



Universidad de Chile
Facultad de Filosofía y Humanidades
Departamento de Posgrado
Centro de Estudios Cognitivos (CEC)

Espacio, lenguaje y cognición: bases neurales de las representaciones espaciales lingüísticas y no lingüísticas y sus interconexiones.

Tesis para optar al grado de Magister en Estudios Cognitivos

Autora: Carmen Nabalón Villagra
Profesor Guía: Ricardo García

Santiago, Chile
2012

Agradecimientos

A mi madre, por la paciencia y el apoyo incondicional,

A mi otra madre y padre, por su apoyo desde 1040 Km. a la distancia,

A mi hermano grande y a mis tres “hermanos chicos”, por estar ahí,

A mis amigos de universidad, por el ánimo y las ideas locas,

A mis amigas del colegio, por su cariño,

A mis profesores, por su ayuda y voluntad de enseñar más allá de la sala de clases (en especial a Daniel Muñoz, Guillermo Soto y Ricardo García),

A mi pareja, que me ofreció su apoyo, su ayuda disciplinar y su cariño,

Y a todo aquel que mencionó la palabra “tesis” en su discurso, demostrando su preocupación.

Índice

Resumen	4
Introducción	6
1. Marco Teórico	7
1.1. Cognición Espacial	7
1.2. Correlatos neurales del procesamiento cognitivo del dominio espacial	11
1.3. Lenguaje y Cognición Espacial	16
1.3.1. Lenguaje como fenómeno cognitivo	16
1.3.2. El dominio del espacio en el lenguaje	19
1.3.3. Lenguaje espacial y su localización cerebral	24
2. Propuesta de un modelo para la conceptualización del espacio en el dominio lingüístico	28
2.1. Hipótesis	28
2.2. Presentación del modelo para la conceptualización del espacio en el lenguaje	28
2.2.1. Categorización de las representaciones espaciales	28
2.2.2. Modelo propuesto	31
2.2.2.1. Aspectos neurales del modelo	32
2.2.2.2. La ciencia del conectoma: conectividad neuronal y función	34
2.2.2.3. Conectividad del área parietal inferior	36
2.3. Limitaciones del modelo	38
3. Conclusiones	40
4. Referencias Bibliográficas	41
5. Apéndices	49

Resumen

En el presente proyecto se pretende explorar de manera teórica la relación entre lenguaje y cognición desde la perspectiva de la neurociencia, con especial énfasis en las relaciones espaciales que se dan en el lenguaje – y que en español están representadas por el uso de preposiciones o locuciones preposicionales en base a adverbios y sustantivos - y su relación con las representaciones no lingüísticas en el cerebro. Se propondrá un modelo conceptual que proponga de manera tentativa el (los) proceso(s) que permiten la conceptualización y posterior esquematización lingüística del espacio como dominio semántico. El modelo que se pretende proponer tiene relación con las bases neurales que subyacen tanto a la codificación semántica de las expresiones lingüísticas de espacialidad, específicamente con aquellas relacionadas con los marcos de referencia espacial, como al procesamiento de las relaciones espaciales no lingüísticas de las mismas. Este modelo neural se basará en las nuevas aproximaciones sobre la dinámica de las interconexiones neuronales estructurales y funcionales y el estudio del conectoma humano. El presente modelo estará fundamentado en una revisión bibliográfica del tema tanto a nivel lingüístico como a nivel psicológico y neural.

Introducción

Los seres vivos nos movemos en un mundo tridimensional que nos permite desarrollar todas nuestras facetas como especie, desde reproducirnos hasta encontrar nuestra fuente de alimento. Para esto debemos navegar a través del espacio que nos otorgó la naturaleza para poder encontrar la mejor pareja e identificar la comida que nos proporcionará los nutrientes que necesitamos para sobrevivir. Para todo esto debemos tener la capacidad de identificar y discriminar objetos (comida, por ejemplo) y saber donde están localizados. Además, estando inmersos en un conglomerado de individuos a distintos niveles (familia, tribu, grupo, sociedad), esta información debe poder ser compartida de algún modo simbólico y eficiente en los casos en que sea relevante tal información (el qué y el dónde de nuestro alrededor) y, para esto, el lenguaje nos provee de herramientas que nos permiten codificar estos aspectos de la cognición espacial al momento de comunicarlos.

Nuestra cognición espacial nos permite manipular las representaciones que almacenamos en nuestra memoria y que utilizamos para llevar acabo estas y otras tareas relacionadas con la conceptualización del espacio. Estas representaciones tienen un carácter multimodal y poseen un alto nivel de interacción y convergencia que posibilita la percepción unificada y coherente de los objetos en el ambiente (Landau, 2002). Una de las tantas preguntas en el tema de la cognición espacial tiene que ver con este nivel de interacción entre las distintas modalidades de representación que cobijan los aspectos espaciales del mundo. Especial interés para la lingüística cognitiva, la psicolingüística y la neurolingüística es la interacción entre las representaciones no lingüísticas y las representaciones lingüísticas en general, y las del espacio en particular. Parece no existir un modelo unificado sobre como se procesa el espacio en el lenguaje y sobre como las distintas áreas del cerebro operan para crear las representaciones pertinentes que serán el sustrato conceptual del lenguaje espacial.

Es así que el estudio de la cognición espacial, y su relación con el lenguaje, se hace trascendental dado su carácter universal y dado también su importancia en el desarrollo y desenvolvimiento de las especies en su ambiente. En el presente trabajo, se pretende explorar algunas aristas implicadas en la conceptualización tanto lingüística como no

lingüística del espacio, con especial énfasis en la caracterización de los marcos de referencia espacial y como estos marcos se hace patentes en la manera en la cual percibimos las características y relaciones espaciales de los objetos y en la manera en la cual expresamos y comunicamos verbalmente dichas características y relaciones. Además, se propondrá un esquema a nivel neural del procesamiento espacial, cuyo foco será la relación de las interconexiones neurales y su interacción en dicho procesamiento.

1. Marco Teórico

1.1. Cognición Espacial

Cognición espacial se denomina al conjunto de procesos cognitivos complejos que hacen posible almacenar y manipular las representaciones que creamos del mundo exterior acerca de la posición de los objetos, su forma y tamaño y la distancia relativa en la que se encuentran de nosotros mismos o de otros objetos, permitiéndonos actuar sobre ellos cada vez que, por ejemplo, tomamos un vaso de agua para beber y saciar nuestra sed o esquivamos una mesa caminando a través de un restaurante. Así, estas representaciones nos permiten identificar objetos y distinguirlos de otros y movernos a través del espacio, además de hablar de ellos a través del uso del lenguaje y de crear representaciones externas tales como mapas y maquetas. (MIT Encyclopedia of Cognitive Science, 1999; Landau, 2000; International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 2001)

El procesamiento de los aspectos espaciales del mundo está íntimamente ligado con la ejecución posterior de programas motores que nos permiten interactuar con el ambiente. A grandes rasgos, los sistemas encargados de la percepción de los objetos en el espacio y su ubicación envían información a aquellos sistemas que están a cargo de los movimientos del cuerpo para así responder de manera adecuada al ambiente (Cohen & Andersen, 2002; Landau 2002). Esta información visual acerca de cuál es el objeto y dónde está, y que pasa por distintas etapas de procesamiento según su especificidad, se procesa de manera diferenciada por dos subsistemas (con correlatos neurales distinguibles) que finalmente la integran en una sola representación (Ungerlaider & Haxby 1994). Estas representaciones suelen ser altamente esquematizadas, poseyendo un alto grado de simplificación, eliminando ciertos detalles de la escena y poniendo énfasis en los elementos principales conceptualizándolos como puntos de referencias e identificando las relaciones espaciales entre ellos (Tversky et al, 1999).

Sin embargo, parece ser que existen distintos tipos de representaciones que subyacen a subsistemas especializados en tareas específicas tales como el reconocimiento de objetos,

el accionar sobre tales objetos y/o la navegación espacial (Landau, 2002). Por ejemplo, las representaciones que utilizamos para saber donde se encuentra la televisión en el living de nuestras casas serían más bien estáticas y relacionales con respecto a otros objetos en el mismo espacio físico. En cambio, las representaciones que operan cuando vamos caminando por un parque parecen tener, más bien, un carácter dinámico, en la cual la posición de los objetos se actualiza a medida que nos movemos. Tal diferenciación en las representaciones espaciales tendría relación con cómo percibimos el espacio en primera instancia a través de la visión. Más aún, los estudios experimentales revelan que las representaciones de las relaciones espaciales se presentan en dos subsistemas diferenciados que computan distintos tipos de información: un sistema coordinado, que especifica información métrica precisa sobre la posición de los objetos, como también de su tamaño, y un sistema categorial que caracteriza la posición espacial en clases o categorías equivalentes que indican la relación de un objeto con respecto a otro (Kosslyn, 1987; Kosslyn & Koenig, 1992). Es así que al momento de dirigir una acción hacia un objeto específico necesitamos información métrica precisa de su localización para ejecutar un programa motor de manera exitosa, al contrario de lo que pasa con la mera localización de un objeto, en la cual este tipo de información no es relevante para reconocer su posición (Kosslyn & Koenig, 1992, Jager & Postman, 2002). La evidencia que apoya esta localización de representaciones se basa en estudios tanto experimentales (Kosslyn et al., 1989; Kosslyn et al., 1992) como también en simulaciones computacionales (Kosslyn et al., 1992) y estudios neurológicos tanto de sujetos con lesiones como de sujetos expuestos a estudios de neuroimagen (Kosslyn et al., 1998). Kosslyn et al. (1989) realizaron una serie de experimentos dentro de los cuales se intentó evaluar la competencia de sujetos en tareas de discriminación dentro del campo visual. Los resultados de unos de estos experimentos demostraron que los sujetos expuestos a estímulos en el campo visual derecho (procesado por el hemisferio izquierdo) eran más rápidos en reconocer si un punto estaba arriba o abajo de una línea, al contrario de lo que ocurría cuando debían discriminar si el punto estaba a 3 mm. de la línea. El resultado inverso ocurría cuando el estímulo era presentado en el lado izquierdo del campo visual (procesado por el hemisferio cerebral derecho), siendo más rápidos en discriminar la posición métrica que en discriminar la posición relativa. Así, Kosslyn concluye que existe una disociación de las representaciones categoriales (hemisferio izquierdo) y coordinadas (hemisferio derecho) que permite diferenciar las tareas de identificación de objetos y su entorno con las tareas motoras y de navegación que necesitan de datos más precisos.

Otra aproximación relevante y que es consistente con lo propuesto anteriormente es la que presenta Tversky y Morrison (1999), al diferenciar tres tipos de espacios: un espacio de navegación, un espacio que rodea al cuerpo y un espacio del cuerpo. Según las autoras, las representaciones de estos espacios serían, altamente esquematizadas y estarían simplificadas, conteniendo sólo ciertos elementos e incluyendo las relaciones entre ellos. El espacio de navegación sería similar a un mapa pero mental, conceptualizado en dos dimensiones y que contendría diversos puntos de referencia y trayectorias. El espacio que rodea al cuerpo se conceptualizaría en tres dimensiones, pudiendo hacer operaciones de rotación y usando el cuerpo como punto de referencia para localizar objetos. Finalmente, el espacio del cuerpo tendría que ver con la percepción del espacio según nuestra propiocepción y la posición, principalmente, de nuestras extremidades. Las autoras no detallan como estas representaciones se integran e interactúan entre si ni que rol cumplen dentro de una categorización general de las representaciones espaciales.

Por último, el lenguaje nos proporciona un tipo de representación espacial que posee un alto grado de esquematización, simplificación y diferenciación entre tareas de navegación y localización, además de proporcionarnos un vehículo para la comunicación de información espacial necesaria y suficiente para desenvolvernó en un contexto dado. Existen distintos tipos de elementos lingüísticos que codifican información tanto de posición estática (ej. **en** la mesa) como también información espacial para la navegación (ej. ve **a** la izquierda). Además, las expresiones espaciales lingüísticas seleccionan ciertos rasgos y propiedades geométricas salientes y relevantes de los objetos para poder proporcionar información sobre la posición de los mismos usando varios marcos de referencia según el contexto. Por ejemplo, el uso de la preposición **en** en español indica la conceptualización de contener algo dentro y también la relación de superadjacencia entre dos objetos, sin necesidad de precisar la forma de tales objetos. Esta selección de rasgos y uso de diversos marcos de referencia no se darían de igual manera en todas las lenguas, habiendo una gran variedad tipológica en como se expresan las relaciones espaciales. Además, las propiedades geométricas que se seleccionan en cada lengua varían. En el caso del Karuk (lengua indígena hablada en el estado de California, EE.UU.), no sólo la posición del objeto se codifica de manera lingüística sino que también la información geométrica del mismo como es el caso del sufijo *-vara*, que indica la posición de un objeto que se encuentra en contacto a través de otro objeto de forma tubular (Levinson, 2003). En resumen, las representaciones espaciales en el lenguaje no parecen tener una relación uno a uno con

los aspectos que la percepción toma al momento de representar el espacio, sino que más bien parece esquematizar aquellos aspectos que son salientes y, más importante aún, que pueden ser codificables en las distintas lenguas existentes.

Aun cuando las distintas representaciones responden a necesidades diferentes, un nivel de interacción en el cual converja toda la información necesaria para su posterior integración sería clave en la respuesta final en términos tanto de navegación como también de localización. En este sentido, cabe preguntarse si las representaciones relacionadas con la conceptualización del espacio interactúan de alguna forma con aquellas que nos proporcionan el sustento lingüístico de tal conceptualización, todo esto basado en el supuesto de la correlación que existe entre los procesos que ocurren a nivel de corteza cerebral y las conductas espaciales. Además, sería de sumo interés para la neurociencia cognitiva explorar las implicancias del procesamiento espacial a nivel neural con un modelo que proponga un bosquejo de las relaciones e interacciones entre los distintos subsistemas espaciales y sus correspondientes representaciones.

1.2. Correlatos neurales del procesamiento cognitivo del dominio espacial.

El avance en el desarrollo y perfeccionamiento de las técnicas metodológicas en neurociencia ha permitido que el estudio de los correlatos neurales de la cognición espacial, tanto en animales como en humanos, no sólo quede relegado al interés que pueda suscitar, sino que también se lleve a cabo gracias al uso de registros de neuronas individuales realizados en primates no humanos y al examen imagenológico tanto de sujetos humanos con daño cerebral como a sujetos normales. La mayoría de las investigaciones utilizan métodos que posean una alta resolución espacial, de manera que la localización de ciertos procesos o representaciones puedan ser identificadas de manera lo más precisa posible. Entre estas técnicas se encuentran el uso de la tomografía por emisión de positrones (o PET en su sigla en inglés), que consiste, a grandes rasgos en una imagen que se obtiene al medir la actividad metabólica del cerebro y que se realiza a través de la detección de fotones gamma. Otra técnica que posee alta resolución espacial es la resonancia magnética funcional (RMF o fMRI en su sigla en inglés), la cual mide

cambios en el flujo sanguíneo del cerebro que se deben a la actividad neural del mismo. Estas técnicas permiten encontrar correlatos neurales de funciones cognitivas a través del análisis de los datos obtenidos al comparar sujetos normales con sujetos con distintos grados de daño cerebral. Las técnicas ya mencionadas nos ayudan a visualizar las áreas en donde se procesan ciertas tareas cognitivas, pero no nos muestra como estas áreas interactúan como redes integradas. La visualización de los haces de fibra de materia blanca nos permite entender como distintas zonas se interrelacionan y se integran para llevar a cabo tareas específicas. Esta visualización se logra por medio del uso de la difusión de resonancia magnética que permite hacer un mapa de la difusión de las moléculas de agua en los tejidos vivos. A través de la técnica de las imágenes de tensor de difusión (DTI en su sigla en inglés) se puede medir la difusión de las moléculas de agua a través de los tractos de fibra para producir imágenes de los mismos.

Con las técnicas antes mencionadas, se ha descubierto que la conceptualización del espacio en el cerebro tiene su centro de operaciones, principalmente, en el lóbulo parietal, también involucrando el hipocampo. Sin embargo, estas áreas cerebrales están diferenciadas según la función que desempeñan en el procesamiento espacial y el tipo de representación sobre la cual opera cada subsistema. Mientras que el hipocampo está involucrado en la navegación y en algunas tareas de memoria espacial (O'Keefe & Nadel, 1978), el lóbulo parietal posterior es un área de asociación visuo-espacial y motora que coordina la percepción espacial con los posteriores comandos motores que controlan los movimientos oculares y de las extremidades. La información que converge en el lóbulo parietal llega desde dos vías: una vía ventral u occipitotemporal que confluye en la parte inferior del lóbulo temporal y entrega datos sobre el objeto mismo (el "qué") y una vía dorsal u occipitoparietal que confluye en la parte inferior del lóbulo parietal y que permite la identificación espacial del objeto (el "dónde") (Ungerleider & Mishkin, 1982; Mishkin, Ungerleider & Macko, 1983; Ungerleider & Haxby, 1994). En un estudio con PET, Moscovitch et al. (1995) propone que estas vías diferenciadas se activan indistintamente incluso en tareas de recuerdo, habiendo mayor activación en la zona inferotemporal posterior derecha (giro fusiforme, área 37) en el caso de recordar el objeto mismo y existiendo mayor actividad en la corteza parietal inferior derecha (giro supramarginal, área 40) al recordar la posición del objeto.

Se puede concluir entonces que la percepción del mundo tiene dos componentes diferenciados que se integran en niveles mayores de razonamiento. Uno de esos componentes es la conceptualización espacial de los objetos que nos rodean, conceptualización que posee una vía neural específica y áreas corticales reconocidas según tarea y especificidad. De esta forma, las distintas representaciones espaciales se procesan de manera diferenciada. Es el caso de las representaciones coordinadas (métricas) y categoriales (esquemáticas), las cuales son procesadas en distintos hemisferios cerebrales, teniendo el hemisferio derecho el protagonismo en el procesamiento de relaciones coordinadas y el hemisferio izquierdo en el de las relaciones categoriales (Kosslyn et al., 1998; Jager & Postma, 2003). No obstante existe una diferenciación en el procesamiento de representaciones coordinadas y categoriales, parece ser que, si bien el hemisferio derecho parece tener un rol preponderante en la codificación de las representaciones que requieren una precisión métrica, el hemisferio izquierdo no responde de manera clara y absoluta en tareas que implican un análisis categorial. Kosslyn et al., (1998) llevaron a cabo una serie de experimentos en los cuales sujetos normales realizaron tareas de reconocimiento en las cuales tenían que responder si el estímulo estaba arriba o debajo de la barra de referencia (juicio categorial) o si el estímulo estaba a 0.5 pulgadas de la barra de referencia (juicio coordinado). Mientras los sujetos realizaban estas tareas fueron monitoreados usando un scanner PET (tomografía de emisión de positrones). Los resultados indicaron que si bien se produjo mayor activación en ciertas áreas del parietal inferior derecho en el procesamiento de relaciones espaciales coordinadas más que en el procesamiento de relaciones categoriales, no hubo activación de áreas definidas en el procesamiento de relaciones categoriales versus relaciones coordinadas. Adicionalmente, hay estudios que muestran que ambos hemisferios actúan en el procesamiento tanto de representaciones coordinadas como categoriales. Por ejemplo, los estudios de Amorapanth et al. (2009) muestran que, aún cuando, habiendo daño en el giro inferior frontal, supramarginal y angular izquierdo (siendo estas últimas dos áreas parte del lóbulo parietal inferior), se afecte el comportamiento categorial, también se presenta un comportamiento anómalo en los juicios categoriales habiendo daño en el hemisferio derecho, aunque menos severos, y viceversa. Sin embargo, no existirían áreas exclusivas de procesamiento categorial en el hemisferio derecho, pero sí en el izquierdo (Amorapanth et al., 2009). Además, esta diferenciación puede estar apoyada por el hecho que el hemisferio izquierdo, en la mayoría de los cerebros de ambidiestros, alberga al lenguaje, el cual posee representaciones espaciales del tipo categorial (en la mesa, al lado

de la televisión, etc.) que describen la posición de los objetos de manera muy esquematizada. Y, además, esta diferenciación estaría relacionada con la existencia de los tres tipos de espacio según Tversky & Morrison (1999), y que, en este caso, preponderaría el espacio peripersonal y extrapersonal en donde se encuentran los objetos más inmediatos, cuyo procesamiento se daría en el parietal inferior (BA 39 y 40) (Stein, 1989), siendo esta conceptualización la base del contenido semántico de las expresiones lingüísticas.

Los distintos subsistemas de razonamiento espacial operan según marcos de referencia espacial específicos para cada tarea a desempeñar. A grandes rasgos, los marcos de referencia espacial se pueden definir como sistemas de coordenadas o puntos que representan hitos espaciales con los cuales relacionar objetos y posicionarlos en referencias a tales hitos (Levinson, 2003). El cerebro opera con marcos de referencia espacial egocéntricos (basados en el sujeto) y allocéntricos (basados en el ambiente) (Burgess, 2008). Los marcos de referencia espacial egocéntricos pueden diferenciarse dependiendo de si van a ser utilizados para efectuar una acción motora sobre un objeto previamente localizado (espacio peripersonal) o sólo para establecer la localización del objeto como tal (espacio extrapersonal). En el primer caso, el input perceptual, tanto visual como auditivo, y la especificación de la acción motora a realizar se integran dependiendo de marcos específicos, siendo, en el caso visual, uno de carácter retinocéntrico y basado en la posición de la cabeza (cuando queremos dirigir la mirada hacia el objetivo) y, en el auditivo, uno sólo basado en la posición de la cabeza. La información perceptual se va actualizando continuamente dado el movimiento de nuestros cuerpos como también del mundo que nos rodea, como si nuestros ojos fueran capturando imágenes rápidas y continuas del ambiente (Burgess, 2008). Algunos estudios electrofisiológicos realizados en primates no humanos sugieren que ciertas neuronas individuales en el área intraparietal lateral de los monos responde a los estímulos que estarán en su campo receptivo después del movimiento ocular (Colby & Goldberg, 1999). De esta manera, se logra una actualización continua de cada estímulo perceptual segundo a segundo.

En el segundo caso, la información perceptual se procesa en relación al cuerpo del sujeto, desde el cual se extienden ejes ortogonales que se proyectan hacia los objetos que deseamos localizar en el espacio. A este marco de referencia espacial se le denomina marco relativo y, parece ser, que una representación egocéntrica de este tipo es el sustrato

psicológico de un tipo de representación en el lenguaje. Los correlatos neurales del procesamiento de esta marco de referencia parecen estar en relación con conceptualización de las representaciones categoriales espaciales (Amorapanth et al., 2009; Kosslyn et al., 1989; Kosslyn et al., 1992) y con la conceptualización del contraste izquierda/derecha, siendo ambas procesadas en el parietal inferior izquierdo (giro supramarginal y giro angular). Esto último se apoya con los estudios sobre el síndrome de Gerstmann, en el cual los pacientes con lesiones en dichas regiones cerebrales presentan dificultad para distinguir izquierda de derecha, además de otros síntomas asociados como lo son la agrafia, agnosia y acalculia (Gerstmann, 1957).

Los marcos de referencia espacial alocéntricos son aquellos cuyas representaciones están basadas en hitos o puntos de referencia externos al individuo. Estos puntos de referencia son salientes y poseen características geométricas relevantes para la relación entre ellos en el espacio. Existen principalmente dos tipos de marcos alocéntricos. Un tipo de marco de referencia espacial alocéntrico parece subyacer a las representaciones que participan en los procesos de navegación, al establecer hitos que se relacionan entre si y permiten trazar una ruta mental de acuerdo a la localización de estos mismos. Más aún, estas representaciones parecen tener un sentido mucho más pragmático que el de las representaciones egocéntricas al momento de establecer un esquema en la memoria, al confiar en señales o hitos fijos del ambiente más que en las representaciones actualizadas a corto plazo que se fían en la información perceptual tanto visual como auditiva (Burguess, 2008). Los correlatos neurales de las representaciones alocéntricas para la navegación parecen subyacer en las denominadas *place cells* (células de lugar) localizadas en el hipocampo, las cuales se activan en el momento en el que el sujeto se encuentra en una posición específica en el ambiente (O'keefe & Nadel, 1978).

Otro tipo de representación alocéntrica se presenta cuando le otorgamos lados equivalentes a los del cuerpo humano (por ejemplo, un frente y lados) a los objetos y proyectamos ejes ortogonales desde estos en el espacio tal y como se hace en las representaciones egocéntricas relativas. Estas representaciones parecen tener correlatos neurales similares que las de navegación. Un estudio de Janzen et al. (2010) comparó la activación cerebral de una tarea de combinación de una ilustración en particular con la correspondiente oración que representaba lingüísticamente la relación espacial de la ilustración, usando resonancia magnética funcional (RMf). En las opciones de marco

intrínseco, comparado con una línea base, resultó con mayor activación en el lóbulo parietal y en el giro parahipocampal. En las opciones de marco relativo, comparado también con una línea base, mostró mayor activación en áreas occipitotemporales, lóbulo parietal y lóbulo frontal. La activación común del lóbulo parietal suena coherente con la función de ambos marcos en tareas espaciales. Las diferencias, por otro lado, parecen tener relación con la tarea en el que cada marco de referencia espacial cumple un rol diferenciado, siendo el marco intrínseco una guía, más bien, en tareas de navegación o pre-navegación.

En resumen, parece ser que el procesamiento espacial a nivel neural se concentra en el lóbulo parietal y en el hipocampo. Ambas áreas estarían especializadas en el procesamiento de distintas representaciones que cumplen roles diferentes al momento de desempeñar tanto una tarea de localización de un objeto en el ambiente (lóbulo parietal) o de navegación a través de tales objetos, utilizándolos como hitos de referencia (hipocampo). Sin embargo, la atención recae en el rol del lóbulo parietal, el cual sería clave en la cognición espacial debido a los diversos tipos y modalidades de representaciones que maneja, en especial aquellos que tienen que ver con los marcos de referencia espacial que utilizamos como guía en la identificación de la posición de los objetos que nos rodean. Más importante aún, y en lo que concierne al presente trabajo, la interacción entre las representaciones espaciales no lingüísticas y lingüísticas parece darse justamente en esta área, en la cual convergería toda información espacial que luego sería esquematizada y codificada por el lenguaje en el área parietal inferior en específico (giro angular, BA 39 y giro supramarginal, BA 40).

1.3. Lenguaje y Cognición Espacial

1.3.1. Lenguaje como fenómeno cognitivo

El estudio del lenguaje como fenómeno cognitivo comienza tras el descontento con las teorías lingüísticas generativistas que proponían una capacidad innata y específica para aprender lenguaje, independiente de otras capacidades cognitivas superiores como la atención, la percepción o la memoria. Desde los 80's en adelante surge una concepción integradora del lenguaje que asume que existen principios generales (cognitivos) que dan

cuenta de la estructura y la conceptualización en este. Es así que el lenguaje no estaría aislado del resto del aparataje cognitivo sino que, más bien, tendría una fuerte interacción con distintos procesos cognitivos al momento de producirlo y comprenderlo.

El lenguaje, entonces, se entiende como un sistema de estructuras gramaticales que codifican contenidos semánticos que tiene referencia a entidades o conceptos en el mundo. Estos conceptos, a su vez, tienen su origen en la interacción entre sujeto y ambiente a través de los procesos cognitivos mencionados anteriormente, todo lo cual origina las estructuras lexicales y sintácticas que comunica tal conceptualización. En palabras de Talmy (ooo), esto correspondería a un “marco conceptual o, imaginísticamente, una estructura de esqueleto o andamiaje para el material conceptual que se especifica léxicamente”.

Desde estos planteamientos, entonces, surge la Lingüística Cognitiva que se preocupa de “investigar la relación entre el lenguaje humano, la mente y la experiencia sociofísica” (Evans, 2012). Si bien en el principio de su historia, la LC (lingüística cognitiva) comienza como un paradigma centrado en los procesos mentales individuales en relación al lenguaje, su evolución la lleva al desarrollo de un programa de investigación el cual incluye el estudio de la(as) interacción(es) entre individuo, lenguaje y cultura y/o contexto social, todo esto enmarcado en dos compromisos ontológicos básicos: el compromiso cognitivo, en el cual se establece que cualquier teoría lingüística debe proponer una caracterización que sea coherente con los hallazgos recientes en los campos de estudio de la mente y el cerebro, es decir, “debe reflejar lo que se conoce sobre la cognición humana en otras ciencias (...), en particular, desde la psicología, la inteligencia artificial, la neurociencia cognitiva y la filosofía” (Evans, 2012); y el compromiso de generalización, en el cual cualquier caracterización del lenguaje debe de ser aplicado a cualquier aspecto o nivel lingüístico (Evans, 2012). Según Evans (2012), esta disciplina se basa en 5 tesis principales:

- 1.- La tesis de la cognición corporeizada, que señala que nuestras representaciones mentales están constreñidas por nuestra configuración corporal y cognitiva (Clark, 1999; Lakoff, 1987; Tyler & Evans, 2003; Varela et al., 1993).

2.- La tesis de la semántica enciclopédica, que plantea una relación entre la estructura semántica del lenguaje con la estructura conceptual que, a su vez, constituye una red jerárquica de conocimiento de mundo (Evans, 2009).

3.- La tesis simbólica, que propone que el lenguaje se compone de unidades simbólicas que consistirían en la unión entre una forma y un significado, y que pueden hallarse a todo nivel (morfológico, léxico, sintáctico, discursivo) (Langacker, 1987; 1991)

4.- La tesis que plantea que el significado es conceptualización, es decir, los aspectos semánticos de las unidades simbólicas surgen de aspectos de naturaleza no lingüísticos, netamente conceptuales (Evans, 2006; 2009)

5.- La tesis del lenguaje basado en uso, en la cual se postula que la estructuración de la gramática (definida como conjunto de unidades simbólicas organizadas por reglas de uso) se genera por el uso de las unidades simbólicas que se fijan según la frecuencia en que se utilizan en los contextos sociolingüístico (Tomasello, 2000; 2003; Bybee, 2006).

La principales líneas de investigación se basan en el estudio de las estructuras morfosintácticas y su relación con la percepción (teoría gestáltica), el estudio de metáforas, metonimias y expresiones lingüísticas no literales y su relación con la corporeización del significado, el procesamiento psicolingüístico y la comprensión de lenguaje figurativo, la relación entre discurso, individuo y cultura y/o contexto social y, más recientemente, la relación entre lenguaje y cerebro. En todas estas líneas lo que se busca es encontrar cual es la naturaleza de la relación lenguaje-cognición y si esta es unidireccional o bidireccional y, en caso de ser bidireccional, cual es el tipo de influencia que se da desde la cognición hacia el lenguaje y, más relevante para los propósitos de esta tesis, desde el lenguaje sobre la cognición.

El estudio de la relación lenguaje-espacio es transversal a la mayoría de las líneas de investigación en lingüística cognitiva. Sin embargo, un especial énfasis se ha venido manifestando en el estudio cerebral del lenguaje, su procesamiento, localización cerebral y relación con los demás procesos cognitivos, más aun con el desarrollo de mejores técnicas en neurociencia y, también, con la tendencia metodológica de buscar correlatos en los niveles de organización más básicos. Cabe señalar que las primeras aproximaciones en la historia del estudio de la relación lenguaje-cerebro aparecen en las investigaciones sobre

afasias y los trastornos del lenguaje causados por daños en zonas que se consideran de procesamiento lingüístico (Broca, 1866; Wernicke, 1874; 1885). Desde aquí se abren las puertas para el estudio de otros fenómenos del lenguaje y su localización en el cerebro.

1.3.2. El dominio del espacio en el lenguaje

Como ya se estableció anteriormente, la conceptualización del espacio y de la relación de los objetos existentes en dicho espacio, incluyéndonos a nosotros mismos, es clave para movernos y localizar hitos vitales. Dado su carácter universal y dominante, la cognición espacial ha recibido amplio tratamiento tanto teórico como experimental en las últimas décadas. Entonces, no es de extrañar que se intente indagar en su relación con el lenguaje como parte del problema whorfiano sobre relativismo lingüístico (falta referencia) y también considerando el lenguaje como un fenómeno estrechamente relacionado con otros procesos cognitivos de alta jerarquía. (Talmy, 1988; 2000)

Una de las discusiones filosóficas clásicas sobre el espacio se da con respecto a la naturaleza absoluta o relativa de este. Según Newton, el espacio es absoluto e inamovible, difícil de captar por los sentidos. Por el contrario, Leibniz plantea que los sujetos perciben el espacio como relativo y relacional, un espacio constituido de cuerpos y objetos cuya posición en el espacio es relativa a otros cuerpos u objetos. Esta es la visión relativa que Leibniz apoya y que parece darse en la codificación espacial lingüística, dado que muchas lenguas codifican relaciones espaciales en las que existe un objeto de referencia (fondo) con el cual se establece la posición de otro objeto (figura). Más aun, aquellas lenguas en las cuales prepondera el uso de marcos de referencia espacial absolutos y/o egocéntricos, parecen adscribirse a las leyes de referencia dentro del contexto planetario constituyéndose en marcos relativos dentro de dicho contexto.

Existen varias líneas de investigaciones dentro del estudio del dominio espacial en el lenguaje (Zlatev, 2007). La concepción del espacio como dominio básico con el cual otros dominios semánticos se relacionan e interactúan se desarrolla a partir del estudio de las metáforas conceptuales, ya que, siendo el espacio un dominio más concreto, sirve como dominio fuente para varios dominios meta más abstractos (Lakoff & Johnson, 1980). Es el caso del dominio tiempo, con el cual parece compartir una estructura conceptual en común

con el dominio espacio (Boroditsky, 1999; Casanto & Boroditsky, 2007). Se plantea que existen ciertos dominios conceptuales básicos que surgen desde la experiencia directa con el mundo y que, en el caso del espacio, consistiría en una serie de relaciones espaciales relativas básicas, desde las cuales otros dominios más abstracto – como por ejemplo, el tiempo – se estructuran a través de mapeos metafóricos (Lakoff & Johnson, 1980). Esto se daría no sólo a nivel lingüístico sino que también a nivel conceptual (Boroditsky, 2000).

Aparte de los aspectos generales de reconocimiento y localización de objetos, el lenguaje tiene la capacidad de codificar la interacción dinámica entre estos en relación a los eventos de movimiento que se generan en dicha interacción. Dentro de esta línea de investigación se encuentran los estudios de Leonard Talmy y la clasificación de lenguas dentro de dos categorías: lenguas de marco satelital y lenguas de marco verbal, en las cuales existe una diferenciación en cómo las diferentes lenguas codifican morfosintácticamente ciertos dominios semánticos como el movimiento, la trayectoria de movimiento, la figura y el fondo, la manera del movimiento y la causa del mismo (Talmy: 1985, 1991, 2000). En las lenguas de marco satelital, la trayectoria del movimiento se codifica en satélites que acompañan los verbos (en general, preposiciones) y la manera en la cual se realiza el movimiento se codifica directamente en el verbo. El inglés es el ejemplo prototípico de lengua de marco satelital en el cual verbos como *crawl*, *zig-zag* o *walk* indican la dirección usando preposiciones que generan formas léxicas tales como *crawl down* o *walk out*. En cambio, en las lenguas de marco verbal como el español, la trayectoria del movimiento se indica en el verbo mismo y la manera se expresa en alguna frase adverbial u otra forma verbal no finita, como por ejemplo en las oraciones:

(1) ¡Pedro entró soplado!

(2) María salió de manera abrupta de la sala.

Las distintas lenguas existentes no sólo poseen herramientas morfosintácticas para codificar el movimiento concreto, sino que también el movimiento simulado o la percepción de movimiento en instancias estáticas, fenómeno que se le denomina como movimiento ficticio (Talmy, 1996; 2000). Nuestro sistema perceptivo visual está capacitado para buscar movimiento en donde no lo hay concretamente, ya sea cuando hay una sucesión rápida de imágenes estáticas (Ramachandran, 1986) o cuando existe una simulación de movimiento que se genera al observar configuraciones lineales u objetos lineales o alargados

(Matlock, 2004). Las bases cognitivas del movimiento ficticio radicarían en el uso de simulaciones de movimiento a través de un escaneo perceptual del objeto (Matlock, 2004). Esta conceptualización, a su vez, se codifica lingüísticamente con argumentos de movimiento (verbos y complementos adverbiales) que indica tipo de movimiento y trayectoria, como en los casos (3) y (4):

(3) La Cordillera de los Andes corre de norte a sur.

(4) El río va a lo largo del cañón.

Como se ve en (3) y (4), los sujetos de las dos oraciones son entidades no vivas que de manera concreta no podrían ejecutar ningún tipo de movimiento, pero cuyo significado es válido en este tipo de contextos de movimiento ficticio, situación que se genera por un traslape de las representaciones perceptivas y lingüísticas (Talmy, 1996).

El estudio de la conceptualización de las relaciones espaciales estáticas dentro del lenguaje se ha centrado en la caracterización de las formas lingüísticas que sirven de medio estructural para expresar dichas relaciones. Parece ser que el lenguaje selecciona objetos salientes que cumplen roles primario y secundarios en una escena. Talmy lo expresa de la siguiente manera:

“En el lenguaje, la disposición espacial de cualquier objeto focal en una escena esta caracterizada en gran parte en términos de un objeto individual, que también se selecciona dentro de la escena, cuya localización y, a veces, sus propiedades geométricas son ya sabidas (o se asume que son sabidas por el oyente) y así puede funcionar como objeto de referencia. La localización, trayectoria u orientación del primer objeto es de esta manera indicada en términos de la distancia o la relación con la geometría del segundo objeto.” (Talmy, 2003)

Talmy denomina esta relación como de figura y fondo y se ilustra en el siguiente ejemplo:

(5) El perro esta delante de la casa.

En la oración (5) se puede apreciar la relación entre dos objetos: el perro y la casa, cuya caracterización se da en términos de localización espacial usando un marco de referencia espacial de tipo intrínseco, en el cual se extienden ejes ortogonales desde la casa que se proyectan desde las distintas caras de esta. Además, a estas caras se les asigna un valor diferencial (geométrico) en el cual existe una cara principal (un frente), caras laterales y una cara secundaria (una parte trasera). En este caso, la casa cumple el rol de fondo y el perro la de figura que se localiza con respecto a la casa.

Las relaciones espaciales estáticas pueden ser caracterizadas según la dimensión en que se manifiesten. Así, podemos encontrar relaciones de proximidad/distancia que se expresan en expresiones deícticas de espacio como lo son en el español *aquí* o *allá*, o en inglés *here* y *there*, como se muestran en los casos:

(6) La silla estaba por allá cuando la vi.

(7) El televisor está justo aquí.

Otro tipo de relaciones espaciales que se codifican en el lenguaje son las relaciones topológicas, que se expresan en ejemplos tales como:

(8) La botella está **en** la mesa.

(9) La pelota **en** la caja.

En las oraciones anteriores se pueden apreciar dos objetos que se relacionan entre sí a través de la preposición *en*, pero que difieren semánticamente en ambos casos. En la oración (8) la botella se encuentra en contacto con la parte de arriba de la superficie de la mesa. En cambio, en el caso (9), la caja contiene dentro de ella a la pelota envolviéndola con su estructura. En inglés, existe una preposición para cada codificación semántica como se muestra en los casos (10) y (11):

(10) The bottle is **on** the table (en contacto con)

(11) The ball is **in** the box (conteniendo a)

Existen situaciones en las que estos mismos objetos no poseen un contacto directo, sino que más bien comparten en un mismo espacio acotado a cierta distancia el uno del otro. En este tipo de casos lo más útil es proyectar ejes ortogonales desde los objetos para localizarlos según este sistema de coordenadas. Esto nos permite saber en dónde se encuentran los objetos en la escena de manera aproximada, sin saber la distancia métrica exacta. A estos sistemas de coordenadas se les denomina marcos de referencia espacial y pueden clasificarse según el objeto que cumplirá el rol de hito referencial. Así, cuando utilizamos un marco de referencia relativo, proyectamos ejes desde nosotros mismos (marco de referencia egocéntrico) hacia los objetos como se muestran en los casos (12) y (13):

(12) La mesa esta al frente mio.

(13) El televisor se encontraba a mi izquierda.

Al utilizar un marco de referencia intrínseco (marco de referencia alocéntrico), escogemos un objeto que nos servirá como fondo para posicionar un segundo objeto, proyectando ejes desde tal fondo. Por ejemplo:

(14) El niño estaba al frente del árbol cuando lo vi por última vez.

En el caso (14), el fondo pasa a ser el árbol, al cual se le atribuyen lados o caras similares a las que poseemos nosotros (una cara delantera, una cara trasera, lados, etc.), desde las cuales se proyectan ejes hacia el objeto figura, en este caso, hacia el niño.

La codificación espacial en el lenguaje se expresa en distintos tipos de estructuras morfológicas y gramaticales, en las cuales se incluyen las adposiciones (preposiciones o posposiciones), las locuciones preposicionales que funcionan como argumentos de predicado (ej. *en la mesa*) y/o adverbios o adverbiales. Más aun, la información espacial en las distintas lenguas se distribuye a lo largo de toda la oración, encontrando elementos de inflexión incluso en el verbo, como es el caso del Arrernte (lengua indígena de Australia) cuyos verbos permiten que se les sume a la raíz sufijos que expresan información espacial o de movimiento, como se ve en el caso (15):

- (15) Aperrke urele aneme
'Hay carbón en el fuego'

En este ejemplo, el sufijo *-le* expresa localización estática de la figura cuando se agrega al verbo *ure*. Levinson (2006) muestra una miríada de casos de varias lenguas indígenas y sus respectivas codificaciones lingüísticas del espacio, y cuyo marco de referencia espacial preponderante en uso es el absoluto, en el cual los objetos se posicionan usando un fondo que consiste en hitos fijos que, por lo general, consisten en los 4 puntos cardinales o en accidentes geográficos salientes para el hablante de dichas lenguas. Por ejemplo, el Jamingjung (lengua indígena de Australia) posee un marco de referencia espacial absoluto basado en el flujo del agua. Así, encontramos expresiones específicas como *manamba* (corriente o río arriba), *buya* (corriente o río abajo) y *malang* (cruzando (el río o la corriente)).

Como lo vemos en el ejemplo y en otros mencionados en el apartado 1.1., la codificación del espacio en el lenguaje no es universal. Los estudios tipológicos han demostrado de manera empírica que las representaciones lingüísticas no se presentan de manera uniforme en una misma estructura morfosintáctica a través de las lenguas. Existen una serie de estructuras morfosintácticas que codifican relaciones espaciales entre las cuales están las adposiciones en general (siendo no sólo presentándose preposiciones sino que también postposiciones), frases o predicados nominales, inflexiones de caso, verbos locativos y marcadores deícticos (Levinson & Wilkins, 2006). Independiente del lenguaje que se pretenda discutir, el modelo que se presenta en esta tesis propone una aproximación general de la relación lenguaje y cognición en relación a la conceptualización espacial y, en específico, de los correlatos neurales que subyacen al procesamiento semántico del espacio desde los procesos perceptivos en las cortezas visuales, pasando por el procesamiento de las representaciones categoriales que se convertirán en procesamientos posteriores en la base conceptual para la codificación de los marcos de referencia espacial, en especial de los intrínsecos y los relativos en el lenguaje. La codificación lingüística variará de acuerdo a los recursos morfosintácticos que cada lengua posea.

1.3.3. Lenguaje espacial y su localización cerebral

La literatura sobre la localización del procesamiento neural de las relaciones espaciales en el lenguaje no es muy numerosa. Sin embargo, todos los estudios parecen coincidir en que el área parietal es clave en tareas espaciales ya sea no lingüísticas como también las relacionadas con el lenguaje. En este punto, se debe señalar que la literatura que se cita en el presente apartado se limita a estudios en los cuales se utilizaron hablantes del inglés y cuyos examen lingüístico se centro en el uso de adposiciones (preposiciones), e inclusive, en algunos casos, sin hacer ninguna diferenciación entre adposiciones tipológicas y de codificación de marcos de referencia espacial. Estas limitantes podrían ser desventajosas si se asume que sólo las adposiciones codifican especialidad en el lenguaje natural y que el inglés pudiera ser representativo del procesamiento lingüístico-cognitivo del espacio en todas las lenguas existentes. Sin embargo, es necesario, desde el punto de vista metodológico, constreñir el objeto de estudio a un elemento del fenómeno bien definido y que sea manejable en términos de variables, si asumimos, claro esta, que lo que subyace en los correlatos neurales no es la andamiaje sintáctico que codifica el espacio, sino, más bien, su contenido semántico.

Teniendo en cuenta lo anterior y revisando la literatura disponible, podemos señalar que varias investigaciones sugieren la participación del lóbulo parietal inferior al momento de codificar las expresiones ligüísticas que expresan especialidad. Al momento de hacer un análisis más fino sobre el lugar específico del procesamiento, aparece el giro supramarginal izquierdo como actor principal. Damasio et al. (2001), en un estudio usando PET sobre la codificación lingüística en inglés de las acciones y las relaciones espaciales, concluyeron que ambas producen activación cortical en el opérculo frontal izquierdo. Sin embargo, al sustraer la actividad de la tarea de nombrar acciones a la de la tarea de nombrar relaciones espaciales, se mostró una activación en el giro supramarginal izquierdo. No se especifican las preposiciones o locuciones preposicionales que se utilizaron en la tarea.

Otra serie de estudios importantes en este aspecto son aquellos realizados por Daniel Tranel y David Kemmerer con respecto a la localización de la codificación de las preposiciones en inglés en la corteza cerebral. Uno de estos estudios (2003) analiza a dos

pacientes con lesiones corticales que muestran una disociación en la ejecución de tareas de producción y comprensión de acciones verbales y de relaciones espaciales utilizando preposiciones. El sujeto que muestra una ejecución pobre en las tareas de codificación espacial muestra una lesión predominante en el lóbulo parietal inferior izquierdo, específicamente en la materia blanca y la corteza del giro supramarginal y el giro angular y también parte del área de Wernicke. Un segundo estudio conducido por los mismos autores arrojó resultados similares a los ya mencionados. Se estudiaron a 78 pacientes con lesiones focales y estables en varias partes de la corteza y se analizó el grado de traslape de las lesiones según tarea entre los sujetos y, a su vez, se comparó con un grupo control de 60 sujetos normales. Se realizaron cuatro tareas espaciales que consistían en nombrar la preposición más adecuada a la imagen (*naming test*), identificar cuál era la imagen más apropiada para la preposición propuesta (*matching test*), descartar una de las imágenes que no compartía la relación espacial de las otras (*odd one out test*) y juzgar si la preposición describe de manera exitosa la imagen (*verification test*). Al analizar los resultados, se encontró que la región de mayor traslape de las lesiones se encontraba en el opérculo frontal izquierdo y en el giro supramarginal izquierdo y la materia blanca subyacente a estas dos áreas. La zona frontal izquierda estaría a cargo del procesamiento fonológico (Indefrey & Levelt, 2000) y del procesamiento sintáctico-semántico de las preposiciones. En cambio, las zonas parietales inferiores, en especial el giro supramarginal izquierdo, se encargaría del procesamiento espacial. (Tranel & Kemmerer, 2004).

En relación al procesamiento del espacio dinámico, otro estudio interesante de Wallentin et al. (2004) propone que el lenguaje es mediado por procesamiento cognitivo no lingüístico. En este caso, se realizó un estudio utilizando imágenes de resonancia magnética funcional para ver si había activación en zonas de procesamiento espacial al procesar lenguaje espacial de carácter dinámico, es decir, al procesar eventos de movimiento. Se analizó un grupo de 18 sujetos a los cuales se les presentó oraciones que representaban eventos de movimiento tanto con sujetos animados e inanimados, como con argumentos predicativos con hitos concretos o abstractos. Ejemplo de estos tipos de oraciones se presentan en (16), (17), (18) y (19):

- (16) El niño camina hacia la casa (Sujeto animado-hito concreto)
- (17) El niño camina hacia la esperanza (Sujeto animado-hito abstracto)
- (18) El camino va hacia el río (Sujeto inanimado-hito concreto)

(19) El camino va hacia la esperanza (Sujeto inanimado-hito abstracto)

Los resultados más importante y relevante a la presente tesis arrojaron que la activación al procesar los eventos de movimiento con hito concreto, es decir, aquellas oraciones en las cuales había movimiento concreto, e independiente si el movimiento se llevaba a cabo por un ente animado o inanimado, se presentaba en una red posterior bilateral conformada por el giro fusiforme y parahipocampal, algunas áreas retrospleniales y la confluencia de las áreas temporal, occipital y parietal, red la cual esta asociada a la navegación mental y a la memoria espacial (Wallentin et al., 2004).

A manera de resumen, podemos plantear que hay áreas comunes para el procesamiento espacial tanto lingüístico como no lingüístico que se diferencian según la conceptualización semántica ya sea de eventos estáticos (localización de objetos en el espacio) como también de eventos de movimiento (navegación). En la presente tesis, sólo se explorará el procesamiento neural de la codificación semántica del espacio estático, que parece estar ligado a las representaciones categoriales en el parietal inferior izquierdo y cuyo contenido conceptual subyace al uso de los marco de referencia espacial en el lenguaje. Las zonas específicas que parecen procesar este tipo de relaciones espaciales se encuentran en el giro supramarginal izquierdo y, en menor medida, el giro angular izquierdo, siendo estas zonas parte de lo que se denomina área de Geschwind, la cual es un área de asociación que cumple varios roles, en especial, en el procesamiento del lenguaje. La multifuncionalidad de esta área es que la que hace emergen la pregunta del cómo. Al parecer, la(s) red(es) que subyacen al procesamiento espacial parecerían ser la(s) misma(s).

2. Propuesta de un modelo para la conceptualización del espacio en el dominio lingüístico

2.1. Hipótesis

En la presente tesis se plantea un modelo tentativo del procesamiento del espacio en el lenguaje, con énfasis específico en las relaciones proyectivas que se codifican en los marcos de referencia espacial. El modelo pretende dar cuenta de las relaciones neurales de las distintas regiones envueltas en el procesamiento espacial dentro del marco de la nueva ciencia conocida como Conectómica. Dentro de este marco, se pretende sostener a través de esta discusión que los patrones de conectividad neuronal en ciertas zonas del cerebro pueden procesar varias funciones. Planteamos que, este caso en particular, el área parietal inferior funciona como un hub con patrones de conectividad flexibles que no sólo cumpliría un rol como centro de asociación, sino que también como área de procesamiento del espacio, específicamente de las relaciones categoriales que existen entre los objetos que percibimos y que luego se codifican lingüísticamente en locuciones que expresan relaciones que utilizan marcos de referencia espacial relativos. Parece ser que el parietal inferior y el giro supramarginal son hubs que poseen un alto grado de conectividad con otras regiones o módulos, lo que hace pensar que el parietal inferior posee una configuración topológica modular que le permite cumplir múltiples funciones teniendo la misma configuración estructural de conectividad.

2.2. Presentación de un modelo para la conceptualización del espacio en el lenguaje

2.2.1. Categorización de las representaciones espaciales

Para poder proponer un modelo de la conceptualización del espacio en el lenguaje, lo primero que se debería considerar son los distintos niveles de representación espacial y sus funciones específicas.

En un primer nivel, la información sensorial que llega desde el ambiente forma representaciones en distintas modalidades dependiendo de la fuente (visual, motora o auditiva). Este input es procesado por los distintos subsistemas sensoriales, cuyo resultado es una representación básica y abstracta del objeto o conjunto de objetos que percibimos y sus propiedades geométricas primarias (forma, color, textura). A nivel neural, el procesamiento del reconocimiento de los objetos en el mundo se realiza a través de una vía occipito-temporal que corre ventralmente (Ungerleider & Haxby, 1994).

En un segundo nivel, toda la información obtenida y procesada por los sistemas sensoriales debe ser categorizada según el objetivo o la tarea a llevarse a cabo. Con respecto a este punto en particular, se proponen 3 tareas básicas en las cuales las representaciones espaciales cumplen un rol clave. En primera instancia, todo input perceptual que viene del ambiente debe poseer dos dimensiones que responden a dos preguntas básicas: que veo y dónde está lo que veo. La primera pregunta se responde en el primer nivel de categorización espacial. La segunda pregunta se responde en este segundo nivel, en donde una de las tareas básicas es localizar objetos. A nivel neural, este procesamiento se realiza en una vía occipito-parietal que corre de manera dorsal (Ungerleider & Haxby, 1994). Otra tarea básica es la manipulación de tales objetos una vez reconocidos y localizados. Para esto, toda la información sobre el “qué” y el “dónde” se integra para formar una representación que puede o no ser permanente, es decir, consolidada en la memoria. Posteriormente, el sistema motor ejecuta un comando de movimiento para actuar sobre el objeto localizado. (Cohen & Andersen, 2002). Una tercera tarea va más allá de la simple localización y busca navegar de manera exitosa para llegar a una meta establecida. Para esto se necesita de una representación esquematizada que opere como un mapa mental en el cual los objetos pasan a ser figuras referenciales cuya localización se actualiza segundo a segundo (Burgess, 2008). Estos dos últimos niveles operan generando representaciones que satisfacen alguna de las tareas antes mencionadas y que poseen un carácter coordinado, dado que para ejecutar comandos motores exitosos que logren cumplir con el objetivo de asir un objeto o para navegar de manera precisa sin chocar con los mismos se necesita conocer la localización métrica precisa de las cosas.

Teniendo en cuenta estos dos niveles de representación, es decir, el nivel de la percepción y el nivel de la acción, podemos ahora ser capaces de incorporar al lenguaje dentro de un

nivel independiente y mediador que actúa cuando las representaciones espaciales necesitan ser distribuidas en un contexto lingüístico específico entre individuos. Si bien el ser humano puede realizar las tareas anteriormente mencionadas de manera individual, la comunicación lingüística de las representaciones espaciales permite facilitar dichas tareas en condiciones desfavorables, por ejemplo, en aquellas en que existen obstáculos u obstrucciones de los canales perceptivos (cuando un individuo no tiene visibilidad, por ejemplo). Además, siguiendo los lineamientos de la lingüística cognitiva, el lenguaje y su contenido semántico se basa en la conceptualización del mundo externo, cuyas representaciones son de carácter no lingüístico. En este sentido, la lengua selecciona ciertos aspectos salientes del espacio, el cual se conceptualiza en representaciones esquematizadas, y posibilita la codificación semántica en estructuras morfosintácticas que sirvan como vehículo para la comunicación de la información espacial.

Esta jerarquización de niveles (figura 1) lo que busca es integrar todas y cada una de las modalidades de representaciones del dominio espacial en un marco de cognición contextualizado y distribuido entre los individuos que intercambiarían información espacial relevante al objetivo dado. Este modelo busca, de manera superficial, integrar la mayoría del conocimiento que existe sobre cognición espacial y cómo este interactúa con el lenguaje (y/o viceversa), es decir, el modelo nos permitiría vislumbrar a qué niveles representacionales tiene acceso el lenguaje, qué elementos selecciona como salientes que, posteriormente, se codifican en el lenguaje dependiendo de los recursos morfosintácticos que cada lengua en particular proporciona al individuo. Además, el modelo explora cuáles serían los correlatos neurales que subyacerían a estos procesos integradores de información espacial general y cómo las conexiones entre distintas áreas cerebrales aportan para lograr la tarea de comunicar información espacial a través del lenguaje. Como ya se ha visto, existen distintos tipos de relaciones espaciales en el lenguaje, los cuales poseen codificación morfosintáctica distintiva para cada una de ellas. El modelo que se presenta en la presente tesis tomara como ejemplo representativo el uso de marcos de referencia espacial y su esquematización en el lenguaje.

2.2.2. Modelo propuesto

El input perceptivo y propioceptivo que ingresa al cerebro del individuo tiene varios filtros dependiendo del objetivo último de la representación espacial que se forme, como ya se dijo anteriormente. Si el individuo desea establecer la localización de un objeto y comunicarlo, lo más plausible es que utilice algún marco de referencia espacial disponible en la codificación de su lengua que le permita establecer uno o más puntos de referencia (fondo) en el ambiente y codificarlos lingüísticamente. Dado esto, toda información que se envía a través de las vías neurales del *qué* y el *dónde* es procesada en distintas zonas del lóbulo parietal, o, como lo presentan Ungerleider & Mishkin (1982): “la apreciación de las cualidades de un objeto y su localización espacial dependen del procesamiento de distintos tipos de información visual en áreas de la corteza temporal inferior y de la corteza parietal posterior respectivamente”. Desde este punto, lo que nos interesa en el modelo es el camino que nos conduce al procesamiento espacial independientemente de las características de los objetos que percibamos en el espacio, dado que con esta información se nos permite estructurar una representación lingüística que selecciona y codifica aquellos aspectos salientes del espacio y la relación de los objetos dentro de este. Esto último puede ser discutible ya que existen lenguas en las que la forma geométrica del objeto cobra valor al poder identificar en dónde se encuentra. Es el caso del Tzeltal, en el cual la relación topológica “en” varía según la forma del objeto, obteniendo una variedad de formas que se aprecian en el cuadro 1. Sin embargo, si se trata de relaciones entre objetos utilizando marcos de referencia espacial, todas las lenguas estudiadas parecen esquematizar a los objetos convirtiéndolo en meros puntos de referencia e hitos, sin tomar en cuenta los aspectos morfológicos o geométricos de los mismos.

La información perceptual relevante a la localización espacial llega directamente al centro de procesamiento del espacio, que en este caso sería el lóbulo parietal. Una vez que la representación espacial se forma, hay dos opciones: 1) realizar una ejecución motora (desde mover un brazo para alcanzar algo hasta llegar a la farmacia más cercana); y/o 2) señalar y comunicar la posición de un objeto a través del lenguaje. En este caso, nos interesa enfocarnos en el segundo punto (figura 2).

2.2.2.1. Aspectos neurales del modelo

Toda la información visual se procesa en las distintas áreas visuales que finalmente llega a la corteza extriada, zona en la que las vías del qué y del dónde se separan en una vía ventral y una vía dorsal respectivamente (figura 3). Esta última vía sigue el camino del fascículo longitudinal superior y llega al lóbulo parietal posterior. (Ungerleider & Mishkin, 1982). Es en esta área en que todos los aspectos espaciales se procesan, y en la cual la información sensorial no sólo visual sino que también de otras modalidades (auditiva y somatosensorial) se integra para formar una representación del espacio circundante. La literatura en general muestra al lóbulo parietal posterior derecho como el centro de procesamiento espacial. Sin embargo, el procesamiento del espacio general se da bilateralmente en el parietal posterior. Estudios de lesiones en monos avalan este hecho. Citando un ejemplo, Ungerleider y Brody (1977) reportaron que en un grupo de sujetos primates de la especie *Macaca Mulata* (mono Rhesus), cuyos cerebros fueron intervenidos en zonas parietales, presentaron deficiencias en dos tareas espaciales (una tarea de inversión de la discriminación del hito y otro problema de tirar cuerdas en patrón para obtener recompensa). Un segundo grupo de primates con lesiones en zonas frontales no presentaron déficit en estas tareas. Vale destacar que las lesiones en cada primate se realizaron en ambos hemisferios y que los correlatos neurofisiológicos entre este tipo de monos y humanos en relación al procesamiento visuo-espacial son altamente similares. Además, se debe tomar en cuenta el hecho que ambos hemisferios están conectados por un haz de fibras que unen cada zona cerebral con su correspondiente en el otro hemisferio. Estas fibras forman el cuerpo caloso, en el cual cada proyección une de manera homotópica ambos hemisferios estableciéndose una segmentación del cuerpo caloso en el cual los haces de la parte anterior (tercio anterior y cuerpo medio anterior) unen las áreas prefrontales y las áreas premotoras y motoras suplementarias respectivamente, y los haces de la parte posterior (cuerpo medio posterior, istmo y esplenio) unen las áreas motoras, las áreas sensoriales y las áreas parietales, temporales y occipitales respectivamente. Esta segmentación fue propuesta por Hofer y Frahm (2006) en un estudio utilizando imágenes con tensor de difusor, y es una revisión del esquema propuesto por Witelson (1989). Teniendo en cuenta esta segmentación, debemos considerar la comunicación inter-hemisférica y evaluar si esta es eficiente en la transmisión rápida de información, sobre todo si tomamos el caso del procesamiento espacial del

lóbulo parietal en especial. Al revisar la literatura, nos encontramos con que las proyecciones parietales del cuerpo calloso son de conducción lenta, poco mielinizadas y de diámetro pequeño (Zarei et al., 2006; Aboitiz et al., 1992; La Mantia & Rakic, 1990). Estos datos podrían debilitar el modelo dado que no existiría una comunicación inter-hemisférica tan rápida de lo que se pudiera esperar. Sin embargo, si tomamos en cuenta que 1) el procesamiento espacial es bilateral dado que cada hemisferio debe procesar información visual de ambos campos visuales, en cuyo caso, la información espacial debe ser bilateral para así poder identificar la posición de un objeto en ambos campos visuales y que 2) existe una especialización hemisférica de funciones que evoluciono para procesar funciones diferenciadas y, sobre todo, para albergar los correlatos neurales del lenguaje humano en el hemisferio izquierdo (Aboitiz et al., 2003), podemos establecer una independencia de procesamiento espacial para el caso específico de las representaciones del tipo categorial en el hemisferio izquierdo sin desmedro de los resultados en el desempeño neuronal al procesar el lenguaje espacial.

El área parietal inferior, específicamente el giro angular y el giro supramarginal (áreas de Brodmann 39 y 40 respectivamente) cumple un rol clave en el procesamiento del lenguaje espacial en el modelo propuesto. Como se presento en el apartado 1.3.3., las zonas hasta el momento descritas en la literatura para el procesamiento de expresiones espaciales lingüísticas se encuentran justamente en estas áreas parietales. En este punto, es importante detenerse y analizar más a fondo el rol del parietal inferior tanto en las relaciones espaciales como en el procesamiento general del lenguaje.

En principio, el área parietal inferior se concibe como una zona de asociación multimodal sensorial (Geschwind, 1965; Catani & ffytche, 2005), cuyo rol sería vital para el desarrollo del contenido semántico del lenguaje. A su vez, al ser un área de asociación, la zona parietal inferior se convierte además en un área de procesamiento espacial por excelencia, dado que al momento de crear representaciones espaciales del ambiente confiamos en todas las pistas perceptivas que provienen desde todas las fuentes sensoriales (visuales, auditivas y somatosensoriales). Sin embargo, esta área procesa solamente algunos aspectos espaciales y parece ser que hay una tendencia a la lateralización en el hemisferio izquierdo, en especial, cuando hay una diferenciación entre las representaciones coordinadas y categoriales (Amorapanth et al., 2009; Kosslyn et al., 1998). Desde este punto, ya se puede percibir una relación entre el lenguaje y el área parietal inferior dado

que el tipo de relaciones espaciales que se establecen en el lenguaje son de carácter categorial al codificar clases equivalente que corresponden a las preposiciones, adverbios y frases preposicionales que indican las posiciones espaciales según los ejes ortogonales que se proyectan ya sea desde uno mismo o desde un objeto de referencia (ej. en español: arriba, abajo, al lado de, al frente de, etc.).

La pregunta que surge a esta altura de la discusión es si existe alguna manera de diferenciar el procesamiento asociativo general y el procesamiento espacial categorial que subyace al contenido semántico espacial de las expresiones lingüísticas de espacio. Una respuesta plausible tiene relación con los patrones de conectividad que poseen los distintos centros de procesamiento, sobre todo los asociativos, y la diferenciación funcional que surge al momento de procesar distintas tareas cognitivas y que se presenta gracias a dichos patrones.

2.2.2.2. La ciencia del *conectoma*: conectividad neuronal y función.

En las últimas décadas, el estudio del cerebro y sus funciones ha ido ajustándose a las nuevas tecnologías que han ido surgiendo para dilucidar cual es el patrón de conexión de las millones de neuronas que alberga el cerebro. Una de las aproximaciones más recientes se está dando en el campo de la nueva ciencia de la Conectómica (connectomics, en su versión en inglés). Esta disciplina “combina difusión de RM y una completa metodología de tractografía cerebral con las herramientas analíticas de la ciencia de redes” (Hagmann, 2010) para dar cuenta del “ensamblaje, el mapeo y el análisis de los datos de las conexiones neuronales” (Sporn, 2010). El objetivo principal de la ciencias de los conectomas es descubrir los patrones de conexión neuronal ya sea a nivel local como global y su interacción, y como esta última da a lugar a las distintas funciones del cerebro. Adicionalmente, se plantea que la(s) función(es) cerebral(es) emergen de las conexiones entre distintas neuronas y sus propiedades y que el hallazgo de las reglas que subyacen a estos patrones conexionales sería vital para entender como funciona el cerebro y como se estructura. (Sporn y Seung...). Seung (2011) plantea que:

“El encontrar tales reglas [de conectividad que dependan de propiedades funcionales de las neuronas] será más arduo que

encontrar conexiones entre regiones del cerebro o reglas de conexión entre tipos de células neuronales. Pero, esto es crucial para testear la afirmación que: ‘Nada define la función de una neurona más que sus conexiones con otras neuronas’.”

Estos patrones de conectividad se representan a través de grafos cuyos nodos representan un conjunto de neuronas o una región cerebral relevante y cuyas conexiones se representan a través de líneas o bordes (*edges*) que indican que los nodos unidos están estructuralmente o funcionalmente conectados (Bullmore & Sporns, 2012). Estos nodos pueden tener distintos grados de centralidad o influencia dentro de la red. Los nodos más importantes o salientes se les denominan hubs y su interconexión entre distintos módulos constituiría el centro estructural y funcional del cerebro (Bullmore & Sporn, 2012, Hangmann et al., 2008).

Existen varios estudios que intentan dilucidar parte del conectoma humano y dilucidar como se constituye la conectividad cerebral, entre los cuales se destacan los estudios de Hangmann et al. (2008), Bullmore & Sporns (2012) y van den Heuvel & Sporns (2011). En Bullmore & Sporns, se propone que existiría una organización cerebral cuya interconectividad procuraría la negociación constante entre el costo de conexión y el valor topológico y funcional. Esto se conseguiría gracias a una serie de variables que contribuyen a que el cerebro logre el mínimo de costo y el máximo de valor adaptativo. Por ejemplo, los autores establecen que a cerebros más grandes, menos conexiones a larga distancia existirían en ellos y que existirían más conexiones cortico-corticales a menor distancia entre módulos, ayudado por la manera en la cual se disponen las neuronas en la corteza cerebral (giros y surcos). Además, “las regiones funcionalmente especializadas muestran un alto grado de agrupamiento debido a la abundancia de conexiones con otras áreas con la misma especialización funcional” (Bullmore & Sporns, 2012). Estas relaciones se darían a través de toda la corteza cerebral, habiendo ciertas regiones o hubs más centrales que otros. Hangmann et al. realizaron un mapa de las vías corticales intra e inter-hemisféricas en 5 sujetos utilizando imágenes de difusión de espectro, cuyo promedio sirvió para crear un mapa central estructural de estas conexiones. En el análisis de este mapa se encontraron varios hubs con alto grado de conectividad, fuerza (aquellos nodos con conexiones más fuertes y robustas) y centralidad entre nodos, los cuales se encontraban mayoritariamente en el área posterior media, corteza parietal y algunas áreas temporales y

frontales. Van den Heuvel & Sporns (2011) proponen que el conectoma humano posee una organización del tipo *rich club*, en el cual existirían ciertos hubs cerebrales que cumplirían una rol clave en la integración de información entre distintas zonas del cerebro. Entre estas áreas se encontrarían 12 hubs en ambos hemisferios, principalmente en la zona del precuneo, del frontal superior, de la corteza parietal superior y de otras regiones subcorticales tales como el hipocampo, el putamen y el tálamo.

2.2.2.3. Conectividad del área parietal inferior.

Al analizar los estudio actuales basados en la conectividad cerebral, lo que se ha detectado es la existencia de *hubs* cerebrales que poseen un alto grado de interconectividad y que forman lo que se denominan en inglés *rich clubs* dentro de los cuales existe un alto grado de conectividad entre nodos (van den Heuvel & Sporns, 2011). Varios de estos hubs coinciden con las áreas de procesamiento espacial ya descritas en los apartados anteriores. En Hangmann et al. (2008) se proponen 8 subregiones anatómicas que serían parte del esqueleto estructural central de interconectividad cerebral, entre las cuales se encontraría el área parietal inferior, el parietal superior y el banco del surco temporal superior, todas áreas involucradas en el procesamiento espacial lingüístico y no lingüístico y que son parte del modelo propuesto.

Es así que el parietal superior (cuya área de Brodmann coincide con la del parietal posterior/BA 5 y BA 7), el parietal inferior, tanto el giro supramarginal (BA 40) y el giro angular (BA 39) aparecen como hubs importantes en la interconectividad global del cerebro (Hangmann et al., 2008). Cabe señalar que si bien en los grafos representados por los autores el parietal inferior y el giro supramarginal aparecen como hubs separados, el giro supramarginal es parte del parietal inferior, cuyas áreas de Brodmann coinciden con la partición inicial que se hizo en el análisis por parte de los autores (figura 4). Esta red conformada por estos 3 hubs es la que se integra a la red que procesa el lenguaje y que se constituiría como se representa en la figura 5.

Los nodos o hubs que constituyen el modelo de procesamiento espacial desde lo no lingüístico a lo lingüístico poseen distintos grados de conectividad, fuerza (de conectividad),

centralidad y eficiencia. El grado de conectividad se define como el número de conexiones que posee un nodo específico; la fuerza de conectividad es cuán fuerte son dichas conexiones; el grado de centralidad tiene que ver con la posición estratégica de un nodo en el cual a mayor centralidad, menores son las distancias de las vías o *edges* que pasan por el y que conectan otros módulos; y el grado de eficiencia se mide al ver la distancia de las conexiones con otros nodos, en el cual a mayor eficiencia, menores son las distancias con otros nodos (Hangmann et al., 2008). Al analizar lo planteado por Hangmann et al. (2008), nos encontramos con que las regiones envueltas en el modelo poseen distintos grados de conectividad, fuerza, centralidad y eficiencia. Sin embargo, al analizar más de 30 áreas cerebrales de interés, las áreas que desempeñan un rol en el modelo presentado son parte de las 8 subregiones que componen el esqueleto estructural de conectividad (parietal inferior, parietal superior y temporal superior). Además, se destaca que el parietal inferior (incluyendo en giro supramarginal), el parietal superior (que incluye el parietal inferior) y el temporal superior están dentro del top 15 del ranking de entre las 33 zonas estudiadas en las 4 variables mencionadas, destacándose que el parietal inferior posee un alto grado de conectividad y de eficiencia y encontrándose que las regiones parietales, en general, están densamente interconectadas y son topológicamente centrales (Hangmann et al., 2008)

Como se ha propuesto, existe un traslapeo estructural y funcional entre las áreas que procesan la información perceptual y motora con la codificación de los objetos como conceptos en el cerebro, es decir, ciertas “propiedades emergentes de un objeto – tales como el cómo luce, el cómo se mueve y el cómo es usado – se almacena en los sistemas activos sensoriales y motores cuando la información se requiera” (Martin, 2007). Algo similar podría estar ocurriendo en el caso de la localización de objetos al momento de representarlos de manera lingüística. Ya se demostró que el área parietal en general, y la región parietal inferior en particular, es una zona de relevancia central en el conectoma humano. Estructuralmente, esta zona constituye un hub cuya interconectividad es bastante rica. Esto se reflejaría de manera funcional en como esta región es capaz de procesar distinto tipo de información que, en general, tiene que ver con el input perceptual general que viene desde el ambiente y que se integra en varios dominios para formar una representación holística de los objetos en el mundo exterior. Esta representación holística es clave para darle contenido semántico a estos objetos que serán codificados en el lenguaje natural. Por lo tanto, no es de extrañarse que haya un continuum asociativo-semántica-espacial en la conceptualización general del espacio en el lenguaje. Es por esto

que el procesamiento espacial del tipo categorial general y también lingüístico sólo sea parte de este continuum de procesamiento más general que cumpliría en área parietal inferior como hub importante en el conectoma humano.

2.3. Limitaciones del modelo

Al momento de analizar el modelo a la luz de lo propuesto, podemos encontrar varias limitaciones, entre las cuales podemos citar 3 principales:

1. **Jerarquización de niveles.** Si bien a nivel neural, el procesamiento de la identificación del objeto como tal y la identificación de su posición relativa en el espacio parece diferir, dándose en distintas vías neurales, es difícil probar a ciencia cierta si esta diferenciación requiere o no de dos tipos de representaciones mentales distintas al momento de llevar a cabo las operaciones necesarias para el procesamiento espacial específico. Sin embargo, se puede suponer que lo importante de la representación visual que entra a manera de input perceptivo es la información disponible al momento de llevar a cabo alguna tarea cognitiva específica, ya sea identificar un objeto para manipularlo o comunicar algún aspecto saliente de él a través del lenguaje, o localizar su posición relativa en el espacio. Finalmente toda la información se integraría en un solo “bosquejo cognitivo” altamente esquematizado y fácil de manipular cognitivamente.
2. **Codificación espacial en el lenguaje.** Existen muchos supuestos alrededor de las investigaciones sobre codificación morfosintáctica espacial en el lenguaje. La mayoría de los estudios asumen como tendencia general el uso de preposiciones, concentrándose mayormente en el uso de preposiciones en inglés como lengua representativa. Sin embargo, los estudios tipológicos y translingüísticos actuales nos presentan un sinnúmero de alternativas morfosintácticas para codificar espacio. Es el caso de varias lenguas indígenas de América y Oceanía, cuyo estudio ha resultado en un inventario detallado de los recursos lingüísticos que estas lenguas utilizan para representar relaciones espaciales, tales como adposiciones, posposiciones, frases nominales, etc. (Levinson, 2003; 2006). Además existen varios tipos de expresiones con contenido semántico espacial aparte de aquellas

que indican marcos de referencia espacial y estas últimas parecen estar en concordancia con el procesamiento espacial del tipo categorial (Kosslyn et al., 1989; 1992; 1998). Pero otras expresiones espaciales tales como las deícticas o las de movimiento pudieran diferir a nivel de procesamiento neural. Por ejemplo, las expresiones de movimiento dinámicas (desplazamiento de un objeto) tienen que ver con navegación más que con identificación. Por lo tanto, los correlatos neurales que jugarían un rol en el procesamiento de dichas expresiones tendrían que ver más bien con el hipocampo y zonas retrospleniales (Wallentin et al., 2004).

3. Metodologías para el estudio del conectoma humano. La ciencia del conectoma es reciente por lo que las técnicas para desarrollar estudios orientados a dilucidar el patrón de interconectividad cerebral aún no nos permiten ver claramente la direccionalidad de las conexiones. Esto nos permitiría saber si la dirección del procesamiento es única o paralela y si existen patrones de feedback entre las distintas conexiones entre regiones. Además, aún no hay estudios que integren los distintos modelos de procesamiento propuestos para distintas funciones cognitivas en un marco amplio del conectoma humano, aunque hay aproximaciones que toman en cuenta los tractos de materia blanca que conectan las distintas regiones de materia gris, como lo es el modelo del procesamiento lingüístico de Friederici (2012).

3. Conclusiones

Como se discutió a lo largo de la presente tesis, la cognición espacial se sirve de distintos tipos de representación dependiendo de las necesidades que correspondan. Estas representaciones poseen un alto grado de esquematización y poseen correlatos neuronales específicos e identificables. Es así que se presentó un modelo de procesamiento espacial que integrara las representaciones espaciales no lingüísticas, siendo estas la base para la conceptualización de las representaciones espaciales lingüísticas, y cuyos correlatos neurales conforman una red de zonas relevantes o hubs dentro del marco del conectoma humano.

Al analizar la bibliografía actual y disponible, nos encontramos con el área parietal es una zona de asociación y de procesamiento espacial por excelencia, cuyas subdivisiones parecen tomar tareas específicas. Lo es el caso de la región parietal inferior que posee una diferenciación hemisférica al procesar representaciones espaciales. El área parietal inferior derecha procesa representaciones de tipo coordinado (métrico) y el área parietal izquierda procesa representaciones del tipo categorial. Estas últimas subyacen a las representaciones espaciales lingüísticas que expresan marcos de referencia espacial en particular. Esta especialización parece responder a dos situaciones: 1) dado que el lenguaje se procesa en la mayoría de los individuos diestros en el hemisferio izquierdo, no es raro que el procesamiento espacial categorial se de en este hemisferio, siendo el parietal inferior parte del procesamiento lingüístico a nivel semántico, del procesamiento de la lecto-escritura y del procesamiento de la codificación de los marcos de referencia espacial relativos; 2) el parietal inferior izquierdo es un área de asociación sensorial, hecho que contribuye al procesamiento del significado en el lenguaje según lo planteado por Martin (2007).

A partir del modelo propuesto se pueden desprender varios temas de investigación concernientes a cuál es la dirección del procesamiento entre las distintas regiones envueltas en el procesamiento espacial, qué otros aportes puede brindar la nueva ciencia de la conectómica al funcionamiento cerebral global y, en específico, al procesamiento lingüístico en relación no sólo al espacio sino que también a otros dominios cognitivos y cómo se puede integrar este modelo en un contexto de cognición distribuida.

4. Referencias Bibliográficas

Aboitiz, F., López, J., & Montiel, J. (2003) "Long-distance communication in the human brain: Timing constraints for inter-hemispheric synchrony and the origin of brain lateralization". *Biological Research*, 36: 89-99.

Aboitiz, F., Scheibel, A.B., Fisher, R.S., & Zaidel, E. (1992) "Fiber composition of the human corpus callosum". *Brain Research*, 598: 143-153.

Amorapanth, P., Widick, P., & Chatterjee, A. (2009) "The neural basis for Spatial Relations" *Journal of Cognitive Neuroscience*.

<http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/jocn.2009.21322>

Andersen, R.A. & Cohen, Y. (2002) "A common, reference frame for movements plans in the posterior parietal cortex". *Nature*, 3: 553-562.

Behrens, T. & Sporns, O. (2012) "Human Connectomics". *Current Opinion in Neurobiology*, 22: 144-153.

Boroditsky, L. (2000) "Metaphoric structuring: understanding time through special metaphor". *Cognition*, 75: 1-28.

Burgess N. (2008) "Spatial cognition and the brain" *Annual New York Academy of Science*, 1124:77-97.

Bullmore, E. & Sporns, O. (2012) "The economy of brain network organization". *Nature Review Neuroscience*, 13:336–349.

Carreiras, M. (1997) *Descubriendo y procesando el lenguaje*. Madrid: Trotta.

Catani, M., Jones, D., & ffytche, D. (2005) "Perisylvian Language Networks of the Human Brain". *Annals of Neurology*, 57: 8-16.

Catani, M. & ffytche, D. (2005) "The rises and falls of disconnection syndromes". *Brain*, 128: 2224-2239.

Catani, M. & Mesulam, M. (2008) "The arcuate fasciculus and the disconnection theme in language and aphasia: History and current state". *Cortex*, 44(8): 953-961. doi:10.1016/j.cortex.2008.04.002.

Chabris, C. & Kosslyn, S.M. (1998) "How do the cerebral hemispheres contribute to encoding spatial relations". *Current Directions in Psychological Science*, 7(1): 8-14.

Committeri, G., Galati, G., Paradis, A., Pizzamiglio, L., Berthoz, A., & LeBihan, D. (2004) "Reference Frames for Spatial Cognition: Different Brain Areas are involved in Viewer-, Object-, and Landmark-Centered Judgments about Object Location". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16 (9): 1517-1535.

Damasio, H., Grabowski, T.J., Tranel, D., Ponto, L.L.B., Hichwa, R.H., & Damasio, A.R. (2001) "Neural correlates of naming actions and of naming spatial relations" *Neuroimage*, 13: 1053-1064

Emmorey, K., Damasio, H., McCullough, S., Grabowski, T., Ponto, L.L.B., Hichwa, R.D., & Bellugi, U. (2002) "Neural Systems Underlying Spatial Language in American Sign Language". *Neuroimage*, 17: 812-824.

Evans, V. (2012) "Cognitive Linguistics". *WIREs Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(2): 129-141. DOI: 10.1002/wcs.1163.

Feist, M. I. (2004) *Talking about space: A cross-linguistic perspective*. Paper presented at the 26th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Chicago.

Feist, M.I. & Gentner, D. (2007) "Spatial language influences memory for spatial scenes". *Memory and Cognition*, 35 (2): 283-296.

Friederici, A. (2012) "The cortical language circuit: from auditory perception to sentence comprehension". *Trends in Cognitive Science*, 16(5): 262-268.

- Gallistel, C.R. (2002) "Language and spatial frames of reference in mind and brain". *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (8): 321-322.
- Gentner, D. & Goldin-Meadow, S. (2003) *Language in mind: Advances in the study of language and thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Geschwind, N. (1972) "Language and the Brain". *Scientific American* 226: 76–83.
- Goodale, M. & Milner, A.D. (1992) "Separate visual pathways for perception and action". *Trends in Neuroscience*, 15(1): 20-25.
- Halligan, P., Fink, G., Marshall, J., Vallar, G. (2003) "Spatial cognition: evidence from visual neglect". *Trends in Cognitive Science*, 7(3): 125-133.
- Hangmann, P., Cammoun, L., Gigandet, X., Meuli, R., Honey, C.J., & Wedeen, V.J. (2008) "Mapping the Structural Core of Human Cerebral Cortex". *PLoS Biology* 6 (7): e159. Doi: 10.1371/journal.pbio.0060159.
- Hayward, W., & Tarr, M.J. (1995) "Spatial language and spatial representation". *Cognition*, 55: 39-84.
- Hickmann, M. & Robert, S. (2006) *Space in languages: Linguistic systems and cognitive categories*. Amsterdam: Benjamins.
- Hickok, G. (2009) "The Functional Neuroanatomy of Language". *Physics of Life Review*, 6(3): 121-143.
- Hofer, S & Frahm, J. (2006) "Topography of the human corpus callosum revisited — Comprehensive fiber tractography using diffusion tensor magnetic resonance imaging". *NeuroImage*, 32: 989-994.
- Jager, J. & Postma, A. (2003) "On the hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations: a review of the current evidence". *Neuropsychologia* 41: 504-515.

Kemmerer, D. & Tranel, D. (2000) "A double dissociation between linguistic and perceptual representations of spatial relations". *Cognitive Neuropsychology*, 17 (5): 393-414.

Kemmerer, D., & Tranel, D. (2003) "A Double Dissociation between the Meanings of Action Verbs and Locative Prepositions". *Neurocase*, 9: 421-435.

Kemmerer, D. & Tranel, D. (2004) "Neuroanatomical correlates of locative prepositions". *Cognitive Neuropsychology*, 21(7): 719-749.

Kemmerer, D. (2005) "The spatial and temporal meanings of English prepositions can be independently impaired". *Neuropsychologia*, 43: 797-806.

Kemmerer, D. (2006) "The Semantics of Space: Integrating linguistic typology and cognitive neuroscience". *Neuropsychologia*, 44: 1607-1621.

Koenig, O, Reiss, L., & Kosslyn, S.M. (1990) "The Development of Spatial Relation Representations: Evidence from Studies of Cerebral Lateralization". *Journal of Experimental Child Psychology*, 50: 119-130.

Kosslyn, S.M., Koenig, O., Barret, A., Baker, C. (1989) "Evidence for two types of spatial representations: Hemispheric specialization for categorical and coordinate relations". *Journal of Experimental Psychology: Human Performance and Perception*, 15(4): 723-735.

Kosslyn, S.M., Chabris, C.F., Marsolek, C.J., & Koenig, O. (1992) "Categorical versus coordinate spatial relations: computational analyses and computer simulations". *Journal of Experimental Psychology: Human Performance and Perception*, 18(2): 562-577.

Kosslyn, S.M., Thompson, W., Gitelman, D., Alpert, N. (1998) "Neural systems that encode categorical versus coordinate spatial relations: PET investigations". *Psychobiology*, 26(4): 333-347.

Lakusta, L., Wagner, L., O'Hearn, K., & Landau, B. (2007) "Conceptual foundations of spatial language: evidence for a goal bias in infants". *Language Learning and Development*, 3(3): 179-197.

Levinson, S. C., Kita, S., Haun, D. B. M., & Rasch, B. (2002) "Returning the tables: Language affects spatial reasoning". *Cognition*, 84: 155–188.

Kosslyn, S., Koenig, O., Barrett, A., Backer, C., Tang, J., Gabrieli, J. (1989) "Evidence for Two Types of Spatial Representations: Hemispheric specialization for Categorical and Coordinate Relations". *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15 (4): 723 – 735.

Landau, B. (2002) "Spatial Cognition". En V.S. Ramachandran, *Encyclopedia of the Human Brain*. Academic Press.

Landau, B., Dessalegn, B., & Goldberg, A.M. (in press) "Language and Space: Momentary Interactions". En P. Chilton & V. Evans (Eds.), *Language, cognition and space: The state of the art and new directions*. London: Equinox.

Landau, B. & Munich, E. (1998) "The representation of space and spatial language: challenge for cognitive science". En P. Olivier & K-P Gapp (Eds.), *Representation and Processing of Spatial Expressions*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Langacker, Ronald W. (1991) *Foundations of Cognitive Grammar, Volume II, Descriptive Application*. Stanford, California: Stanford University Press,

Levinson, S., Meira, S., & The Language and Cognition Group (2003). "'Natural concepts' in the spatial topological domain - adpositional meanings in cross linguistic perspective: an exercise in semantic typology". *Language*, 79 (3): 485-516.

Levinson, S. (1996) "Language and Space". *Annual Review of Anthropology*, 25: 353-382.

Levinson, S. (2003) *Space in Language and Cognition*. Cambridge University Press.

Levinson, S. (2006) *Grammars of Space*. Cambridge University Press.

Li, P. & Gleitman, L. (2002) "Turning the tables: Language and spatial reasoning". *Cognition* 83 (26): 5–94.

- Majid, A. (2002) "Frames of Reference and Language Concepts". *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (12): 503-504.
- Majid, A., Bowerman, M., Kita, S., & Haun, D. (2004) "Can language restructure cognition? The case for space". *Trends in Cognitive Science*, 8 (3): 108-114.
- Martin, A. (2007) "The Representation of Object Concepts in the Brain". *Annual Review of Psychology*, 58: 25-45.
- Moscovitch, M., Kapur, S., Köhler, S., & Houle, S. (1995) "Distinct neural correlates of visual long-term memory for spatial location and object identity: a positron emission tomography study in human". *Proceedings of the National Academy of Science*, 22: 3721-3725.
- Mou, W., Zhang, K., & McNamara, T. (2004) "Frames of reference in spatial memories acquired from language". *Journal of Experimental Psychology*, 30 (1): 171-180.
- Munnich, E., Landau, B., & Doshier, B.A. (2001) "Spatial language and spatial representation: a cross-linguistic comparison". *Cognition*, 81: 171-207.
- Noordzij, M., Neggers, S., Ramsey, N., Postma, A. (2008) "Neural correlates of locative prepositions". *Neuropsychologia*, 46: 1576-1580.
- Oliveri, M. & Vallar, G. (2009) "Parietal versus temporal lobe components in spatial cognition: Setting the mid-point of a horizontal line". *Journal of Neuropsychology*, 3: 201-211.
- Pederson, E., Danziger, E., Wilkins, D., Levinson, S., Kita, S., Senft, G. (1998) "Semantic typology and spatial conceptualization". *Language*, 74 (3): 557-589.
- Seung, H.S. (2011) "Neuroscience: Towards functional connectomics". *Nature* 471: 170-172. doi: 10.1038/471170a.

- Stein, J.F. (1989) "Representation of egocentric space in the posterior parietal cortex". *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 74: 583-606.
- Svorou, S. (1994) *The grammar of space*. Amsterdam: Benjamins.
- Talmy, L. (1975) "Figure and Ground in Complex Sentences". *Proceedings of the First Annual Meeting of the Berkeley Linguistic Society*: 419-430.
- Tranel, D. & Kemmerer, D. (2004) "Neuroanatomical correlates of locative prepositions". *Cognitive Neuropsychology*, 21(7): 719-749.
- Tversky, B., Morrison, J.B., Franklin, N., & Bryant, D.J. (1999) "Three Spaces of Spatial Cognition". *Professional Geographer*, 51(4): 516-524.
- Ungerleider, L.G. & Haxby, J.V. (1994) "'What' and 'Where' in the human brain". *Current Opinion in Neurobiology*, 4: 157-165.
- Ungerleider, L.G. & Mishkin, M. (1982) "Two cortical visual systems." In Ingle, D.J., Goodale, M.A., & Mansfield, R.J.W. (Eds.) *Analysis of Visual Behavior*. Cambridge, MA: The MIT Press: 549-586.
- Van den Heuvel, M.P. & Sporns, O. (2011) "Rich-Club Organization of the Human Connectome". *The Journal of Neuroscience*, 31 (44): 15775-15786.
- Whorf, B. (1956) *Language, thought, and reality*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wassmann, J. & Dasen, P.R. (1998) "Balinese spatial orientation: some empirical evidence of moderate linguistic relativity". *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 4: 689-711.
- Wallentin, M., Østergaard, S., Ellegaard Lund, T., Østergaard, L., & Roepstorff, A. (2004) "Concrete spatial language: See what I mean?" *Brain and Language*, 92: 221-233.
- Yap, P-T., Wu, G., & Shen, D. (2010) "Human Brain Connectomics: Networks, Techniques, and Applications". *IEEE Signal Processing Magazine* 27: 131-134.

Zarei, M., Johansen-berg, H., Smith, S., Cicarelli, O., Thompson, A., & Mathews, P. (2006) "Functional anatomy of interhemispheric cortical connections in the human brain". *Journal of Anatomy*, 209: 311-320.

Zlatev, J. (2007) "Spatial Semantics". En H. Cuyckens & D. Geeraerts (Eds.), *The Oxford Handbook of Cognitive Linguistics*. Oxford University Press.

5. Apéndices

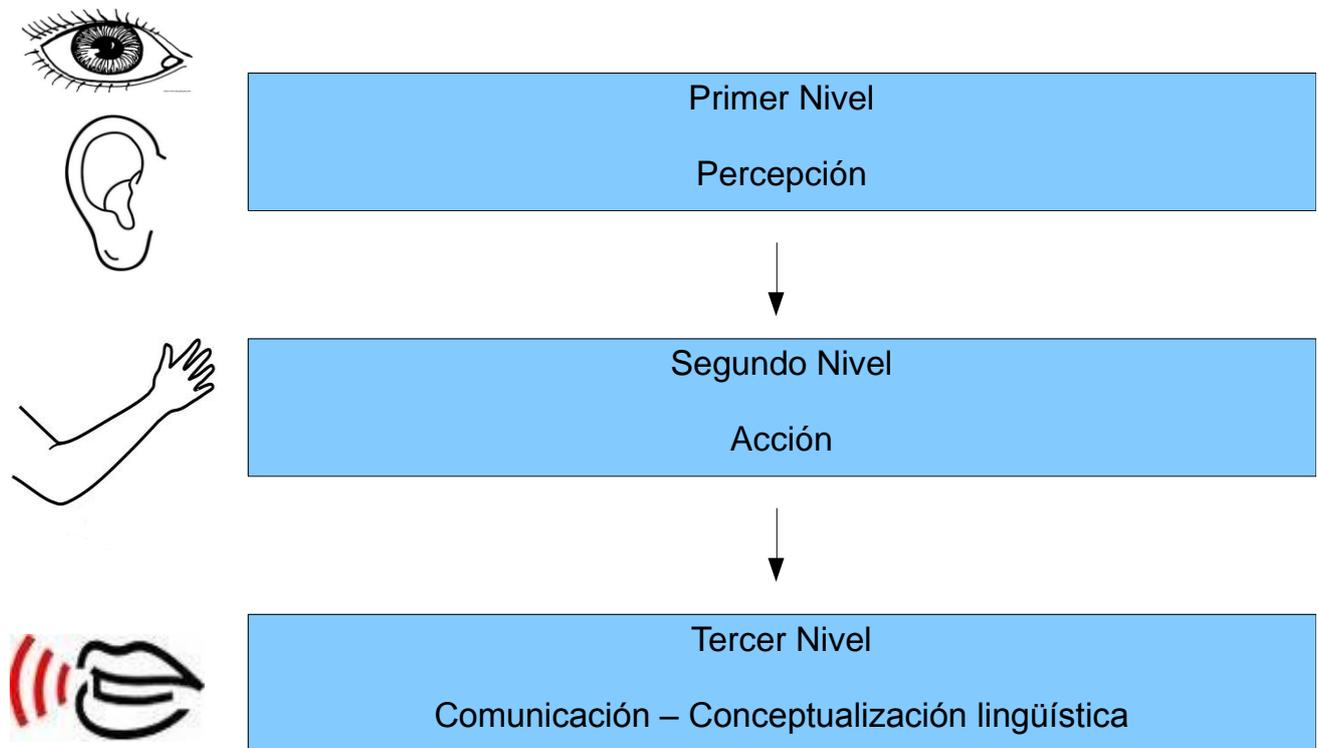


Figura 1. Niveles de representaciones espaciales. La jerarquía de niveles propuesta tiene relación con el tipo de tarea a desempeñar (localizar un objeto, manipular un objeto, navegar a través de los objetos).

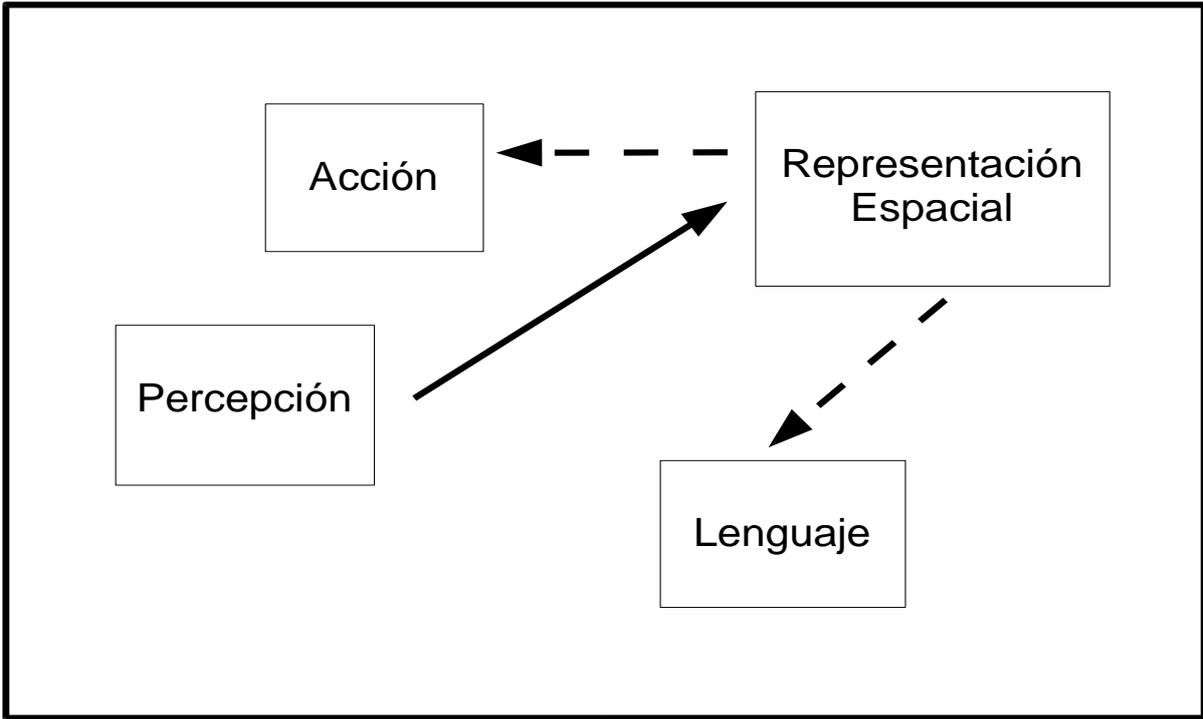


Figura 2. Diagrama esquemático de los tres tipos principales de representación espacial según rol.

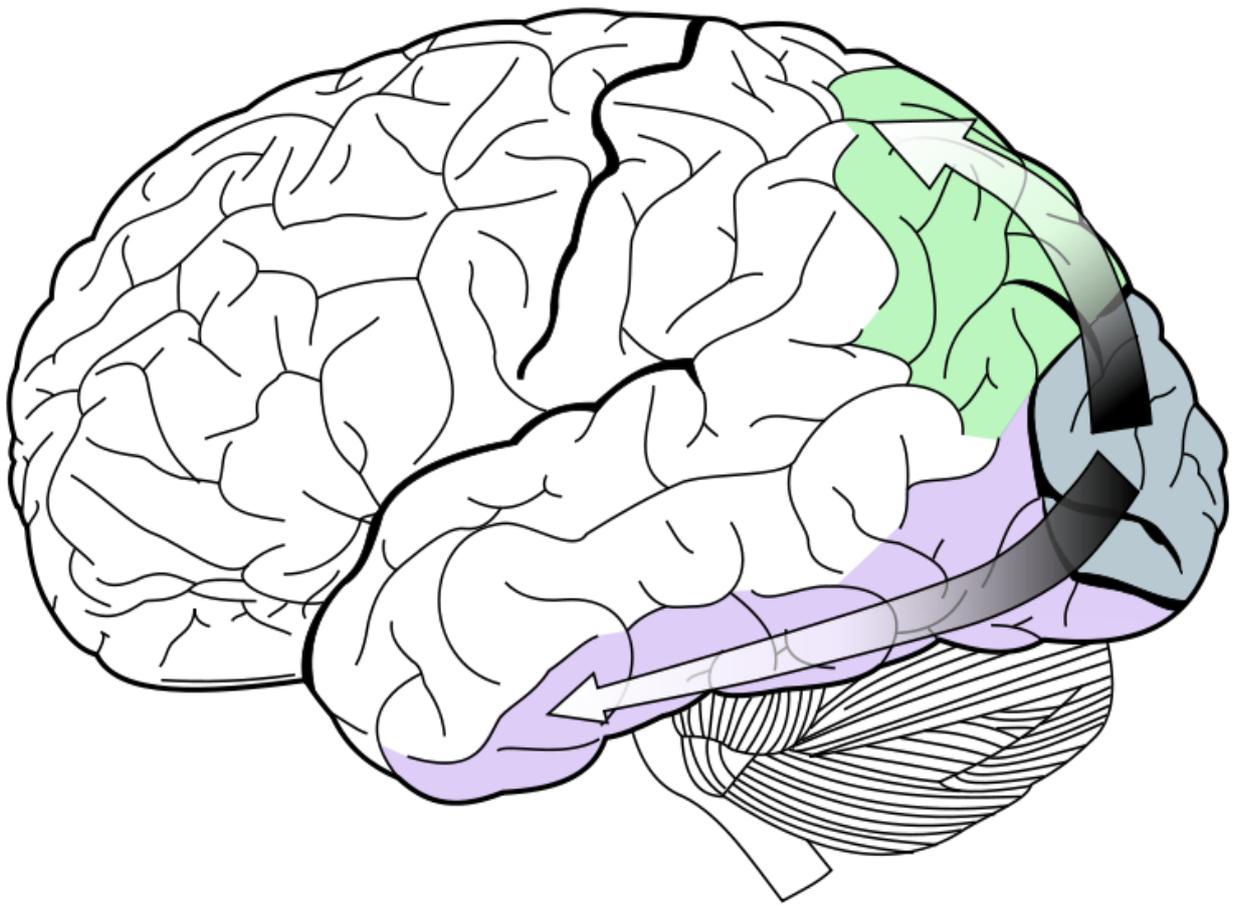


Figura 3. Vías del “qué” y del “dónde” a nivel neural. La vía para reconocer un objeto parte desde la corteza extrínseca y desemboca en la zona temporal. La vía para la localización espacial del objeto llega a la zona parietal.

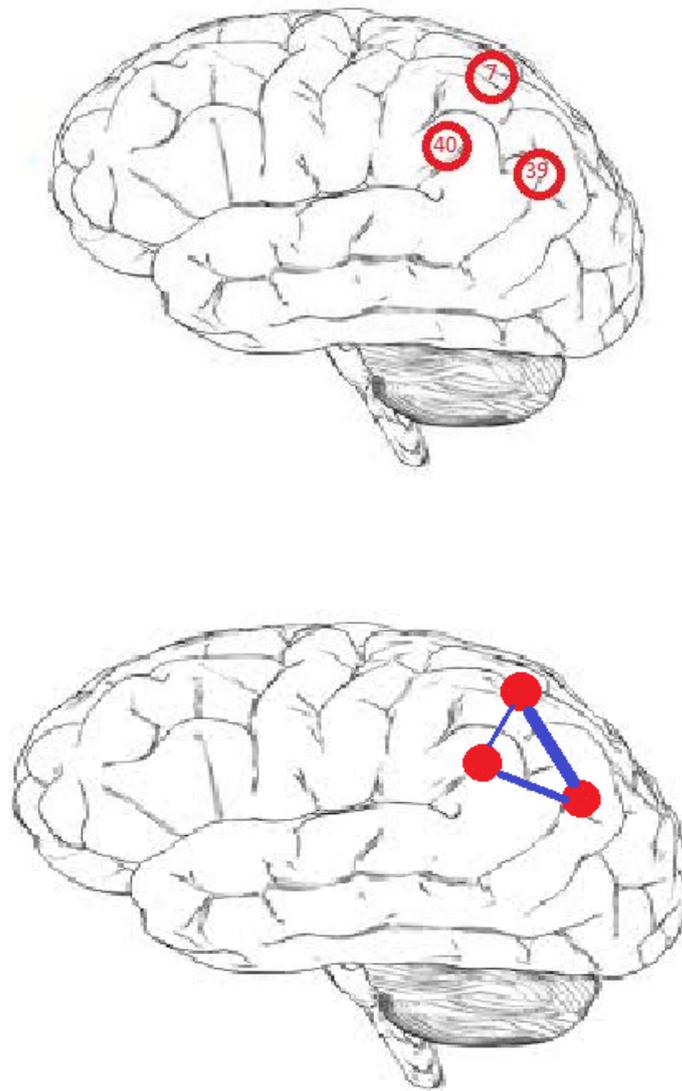


Figura 4. Áreas involucradas en el procesamiento espacial categorial. Estas tres zonas comprenden el parietal inferior (BA39: giro angular; BA40: giro supramarginal) y el parietal superior (BA7).

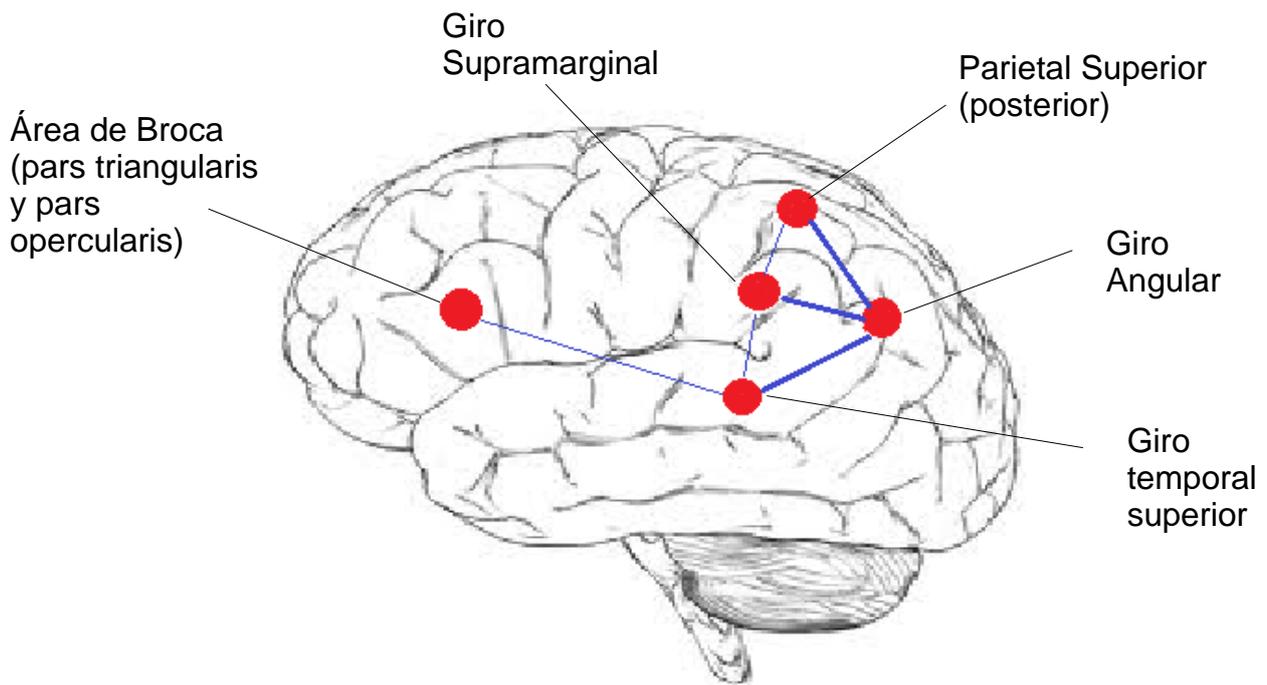


Figura 5. Nodos involucrados en el procesamiento espacial-lingüístico. Las líneas azules representan los *edges* o conexiones entre los nodos de la red. Las líneas más gruesas indican mayor conectividad que aquellas líneas más delgadas (Hangmann et al., 2008).