., Lai, C. S. L., Wiebe, V., Kitano, T., Monaco, A. P., & Pääbo, S. (2002). Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature*, 418(6900), 869-872. <https://doi.org/10.1038/nature01025>

- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror Neurons and Mirror Systems in Monkeys and Humans. *Physiology*, 23(3), 171-179. <https://doi.org/10.1152/physiol.00004.2008>
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science*, 308(5722), 662-667. <https://doi.org/10.1126/science.1106138>
- Fuchs, T. (2018). *Ecology of the brain. The phenomenology and biology of the embodied mind*. Oxford University Press.
- Gallese, V. (2008). Mirror neurons and the social nature of language: The neural exploitation hypothesis. *Social Neuroscience*, 3(3-4), 317-333. <https://doi.org/10.1080/17470910701563608>
- Garcés-Vieira, M., & Suárez Escudero, J. (2014). *Neuroplasticity: Biochemical and neurophysiological aspects*. 28, 119-132.
- García-Martínez, D., Bastir, M., Huguet, R., Estalrich, A., García-Taberner, A., Ríos, L., Cunha, E., Rasilla, M. de la, & Rosas, A. (2017). The costal remains of the El Sidrón Neanderthal site (Asturias, northern Spain) and their importance for understanding Neanderthal thorax morphology. *Journal of Human Evolution*, 111, 85-101. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2017.06.003>
- Gardner, R. B., Lieberman, P., Fouts, R. S., Gill, T. V., Von Glasersfeld, E. C., Premack, D., & Rumbaugh, D. M. (1976). *Sobre el lenguaje de los antropoides. Compilación de Victor Sánchez de Zavala*. Siglo XXI de España editores.
- Gazzaniga, M., Bizzi, E., Caramazza, A., Chalupa, L., Graffton, S., Heatherton, T., Koch, C., LeDoux, J., Neville, H., Phelps, E., Rackic, P., Shacter, D., Sur, M., & Wandel, B. (2009). *The Cognitive Neurosciences* (4.^a ed.). Brandford-The Mit Press.
- Gómez, J. C., Encarnación, S., Javier, T., Ángeles, B., & Eugenia, L. (1995). *Los inicios de la comunicación: Estudio comparado de niños y primates no humanos e implicaciones para el autismo*. Ministerio de educación y ciencia.

- Gómez-Olivencia, A., Barash, A., García-Martínez, D., Arlegi, M., Kramer, P., Bastir, M., & Been, E. (2018). 3D virtual reconstruction of the Kebara 2 Neandertal thorax. *Nature Communications*, 9(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06803-z>
- Haines, D. (1997). *Fundamental Neuroscience*. Churchill Livingstone.
- Hernández Cruz, M. L. (2019). *Emergencia de la Distinción entre Autorreferencia y Heterorreferencia para la Operación del Sistema Cognitivo en los Infantes*. Faber & Sapiens.
- Hernández Cruz, M. L. (2022). (En dictamen). *El acoplamiento entre mente, cuerpo y entorno en los modelos de la cognición extendida y el exocerebro*. 1-23.
- Hickok, G. (2009). Eight Problems for the Mirror Neuron Theory of Action Understanding in Monkeys and Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1229-1243. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21189>
- Hickok, G., Buchsbaum, B., Humphries, C., & Muftuler, T. (2003). Auditory–Motor Interaction Revealed by fMRI: Speech, Music, and Working Memory in Area Spt. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 673-682. <https://doi.org/10.1162/089892903322307393>
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(4), 131-138. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01463-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01463-7)
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1038/nrn2113>
- Hoff, E., & Shatz, M. (2007). *Blackwell Handbook of Language Development*. Blackwell Publishing Ltd.
- Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(12), 942-951. <https://doi.org/10.1038/nrn2024>
- Iacoboni, M., & Wilson, S. M. (2006). Beyond a Single Area: Motor Control and Language Within

- a Neural Architecture Encompassing Broca's Area. *Cortex*, 42(4), 503-506.
[https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70387-3](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70387-3)
- Johnson, M., Munakata, Y., & Gilmore, R. (2002). *Brain development and cognition a reader* (2.^a ed.). Blackwell Publishing Ltd.
- Kandel, E., Koester, J., Mack, S., & Siegelbaum, S. (2021). *Principles of Neural Science* (6.^a ed.). McGraw Hill.
- Kappeler, P., & Van Shaick, C. (2002). Evolution of Primate Social Systems. *International Journal of Primatology*, 23(4), 707-740. <https://doi.org/0164-0291/02/0800-0707/0>
- Kendon, A. (2017). Reflections on the “gesture-first” hypothesis of language origins. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(1), 163-170. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1117-3>
- Kirby, S. (2017). Culture and biology in the origins of linguistic structure. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(1), 118-137. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1166-7>
- Köhler, W. (1991). Intelligence in Apes. *The Journal of Genetic Psychology*, 152(4), 470-486.
<https://doi.org/10.1080/00221325.1991.9914708>
- Krause, J., Lalueza-Fox, C., Orlando, L., Enard, W., Green, R. E., Burbano, H. A., Hublin, J.-J., Hänni, C., Fortea, J., de la Rasilla, M., Bertranpetit, J., Rosas, A., & Pääbo, S. (2007). The Derived FOXP2 Variant of Modern Humans Was Shared with Neandertals. *Current Biology*, 17(21), 1908-1912. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.008>
- Lai, C. S. L., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, 413(6855), 519-523. <https://doi.org/10.1038/35097076>
- Lieberman, P. (2007). The Evolution of Human Speech: Its Anatomical and Neural Bases. *Current Anthropology*, 48(1), 39-66. <https://doi.org/10.1086/509092>
- Lieberman, P. (2009). FOXP2 and Human Cognition. *Cell*, 137(5), 800-802.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.05.013>
- Lieberman, P. (2013). Synapses, Language, and Being Human. *Science*, 342(6161), 944-945.

<https://doi.org/10.1126/science.1247515>

- Lombo, J. A., & Giménez, J. M. (2016). *Biología y racionalidad. El caracter distintivo del cuerpo humano*. EUNSA-Astrolabio.
- López, V. B. (2006). Anatomía y fisiología de los mecanismos del habla. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 8, 22-31.
- Lovejoy, O. (2009). Reexamining Human Origins in Light of *Ardipithecus ramidus*. *Science*, 326(74). <https://doi.org/10.1126/science.1175834>
- Maldonado, R., Bastidas, G., & Santiesteban, I. (2018). ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA RELACIÓN PENSAMIENTO – LENGUAJE. *Revista Conrado*, 155-160.
- Méndez-Cardenas, M. G., & Vargas, L. A. (2015). *Evolución de la comunicación vocal y su papel en la estructuración del espacio social y bioacústico en prosimios: Una aproximación biosemiótica*. 22(64), 89-125.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Fenomenología de la percepción*. Planeta-agostini.
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology*, 20(8), 750-756. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.045>
- Papalia, D., Wendkos Olds, S., & Felman, R. (2009). *Psicología del desarrollo. De la infancia a la adolescencia* (Unica). McGrawHill.
- Pika, S. (2008). Gestures of apes and pre-linguistic human children: Similar or different? *First Language*, 28(2), 116-140. <https://doi.org/10.1177/0142723707080966>
- Platt, M., & Ghazanfar, A. (2010). Primate Neuroethology. En *Primate Neuroethology* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195326598.003.0002>
- Poch Olivé, M. L. (2001). *Neurobiología del desarrollo temprano*. 4, 79-94.
- Preuss, T. M. (2012). Human brain evolution: From gene discovery to phenotype discovery. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(Supplement_1), 10709-10716. <https://doi.org/10.1073/pnas.1201894109>

- Rajmohan, V., & Mohandas, E. (2007). Mirror neuron system. *Indian Journal of Psychiatry*, 49(1), 66-69. <https://doi.org/10.4103/0019-5545.31522>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). THE MIRROR-NEURON SYSTEM. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169-192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Rizzolatti, G., Fabbri-Destro, M., & Cattaneo, L. (2009). Mirror neurons and their clinical relevance. *Nature Clinical Practice Neurology*, 5(1), 24-34. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0990>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131-141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental Brain Research*, 111(2). <https://doi.org/10.1007/BF00227301>
- Salomo, D., & Liszkowski, U. (2013). Sociocultural Settings Influence the Emergence of Prelinguistic Deictic Gestures. *Child Development*, 84(4), 1296-1307. <https://doi.org/10.1111/cdev.12026>
- Sandoval, S. L. M., & Canales, B. L. V. (2015). El signo y sus aproximaciones teóricas en el desarrollo de la ciencia de la semiótica. *Razón y Palabra*, 91, 28.
- Snell, R. (2014). *Neuroanatomía Clínica (7.a)*. Wolters Kluwer Health.
- Soghomonian, J.-J. (2016). *The Basal Ganglia. Novel Perspectives on Motor and Cognitive Functions*. Springer.
- Soto, G., & García, R. (1997). UNA VISION DEL PROBLEMA DEL ORIGEN DEL LENGUAJE EN LAS CIENCIAS COGNITIVAS. *Lenguas Modernas*, 24, 5-43.
- Staes, N., Sherwood, C. C., Wright, K., de Manuel, M., Guevara, E. E., Marques-Bonet, T., Krützen, M., Massiah, M., Hopkins, W. D., Ely, J. J., & Bradley, B. J. (2017). FOXP2 variation in great ape populations offers insight into the evolution of communication skills.

- Scientific Reports*, 7(1), 16866. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16844-x>
- Stoessel, A., David, R., Gunz, P., Schmidt, T., Spoor, F., & Hublin, J.-J. (2016). Morphology and function of Neandertal and modern human ear ossicles. *PNAS*.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1605881113>
- Terrazas, A. (2011). Potencial del uso de la primatología para interpretar la evidencia paleoantropológica. *Cuicuilco*, 18(50), 79-94.
- The Smithsonian's Human Origins Program | The Smithsonian Institution's Human Origins Program*. (s. f.). Recuperado 20 de septiembre de 2022, de <https://humanorigins.si.edu/>
- Tomasello, M., Call, J., Nagell, K., Olguin, R., & Carpenter, M. (1994). The learning and use of gestural signals by young chimpanzees: A trans-generational study. *Primates*, 35(2), 137-154. <https://doi.org/10.1007/BF02382050>
- Tomasello, M., Call, J., Warren, J., Frost, G. T., Carpenter, M., & Nagell, K. (1997). The Ontogeny of Chimpanzee Gestural Signals: A Comparison Across Groups and Generations. *Evolution of Communication*, 1(2), 223-259. <https://doi.org/10.1075/eoc.1.2.04tom>
- Van Shaick, C. (1996). Social Evolution in Primates: The Role of Social Ecological Factor and Male Behaviour. *Proceedings of the British Academy*, 88, 9-31.
- Vygotsky, L. (1986). *Lenguaje y pensamiento*. MIT PRESS.
- Waxman, S. (2011). *Neuroanatomía Clínica* (26.^a ed.). McGrawHill.
- Zarate, S. L. (2015). *Similitudes y diferencias en la evolución del gen FoxP2 en el orden de los primates: Un análisis conceptual*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zuberbühler, K. (2005). Linguistic prerequisites in the primate lineage. *M. Tallerman (Ed.), Language origins: Perspectives on evolution*, 262-282.

