



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas
Departamento de Ciencias Ambientales

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

BASES NEUROANATÓMICAS DEL PROCESAMIENTO DE LOS RASGOS CONCRETOS Y ABSTRACTOS DE LOS CONCEPTOS. INVESTIGACIÓN MEDIANTE SPECT CEREBRAL

Tesis
que para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS DEL COMPORTAMIENTO
(OPCIÓN NEUROCIENCIAS)**

presenta

Víctor Manuel Patiño Torrealva

Comité tutelar

Dr. Víctor Manuel Alcaraz Romero (Director)

Dra. Josefina Ricardo Garcell (Co-Directora)

Dr. Andrés González Garrido

Guadalajara, Jalisco

Diciembre de 2005

Agradecimientos

La realización de una tesis doctoral no solamente representa la culminación de un esfuerzo y un trabajo científico que permite al sustentante la obtención del máximo grado académico. Es, también, el resultado último de un proceso de formación académica y personal que ha podido ser completado hasta el final del trayecto; el cierre de un período de la vida. Por ello, quisiera hacer un reconocimiento a las personas a quienes debo lo más significativo de mi formación:

Al Prof. Agustín Rincón Robledo, mi maestro de quinto y sexto año de primaria, quien no sólo me enseñó lo que decían los libros de texto, sino también una serie de principios cuya trascendencia comprendí con el paso de los años. Ignoro en dónde se encuentra, aunque lo imagino, y espero algún día poder abrazarlo y poner en sus manos este modesto trabajo.

A mi entrañable amigo y compañero Enrique Álvarez Alcántara, con quien descubrí todo aquello que no nos enseñaban en la Facultad y que a fuerza de estudio y discusión se convirtió en la base de nuestra concepción teórica en Psicología. Sin duda, con él aprendí mucho más que dentro de las aulas.

A mis maestros Liubov Semiónovna Tsvetkova, Oleg Tijomirov, Julieta Heres Pulido y Miguel Ángel Villa Rodríguez, quienes contribuyeron significativamente a mi formación como neuropsicólogo.

A la Dra. Josefina Ricardo Garcell, quien además de impulsarme a formarme como investigador me ha honrado con su cariñosa amistad.

De igual manera, estoy en deuda permanente con todos aquellos que me han alimentado con algo de sí mismos:

Con mis padres, Víctor Manuel y Evangelina, que constituyen el más alto ejemplo de cómo ser padre, hermano, hijo, profesionista y hombre.

Con mis hijos, Rodrigo y Ana Victoria, que son la motivación más grande de cuanto hago.

Con mi compañera Ana Ruth, quien ha sido un apoyo y sostén muy importante para mi vida, sin el cual no habría llegado hasta este momento.

Con mis hermanos, Anita, Alex y Enrique, porque siempre he contado con ellos incondicionalmente.

Finalmente, agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, mi casa, por todo el apoyo que he recibido desde hace ya más de dieciocho años, al Dr. Víctor Manuel Alcaraz Romero, por haberme abierto las puertas de su Laboratorio para hacer el Doctorado, al Instituto Nacional de Psiquiatría, que me permitió llevar a cabo y financió esta investigación, y a mis estudiantes de todas las épocas, porque aún sin saberlo me han hecho estudiar mucho más de lo que yo les exijo a ellos.

INDICE

Resumen	-----	5
Abstract	-----	6
Introducción	-----	7
I. Concepto y Representación Semántica	-----	11
II. La Memoria Semántica y su investigación en Neurociencias	-----	24
Los conceptos y la memoria semántica	-----	24
Bases neuroanatómicas del conocimiento conceptual. Modelos teóricos	-----	31
III. El SPECT cerebral como técnica de investigación en Neurociencias Cognitivas	----	44
Actividad neuronal y flujo sanguíneo cerebral	-----	44
La técnica del SPECT cerebral	-----	47
Los estudios de SPECT cerebral con activación	-----	52
IV. Estudio experimental mediante SPECT cerebral	-----	58
1) Planteamiento del problema	-----	58
2) Objetivo de la investigación	-----	59
3) Hipótesis	-----	59
4) Método	-----	59
a) Sujetos	-----	59
b) Material y equipo	-----	60
c) Paradigma experimental	-----	60
d) Procedimiento	-----	65
5) Resultados	-----	69
a) Resultados conductuales	-----	69
b) Resultados de los estudios con SPECT cerebral	-----	72
V. Discusión	-----	82
VI. Conclusiones	-----	93

Referencias Bibliográficas -----	95
Apéndice I. Formato de registro para selección de la muestra -----	110
Apéndice II. Hoja de respuestas -----	112

Resumen

En la actualidad, la descripción de los sistemas neuronales que subyacen al procesamiento de conceptos concretos y abstractos es aún objeto de investigación. Se investigó el sustrato neuroanatómico de este procesamiento contrastando, mediante SPECT cerebral, los patrones de perfusión cerebral ante el procesamiento de rasgos concretos y abstractos durante una tarea de juicio semántico en voluntarios sanos. La tarea experimental requería que los participantes proporcionaran respuestas “sí” o “no” a pares de palabras de acuerdo con su congruencia semántica. Se practicaron dos estudios de SPECT cerebral, a dosis fraccionadas, a cada participante. En cada estudio, se obtuvo una imagen basal en reposo y otra en activación, después de la realización de la tarea experimental. Durante una de las condiciones de activación, los participantes llevaron a cabo la tarea experimental con estímulos concretos, mientras que lo hicieron con estímulos abstractos durante la otra. Tanto el procesamiento de rasgos concretos como el procesamiento de rasgos abstractos activaron regiones en la corteza temporal lateral, así como en las regiones ventrales y laterales de la corteza occipital, bilateralmente. El procesamiento semántico de rasgos concretos activó, además, el giro postcentral derecho, mientras que la corteza premotora derecha se activó durante el procesamiento de rasgos abstractos. El contraste entre ambas imágenes de activación muestra una distribución más extensa durante el procesamiento de estímulos concretos, incluyendo regiones parieto-occipitales y prefrontales, predominantemente derechas. Estos datos son coincidentes con los postulados básicos de la Teoría de la Codificación Dual (Paivio, 1971, 1990), de acuerdo con la cual las representaciones concretas incluirían tanto información verbal como información codificada en forma de imagen, mientras que las representaciones abstractas se codifican en una modalidad exclusivamente verbal, involucrando sistemas neuronales parcialmente segregados.

Abstract

Conceptual knowledge is thought to be represented in a large distributed network throughout both hemisphere cortices. Nonetheless, the description of the neural systems underlying the processing of concrete and abstract concepts is still a matter of debate. We investigated the anatomical organization of this issue, using brain SPECT, by contrasting brain perfusion patterns elicited by the processing of concrete and abstract concepts during a semantic judgment task performed by eight healthy volunteers. The experimental task required the subjects to make “yes or no” responses to each stimulus according to their congruency. Two perfusion SPECT studies using the split-dose technique were performed to each subject. For each study, a rest and an activated SPECT image were obtained. During one of the activated conditions, subjects performed the experimental task with concrete stimuli, whereas abstract stimuli were presented during the other. Both, concrete and abstract concept processing, commonly activated regions in lateral temporal and the ventral and lateral occipital cortices. Concrete concept processing also activated the right postcentral gyrus, whereas the right premotor cortex was active during abstract concept processing. Contrasting between both activation images, indicate a broader general activation for concrete than for abstract stimuli, recruiting parietal-occipital and prefrontal regions, predominantly in the right hemisphere. These results are in line with the basic assumptions of the dual-coding theory by Paivio (1971, 1991), according to which concrete cognitive representations involve image-based as well as verbal information, whereas abstract representations are coded exclusively in a verbal modality, both recruiting partially segregated neural systems.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ubica dentro de un tema poco estudiado en el ámbito de las Neurociencias: el referente a las bases cerebrales del procesamiento semántico. Si bien la capacidad de representarse la realidad en forma de categorías conceptuales es reconocida como uno de los rasgos distintivos del ser humano en el plano cognoscitivo, la explicación de los procesos fisiológicos y de las bases neuroanatómicas de este tipo de actividad ha sido escasamente abordada desde la perspectiva de la investigación científica.

Inclusive, puede observarse que, aún en entre los profesionales de la Neuropsicología y del campo de las Neurociencias Cognitivas en general, existen algunos equívocos respecto a la naturaleza de estos procesos, genéricamente llamados “semánticos”. La mayor parte de las veces, se piensa que se trata de un subproceso o componente del lenguaje, debido a la indiscutible relación que tales representaciones conceptuales tienen con la palabra. Sin embargo, si se analizan cuidadosamente los procesos de desarrollo, organización y alteraciones de las representaciones conceptuales, que han sido estudiados por la Psicología Cognitiva durante ya varias décadas, pronto se descubre que tal reducción de las mismas a un simple componente del lenguaje resulta errónea.

La identificación por parte de Tulving, a inicios de los años 70 del siglo pasado, de un sistema de memoria “semántica” en el que se almacenan los conceptos o significados de las palabras y, en general, los conocimientos sobre la realidad, sentó las bases para que este tipo de procesos cobraran carta de ciudadanía como temas de investigación en Neurociencias. No obstante, y como se mencionó líneas arriba, la producción científica en este tema ha sido hasta ahora mucho menor que la que se ha registrado en torno a otros sistemas de memoria; puede afirmarse que la memoria semántica ha sido mucho más estudiada por la Psicología y por la llamada Ciencia Cognitiva que por las Neurociencias.

En particular, en nuestro país se han investigado los más diversos temas en relación con la memoria episódica e incluso con la memoria de procedimientos en el ámbito de las Neurociencias. Se han utilizado métodos clínicos, electrofisiológicos y, más recientemente, de neuroimagen funcional, de manera que se ha publicado gran cantidad de datos al respecto. Sin embargo, muy poco o casi nada se ha hecho en el terreno de la memoria semántica.

El interés de quien suscribe por abordar estos temas se inició, ciertamente, como parte del estudio del lenguaje, su desarrollo, estructura psicológica y sus alteraciones como resultado de lesiones en el cerebro. La observación clínica de pacientes afásicos condujo al interés por estudiar los aspectos más complejos del lenguaje, los más distintivos y, sorprendentemente, más resistentes al daño cerebral: los significados y sus relaciones. Pronto, se pasó del estudio de la actividad conceptual en pacientes afásicos al interés por acercarse a la identificación y explicación de algunos aspectos de la memoria semántica en personas sanas.

El proyecto de investigación que dio origen a este trabajo de tesis de grado incluía, inicialmente, la utilización de dos técnicas de investigación de manera complementaria. Por una parte, el SPECT cerebral como técnica de neuroimagen funcional y, por otra, la Estimulación Magnética Transcraneal (EMT), como técnica de interferencia funcional cortical. La primera identificaría regiones corticales presumiblemente relacionadas con el procesamiento semántico de conceptos concretos y abstractos; la segunda técnica permitiría observar la posible dificultad o “alteración transitoria” de dicho procesamiento al inhibirse funcionalmente alguna o algunas de las regiones previamente identificadas. En particular, interesaba provocar dicha interferencia sobre alguna región presumiblemente involucrada selectivamente en el procesamiento de estímulos abstractos, por ser éstos los que aún no se identifican de manera más o menos clara, como ha sido el caso respecto a las bases neuroanatómicas de los conceptos concretos.

No obstante, la realización de esta fase estaba sujeta a los resultados que se obtuvieran del estudio de neuroimagen. La razón de ello es que la aplicación de la EMT está indicada solamente para estimular la corteza de la convexidad. Adicionalmente, la colocación de la bobina en lugares cercanos al oído provoca molestias debidas al ruido que produce durante la

estimulación. Como puede corroborarse al observar los resultados obtenidos en este estudio, las regiones identificadas como activas durante el procesamiento semántico de conceptos abstractos no son susceptibles de ser estimuladas directamente mediante esta técnica, por lo que esta última fase de la investigación no pudo ser realizada.

En este trabajo se informa sobre la investigación llevada a cabo sobre las bases neuroanatómicas del procesamiento semántico de rasgos concretos y abstractos de los conceptos. Los dos primeros capítulos se centran en los antecedentes teóricos y empíricos en el estudio de la memoria semántica en Psicología y en Neurociencias. En ellos, se revisan los principales modelos teóricos y se hace un recuento de las investigaciones empíricas más trascendentales en el tema, a partir de las cuales se plantea el problema y los objetivos de la presente investigación.

El tercer capítulo aborda las bases y posibilidades de empleo de la técnica del SPECT cerebral. La utilización del SPECT cerebral como técnica para el estudio de la actividad cognoscitiva no ha sido muy extendida. En general, esta técnica ha sido considerada como muy limitada en lo que se refiere a su resolución temporal y espacial. Si bien es cierto que, por sus características, esta técnica es muy útil para estudiar estados más que procesos fisiológicos, también es verdad que durante los últimos años se han desarrollado equipos y procedimientos que permiten lograr una resolución espacial tan buena como la que ofrece la Tomografía por Emisión de Positrones (PET, por sus siglas en inglés), de uso mucho más extendido para estos fines en el mundo entero. Asimismo, se han desarrollado procedimientos capaces de identificar cambios hemodinámicos asociados a procesos fisiológicos. En este capítulo se abordan las posibilidades de empleo del SPECT cerebral con activación para el estudio de la actividad cognoscitiva.

El cuarto capítulo constituye el reporte de investigación en sí mismo. Se estructuró como informe de investigación, especificando el planteamiento del problema, los objetivos, hipótesis, métodos, procedimientos y resultados. En él, entonces, se encuentran los datos obtenidos.

El quinto capítulo contiene la discusión de los resultados obtenidos en este estudio. La comparación de los datos con los obtenidos por otros investigadores, así como la explicación del significado teórico que pueden tener a la luz de los modelos actuales se encuentra en este capítulo. Finalmente, a manera de un pequeño sexto capítulo, se incluye una conclusión general, en la que se menciona la posible utilidad de este estudio, así como los puntos de partida para la formulación de nuevos proyectos de investigación.

I

Concepto y Representación Semántica

Uno de los temas que más ha atraído la atención de quienes se interesan por comprender al ser humano es el de sus diferencias cuantitativas y cualitativas respecto a las demás especies con las que cohabita en este planeta. Basta mirar los extraordinarios logros obtenidos en 65 mil años de civilización para constatar que entre ésta y las demás especies cercanas existen diferencias infinitamente grandes, a pesar de su innegable cercanía evolutiva.

Resulta claro que la civilización ha sido posible solamente sobre la base del desarrollo de nuevas capacidades cognoscitivas en nuestra especie. Entre ellas, una de las más importantes en todos los aspectos de la vida es la capacidad de *categorizar* la realidad. Gracias a ella, a pesar de que a cada momento los individuos se enfrentan a objetos, fenómenos o situaciones únicas y en sentido estricto irrepetibles, pueden identificar lo que entre ellas existe de común, y actuar en consecuencia de una manera general. Cada objeto individual es reconocido como un ejemplar de una clase o categoría, lo que permite asumir que comparte una serie de características con los demás objetos que pertenecen a ella. De esta manera, el individuo es capaz de utilizar su experiencia y conocimiento anterior para actuar de manera eficaz, sin tener que conocer por primera vez a cada cosa con la que se encuentra. Incluso, ello le posibilita para transmitir dicha experiencia y conocimiento a sus congéneres.

Esta capacidad de categorización apareció paralelamente al surgimiento del lenguaje, proceso en el que pueden identificarse a la vez antecedentes evolutivos naturales y factores sociales que propiciaron su origen y desarrollo (Pinker, 1994; Alcaraz & Martínez-Casas, 2000). De acuerdo con Vigotsky (1931/1995), el signo lingüístico tuvo su origen en la actividad instrumental y la fabricación de las primeras herramientas. El instrumento externo, que originalmente hacía las veces de señal para la organización de la actividad y para la evocación de contenidos psicológicos, fue reemplazado posteriormente por la palabra. Progresivamente, esta última se

convirtió en un signo, portador de un significado. Con ello, el papel mediador que jugaba el instrumento para la organización de la actividad fue también asumido por el signo. Sin embargo, la diferencia fundamental entre ambos mediadores consiste en su orientación: mientras el primero se orienta hacia afuera, hacia los objetos con los que se realizan las acciones, el segundo se orienta hacia adentro, hacia la propia conducta y la de los demás.

Es precisamente el signo verbal, y su indisoluble significado, la unidad de análisis que Vigotsky tomó para estudiar las formas complejas de representación abstracta. El significado de la palabra constituye, desde este punto de vista, la unidad entre lenguaje y pensamiento. Desde el punto de vista psicológico, el significado es una representación generalizada de una clase de objetos o fenómenos, un *concepto* que, aunque no puede existir desligado de una palabra, es al mismo tiempo relativamente independiente de ella. Adicionalmente, Vigotsky (1932/1993) describió cómo este significado (concepto) evoluciona a lo largo de la vida de la persona, tanto en lo que se refiere a la información contenida en él a medida que se adquieren nuevos conocimientos, como en su estructura psicológica interna.

El *concepto*, entonces, es una unidad psicológica que constituye una categoría en la que se incluyen conocimientos de diferentes tipos respecto a los objetos incluidos en ella (Jahnke & Nowaczyk, 1998). Se diferencia del término *significado* solamente en virtud de enfoque; mientras este último es un término lingüístico que se refiere al contenido denotativo que tiene una palabra en una comunidad determinada, el término concepto se refiere al conjunto de representaciones mentales que conforman una categoría (Murphy, 2002). Finalmente, ambos términos hacen referencia, de una o de otra forma, al mismo fenómeno, visto desde perspectivas teóricas distintas. Como posteriormente se describirá, los conocimientos contenidos en un concepto conforman *rasgos* y pueden representarse en el sistema cognitivo de diversas formas.

De esta manera, se ha considerado que un concepto está compuesto por un conjunto de *rasgos semánticos* primitivos, de manera análoga a como la materia está compuesta por átomos. Genéricamente, un rasgo semántico constituye una unidad de información sobre un atributo o

característica propia de las entidades particulares incluidas en un concepto. Siendo más simple que el concepto del que forma parte, un mismo rasgo semántico puede estar contenido en diferentes conceptos a la vez. Es así como un gran número de conceptos puede incluir a un conjunto relativamente pequeño de rasgos principales. Por ejemplo, el concepto de “ave” incluye rasgos como “tener alas”, “poner huevos” y “ser vivo”, pero otros conceptos también incluyen algunos de ellos; “ser vivo”, por ejemplo, es un rasgo común a todas las especies animales y vegetales. Por otra parte, un rasgo semántico es a la vez un concepto en sí mismo (Murphy, 2002).

No todos los conceptos pueden ser considerados del mismo tipo, ni existe un solo modelo explicativo de ellos. De hecho, pueden identificarse diferentes criterios para su clasificación (una discusión sobre este tema se puede encontrar en Medin, Lynch & Solomon, 2000). Así, pueden considerarse como criterios principales de clasificación: *a)* la estructura de los conceptos, *b)* los procesos implicados en su uso y *c)* su contenido.

Desde el punto de vista de su estructura, resulta relevante el análisis sobre las diferencias en los tipos de rasgos semánticos contenidos en los conceptos, así como sobre las relaciones que guardan dichos rasgos entre sí. Por su parte, desde el punto de vista de los procesos implicados en su uso, la formación y las estrategias a partir de las cuales dicha estructura se hace posible resultan temas centrales. Sin embargo, estos dos tipos de temas no pueden tratarse con independencia entre sí, ya que los procesos de formación de conceptos y la estructura de los mismos se implican mutuamente (Anderson, 1978). Finalmente, de acuerdo a su contenido, los aspectos centrales a tomarse en consideración son los referentes a los dominios dentro de los cuales se ubican los conceptos.

Pero ninguna clasificación que pueda hacerse con base en estos u otros criterios puede ser analizada al margen de los modelos teóricos que les dan fundamento. Por tanto, una revisión suscita de los modelos principales puede aportar elementos importantes para la comprensión de estos temas.

Un modelo ampliamente conocido, que se basa principalmente en un criterio estructural para el estudio de los conceptos, es el denominado *modelo clásico*. Los antecedentes de este modelo pueden remontarse hasta Aristóteles, bajo el postulado fundamental de que los rasgos semánticos que componen un concepto son aquéllos que resultan necesarios y suficientes para definirlo (Armstrong, Gleitman & Gleitman, 1983; Osherson & Smith, 1981). El reconocimiento de un concepto se lleva a cabo, de acuerdo con esta perspectiva, mediante el reconocimiento de estos rasgos suficientes y necesarios. Asimismo, la asignación de una entidad particular a la categoría conceptual correspondiente implica necesariamente algún proceso de comparación entre los rasgos de ambas.

Sin embargo, la definición de qué rasgos resultan suficientes y necesarios para un concepto no siempre es una tarea fácil. Incluso, parece que para algunos conceptos no es posible encontrar alguno con este carácter. Wittgenstein (1953) demostró que tal era el caso del concepto *juego*; parece que no hay un rasgo que simplemente sea común a todos los tipos de juego. No en todos ellos hay ganadores y perdedores, no todos involucran la participación de dos o más personas, no existe un lugar o implemento sobre el que se jueguen todos los juegos, etc. Bajo estas condiciones, si se encuentra un rasgo común, no es definitorio, pues también sería característico para otros conceptos. Por otra parte, no todas las personas reconocen los mismos rasgos como definitorios de la categoría y, en ocasiones, se consideran como tales algunos que no existen en todos los miembros de la misma. Por ejemplo, un rasgo muy frecuentemente considerado como definitorio para el concepto “ave”, antes referido, es el de “volar”, que no se encuentra presente en todos los miembros de la categoría.

Sin embargo, las personas identifican, sin muchas posibilidades de error, aquellas actividades que pueden incluirse en la categoría *juego*, o los ejemplares pertenecientes a la categoría *ave*. Ello significa que no en todos los casos es indispensable la existencia de rasgos suficientes y necesarios para la identificación de ejemplares pertenecientes a categorías conceptuales, por lo que dicha identificación puede llevarse a cabo por medio de otros criterios. Una de las formas alternativas en las que se realiza este proceso es la identificación de rasgos que, sin ser todos ellos pertenecientes a todos los ejemplares de la categoría, se encuentran repetidamente entre

los mismos con cierta probabilidad. La presencia de un conjunto de rasgos entre los miembros de una categoría, a pesar de que no todos ellos se encuentren por igual en todos los casos (y por lo tanto no se cumpla con el criterio de ser suficientes y necesarios), forma lo que se ha denominado un *parecido familiar* entre dichos miembros.

La identificación de este *parecido familiar* entre los ejemplares de una categoría difícil de definir mediante rasgos suficientes y necesarios parece ser la base sobre la cual se realiza la actividad conceptual en tales casos. Dicha identificación se realiza de manera análoga al reconocimiento del rostro de una persona como perteneciente a una familia a partir del análisis de los rasgos faciales. En este ejemplo, destaca el hecho de que no hay dos rostros iguales entre los miembros de la familia, pero todos ellos tienen un parecido como resultado de compartir ciertos rasgos, aunque puede ocurrir que ninguno de ellos se encuentre en todos los miembros.

Adicionalmente, se ha encontrado que no todos los ejemplares de una categoría poseen por igual los rasgos que los identifican como pertenecientes a ella. Existen ejemplares que son más típicos de ella y otros que no lo son (Rosch, 1975). El reconocimiento de ello condujo a la clasificación de los rasgos semánticos en *rasgos definitorios* y *rasgos característicos* (Keil & Batterman, 1984). Los primeros son fundamentales y centrales en la definición de la categoría, mientras que los segundos son propios de los ejemplares típicos de la misma. El reconocimiento inmediato de una entidad como ejemplar de una categoría se realiza, en muchas ocasiones, comparando sus atributos respecto a los que poseen los ejemplares típicos de ella.

Con base en lo anterior, se propuso un segundo modelo para la explicación sobre los conceptos: *el modelo de prototipos*. De acuerdo con él, los conceptos se encuentran representados por prototipos (conjunto de rasgos típicos) que se encuentran en la mayoría de los ejemplares más comunes de la categoría, y a partir de cuyo parecido se asigna comúnmente un ejemplar nuevo a la misma (Rosch & Mervis, 1975; Rosch, Mervis, Gray, Johnson & Boves-Barem, 1976). El grado en el que un ejemplar corresponde con el prototipo de su categoría depende del número de atributos que comparte con él. Por su parte, los miembros no típicos de la

categoría se caracterizan por el escaso número de atributos compartidos por los prototipos, aunque ello no determina su exclusión de la misma.

El modelo de prototipos muestra cómo es que algunas entidades son clasificadas como miembros de una categoría en forma más rápida y precisa en experimentos semánticos (Rosch, Simpson & Miller, 1976). Ello ocurre en virtud de la semejanza que dichas entidades posean con respecto a los prototipos de la categoría.

Relacionada con la teoría de prototipos, Rosch, Simpson y Miller (Op. Cit.) identifican niveles distintos en la jerarquía conceptual. De acuerdo con ello, existen tres niveles principales de clasificación jerárquica conceptual: el nivel supraordenado, el nivel básico y el nivel subordinado. Estos tres niveles se incluyen desde el primero hasta el último. Con base en los datos experimentales obtenidos por ellos, el nivel básico de categorización es el que más fácil y comúnmente se representa cognoscitivamente para las personas. Los conceptos ubicados en este nivel, que corresponden con los sustantivos más comunes del léxico, son los que incluyen una mayor cantidad de rasgos semánticos, lo que significa una mayor riqueza de contenido. Por ello, el reconocimiento de ejemplares como pertenecientes a estas categorías se realiza en un menor tiempo y con mayor eficiencia.

En contraste, las categorías supraordenadas, que contienen a las de nivel básico, se definen con base en un menor número de atributos, que poseen un carácter general y poco específico para ejemplares concretos. Por su parte, las categorías subordinadas se definen por atributos muy específicos, por medio de los cuales se diferencian grupos de ejemplares que comparten los rasgos generales que los ubican en una categoría de nivel básico, pero que a su vez comparten un número de rasgos particulares suficientes para incluirlos en un grupo.

Esta teoría de los niveles básicos de categorización tiene, no obstante, algunas limitaciones. Por una parte, los datos a partir de los cuales se formuló fueron aquellos obtenidos de la categorización hecha por sujetos tomando como base categorías llamadas “naturales”, que son las que se forman de una manera casi espontánea en las personas a partir de su experiencia

concreta. No se ha logrado demostrar que los principios de categorización planteados arriba se apliquen de manera inequívoca en el caso de otras categorías, aprendidas formalmente o menos “naturales”. En segundo lugar, y más importante, se ha demostrado que el incremento en los conocimientos respecto a los conceptos pertenecientes a las categorías de nivel básico determina un cambio en el nivel de conceptualización de los sujetos; éste se traslada progresivamente del nivel de las categorías básicas al de las subordinadas (Tanaka & Taylor, 1991; Palmer, Jones, Hennessy, Unze & Pick 1989; Johnson & Mervis, 1997, 1998). Con ello, se ha probado que la categorización conceptual no tiene sus bases universales en los principios planteados inicialmente por Rosch y colaboradores. No obstante lo anterior, el modelo de prototipos dió lugar a mucha investigación sobre los conceptos en la Psicología Cognitiva.

Un tercer modelo explicativo sobre los conceptos en Psicología es el conocido como *modelo de ejemplares*. Aunque similar al modelo de prototipos en el sentido de la existencia de un modelo característico para los ejemplares de una categoría, se distingue de él precisamente por el carácter que dicho modelo tiene. El prototipo de una categoría se define por un conjunto de rasgos característicos, que tienden a estar presentes en un número significativo de ejemplares de la categoría; el ejemplar, en cambio, es un representante específico de ella, que se asume como ejemplo a partir del cual se categoriza (Medin & Shoben, 1988). A pesar de sus diferencias respecto al modelo de prototipos, este modelo no se aparta mucho de él, estando los procesos de categorización basados en la comparación de rasgos en ambos casos.

Los tres modelos que hasta aquí han sido descritos tienen en común el énfasis puesto en la existencia de rasgos semánticos y en su identificación como elementos sobre los cuales se realiza la actividad conceptual. A pesar de las diferencias teóricas entre ellos, todos estos modelos consideran a la comparación de rasgos como la operación básica mediante la que se identifica una determinada entidad como perteneciente a una determinada categoría conceptual. Adicionalmente, estos modelos son los que han servido de base a la mayor cantidad de investigaciones sobre este tema en Psicología Cognitiva y en Neurociencias.

No obstante, puede destacarse un cuarto modelo que, a pesar de partir de bases teóricas diferentes, complementa en algunos aspectos lo que los modelos anteriores destacan: este cuarto modelo es el de *teorías*. Propuesto por Murphy y Medin (1985), plantea que los conceptos se forman y se usan con base en una comprensión “teórica” del mundo, más que en una lista de rasgos o atributos. Esta teoría, sobre la que se basa un individuo, no necesariamente es de tipo científico, sino que constituye un marco explicativo con base en el cual se representan los objetos y fenómenos del mundo. Adicionalmente, no se contraponen al reconocimiento de la existencia de rasgos o atributos de las cosas, sino que los incluye en dicho marco explicativo, confiriéndoles un valor. Es de esta manera que, según este modelo, un ave se reconoce no solamente por el hecho de que tiene alas y vuela, sino también a partir del conocimiento que la persona tenga sobre la utilidad que ello representa para el animal como recurso de defensa frente a las amenazas del medio, o incluso del conocimiento sobre los principios físicos del vuelo.

De esta manera, la categorización conceptual no se reduce a la identificación de un conjunto de atributos, sino que incluye a la vez una serie de vínculos lógicos de relación entre ellos. De acuerdo con esto, las entidades particulares se incluyen en la categoría en la que mejor se explica el patrón de atributos que poseen (Rips, 1989).

Como puede apreciarse, desde el punto de vista de los procesos que tienen lugar en la actividad conceptual, la comparación de rasgos constituye solamente una tarea entre otras, y de ninguna manera aparece en forma aislada. Además de ella, el conocimiento llamado por algunos “enciclopédico” parece jugar también un papel importante en el uso de los conceptos. No obstante, debe hacerse notar que la mayor parte de las investigaciones que hasta ahora se han realizado en el terreno de los conceptos han recurrido primordialmente al uso de categorías lógicas y naturales, taxonómicamente organizadas, y al proceso de análisis y síntesis de los rasgos como operación principal. Un concepto o categoría lógica tiene la característica de estar bien definido a partir de uno o más rasgos, así como de reglas de relación entre ellos, establecidas de manera clara y no ambigua; un ejemplo de este tipo de conceptos es el de *rectángulo*, como figura compuesta de cuatro lados y cuatro ángulos rectos formados por ellos.

Estos conceptos se definen por lo general con base en principios lógicos y pueden ser explicados desde el modelo clásico expuesto anteriormente.

Los conceptos naturales, por su parte, se definen a partir de criterios menos inequívocos, por lo que sus límites son a menudo confusos. Corresponden a los conceptos aprendidos de manera cotidiana a lo largo de la vida y cuyos ejemplares son entidades pertenecientes al mundo cotidiano. Estos conceptos son los que se definen por medio conjuntos de rasgos no definitorios y son explicados desde los modelos de prototipos, de ejemplares e incluso de teorías.

Sin embargo, estos dos tipos de categorías o conceptos (lógicos y naturales) no son los únicos existentes. Un importante lugar en la clasificación de los conceptos lo ocupan aquéllos relacionados con propósitos particulares. Estos conceptos son aquéllos que se definen no sobre la base de un sistema jerárquico o paradigmático definitivo, sino a partir de una utilidad o un contexto concreto. Barsalou (1983, 1985) estudió este tipo de conceptos, señalando que pueden diferir de manera importante respecto a los conceptos taxonómicamente organizados. Ejemplo de estos conceptos relacionados con propósitos es el de “cosas que deben recuperarse en caso de incendio”, o “cosas que se llevan a un día de campo”.

De acuerdo con este autor, los ejemplares de estas categorías conceptuales difieren de los de las categorías naturales en el sentido de que no existe entre ellos el principio de semejanza de atributos que es válido para estos últimos. En consecuencia, los principios para el surgimiento de ejemplares prototípicos son también distintos en el caso de estas categorías, siendo su relación con las metas establecidas un principio más importante para ello que la semejanza de rasgos. En este sentido, nuevamente aparecen vínculos abstractos entre los atributos y, en este caso, las metas, como elementos básicos para la realización de la categorización. Así, la actividad conceptual se basa, bien sea en la comparación de rasgos por virtud de su semejanza o identidad, bien por su relación a partir del contexto o de algún otro criterio exterior. Por tanto, al estudiarse la actividad conceptual la tarea experimental resulta de una importancia central, debido a que favorece la realización de unas u otras operaciones específicas.

No obstante, e independientemente de lo anterior, puede considerarse que los conceptos tienen en los rasgos semánticos su elemento esencial. Cualquiera que sea el tipo de categorías sobre la que se haga el análisis, los procesos involucrados en el reconocimiento de ejemplares como miembros de ellas se basan en el análisis y la comparación de rasgos entre dichos ejemplares y la categoría misma, un prototipo o un ejemplar específico. Adicionalmente, es preciso señalar que los rasgos semánticos que definen un concepto son *representaciones* mentales referentes a atributos o características de los ejemplares agrupados en dicho concepto.

El término *representación* se ha utilizado en las ciencias cognitivas para referirse a conjuntos particulares de *símbolos* que denotan objetos, fenómenos o cualidades del mundo. En este caso, el término *símbolo* no tiene una acepción lingüística, sino que se refiere a “*estados físicos de unidades de materia, tales como los chips en una computadora o las neuronas en el cerebro [que] simbolizan cosas en el mundo debido a que son accionados por dichas cosas a través de nuestros órganos sensoriales así como por lo que provocan una vez accionados*” (Pinker, 1997 p. 25). De este modo, el sistema cognoscitivo está, de acuerdo con esta aproximación, constituido por *símbolos* con base en los cuales se *representan*, entre otras cosas, los atributos o rasgos de los conceptos.

Estos atributos o rasgos pueden corresponder a la estructura física de los objetos o fenómenos (tales como su forma, color o tamaño), o bien a cualidades funcionales, estados o incluso abstracciones (“ético”, “democrático” o “bello”). Desde este punto de vista, pueden diferenciarse dos tipos de representaciones cognoscitivas: las *representaciones concretas*, basadas en el procesamiento de rasgos semánticos referentes a la estructura física de los objetos y que, por tanto, son altamente imaginables, y las *representaciones abstractas*, con poco contenido en forma de imagen y cuya utilización se basa en el procesamiento de rasgos semánticos abstractos.

Paivio (1971; 1990) propuso que la cognición es resultado de la actividad de sistemas simbólicos representacionales especializados para procesar información medioambiental de manera útil para la adaptación, lo que requiere de la representación de conocimientos perceptuales, afectivos y conductuales. La cognición humana se caracteriza, según este autor,

por la capacidad de procesar de manera simultánea y relativamente independiente dos grandes tipos de información: uno de tipo no verbal, que procesa información sobre los objetos y eventos percibidos y experimentados por el individuo, y el otro de tipo verbal, relacionado con el lenguaje.

El modelo teórico de Paivio, conocido como “*Teoría de la Codificación Dual*”, sostiene, entonces, que el sistema cognitivo humano contiene dos subsistemas simbólicos: un sistema no verbal, que incluye representaciones de los objetos y eventos relacionadas con sus propiedades físicas perceptibles y las funciones motoras, así como un sistema verbal, que incluye representaciones lingüísticas por medio de las cuales se pueden representar los objetos y eventos que existen en el mundo. Las representaciones contenidas en estos dos subsistemas cognitivos, a los que Paivio denomina “*imágenes*” y “*logógenos*”¹ respectivamente, forman parte de los sistemas de memoria de largo plazo. Los primeros son representaciones tanto unimodales como multimodales, de carácter sensoriomotriz, que permiten la formación de imágenes de las cosas conocidas por el sujeto. Los segundos son representaciones lingüísticas, sobre todo del nivel léxico, que permiten tanto la inducción de la formación de una imagen como la evocación de elementos de significado (rasgos) de tipo abstracto, que no hacen referencia a las cualidades perceptibles de los objetos.

Estos dos sistemas son, entonces, estructuralmente distintos por cuanto incluyen representaciones de distinta naturaleza, así como funcionalmente independientes al poder entrar en actividad de manera autónoma entre sí con base en principios distintos. El sistema no verbal puede formar una imagen por medio del procesamiento paralelo de rasgos distintos, mientras que el sistema verbal procesa la información de manera secuenciada, principalmente. No obstante estas diferencias, es común que la activación de uno de estos subsistemas induzca activación en el otro, lo que permite hipotetizar que las representaciones propias de ambos se encuentran de alguna manera interconectadas. Es necesario especificar, sin embargo, que esta activación inducida de un subsistema por el otro ocurre solamente bajo circunstancias

¹ El término “*logógeno*” es tomado por Paivio de los trabajos de Morton (1969), quien lo utilizó para referirse a una representación cognoscitiva que permite el reconocimiento visual de las palabras escritas. El término “*imágenes*” es acuñado por el primero a manera de analogía.

específicas, una de las cuales es la dificultad para el cumplimiento de una tarea mediante la activación de uno solo de ellos (Paivio, 1990).

Las interrelaciones entre “imágenes” y “logógenos” no son biunívocas. Por el contrario, una representación puede activar a muchas otras, y puede ser activada también por un gran número de ellas. Esto explica el hecho de que una determinada palabra pueda evocar diferentes imágenes posibles, de ejemplares distintos de una determinada categoría. Asimismo, aclara el hecho de que un determinado objeto percibido o imaginado puede ser nombrado con diferentes palabras y dar lugar a diferentes descripciones. A este respecto, la experiencia individual y el contexto juegan un papel determinante en el establecimiento de asociaciones entre distintas representaciones cognoscitivas por parte del individuo.

A partir de lo anterior, resulta claro que las representaciones no verbales son fácilmente activadas por estímulos perceptivos, es decir, por los objetos mismos o por imágenes de ellos. Sin embargo, también pueden activarse por palabras que designan a objetos, cualidades o eventos perceptibles. De esta manera, *las representaciones no verbales (“imágenes”) se relacionan con el procesamiento de rasgos concretos (perceptibles o imaginables); por su parte, las representaciones verbales o “logógenos” pueden ser activadas tanto por estímulos no verbales como por otras palabras, pero se caracterizan por procesar específicamente rasgos abstractos (no perceptibles ni imaginables).* Los conceptos contienen estos dos tipos de representaciones, relacionadas con los rasgos de los que se componen.

Desde esta perspectiva, puede decirse que el concepto, en tanto que significado de una palabra, es el resultado de asociaciones complejas entre las formas sonoras y motoras de dicha palabra y las huellas mnésicas de los objetos o fenómenos por ella designados. Tal asociación es producto de la experiencia de la persona (v. Alcaraz & Martínez-Casas, 1994). Sin embargo, a ello es necesario agregar que el concepto contiene además representaciones cognoscitivas más generales y abstractas, que corresponden con los conocimientos generales que las personas tienen no solamente respecto a la categoría en cuestión, sino también a otras. Este conocimiento, organizado en forma de otros conceptos relacionados entre sí, juega un papel

importante en la selección del sentido específico y el contenido particular que debe darse al significado de una palabra en un momento determinado (v. Murphy, 2002).

Vigotsky (1932/1993), distinguía entre dos tipos de conceptos, de acuerdo con la forma de su adquisición y su estructura psicológica. Un primer tipo, denominado por él “*conceptos cotidianos*”, se forman a partir de la experiencia individual con objetos concretos, físicamente asequibles por regla general. Debido a ello, poseen una estructura psicológica basada en representaciones o rasgos de origen perceptual y relacionados con la experiencia concreta con los objetos. El segundo tipo, los “*conceptos científicos*”, son adquiridos principalmente por medio de la enseñanza escolar, y su contenido no es asequible a la experiencia individual concreta. Estos conceptos son aprendidos por medio del lenguaje y tienen una estructura psicológica en la que predominan los rasgos abstractos sobre los concretos.

En consecuencia, las vías para la formación y desarrollo de los conceptos no siempre son las mismas. En algunos casos, el reconocimiento perceptual y la manipulación o utilización de los objetos conducen a la formación de imágenes de ellos, ligadas a la imagen perceptual y motriz. En otros casos, son las relaciones lógicas con otros conceptos las que forman el contenido del concepto, que asume una forma abstracta. Los conceptos abstractos tienden a corresponder con los científicos, de acuerdo con la clasificación de Vigotsky.

En un sentido un tanto distinto puede decirse, siguiendo a Paivio (1990), que las palabras (conceptos, de acuerdo con lo que aquí se ha expuesto) concretas se diferencian de las abstractas en el grado en el que pueden formar imágenes en referencia a las cualidades o rasgos físicos y perceptibles de los objetos. Mientras que las palabras concretas tienen un alto contenido imaginable en su significado, las palabras abstractas carecen de él.

Las representaciones cognoscitivas que se han descrito participan en diversos procesos psicológicos, más que pertenecer a un dominio particular. En el caso concreto del conocimiento conceptual, constituyen las representaciones cognoscitivas propias de un sistema de memoria específico: *la memoria semántica*.

II

La Memoria Semántica y su investigación en Neurociencias

Los Conceptos y la memoria semántica

Las disciplinas clínicas que forman parte del campo de las Neurociencias (principalmente la Neurología, la Psiquiatría y la Neuropsicología) han abordado el estudio de los conceptos contenidos en la memoria semántica desde la perspectiva particular del análisis de sus alteraciones en pacientes que cursan con distintos tipos de daño en el Sistema Nervioso Central (SNC). Tal perspectiva de análisis ha aportado datos importantes al conocimiento de la estructura y el transcurso de los mencionados procesos en condiciones de normalidad.

En el terreno de la Neuropsicología, si bien ha sido hasta las últimas décadas que se ha desarrollado investigación empírica sobre este tema, el mismo no ha sido del todo ajeno a los más importantes descubrimientos realizados en la historia de este campo del conocimiento. No obstante, puede afirmarse que las primeras descripciones hechas sobre alteraciones en las funciones psicológicas a consecuencia de daño cerebral abordaron principalmente sus bases sensoriomotoras.

Así, partiendo de los trabajos de Broca (1865) y Wernicke (1874), se formuló un modelo explicativo sobre los trastornos afásicos, propuesto por Lichteim (1885), junto con una clasificación de los mismos que ha seguido siendo utilizada hasta nuestros días. Este modelo se fundamenta en la existencia de dos tipos de afasia, producidos por lesiones en dos centros distintos, que son los descritos por Broca y Wernicke. De acuerdo con este modelo, una lesión en el área de Broca produciría una alteración en las imágenes motoras de las palabras², mientras que una lesión en el área de Wernicke alteraría las imágenes sensoriales de las mismas. Con

² Es importante mencionar que el modelo de Lichteim reinterpreta los hallazgos de Broca, quien no consideraba al área que hoy lleva su nombre como un centro responsable de las imágenes motoras de las palabras, sino como asiento de la "facultad del lenguaje articulado".

base en ello, se predecía la existencia de otro tipo de trastorno afásico (posteriormente confirmado por Geschwind en 1965), producto de un daño que afectara a las vías de conexión entre ambos centros.

Este modelo tiene bases no solamente en la neuroanatomía y la clínica médica, sino que también se relaciona con las ideas psicológicas que predominaban en Alemania durante esos años. Estas ideas son las de la Psicología Asociacionista, que convivía con la de tipo introspectivo fundada por Wundt. La Psicología Asociacionista pertenecía a la tradición naturalista y mecanicista, y su principal postulado era que las funciones psicológicas eran resultado de procesos de asociación entre eventos y experiencias. Desde este punto de vista, una función compleja podía descomponerse en elementos más simples, de cuya asociación era producto.

Sin embargo, el análisis sobre los componentes de una función como el lenguaje conducía a la necesidad de reconocer que en su estructura participan funciones o procesos de orden superior, que no se reducen a los elementos sensoriales ni motores, y que permiten incluso la conformación del contenido mismo de la expresión verbal. Estos procesos, que se relacionan con el significado de las palabras y de las expresiones verbales, fueron incluidos en el modelo de Lichteim como funciones de un hipotético “*centro de los conceptos*”, no localizable anatómicamente, lo que resulta contradictorio con las bases del modelo mismo.

De manera análoga, pocos años después del inicio del estudio de la afasia, comenzaron a investigarse las alteraciones de otras funciones en pacientes con daño cerebral. Así, Lissauer describió por primera vez en 1890 la agnosia visual, a la que denominó “ceguera mental”, distinguiendo las variedades aperceptiva y asociativa, que en la actualidad siguen siendo reconocidas por numerosos autores (v. Warrington, 1985). El primero de estos tipos consiste en un trastorno del análisis y síntesis sensorial, que no permite el reconocimiento de las formas; el segundo de ellos, consiste en un trastorno en el proceso de relacionar el percepto con el significado. Este mismo modelo se extendió con posterioridad para la explicación de las agnosias auditiva y táctil (v. Polster & Rose, 1998; Reed, Caselli & Farah, 1996).

Por otra parte, Liepmann publicó en 1900 los primeros análisis sobre las perturbaciones apráxicas, explicándolas como una desconexión entre la idea del movimiento y su ejecución motora. Los tipos más conocidos son el ideacional y el ideomotor, el último de los cuales se caracteriza por la alteración de la representación mental de los movimientos. Al igual que en el caso de las agnosias, esta clasificación sigue utilizándose en la actualidad (v. Geschwind & Damasio, 1985).

De esta manera, al explicarse los distintos tipos de alteraciones en la clínica neuropsicológica se reconocía la existencia de una relación entre los procesos perceptivos, los procesos lingüísticos, la ejecución de acciones altamente complejas y formas especiales de representación o conocimiento del mundo. Sin embargo, quedaba pendiente la explicación sobre la naturaleza de este tipo de representaciones. Puede considerarse como un rasgo característico de las investigaciones que se realizaban durante esa primera etapa en el campo de la Neuropsicología el de abordar esencialmente los aspectos básicos sensoriomotores de las diferentes funciones psicológicas, dejando fuera de la explicación científica a los procesos que se comenzaron a incluir en el genéricamente denominado campo de “lo semántico”. No fue sino hasta que se llegó a una concepción de la memoria como formada por sistemas distintos, relativamente independientes entre sí, que se encontró una vía de investigación sobre este tópico.

La memoria se ha reconocido desde la antigüedad como un recurso indispensable para la vida. En general, ha sido considerada como una especie de *almacén*, en el que se guarda información que en un momento dado puede ser necesario recuperar con alguna finalidad específica. Incluso las personas que se encuentran alejadas del conocimiento científico de este tema consideran que la memoria incluye estos procesos de almacenar, retener y recuperar la información de dicho almacén (Ruíz-Vargas, 1991).

A partir del siglo XIX, en que inicia el estudio científico de la memoria con el trabajo pionero de Ebbinghaus (1885), y más particularmente durante todo el siglo XX, se formularon diversos

modelos teóricos en Psicología para la explicación de la memoria. Algunos de dichos modelos pueden denominarse *estructurales*, por cuanto intentan especificar qué estructuras de almacenamiento existen. El modelo de Atkinson y Shiffrin (1968) ha sido uno de los más importantes al respecto, diferenciando entre un almacén de memoria inmediata denominado “registro sensorial”, un almacén a corto plazo y uno a largo plazo. El almacenamiento y recuperación de la información en esos almacenes se efectúa mediante una serie de procesos de control, que pueden ser de diversos tipos, y que permiten, por ejemplo, el mantenimiento de la información en el almacén de corto plazo.

Los modelos estructurales como el citado arriba no resultaron suficientes para explicar los diversos fenómenos de memoria que pueden observarse. En consecuencia, aparecieron otros modelos, a los que se puede agrupar dentro del término de *modelos procesuales*, por centrarse en los procesos que se llevan a cabo para el funcionamiento de la memoria, más que en las estructuras de almacenamiento en sí mismas. Entre los modelos más importantes surgidos en este terreno está el de Broadbent (1984) y el de Cowan (1988). Estos dos modelos tienen la característica común de incorporar un sistema de procesamiento o “ejecutivo central”, que regula los procesos de incorporación, mantenimiento y recuperación de la información en las estructuras de almacenamiento. Particularmente, en el modelo de Cowan se incorpora la idea de la interacción bidireccional entre dichas estructuras de almacenamiento, a lo largo de procesos seriales y paralelos.

Los datos aportados tanto por la Psicología, como por la Neuropsicología y las Neurociencias en general apuntan, por otro lado, a considerar que la memoria no es una entidad unitaria. Por el contrario, se ha propuesto la existencia de *sistemas de memoria* específicos y distintos. Estos sistemas de memoria pueden identificarse no solamente con base en sus características funcionales, sino también desde el punto de vista de sus bases neuroanatómicas. Algunos de los representantes más importantes de esta concepción son Tulving (1985), Schachter (1985) y Squire (1987), entre otros. De acuerdo con lo señalado por estos autores, dichos sistemas de memoria interactúan entre sí durante la realización de las diversas tareas mnésicas.

Uno de los modelos que más influencia ha tenido en la caracterización de la memoria organizada en sistemas es el de Tulving (1972). Este modelo distingue entre un sistema de *memoria episódica* y un sistema de *memoria semántica*. La memoria episódica contiene información referente a los acontecimientos pasados de la vida de una persona, mismos que pueden localizarse tanto espacial como temporalmente. Por su parte, *la memoria semántica contiene los conocimientos que la persona tiene sobre el mundo, entre los que se incluyen los conceptos y el vocabulario, así como las reglas y fórmulas para su uso correcto.*

Desde el punto de vista del tipo de procesos implicados en la adquisición y uso de la información contenida en la memoria, se identifican también un sistema de *memoria declarativa* y un sistema de *memoria de procedimientos*. La memoria declarativa incluye a los sistemas de memoria episódica y semántica, que tienen en común el hecho de que la información incluida se procesa verbal y conscientemente; la memoria de procedimientos contiene las habilidades o destrezas motoras, perceptivas o cognoscitivas que se adquieren y a las que se accesa solamente por medio de la acción, por lo que es difícilmente expresable por medios verbales.

Finalmente, se ha distinguido también entre un sistema de *memoria explícita* y uno de *memoria implícita*. La primera se refiere a la forma de memoria que se revela cuando la ejecución de una tarea requiere el recuerdo consciente de las experiencias previas o del contenido a ser recordado. Es característico de los sistemas de memoria declarativa. La memoria implícita es aquella que se revela cuando la ejecución de una tarea se ve facilitada por la ausencia del recuerdo consciente. Es el caso del sistema de memoria de procedimientos (Graf & Schachter, 1985).

Con respecto a la memoria semántica, uno de los problemas que ha abordado su estudio es el de su organización y el del curso de los procesos que en ella tienen lugar. Un modelo, que ha gozado de amplia aceptación, es el reticular, que se formuló a partir del trabajo de Quillian (1968) y fue después desarrollado por Collins y Loftus (1975). Este modelo postula la existencia de una red, jerárquicamente organizada, compuesta de ligas entre conceptos. Estos se representan por medio de los nodos de dicha red y una serie de rasgos asociados a ellos. La

relación entre un concepto y otros se verifica por medio de un proceso de activación de los nodos conectados entre sí. De esta manera, el acceso desde un concepto a los demás depende del nivel y dinámica de activación en el sistema. Con base en ello, cuanto mayor sea la distancia recorrida en la red, mayor será el tiempo de procesamiento, principio conocido bajo el término de *economía cognitiva*. Esto se muestra a través de los datos obtenidos en estudios en los que se midió el tiempo de procesamiento ante tareas que requieren de diferentes recorridos en la red semántica.

Este modelo de *propagación de la activación* en una red semántica establece que el reconocimiento de un concepto se realiza por medio de un patrón de activación de esta red. Dicho patrón obedece a una serie de principios, de acuerdo con los cuales el acceso a un determinado nodo activa a otros más, conectados con el primero. Como resultado de ello, algunas conexiones y nodos adicionales entrarán en estado de activación, con lo que se vuelven más accesibles. De esta manera, la activación se va desplazando a lo largo y ancho de la red, en función del tipo de conexiones que establecen entre sí los rasgos o conceptos representados por los nodos.

Este modelo es capaz de explicar el conocido fenómeno de facilitación denominado "*priming*". El efecto de *priming* semántico se observa al obtenerse respuestas más rápidas de lo normal en sujetos sometidos a la realización de tareas de decisión léxico-semántica, bajo condiciones de presentación previa de estímulos semánticamente relacionados con aquéllos ante los cuales debe emitir la respuesta. Desde el punto de vista de este modelo de activación, tal presentación previa activa los nodos y conexiones semánticamente relacionados con el estímulo, por lo que el acceso a los nodos ya activados se realiza más rápidamente.

Por otra parte, una característica importante de este modelo es su aplicabilidad a la explicación del procesamiento de información en redes neuronales. Dicho en otros términos, el constructo de la activación resulta aparentemente común al procesamiento semántico y a la actividad de redes neuronales.

No obstante sus ventajas, este modelo tiene una limitación importante, a pesar de constituir una propuesta mucho más flexible que la original de Quillian (1968): no es capaz de explicar el fenómeno de la prototipicalidad. Como hacen notar Ripples, Shoben y Smith (1973), este modelo está basado más en evidencia lógica que en evidencia empírica. No queda claro cómo se determina la existencia de un nodo, ni se explican las diferencias en la organización jerárquica de los conceptos que pueden deberse a la experiencia.

El modelo de Collins y Loftus (1975; 1988) es robusto en muchos aspectos, dado que puede dar cuenta de diversos fenómenos. Sin embargo, siguiendo a Baddeley (1982/1997), puede considerarse que un buen modelo debe satisfacer tres criterios: *“primero, debe ser capaz de explicar los datos disponibles; segundo, debe hacerlo en una forma razonable y, tercero, debe ir más allá de los datos, sugiriendo las vías a través de las cuales el fenómeno puede seguir siendo estudiado”* (p. 239). Desde este punto de vista, este modelo satisface el primer criterio, pero no los otros dos.

Este modelo de propagación de la actividad puede ser considerado como un sistema de símbolos. En un modelo de sistema de símbolos, el conocimiento se representa por un conjunto de representaciones, cada una de las cuales a su vez representa un rasgo o una relación entre rasgos (Guenther, 1998). Sin embargo, este modelo tiene a su vez el inconveniente de no especificar lo que estos símbolos significan o representan. Es decir, los símbolos se encuentran conectados entre sí, y el contenido del concepto es dado por el conjunto de estas relaciones, pero no se aclara de qué manera cada símbolo representa una determinada unidad de información. La Teoría de la Codificación Dual de Paivio (1971; 1990) aporta conceptos y principios que pueden aclarar este vacío, y a partir de los cuales es posible identificar a los rasgos semánticos en el sistema cognoscitivo.

Tal como fue mencionado anteriormente, los rasgos semánticos representan cualidades o atributos de los objetos o fenómenos que se agrupan, con base en ellos, en una determinada categoría conceptual. Entre ellos, se pueden identificar algunos rasgos que representan características físicas de dichos ejemplares. Debido a que tales atributos físicos son susceptibles de ser reconocidos perceptualmente (y, de hecho, es esta la vía por la que son originalmente

conocidos la mayor parte de las veces), son almacenados en la memoria en forma de *representaciones concretas*. Estas imágenes son de modalidad sensorial específica, pero pueden ser tan complejas que permiten la recreación de toda una escena. Incluso, las imágenes mentales pueden referirse a objetos que no han sido percibidos directamente, pero pueden ser imaginados. Las representaciones semánticas que corresponden a este tipo de rasgos o atributos son de tipo analógico, ya que se caracterizan por reproducir dichos rasgos a la manera de una copia del objeto. Con base en ello, se considerarán en este trabajo como *rasgos concretos*.

Además de este tipo de representaciones, pueden distinguirse otras, *abstractas*, que representan atributos o características de naturaleza no perceptible. Algunos autores las han calificado como representaciones simbólicas, refiriéndose a que su contenido se relaciona más con las palabras que con las imágenes perceptuales (Sternberg, 1999). Estos atributos pueden reflejar relaciones entre características o contenidos de tipo lógico, y no son fácilmente representables en forma de imagen.

Las bases neuroanatómicas del conocimiento conceptual. Modelos teóricos

Durante las últimas décadas se han reportado casos de pacientes con alteraciones en el conocimiento conceptual a consecuencia de daño cerebral. Warrington (1975) y Warrington y Shallice (1979; 1984) publicaron los primeros casos, sistemáticamente analizados, con este tipo de alteraciones. La característica principal de los casos presentados por estos autores es el trastorno relativamente puro de las representaciones conceptuales, que se observa tanto en el ámbito del reconocimiento perceptual como del lenguaje y de la memoria, que en ocasiones posee un carácter categorialmente específico y que aparece sin la presencia de afasia o alteraciones intelectuales más generales.

Estos trabajos han sido considerados como las primeras evidencias, estudiadas experimentalmente, de trastornos selectivos en la memoria semántica. Adicionalmente, se han tomado como una evidencia inicial, extraída del estudio de sujetos con lesiones cerebrales,

sobre la organización jerárquica de la memoria que postulara inicialmente Rosch (1975), y como evidencia de que el proceso de acceso a estas representaciones recorre un camino desde las categorías supraordenadas hacia las subordinadas. Finalmente, Warrington (1975) postuló un modelo de organización de la memoria semántica en el que existirían sistemas de significado modalmente específicos relativamente independientes entre sí, uno de los cuales incluiría información perceptual (es decir, sería de tipo analógico y le denominó “semántica visual”), mientras que el otro contendría información verbal (analítica o abstracta, al que llamó “semántica verbal”).

Uno de los puntos de partida de este modelo *“Perceptual/Asociativo”* es el de considerar que los sistemas neuronales que participan en el conocimiento de los distintos tipos de objetos también están involucrados en sus representaciones semánticas. De esta manera, el conocimiento sobre seres vivos se basa principalmente en representaciones semánticas de sus rasgos perceptuales, mientras que el de los objetos con función instrumental se basa en información motora y propioceptiva. Cada uno de estos sistemas semánticos tendría sus correlatos neuronales independientes.

De acuerdo con este modelo, los objetos naturales (animales, frutas, vegetales, etc.) se reconocen principalmente a partir de sus propiedades semántico-perceptuales, mientras que los objetos fabricados por el hombre (herramientas, ropa, vehículos, etc.) se distinguen básicamente por su función y la forma como se utilizan. Ello determinaría el hecho de que el daño en uno de estos sistemas neuronales afectara predominantemente y de manera selectiva el conocimiento de algunas de estas categorías específicas (v. Gainotti, 2004).

No obstante, se han documentado casos clínicos en los que las dificultades en el procesamiento semántico de atributos perceptibles se acompañan de una alteración categorialmente selectiva distinta (inversa) a la que predice este modelo (por ejemplo, Laiacón, Capitani & Caramazza, 2003). Ello ha conducido a una propuesta sobre la organización de la memoria semántica de acuerdo a dominios evolutivamente establecidos (Caramazza & Shelton, 1998; Caramazza, Hillis, Rapp & Romani, 1990; Caramazza, 2000; Forde, Francis, Riddoch,

Rumiati & Humphries, 1997; Lambon Ralph, Howard, Nightingale & Ellis, 1998; Moss, Tyler, Durrant-Peatfield & Bunn, 1998).

De acuerdo con este modelo, existirían en la memoria semántica sistemas organizados en dominios, uno de los cuales sería el de los seres vivos, de indudable importancia evolutiva. Las alteraciones categorialmente selectivas en la memoria semántica reflejarían esta organización, y no serían explicadas con base en el procesamiento de atributos perceptibles o asociativos. En todo caso, la explicación sobre otras formas, no sensoriales, de representación de la información semántica y sus bases neuronales es una tarea inacabada hasta la fecha.

Una de las variantes de este segundo modelo (Caramazza, Hillis, Rapp & Romani, 1990) plantea que existen niveles intermedios de procesamiento, entre las entradas sensorial o verbal y el sistema semántico mismo, consistentes en el procesamiento de “descripciones estructurales”, modalmente específicas. Ello explicaría la existencia de alteraciones disociadas entre las diferentes vías, sin necesidad de suponer la existencia de sistemas semánticos independientes. Desde este punto de vista, entonces, los trastornos del conocimiento conceptual, modal y/o categorialmente específicos, descritos por Warrington, serían explicables como alteraciones en el *acceso* al sistema semántico, y no como una pérdida o *degradación* de los conocimientos contenidos en él.

Estos modelos constituyen la base teórica sobre la cual se ha desarrollado una extensa investigación neuropsicológica sobre los trastornos en el conocimiento conceptual, particularmente a partir de los casos clínicos con afectaciones categorialmente selectivas. Así, durante el período comprendido entre los trabajos referidos y el momento actual, se han publicado numerosos estudios en los que se han presentado casos de pacientes con lesiones cerebrales de distinta localización y que han presentado diferentes patrones de alteración categorialmente específica en el conocimiento conceptual. Se han descrito alteraciones específicas a este respecto en tareas de comprensión de palabras (Basso, Capitani & Laiacina, 1988; McCarthy & Warrington, 1988; Warrington & McCarthy, 1987). Por otra parte, también se han observado en tareas de identificación de dibujos (Charnallet, 1993; Hart, Bernt &

Caramazza, 1985; Riddoch & Humphreys, 1987a, 1987b; Sacchett & Humphreys, 1992; Sirigu, Duhamel & Poncet, 1991; Warrington & McCarthy, 1994). Incluso, algunos trabajos los reportan en ambas (De Renzi & Luchelli, 1994; Farah, McMullen & Meyer, 1991; Sartori & Job, 1988; Sheridan & Humphreys, 1993; Silveri & Gainotti, 1988; Warrington & Shallice, 1984; Warrington & McCarthy, 1987).

Con base en el análisis de esta y otra evidencia adicional, algunos otros investigadores han planteado una base teórica distinta para la explicación de estos hallazgos. Carbonell, Charnallet, Davis y Pellat (1997), Damasio y Damasio (1993), Tranel, Damasio y Damasio (1997), Tranel, Logan, Frank y Damasio (1997), Thompson-Schill, Aguirre, D'Esposito y Farah (1999) y Laiacona, Capitani y Barbarotto (2000), entre otros, han propuesto que el sistema semántico se encuentra organizado bajo principios distintos a los de la organización jerárquica de los conceptos. Sus puntos de vista coinciden en postular la existencia de tareas de procesamiento específicas, que dicho sistema debe llevar a cabo de manera diferencial para el reconocimiento o activación de los conocimientos referentes a distintas entidades. Así, por ejemplo, reconocer un animal requiere de una mayor participación del reconocimiento de sus atributos físicos, mientras que hacerlo respecto de una herramienta requiere de la activación de los componentes cinestésicos involucrados en su utilización. Ello significaría, entonces, que los diferentes subsistemas neuronales relacionados con el procesamiento semántico servirían de base al reconocimiento y activación de unidades específicas de información incluidas en el concepto correspondiente (rasgos semánticos) y no de éste en su totalidad.

En este mismo sentido, Moss y Tyler (2000) postulan que las representaciones conceptuales se organizan cognoscitivamente bajo la forma de un sistema interactivo de rasgos semánticos. En la medida en que un concepto posea más rasgos que tiendan a estar fuertemente interrelacionados entre sí, mayor será su resistencia al daño cerebral. Debido a que este tipo de coincidencias no es característica de todas las categorías semánticas por igual, algunas de ellas pueden ser más susceptibles a la alteración de los conocimientos correspondientes. Esta postura sugiere que los sistemas neuronales que sirven de base al conocimiento conceptual no están organizados por categorías sino por rasgos semánticos.

Desde el punto de vista clínico, se han publicado trabajos en los que se han analizado las alteraciones de los conocimientos y la memoria semántica en casos con demencia. Entre ellos, pueden mencionarse los de Garrard, Patterson, Watson y Hodges (1998), Lambon Ralph, Graham, Patterson y Hodges (1999), Hodges, Bozeat, Lambon Ralph, Patterson y Spatt (2000), Bozeat, et al (2000) y Fung, Chertkow y Templeman (2000). Estos trabajos han mostrado que en los pacientes con la Enfermedad de Alzheimer y otras demencias también pueden encontrarse trastornos en la memoria semántica que implican la alteración selectiva de conocimientos respecto a categorías o modalidades específicas (v. Panegyres, 2004). El hecho de que se trata de pacientes con daño neurológico difuso agrega interés a este tipo de trabajos, pues muestra que tales patrones de alteración no implican necesariamente la existencia de daño neurológico focal para producir estos cuadros.

Estos y otros estudios sobre diferentes problemas relacionados con la alteración del conocimiento conceptual ante daño en el SNC han aportado datos importantes respecto a su organización cerebral. Por una parte, algunos de los pacientes que han mostrado trastornos en dicho conocimiento han sufrido lesiones que comprometen zonas específicas de la corteza lateral temporal, particularmente del hemisferio izquierdo. Sin embargo, cabe señalarse que en la mayor parte de los casos, dichas lesiones comprometían a la sustancia blanca subyacente, y que por lo general eran extensas. La mayor parte de los casos referidos han sido de pacientes con secuelas de Encefalitis por Herpes Simple que, como es sabido, afecta primordialmente a los lóbulos temporales. Por otra parte, los casos con agnosia visual asociativa presentan por regla general lesiones en el córtex estriado y extraestriado, que se extienden a la región temporo-occipital medial. Es importante subrayar que pacientes con lesiones temporo-occipitales izquierdas han mostrado alteraciones en la formación de las imágenes que representan objetos, lo que a su vez se ha relacionado con trastornos de tipo afásico en los que la anomia aparece como un síntoma central (Tsvetkova, 1975).

De acuerdo con los datos aportados por los estudios realizados sobre este problema, los trastornos circunscritos a cosas vivas parecen estar asociados con daño bilateral en las regiones posteromediales de los lóbulos temporales, mientras que los trastornos en el conocimiento de las cosas no vivas se relacionan con daño en regiones laterales del lóbulo temporal izquierdo. Tranel, Damasio y Damasio (1997), estudiando un grupo grande de pacientes con lesiones focales, reportan que las lesiones en las regiones mesiales occipitales bilaterales que se extienden hacia las regiones temporales ventrales izquierdas producen déficits específicos en el conocimiento de cosas vivas, mientras que los que corresponden a artefactos (herramientas en este caso) se asocian con lesiones en el área temporo-parieto-occipital lateral izquierda.

En general, se han reportado trastornos en la memoria semántica en pacientes con afasia (Goodglass, Hyde & Bloomstein, 1969), comisurotomizados (Zaidel, 1976, 1978, 1982), en pacientes con lesiones en el hemisferio derecho (Diggs & Basili, 1987; Gainotti, Caltagione & Michelli 1983; Joannette, Lecours, Lepage & Lamoreaux, 1983; Joannette, Goulet & LeDorze, 1988; Joannette, Goulet & Hannequin, 1990; Nocentini, Goulet, Roberts & Joannette, 2001) y con demencia (Daum, Riesch, Sartori & Birbaumer, 1996; Lambon Ralph, Patterson & Hodges, 1997; Dumont, Ska & Joannette, 2000; Cardebat, Demonet, Celsis & Puel, 1996; Lambon Ralph, Graham, Patterson & Hodges, 1999).

En algunas de estas investigaciones se ha planteado el problema de la participación del hemisferio derecho en el procesamiento de información semántica. Junto con otras investigaciones, que han utilizado la técnica de presentación de estímulos a un sólo hemisferio visual en experimentos de priming semántico o de Potenciales Relacionados con Eventos (PRE), Drews (1987), Chiarello & Richards (1992), Abernethy & Coney (1990), Koivisto & Laine (1995), Koivisto (1998) y Deacon y otros (2004) han mostrado que ambos hemisferios cerebrales parecen procesar de manera distinta la información semántica contenida en la palabra.

Considerando el hecho, generalmente aceptado a partir de estas investigaciones, de que el hemisferio derecho tiene alguna participación en el procesamiento semántico de palabras, se ha

intentado explicar su contribución específica. En general, se ha descrito a los pacientes con lesiones focales en el hemisferio derecho como personas que muestran dificultades en el manejo de expresiones lingüísticas figurativas (v. Joannette, Goulet & Hannequin, 1990). Entre ellas, se ha considerado a la comprensión de significados connotativos (Brownell, Potter & Michelow 1984, Gardner & Denes, 1973) y de expresiones o palabras metafóricas (Brownell et al, 1984, 1990) como déficits centrales en estos pacientes. Sin embargo, los datos no son convergentes, e incluso, en un estudio más reciente, Gagnon, Goulet, Giroux y Joannette (2003) encontraron que los pacientes con lesiones en el hemisferio derecho no tienen mayores dificultades que los pacientes con lesiones en el hemisferio izquierdo para el procesamiento de significados metafóricos de las palabras.

Otra hipótesis que se ha formulado con relación al papel del hemisferio derecho en el procesamiento semántico sostiene que éste, a diferencia del hemisferio izquierdo, sería más sensible al procesamiento de relaciones interconceptuales, mientras que el hemisferio izquierdo sería más apto para procesar relaciones semánticas intraconceptuales (categoriales). Esta hipótesis, que se basa en los planteamientos hechos por Klix (1978) sobre los tipos de relaciones semánticas, tampoco ha podido comprobarse satisfactoriamente debido a que los resultados de los estudios que se han realizado hasta ahora son divergentes (v. Nocentini, Goulet, Roberts & Joannette, 2001).

En resumen, se han realizado investigaciones orientadas a la explicación sobre las bases neuronales y la organización de la memoria semántica desde diferentes perspectivas y con fundamento en diversas hipótesis. Vistas en su conjunto, puede afirmarse que las investigaciones motivadas por los efectos categorialmente selectivos tienen en común, en general, el haber utilizado como estímulos palabras o imágenes de objetos, así como atributos concretos (perceptibles) de ellos. En consecuencia, los patrones de activación neuronal hasta ahora descritos como base de la memoria semántica a partir de estas investigaciones, pueden en general ser considerados como sustrato, principalmente, de los niveles concretos de representación conceptual. Hasta hoy, se han realizado muy pocos estudios con el propósito de identificar los sustratos neuroanatómicos del procesamiento de conceptos abstractos, y los que

se han llevado a cabo tampoco arrojan resultados convergentes, como se describirá más adelante.

Por otra parte, se ha publicado gran cantidad de trabajos llevados a cabo mediante el empleo de *métodos de imagen funcional*. Estos trabajos han buscado la identificación de los sistemas cerebrales que sirven de base a la memoria semántica y, por lo tanto, al conocimiento conceptual. Entre ellos, pueden citarse los trabajos de Démonet, Chollet, Ramsay y otros (1992), Tranel, Damasio y Damasio (1997), Nyberg, McIntosh y Tulving (1998), Perani (1998), Cabeza y Nyberg (2000) y Devlin y otros (2002). Los resultados publicados en ellos son en general coincidentes al identificar a los giros medio e inferior del lóbulo temporal izquierdo, la región parietal inferior izquierda y la prefrontal superior del mismo hemisferio como zonas corticales directamente relacionadas con el proceso de evocación de los conocimientos almacenados en la memoria semántica.

No obstante, no todos los datos obtenidos con estudios de imágenes funcionales tienen tal coincidencia. Por ejemplo, se han obtenido datos divergentes al tratar de identificar sistemas neuronales específicos correspondientes a categorías semánticas particulares. Algunos de los estudios realizados con la técnica de Tomografía por Emisión de Positrones (PET por sus siglas en inglés), han concluido que el reconocimiento de cosas vivas activa áreas occipitales mesiales y que al nombrar ilustraciones de herramientas se activan áreas del córtex premotor izquierdo, así como el giro temporal medio izquierdo. En consecuencia, la alteración en el conocimiento sobre cosas vivas se debería producir por lesiones bilaterales del lóbulo temporal, mientras que el correspondiente a objetos manipulables se presentaría ante lesiones frontoparietales izquierdas, supuesto que no ha sido confirmado empíricamente.

Damasio, Grabowsky, Tranel y Damasio (1996), por su parte, identificaron a la región temporal anterior izquierda como base del conocimiento relacionado con cosas vivas y a la región temporal posterior como base del conocimiento acerca de objetos no vivos. Estos datos se obtuvieron de múltiples casos clínicos con alteraciones específicas en el conocimiento

conceptual y fueron confirmados posteriormente, en un estudio llevado a cabo por Strauss, et al (2000), en el que se practicaron lobectomías en dichas regiones,. Asimismo, Martin, Wiggs, Ungerleider y Haxby (1996) y Moore y Price (1999), entre otros, identificaron a la región posterior del giro temporal medio como base del conocimiento sobre la categoría “herramientas”.

Estudios mediante Imágenes por Resonancia Magnética Funcional (IRMf) han arrojado también datos divergentes. Por ejemplo, Spitzer, et al (1998) refieren áreas de activación específicas tanto para procesar animales como muebles en ambos giros frontales medios y giros temporales superiores, aunque estos datos no fueron consistentes entre sujetos. Estos hallazgos no corresponden con los obtenidos por los estudios arriba citados.

De acuerdo con Devlin y otros (Op.Cit.), tal falta de concordancia puede deberse a dos factores metodológicos: *a)* las diferencias entre los estímulos utilizados (palabras escuchadas, palabras escritas o dibujos), que pueden tener diferentes efectos funcionales sobre la actividad registrada y *b)* a la falta de homogeneidad en la corrección de los mapas estadísticos hechos a partir de diversas comparaciones independientes. No obstante, la falta de consistencia mencionada también puede estar reflejando el hecho de que las diferentes estructuras neuroanatómicas estudiadas estarían procesando contenidos no necesariamente organizados por categorías.

En algunos otros estudios se considera que la organización cerebral del conocimiento conceptual sigue un principio distinto al modal y categorial. De esta manera, Carbonell, Charnallet, Davis y Pellat (1997), Damasio y Damasio (1993), Tranel, Damasio y Damasio (1997), Tranel, Logan, Frank y Damasio (1997), Thompson-Schill, Aguirre, D’Esposito y Farah (1999) y Laiacona, Capitani y Barbarotto (2000), entre otros, han propuesto que el sistema semántico se organiza con base en las tareas de procesamiento que dicho sistema debe llevar a cabo de manera diferencial para el reconocimiento o activación de los conocimientos referentes a distintas entidades. Dicho en otros términos, el principio de organización de la

memoria semántica no es categorial, sino que está basado en el tipo de atributos que se procesan.

Coincidentemente con ello, Chao, Haxby y Martin (1999), identificaron sistemas específicos activados ante atributos particulares de los estímulos, independientemente de su categoría, y relacionados con formas (córtex temporal ventral) y movimiento (córtex temporal lateral). Por su parte, en un estudio en el que se utilizó PET, Mummery, Patterson, Hodges y Price (1998) identificaron patrones de activación neuronal diferentes de acuerdo con el tipo de atributos que los sujetos debían identificar ante palabras que denominan objetos pertenecientes a las categorías cosas vivas-no vivas. Con ello, concluyen que el cerebro no contiene sistemas que correspondan con categorías, sino con unidades de información más básicas. Lambon-Ralph, Graham, Patterson y Hodges (1999) llegaron a esta misma conclusión en un estudio en el que sometieron a prueba la capacidad de pacientes con demencia para hacer definiciones ante palabras y láminas de objetos. Encontraron que los patrones de error se relacionan no con la categoría semántica, sino con el tipo de atributo a ser reconocido.

Todas estas investigaciones se han orientado hacia la obtención de datos que permitan identificar sistemas neuronales encargados de procesar categorías semánticas específicas o bien rasgos o atributos particulares. La divergencia entre los datos obtenidos refleja no solamente la intervención de aspectos técnicos o el empleo de tareas distintas, sino también la falta de sustento de las hipótesis sometidas a comprobación. No existen modelos teóricos en Psicología Cognitiva que sustenten claramente la hipótesis de la organización categorial de los sistemas neuronales, mientras que sí los hay que proponen la especialización de los mismos en el procesamiento de tipos distintos de información. Por tanto, los resultados de este conjunto de investigaciones pueden interpretarse como evidencias para la identificación de los sistemas neuronales encargados del procesamiento de diversos tipos de información concreta, vinculada a los rasgos relacionados con las formas, los atributos perceptibles y los componentes motores involucrados en el uso de los objetos, toda vez que todos estos estudios se han hecho en torno a los conceptos concretos.

Entre los pocos estudios que han aportado datos referentes a las bases neuronales de los conceptos abstractos están los de Kiehl y otros (1999), Friederici, Opitz y Von Cramon (2000), Fiebach y Friederici (2004), Noppeney y Price (2001,2002a,b), Grossman y otros (2002), Noppeney y Price (2003) y Noppeney y Price (2004). Todos ellos son estudios que se han hecho con técnicas de imagen funcional cerebral, por lo que se han centrado en los aspectos neuroanatómicos del problema. En general, estos estudios han mostrado la participación de regiones corticales previamente identificadas como involucradas en el procesamiento semántico en general, entre las cuales se incluyen a las regiones frontales dorsales inferiores (AB 45 y 46), el giro temporal medio izquierdo (AB 37, 21 y 19), así como las regiones ventrales temporo-occipitales, todas ellas principalmente en el hemisferio izquierdo. Es importante mencionar que estas regiones han sido identificadas como activas durante el procesamiento de conceptos concretos en este grupo de estudios, sobre lo cual ha existido considerable acuerdo.

A diferencia de ello, los datos que han sido aportados por estos estudios con respecto al sustrato neuroanatómico del procesamiento de conceptos abstractos no son consistentes. En dos investigaciones con PET publicadas en el mismo año, Noppeney y Price (2002a, 2002b) observan que no existen diferencias neuroanatómicas para el procesamiento semántico de palabras con significado abstracto cuando se comparan con el procesamiento de palabras concretas. Sin embargo, un año después (Noppeney & Price, 2003), en otro estudio con PET, reportan activación en el cíngulo posterior, extendiéndose bilateralmente hacia el precuneus y la región temporo-parieto-occipital durante la evocación de conocimientos abstractos en comparación con la evocación de conocimientos concretos. Otro estudio utilizando IRMf (Noppeney & Price, 2004), tratando de identificar específicamente las regiones cerebrales involucradas en el procesamiento semántico de conceptos abstractos, reportan activación solamente en las regiones previamente identificadas del hemisferio izquierdo. Dentro de ellas, identifican mayor activación de la región frontal inferior, polo temporal y giros superior y medio del lóbulo temporal izquierdo en comparación con el procesamiento de palabras concretas; ninguna región del hemisferio derecho se describe como significativamente activada.

Los otros trabajos arriba citados también han obtenido resultados inconsistentes. Kiehl y otros (1999) refieren activación del córtex temporal anterior derecho durante el procesamiento de palabras abstractas en comparación con el de palabras concretas en una tarea de decisión léxica usando IRMf. Grossman et al (2002), en un estudio de IRMf sobre las bases neuronales del conocimiento categorialmente específico, muestran que las palabras abstractas activan exactamente las mismas regiones frontales posterotemporales izquierdas previamente identificadas como relacionadas con el procesamiento de instrumentos, lo que los lleva a concluir que estas regiones no solamente procesan información sensoriomotora, sino también abstracta. Los estudios de Friederici, Opitz y Von Cramon (2000) y Fiebach y Friederici (2004), encuentran activación en el pars triangularis del giro frontal inferior izquierdo (AB 45) para el procesamiento de palabras abstractas en comparación con el de palabras concretas, descartando la participación del hemisferio derecho en el procesamiento semántico en cualquiera de los dos casos.

Las divergencias entre los resultados de las investigaciones mencionadas puede estar relacionada con el hecho de que se han utilizado diferentes técnicas de imagen funcional, diferentes tareas (decisión léxica, juicio semántico entre dos o tres palabras presentadas), así como al hecho de que los estímulos abstractos se han definido con base en distintos parámetros (como palabras con baja imagenabilidad en unos casos, como palabras con función gramatical o como palabras con significado asociativamente adquirido). Estas diferencias hacen que existan diversos grados de demanda cognitiva en las tareas, así como diferentes procesos implicados en su resolución.

Adicionalmente, los estudios realizados hasta hoy se han centrado en el uso de palabras que denotan objetos, y no de atributos; es posible que el empleo de estímulos que denotan atributos permita registrar patrones de actividad neuronal que no se encuentren enmascarados por aquellos por medio de los cuales se procesa el conocimiento de objetos concretos.

La presente investigación tuvo como propósito el de identificar las regiones cerebrales involucradas específicamente al realizarse una tarea de juicio semántico sobre la pertenencia de

atributos concretos y abstractos de conceptos naturales. A diferencia de los estudios antes referidos, los sujetos no realizaron una tarea de búsqueda de relaciones de analogía o de parecido semántico entre dos palabras, sino que juzgaron sobre la pertenencia de un atributo respecto de objetos particulares. En otros términos identifica regiones corticales específicas involucradas con las representaciones, tanto concretas como abstractas, de los conceptos y con su correspondiente procesamiento semántico.

III

El SPECT cerebral como técnica de investigación en Neurociencias Cognitivas

Actividad Neuronal y Flujo Sanguíneo Cerebral

La Tomografía Cerebral por Emisión de Fotón Único (SPECT cerebral, por sus siglas en inglés) es una técnica de imagen funcional cerebral que proporciona información sobre el nivel (o los cambios en los niveles) de perfusión sanguínea en las diversas regiones cerebrales. Al igual que la Tomografía por Emisión de Positrones (PET), se basa en la administración de radiofármacos que contienen isótopos radioactivos y la posterior medición de su concentración tisular en diferentes regiones del cerebro.

La utilidad del SPECT cerebral como técnica para el estudio de la actividad del cerebro se basa en el principio general de acuerdo con el cual la actividad neuronal determina un aumento local en el Flujo Sanguíneo Cerebral (FSC) como consecuencia del aumento en las demandas metabólicas del tejido. Estos cambios en el FSC pueden considerarse como un indicador general (e indirecto) de la actividad metabólica, por lo que, al igual que todas las demás técnicas de imagen funcional cerebral, el SPECT cerebral no provee mapas funcionales de la actividad neuronal directamente, sino de los cambios en la perfusión sanguínea local, que se consideran correlacionados con ella.

El incremento en la actividad neuronal eleva la demanda de glucosa y oxígeno, mismos que son transportados en el torrente sanguíneo. El mecanismo básico por medio del cual el organismo provee la cantidad requerida de ellos es el aumento de la perfusión sanguínea. El término *perfusión sanguínea* se usa de manera general para describir el proceso por medio del cual se distribuyen los nutrientes y sustancias energéticas desde las arterias hasta el tejido cerebral, a

través del manto capilar. La perfusión sanguínea incluye dos fenómenos distintos, aunque relacionados: el *flujo sanguíneo cerebral* (FSC) y el *volumen sanguíneo cerebral* (VSC).

El FSC se define como la tasa de suministro de sangre arterial hacia el manto capilar de una determinada masa de tejido. Comúnmente se expresa en mililitros de sangre por 100 grs de tejido por minuto (ml/100grs-min). El promedio típico en el cerebro humano es de 60 ml/100grs-min. En muchas ocasiones, sin embargo, resulta más ilustrativo expresar este proceso en términos de volumen de tejido en vez de masa de tejido, ya que las técnicas de imagen funcional cerebral consideran unidades de volumen cerebral y no de masa.

Por su parte, el VSC se define como la proporción de volumen de tejido cerebral ocupado por vasos sanguíneos. Se expresa en mililitros de vasos sanguíneos por mililitro de tejido cerebral y usualmente se refiere al volumen vascular total en el tejido. Cuando se consideran volúmenes extensos de tejido cerebral, con frecuencia resulta necesario calcular en VSC considerando volúmenes arteriales, capilares y venosos de manera simultánea.

Otro parámetro fisiológico de importancia a este respecto es el de la velocidad del flujo sanguíneo a través de los vasos. Esta velocidad varía en un rango que va desde decenas de centímetros por segundo en las arterias grandes hasta velocidades tan bajas como 1mm/seg en el manto capilar. Al nivel del manto capilar el flujo sanguíneo es generalmente irregular y fluctuante en cuanto a su velocidad. Los capilares no se encuentran abiertos todo el tiempo, y su diámetro es de dimensiones muy cercanas al tamaño de las células sanguíneas, que además son capaces de modificar su forma al pasar por ellos, abriéndolos en el momento.

Una de las formas de incrementar el FSC consiste en aumentar la velocidad sanguínea, aunque aquél no se relaciona solamente con ésta. De hecho, las variaciones en el FSC se relacionan tanto con la velocidad como con el VSC; así, por ejemplo, el FSC puede incrementarse bien sea por un aumento en la velocidad sanguínea o como resultado de un aumento en el VSC al abrirse una mayor cantidad de capilares en un determinado volumen de tejido (proceso llamado *reclutamiento capilar*). En el primer caso la sangre transita de manera más rápida por el

tejido manteniéndose constante el VSC; en el segundo caso, éste aumenta manteniéndose constante la velocidad del flujo. Sin embargo, y a pesar de ello, el *tiempo de tránsito capilar* disminuye al abrirse más vasos de manera simultánea en vez de hacerlo a lo largo de una sola arteriola, lo que constituye una variable más que determina al FSC. En ambos casos, el suministro de sangre, y por tanto, de nutrientes a las neuronas se incrementa en términos absolutos.

De manera general, el FSC varía considerablemente en función de diversos factores tales como la tensión arterial, el diámetro de los vasos sanguíneos, la densidad de los glóbulos rojos en la sangre, la cantidad de oxígeno y bióxido de carbono que es transportado, la edad, estado de salud y nivel de actividad del sujeto, entre otras. Sin embargo, también varía local o regionalmente de manera concomitante a la actividad neuronal, lo que constituye el principio fundamental sobre el que se basan las diferentes técnicas de imagen funcional cerebral que toman al FSC como indicador de la actividad neuronal, y en particular, dentro de ellas, el SPECT cerebral.

Estos cambios en el FSC que acompañan a la actividad neuronal se desencadenan en el momento en el que las neuronas activas liberan sustancias que se difunden en el espacio extracelular hasta alcanzar a los vasos sanguíneos vecinos. Estas *sustancias vasoactivas* producen una dilatación en los vasos sanguíneos, reduciendo la resistencia a la circulación y aumentando el FSC. Procesos fisiológicos aún no completamente explicados determinan que la dilatación no se produzca sólo de manera local, sino también de manera distal hacia los brazos arteriales que alimentan a los vasos locales. Se ha considerado que el óxido nítrico juega un papel importante en este proceso, como una sustancia vasodilatadora que actúa a mayor distancia del lugar de la activación neuronal. Esto tiene importantes implicaciones en el sentido de que muestra que el aumento en el FSC se observa en un volumen de tejido cerebral algo mayor (en unos cuantos milímetros) a aquél en el que tuvo realmente lugar la actividad neuronal.

La manera más directa de medir el FSC es inyectando microesferas marcadas en el sistema arterial. Si estas microesferas son lo suficientemente pequeñas para pasar a través de las

arteriolas, pero lo suficientemente grandes para no hacerlo a través de los capilares, entonces quedarán atrapadas dentro del manto capilar. El número de microesferas que se fijen en un determinado lugar del tejido se convierte así en una estimación directa del FSC local. Este método es el que sirve de base para el SPECT cerebral y el PET, si bien estas técnicas no usan microesferas por no ser apropiadas para estudios en humanos (el conteo de las microesferas debe hacerse por medio de cortes en el tejido). En vez de ello, se utilizan sustancias que actúan como trazadores que se fijan al tejido de manera análoga a las microesferas, y que pueden cuantificarse de manera externa y no invasiva.

La Técnica del SPECT cerebral

La Tomografía por Emisión de Fotón Único (SPECT) es una de las técnicas de imagen funcional cerebral más fácilmente disponibles para mapear la actividad regional del cerebro. Aún cuando se considera en general que la Tomografía por Emisión de Positrones (PET) proporciona mejor resolución, los procedimientos más modernos de SPECT cerebral alcanzan una resolución tan buena como la de los estudios de PET. Adicionalmente, el SPECT cerebral tiene la ventaja de que los radiofármacos utilizados gozan de mayor aceptación por parte de la FDA (Food and Drug Administration) en comparación con los que se usan en los estudios de PET.

Tanto el SPECT cerebral como el PET se basan en el hecho de que la actividad neuronal regional se acompaña de un aumento en el FSC en la misma región (Baron et al, 1982; Ingvar & Risberg, 1967; Raichle, Grubb, Grado, Eichling & Ter-Pogossian, 1976). A pesar de que ambas técnicas se basan en los principios fisiológicos que fueron mencionados con anterioridad, el PET cerebral permite detectar directamente los procesos metabólicos al utilizar al oxígeno o a la glucosa para la administración de radiotrazadores. Por su parte, el SPECT cerebral solamente detecta los cambios en el FSC que, como antes se mencionó, es sólo un indicador indirecto de la actividad metabólica del cerebro.

La realización de un estudio de SPECT cerebral requiere del empleo de algún tipo de radiofármaco que contiene un isótopo radioactivo, de un “scanner” capaz de detectar los fotones una vez que se han fijado en el tejido cerebral y un software mediante el cual se miden las diferencias en las concentraciones de dichos fotones en diversos lugares del cerebro. Por medio de estos elementos se elaboran mapas que permiten localizar los sitios en los que tales diferencias son estadísticamente significativas.

Los radiofármacos actualmente disponibles para los estudios de SPECT cerebral permiten registrar y medir los cambios en el Flujo Sanguíneo Cerebral Regional (FSCr) así como en el Volumen Sanguíneo Cerebral Regional (VSCr). Adicionalmente, se desarrollan en la actualidad algunos radiofármacos para sistemas dopaminérgicos, serotoninérgicos, noradrenérgicos, colinérgicos y gabaérgicos, llamados radioligandos por unirse a los neuroreceptores correspondientes. El mapeo de estos sistemas bioquímicos será de gran utilidad en diversos estudios clínicos, aunque tampoco miden directamente el metabolismo cerebral, sino las variaciones en las concentraciones de estos neurotransmisores.

Los radiofármacos contienen un radiotrazador, que es un determinado isótopo radioactivo. Un isótopo es un átomo con un núcleo en el que existe el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones. Un elemento dado puede tener varios isótopos, es decir, átomos con distintos números de neutrones. Cuando los átomos poseen un número de neutrones excesivo o insuficiente para mantener un equilibrio y estabilidad con respecto a su número de electrones, entonces son inestables, lo que significa que existen durante un tiempo, después del cual se desintegran emitiendo actividad radioactiva, por lo que se denominan *isótopos radioactivos*. Esta actividad radioactiva toma la forma de partículas (llamadas alfa o beta) u ondas electromagnéticas (rayos gamma).

Existen diferentes formas de desintegración de los átomos (isótopos) radioactivos, que conducen al paso de isótopos inestables a isótopos estables. Sin embargo, en general, este proceso consiste en la transformación de neutrones en protones y en la liberación de electrones, positrones o rayos gamma. En el caso de los isótopos utilizados en los estudios de

SPECT, se liberan fotones de rayos gamma, que posteriormente son detectados por un dispositivo del “scanner” denominado “gamacámara”.

Los trazadores utilizados en este tipo de estudios pueden ser *difusibles*, llamados así por circular en el torrente sanguíneo sin tomar parte en el metabolismo o catabolismo del tejido cerebral. Su concentración en tejido depende, entonces, sólo de su gradiente de concentración del suministro arterial al tejido, o la tasa de alimentación (perfusión). La medición de su concentración arterial (ya sea directa o indirectamente) permite tener una medida del FSCr.

El Xenón 133 (^{133}Xe) fue el primer radiotrazador difusible ampliamente utilizado. Es un gas inerte, que no interactúa metabólicamente con el tejido, que tiene un tránsito rápido y una vida media corta. En consecuencia, se detecta solamente si se realizan scans de 10 segs como máximo. Dicho en otros términos, el ^{133}Xe permite estudios con una mejor resolución temporal en comparación con otros radiofármacos; sin embargo, dada su corta vida media y su emisión de señal radioactiva relativamente débil, paga el costo de una menor resolución espacial.

Otro tipo de trazadores son los llamados *estáticos*. Tienen la característica de ser relativamente estables in vivo, con una vida media de por lo menos 60 minutos. Estos trazadores son más útiles para utilizarse en equipos con gamacámaras rotatorias, que permiten más fácilmente la reconstrucción de imágenes en tres dimensiones. La posibilidad de utilizar tiempos más prolongados de adquisición de las imágenes aumenta su resolución espacial. Al término de su vida media, se eliminan por medio de degradación metabólica.

Las aminas iodadas o Iodina 123 (^{123}I IMP, ^{123}I HIPDM) fueron los primeros trazadores estáticos utilizados. Tienen una vida media del orden de horas y con ellas se pueden registrar muy adecuadamente los niveles altos de FSCr. Sin embargo, su uso es restringido en los Estados Unidos, a pesar de que el IMP continúa utilizándose en algunos otros lugares como Japón.

En la actualidad, es mucho más común el empleo de Tecnecio 99 (^{99m}Tc HMPAO o ^{99m}Tc ECD). Ambos tienen un buen nivel de fijación en el tejido cerebral. El ^{99m}Tc ECD, sin embargo, permite la obtención de imágenes con un mayor contraste entre la sustancia gris y la sustancia blanca. Puede utilizarse hasta 6 horas después de su reconstitución o elaboración, mientras que el ^{99m}Tc HMPAO sólo puede usarse hasta 4 horas después de ello. Por otra parte, el ^{99m}Tc ECD se elimina más rápidamente del organismo, por lo cual representa menor exposición a la radiación.

Los radiofármacos son administrados bien sea por vía aérea (como es el caso del ^{133}Xe), o por vía intravenosa. En ambos casos, se incorpora al torrente arterial y se fija en el tejido cerebral en cantidades proporcionales al FSCr o al VSCr. Posteriormente, el sujeto es introducido en el “scanner”, que en la actualidad está generalmente equipado con una “gamacámara” que detecta los fotones fijados en el tejido cerebral para elaborar una imagen tridimensional de su distribución.

Sin embargo, resulta importante considerar que existen diversos factores que inciden directamente en las variaciones en el FSC que pueden observarse en los estudios de SPECT, y que no están necesariamente relacionadas con el estado clínico del sujeto o con la actividad fisiológica que se ha buscado inducir. Estos factores deben controlarse hasta donde sea posible, a fin de evitar que los resultados alcanzados sean mal interpretados.

Un grupo de factores que induce variabilidad en la actividad cerebral y en el patrón de variaciones en el FSC son los medioambientales. Ellos incluyen a las condiciones experimentadas por los sujetos durante la administración y fijación del radiofármaco. La estimulación visual, auditiva, el movimiento y la propia actividad cognoscitiva determinan cambios en la hemodinámica cerebral. No existen parámetros generalmente aceptados para el control adecuado de estos factores. La mayor parte de los investigadores emplean un ambiente aislado de ruido y de estímulos visuales que atraigan fuertemente la atención del sujeto. El radiofármaco es administrado en dicho ambiente y posteriormente el sujeto permanece solo en él, durante el tiempo de fijación (entre 15 y 30 minutos, dependiendo del radiofármaco

utilizado). La mayor parte de los investigadores prefieren dejar al paciente el reposo, pero con “ojos y oídos abiertos”, ya que, si bien esta condición no suprime la estimulación medioambiental, la condición de “ojos y oídos cerrados” parece inducir mayor variabilidad metabólica y hemodinámica en el cerebro (Mazziotta, Phelps, Carson & Kuhl, 1982; Devous, Stokely & Bonte, 1985). En función de los objetivos del estudio, puede optarse por una u otra de estas condiciones medioambientales.

Otro grupo de factores que determinan diferencias metabólicas y en la perfusión cerebral se relacionan con las características de los sujetos. Se ha demostrado que el FSC depende, en mayor o menor medida, de factores tales como la edad (Gur, Gur, Obrist, Skolnik & Reivich, 1987; Hangstadius & Risberg, 1989; Mathew, Wilson & Tant, 1986), el sexo (Mathew et al, Op Cit; Daniel, Mathew & Wilson, 1988; Gur et al, 1982; Rodríguez, Warkentin, Risberg & Rosadini, 1988), la lateralidad (Gur et al, 1982), la presión sanguínea, los niveles de dióxido de carbono arterial, la ansiedad o la atención del sujeto, entre otros (Devous, Stokely, Chehabi & Bonte, 1986). Además de lo anterior, el consumo de cafeína, así como fármacos diversos, modifican el FSCr. Estos factores deben tenerse en cuenta siempre que se realice un estudio de SPECT cerebral.

Pueden realizarse estudios de SPECT cerebral con fines clínicos o de investigación. En el caso de estudios clínicos, en los que se buscan patrones específicos de perfusión sanguínea asociados a estados o condiciones patológicas, deben conocerse los patrones generales esperados en la perfusión cerebral de acuerdo con las características del paciente (pueden encontrarse los procedimientos generales en Catafu, 2001; Triverdi, Husain & Devous, 1997 y Devous, 2001) . En el caso de estudios con sujetos normales, en los que se busca conocer las diferencias en el FSCr asociadas a una determinada actividad o tarea experimental (estudios con activación), el control de estas variables por medio de la cuidadosa selección de los sujetos debe garantizarse a fin de reducir en lo posible la variabilidad de los datos atribuible a ellas (una descripción sobre los principios y procedimientos de los estudios de SPECT cerebral con activación se encuentra en Biersack, Flemm, Reichmann, Menzel & Grunwald, 1997). A

continuación, se describen los procedimientos generales para la realización de los estudios de SPECT cerebral.

Los Estudios de SPECT cerebral con activación

Dado que se espera un considerable nivel de variación en la perfusión sanguínea de un mismo sujeto en diferentes días, es conveniente realizar los estudios de tipo experimental en un mismo día. Sin embargo, por otra parte, la identificación de los cambios en el FSCr asociados a la realización de la tarea experimental usualmente se hace comparando un estudio basal en reposo con uno de activación. Ello hace que el empleo de dosis fraccionadas se haya tomado como un recurso para efectuar ambos estudios en el mismo día sin administrar cantidades no recomendables de radiofármaco a los sujetos. De esta manera, se realiza un estudio basal en reposo, seguido de un estudio en activación el mismo día, lo que contribuye a reducir diferencias intraindividuales asociadas a factores relacionados con el hecho de ser estudiados en días distintos.

A la administración del radiofármaco sigue el proceso de adquisición de las imágenes. Ello se hace colocando al sujeto acostado en el tomógrafo, en donde se llevará a cabo la detección de la señal radioactiva durante aproximadamente 20 o 25 minutos.

Durante las últimas dos décadas, se han desarrollado tanto los equipos como los programas para realizar estudios de SPECT cerebral, de modo que en la actualidad dichos estudios pueden proporcionar imágenes de alta calidad. En general, existen dos tipos de sistemas: sin y con gamacámara. Los primeros utilizan un detector rotativo, scanners multidetectores y anillos fijos. Este tipo de equipos son útiles sobre todo para realizar adquisiciones rápidas (de 10 segundos o menos).

Los segundos son actualmente los más ampliamente utilizados. La gamacámara puede estar equipada con uno o más cabezales, cada uno de los cuales tiene cristales capaces de detectar la señal radioactiva emitida por los fotones de rayos gamma desde el interior del cráneo. La

mayor parte de estos sistemas proporcionan imágenes de alta resolución (de 6 mm aproximadamente en la corteza y 7 mm aproximadamente en el centro del cerebro) cuando se emplean radiofármacos estáticos. Cuando se emplea más de un cabezal, el tiempo de adquisición de las imágenes se reduce, pues se detecta la señal simultáneamente desde distintos puntos, lo cual además facilita la reconstrucción en imágenes en tercera dimensión. Desde la instalación del primer equipo de tres cabezales en 1987, este tipo de sistema se ha convertido en el más sofisticado para SPECT cerebral y el que predomina en la mayor parte de los laboratorios en la actualidad (Devous, 2000).

Para la adquisición de las imágenes, el sujeto debe colocarse en el tomógrafo siguiendo las guías de alineación de la cabeza que el equipo proporciona. Debido al tiempo prolongado de adquisición, es importante evitar movimientos de la cabeza que producirían distorsiones en las imágenes. Para ello, se fija la cabeza con unas cintas que el equipo incluye. Una vez finalizada la etapa de la adquisición de los datos, el sujeto se retira del equipo y termina su participación en el estudio.

A continuación, los datos obtenidos deben filtrarse en tres dimensiones simultáneamente. Ello puede hacerse ya sea filtrando la proyección de los datos antes de la reconstrucción transversal o bien filtrando los datos ya reconstruidos, si el equipo cuenta con un posfiltrado en tercera dimensión (*filtrado de retroproyección*). Este proceso de filtrado permite eliminar de las imágenes la señal radioactiva que proviene de estructuras adyacentes al cerebro y que introducen ruido. Es importante utilizar filtros espacialmente invariantes, lo que permite optimizar resolución y minimizar ruido en el proceso de reconstrucción de las imágenes.

La reconstrucción transversal debe hacerse a un nivel de grosor de un pixel. Ello permite que el procesamiento posterior desde ángulos oblicuos o desde otros cortes se haga sin errores. No deben hacerse filtrados durante el proceso de reconstrucción de las imágenes, ya que éste es por definición un proceso que se lleva a cabo en dos dimensiones (dentro de un corte). Tanto el filtrado como la reconstrucción, que se realizan mediante el software con el que cuenta el equipo, deben llevarse a cabo antes del siguiente proceso.

Otro tipo de filtrado se denomina *corrección de atenuación*. Si se considera que la radiación emitida desde el cerebro pasa por distintos medios tales como hueso, cabello y aire antes de ser detectada por el equipo, se observa que dicha señal se recibe atenuada. En consecuencia, la calidad de la imagen se ve afectada. Es necesario, entonces, introducir un coeficiente de corrección de dicha atenuación, que se establece a partir de los parámetros de adquisición y que se expresa en un valor/cm². Se aplica este factor a la señal recibida y de esta manera se estima la dimensión real de la señal sin la atenuación con la que se recibió.

Posteriormente, se deben hacer varias correcciones y filtrados con el propósito de hacer comparables entre sí los datos de imágenes diferentes. Debe considerarse que entre los cerebros de distintas personas existen diferencias morfológicas considerables. Por otra parte, y a pesar de que se trata de inmovilizar la cabeza de los sujetos durante la adquisición de los datos, es imposible eliminar totalmente el movimiento, además de que no existe una certeza absoluta de que la cabeza de un mismo sujeto haya sido alineada exactamente de la misma forma al colocarse dos veces en el tomógrafo. Debido a que el análisis ulterior de los datos se basa en la comparación de la cantidad de señal obtenida por un mismo voxel en diferentes condiciones o entre diferentes estudios, estas correcciones resultan de gran importancia.

Es, entonces, necesario eliminar (o minimizar) los efectos del movimiento de la cabeza de los sujetos durante el proceso de adquisición de los datos. Este proceso se llama *Alineación* y se hace a partir de un coeficiente de calibración que debe establecerse para cada equipo. Este coeficiente de calibración constituye el parámetro con base en el cual se alinea la cabeza de los sujetos y se disminuyen las diferencias morfológicas mencionadas.

Finalmente, se realiza otro filtrado, llamado *suavizado* (smoothing). Este tiene como finalidad eliminar la variación en la señal obtenida de cada voxel, que pueda ser atribuida a efectos no controlados o ruido. Los filtros, en este caso, son algoritmos que se utilizan para remover componentes de frecuencia de los datos que representan variaciones atribuidas a ruido. Este algoritmo es de tipo gaussiano y básicamente compara la frecuencia de señal de un voxel, que

aparentemente tiene una dimensión mayor al nivel de significación, con las de los voxeles vecinos. En caso de existir diferencias significativas entre ellos, se considera entonces a dicho voxel como “disparado” y se elimina del análisis. Es importante señalar que el análisis de los datos toma como uno de sus puntos de partida el establecimiento de un determinado tamaño de cluster, es decir, de agrupación mínima de voxeles vecinos, en los que debe detectarse señal de magnitud similar, sobre el nivel de significación, para ser considerados como indicadores de un sitio específico de activación.

Después de la realización de la alineación y filtrados, se realiza el proceso de formación de las imágenes. Para ello, se crean vistas oblicuas, desde diversos ángulos. Esto se hace con la finalidad de poder reconstruir una imagen en tres dimensiones en la que se puedan observar, lo mejor posible, las diversas estructuras cerebrales que puedan resultar de interés. Como mínimo, se crean imágenes en cortes transversales, coronales y sagitales. Los programas actuales permiten, con base en ello, visualizar el cerebro desde diversos ángulos oblicuos, lo cual en ocasiones es muy útil para observar estructuras que no se aprecian totalmente desde los cortes clásicos.

Los estudios clínicos convencionales de SPECT cerebral, que se practican a pacientes individuales, requieren de un análisis de datos y reconstrucción de imágenes de acuerdo con lo expuesto de manera general hasta este punto, siendo el último aspecto a definir el de la presentación de las imágenes. Todos los programas de reconstrucción de imágenes ofrecen diversos formatos para su presentación, incluyendo distintos cortes, imágenes en tercera dimensión, en escala de grises o en colores. El formato más adecuado de presentación depende, en ocasiones, de la finalidad del estudio, pero cada laboratorio acostumbra tener un formato estándar. El más común es mostrando ya sea un corte axial o coronal en una escala de colores que indican el grado de aumento o disminución de la perfusión en diferentes lugares del cerebro.

Sin embargo, la utilización del SPECT cerebral para la investigación de la actividad cerebral en sujetos distintos requiere de la realización de un análisis adicional al hasta aquí mencionado.

Cualquier estudio de SPECT con activación (es decir, durante la realización de una tarea) implica necesariamente la realización de una comparación, por lo menos, con un estudio basal de manera individual. Adicionalmente, la investigación de diferentes sujetos implica también la comparación de los datos obtenidos entre ellos.

En consecuencia, se hace necesario trabajar con diferentes imágenes, bien sea de un mismo sujeto o de un grupo de ellos. Por tanto, se requiere de un proceso llamado *normalización*, por medio del cual las distintas imágenes se homogeneizan espacialmente. Esta tarea se realiza utilizando un sistema tridimensional de coordenadas con base en el cual se ajustan las imágenes, distintas morfológicamente entre sí. El sistema más comúnmente utilizado es el llamado “Espacio Estereotáxico” de Talairach y Tournoux (1988). Este sistema fue diseñado con base en la normalización neuroanatómica de gran número de cerebros, a partir de los cuales se ha obtenido un sistema de coordenadas al cual se ajustan las imágenes obtenidas en los estudios de neuroimagen.

Una vez normalizadas las imágenes, es posible realizar análisis estadísticos voxel por voxel, comparando la señal obtenida en diferentes momentos, relacionados con la administración de un tratamiento farmacológico o con la realización de una determinada tarea cognoscitiva. Dicho análisis se lleva a cabo mediante la utilización de programas computarizados diseñados para tal fin. Uno de los más ampliamente conocidos y utilizados en el mundo es el SPM (Statistical Parametric Mapping), que permite hacer los análisis sobre los cambios en la señal proveniente de diferentes voxels, presentándolos sobre una imagen anatómica (Friston, Holmes, Worsley, Poline, Frith & Franckowiack, 1995).

El empleo del SPECT cerebral se ha circunscrito principalmente a sus usos como técnica de diagnóstico clínico. Su empleo como técnica de investigación en Neurociencias ha sido más limitado, primordialmente por el surgimiento de otras técnicas más potentes (como el PET), antes de que se hubieran desarrollado tecnológicamente los recursos para el empleo del SPECT. De hecho, el SPM fue diseñado para el procesamiento de datos obtenidos mediante el empleo de PET y su uso realmente se ha extendido para el procesamiento de datos con

SPECT. Actualmente, se han generado alternativas de neuroimagen menos invasivas y con mayores ventajas para el análisis fino de la actividad cerebral, como es el caso de la Imagen por Resonancia Magnética Funcional (IRMf).

No obstante lo anterior, el SPECT cerebral ha sido utilizado con éxito en la investigación sobre las bases neuroanatómicas de diversos procesos cognoscitivos mediante diseños de activación. Audenaert, y otros (2000) lograron detectar activación en las regiones prefrontales mediante una tarea de fluencia verbal. Posteriormente, Audenaert, y otros (2001) validaron el empleo del SPECT cerebral con activación detectando cambios significativos del FSCr en las regiones prefrontales durante la realización de la tarea clásica de interferencia “Stroop”. Después, Goethals, y otros (2002) hicieron lo mismo mediante el empleo de tareas de memoria de trabajo. Goethals, Audenaert, Jacobs, Lannoo y otros (2004) y Goethals, Audenaert, Jacobs, Van De Wiele y otros (2004) realizaron investigaciones similares utilizando otras tareas neuropsicológicas. Todos estos trabajos fueron realizados en sujetos sanos, mediante diseños de SPECT cerebral con activación a dosis fraccionadas, lo que demuestra la utilidad de esta técnica para la investigación en neurociencias cognitivas.

En comparación con estas nuevas técnicas, el SPECT cerebral tiene la desventaja de requerir de prolongados tiempos de adquisición de las imágenes, y que la información en ellas contenida se refiere a procesos ocurridos durante un lapso de tiempo anterior al momento de la adquisición. La resolución temporal es, entonces, prácticamente nula, aunque la resolución espacial que es capaz de proporcionar puede ser hoy tan buena como la que se obtiene con estudios de PET. No obstante, tiene la ventaja de su mucho menor costo y, en el caso de los diseños con activación, de proveer a los sujetos de condiciones más naturales para la realización de las tareas experimentales, pues la misma se realiza fuera del tomógrafo.

Ponderando lo anterior, puede decirse que el SPECT cerebral es una técnica factible de utilizarse, siempre que las preguntas de investigación se relacionen con los aspectos anatómicos y no temporales de la actividad cerebral.

IV

Estudio Experimental mediante SPECT cerebral.

1) Planteamiento del Problema

Como fue explicado en los capítulos I y II, la identificación de los sistemas neuronales que participan en el procesamiento de representaciones concretas y abstractas de los conceptos es aún una tarea inacabada. Las investigaciones de pacientes con trastornos semánticos, así como los diversos estudios con técnicas electrofisiológicas y los realizados mediante técnicas de neuroimagen funcional, han aportado datos respecto a la participación de algunas estructuras anatómicas en el procesamiento semántico en general. Los trabajos publicados al respecto muestran que el procesamiento semántico de representaciones conceptuales concretas requiere del trabajo de regiones temporales, predominantemente izquierdas, y occipitales bilaterales. Sin embargo, aún no se han alcanzado datos concluyentes sobre las diferencias neuroanatómicas entre el procesamiento semántico de representaciones conceptuales concretas y abstractas, como fue también expuesto en los mismos capítulos.

Por consiguiente, la presente investigación se orientó precisamente hacia el problema siguiente: *¿Cuáles son las bases neuroanatómicas del procesamiento semántico de los rasgos concretos y abstractos de los conceptos?*

Inicialmente, esta investigación fue formulada incluyendo dos fases sucesivas: una primera fase de identificación de las regiones cerebrales involucradas en el procesamiento semántico de los mencionados tipos de representaciones mediante SPECT cerebral, así como una segunda fase, de carácter confirmatorio, en la que se interferiría funcionalmente sobre el mencionado procesamiento a través del empleo de Estimulación Magnética Transcranial (EMT). No obstante, esta técnica es susceptible de ser empleada solamente en regiones corticales de la

convexidad, por lo que la realización de esta fase sería posible únicamente en el caso en el que los resultados de la fase inicial correspondieran a ese tipo de áreas.

2) Objetivo de la Investigación

“Identificar las regiones de la corteza cerebral que participan selectivamente en el procesamiento de los rasgos concretos y abstractos de los conceptos durante una tarea de juicio semántico”.

3) Hipótesis

Con base en los postulados de la Teoría de la Codificación Dual (Paivio 1971, 1991), se formuló la hipótesis de que el procesamiento semántico de los rasgos (representaciones) concretos de los conceptos involucraría la participación de un conjunto más extenso de regiones corticales de ambos hemisferios, especializadas tanto en el procesamiento de representaciones analógicas como verbales, mientras que el procesamiento de rasgos abstractos involucraría un conjunto menos extenso de regiones cerebrales, distribuido predominantemente en el hemisferio izquierdo, entre las cuales no se incluirían regiones especializadas en el procesamiento de representaciones analógicas.

4) Método

a) Sujetos

Participaron 8 sujetos voluntarios sanos, seleccionados a partir de los siguientes criterios:

- De 20 a 35 años de edad.
- Monolingües de habla hispana.
- Diestros. (16 puntos o menos en el inventario de Edinburgo) y sin antecedentes familiares de zurdería en línea directa
- 4 del sexo femenino y 4 del sexo masculino.

- Con una escolaridad de entre 12 y 17 años.
- Sin antecedentes de enfermedades neurológicas, psiquiátricas o sistémicas.
- Sin antecedentes de fracaso escolar o dificultades de aprendizaje.
- Sin datos de actividad eléctrica cerebral anormal.
- En el caso de las mujeres, sin encontrarse embarazadas.
- Sin antecedentes de uso o abuso de sustancias adictivas.

b) Material y equipo

- Entrevista de historia clínica neuropsicológica y psiquiátrica (véase Apéndice I)
- Inventario de Edinburg para lateralidad (Oldfield, 1971)
- Symptom Check List 90 (Derogatis, 1994)
- Mini International Psychiatric Interview-MINI (Sheehan et al, 1998)
- Equipo de electroencefalografía digital Medicid 4 (Neuronic)
- Electrodo de oro marca Grass y materiales para su colocación
- Gorros ElectroCap para adulto
- Gamacamara multiSPECT Siemens de tres cabezales.
- Colimador neurofocal (fam beam)
- 16 unidosis de radiofármaco ^{99m}Tc - ECD (Accesofarma)
- Computadora portátil Toshiba Satellite Mod. 2455
- Software para diseño y administración de los estímulos E-Prime 2002 (*Psychology Software Tools Inc.*)
- Paquete estadístico para el análisis de los datos (Stata V. 8)

c) Paradigma Experimental

Considerando que la técnica de SPECT cerebral tiene la limitación de no ofrecer datos “en línea” sobre la actividad cerebral, se hizo necesario el diseño de un paradigma experimental en el que la tarea que los sujetos debieran realizar tuviera una alta carga “semántica”. Dicho en

otros términos, la tarea debía inducir la mayor cantidad y magnitud posible de actividad semántica, misma que debía mantenerse por espacio de 15 minutos como mínimo. Por ello, se decidió la utilización de una tarea de juicio semántico, en la que los participantes debían tomar una decisión sobre la relación semántica en pares de palabras. A diferencia de las tareas de decisión léxica, de denominación o de apareamiento entre una palabra y una imagen, comúnmente utilizadas en investigaciones de la memoria semántica, la tarea de juicio semántico requiere de la formulación explícita de un juicio y la toma de una decisión sobre la base del contenido semántico de dos palabras, lo que la hace una tarea mas “cargada” cognoscitivamente en los aspectos que se desean estudiar en esta investigación.

Este paradigma de juicio semántico consiste en la presentación de pares de palabras, la primera de las cuales se refiere a un atributo o rasgo (propiedad, característica o parte de algo), mientras que la segunda se refiere a un objeto o animal. Desde el punto de vista gramatical, la primera de las palabras es un adjetivo o un sustantivo (cuando se refiere a una parte de algo), mientras que la segunda es siempre un sustantivo. Ante cada par de palabras, los participantes deben responder “sí”, si consideran que la primera palabra es una característica típica o una parte del objeto o animal al que se refiere la segunda palabra; por el contrario, deben dar la respuesta “no” cuando consideren que la primera palabra no es una característica típica o una parte del objeto o animal referido. Los atributos a los que se refiere la primer palabra de cada par fueron clasificados como concretos, cuando se refieren a partes físicas, a la forma, color, tamaño y, en general a características representables en forma de una imagen de tipo perceptual (visual), o como abstractos, cuando se refieren a atributos difícilmente perceptibles en sí mismos. Asimismo, el paradigma contiene la mitad de estímulos congruentes (típicamente relacionados, y por lo tanto cuya respuesta correcta es “sí”), y la mitad de estímulos incongruentes (no relacionados, por lo que la respuesta correcta es “no”).

Debido a que este paradigma utiliza palabras como estímulos, su correcta selección requiere del control sobre la familiaridad de las mismas para los sujetos experimentales. Ante la falta de un corpus léxico en el que se haya medido la familiaridad de las palabras del español mexicano, y que hubiera considerado el nivel educativo, se hizo necesaria la realización de un piloteo en un

grupo de sujetos de las mismas características que los que participarían en el estudio experimental. Para tal fin, se listaron de manera arbitraria un conjunto de 640 estímulos (pares de palabras). En el 50% de los casos, la primera palabra del par es un sustantivo o adjetivo que se refiere a un atributo concreto o a una parte de un objeto o animal. En el 50% restante, se utilizaron adjetivos abstractos. La segunda palabra fue un sustantivo que denota a un animal (50% de los casos) o a un objeto, generalmente manufacturado (en el otro 50% de los casos). Se utilizaron, en este último caso, palabras pertenecientes a las categorías “animales” y “objetos” por el hecho de incluir un gran número de ejemplares y ser, en general, consideradas como familiares, razón por la que han sido ampliamente utilizadas en diversos estudios experimentales. Adicionalmente, son categorías cuyo procesamiento se relaciona con un sustrato neuroanatómico ya identificado de manera más o menos clara, como fue expuesto en el capítulo 2. Las palabras que designan atributos, así como su relación semántica con los animales y objetos, se pusieron a prueba, con el fin de minimizar en lo posible el efecto de familiaridad léxica.

El estudio piloto para la selección de los estímulos se hizo aplicando el paradigma de juicio semántico, en versión de lápiz y papel, de manera individual, a un grupo de 40 sujetos sanos, seleccionados con los mismos criterios establecidos para la selección de los sujetos experimentales. Sin embargo, debido a errores en la ejecución de la tarea, consistentes en la falta de respuestas a uno o más reactivos, 4 sujetos fueron eliminados, considerándose finalmente los datos correspondientes a los otros 36 en esta etapa de la investigación.

De los 640 estímulos originalmente diseñados, se seleccionaron 560 que serían utilizados en las siguientes fases experimentales del proyecto. Durante los estudios de SPECT cerebral, se utilizaría un total de 400 estímulos con las siguientes características: 200 estímulos con atributos concretos, 100 de los cuales serían congruentes y 100 más incongruentes, y otros 200 con atributos abstractos, la mitad de los cuales serían congruentes y la otra mitad incongruentes. Para los experimentos con EMT, se requerirían 160 estímulos distintos, 80 de los cuales contendrían atributos concretos (40 congruentes y 40 incongruentes) y 80 más con atributos abstractos (distribuidos de la misma manera). En consecuencia, se incluyó en este

estudio piloto un total de 120 estímulos del grupo concretos congruentes, 120 concretos incongruentes, 200 abstractos congruentes y 200 abstractos incongruentes. Se incluyó un mayor número de estímulos abstractos, debido a que se esperaba una proporción menor de respuestas correctas en ellos, como consecuencia del hecho de estar asociados a palabras de menor frecuencia de uso. El orden de presentación de los estímulos fue aleatorio.

Se decidió eliminar los estímulos en los que se obtuvieran menos del 90% de respuestas correctas. Sin embargo, al obtenerse un número menor del requerido para el grupo de estímulos concretos-congruentes, se hizo necesario un segundo estudio con 37 sujetos distintos a los anteriores, pero seleccionados con los mismos criterios. Finalmente, se obtuvo una lista de estímulos adecuadamente reconocida, y factible de utilizarse en la fase experimental. El Apéndice II muestra los 640 estímulos originalmente diseñados, así como el porcentaje de respuestas correctas obtenido para cada uno de ellos, además de señalarse en sombreado los que fueron eliminados.

Una vez completado el número de reactivos, se diseñó el programa para la administración del paradigma. Con tal fin, se utilizó el software *E-Prime 2002 (Psychology Software Tools Inc.)* versión 1.10. Dicho programa se instaló en una computadora portátil Toshiba Satellite 2455. Por medio de él, se controlan las variables propias de los estímulos, tales como tiempo de exposición, tiempo de intervalo interestímulo y la aleatorización del orden de presentación, así como los tiempos de respuesta y el número de errores y aciertos para cada una de ellas. Como dispositivo de respuesta, fueron configurados los dos botones del ratón externo. Este programa realiza además un análisis descriptivo de los datos, generando un archivo que puede ser leído por diversos paquetes de análisis estadístico.

De esta manera, el Paradigma de Juicio Semántico fue diseñado con base en la siguiente estructura y parámetros:

- ***Pantalla de Bienvenida.*** En ella, aparece la identificación de las instituciones que apoyan el proyecto (Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara e

Instituto Nacional de Psiquiatría “Ramón de la Fuente Muñiz”). Tiempo de duración: 10 segs.

- ***Pantalla de Instrucciones.*** En ella, aparecen las instrucciones siguientes: “*A continuación aparecerá en la pantalla una cruz. Después de ella, aparecerá un par de palabras. La primera palabra se refiere a una característica o parte de algo. La segunda palabra es un nombre de un objeto o animal. Si la primera palabra corresponde con una característica del animal u objeto, presione el botón ‘sí’; si no corresponde, presione el botón ‘no’. A continuación, haremos unas pruebas. Apriete cualquier tecla para continuar.*” Estas instrucciones se fueron leyendo a los sujetos mientras ellos las observaban en la pantalla. Tiempo de duración: indefinido.
- ***Pantalla con una cruz al centro.*** Duración: 2 segs.
- ***Pantalla con estímulo:*** dos palabras, separadas por dos espacios en tipo Courier New de 25 puntos y en color azul marino sobre fondo blanco. Duración: 3 segs. o hasta registrar respuesta.
- ***Pantalla en blanco.*** Duración: 1 seg.

Después de 10 ensayos de prueba:

- ***Pantalla con instrucciones.*** En ella, aparecen las siguientes instrucciones: “*Gracias. A continuación comenzaremos con la prueba. Apriete cualquier tecla para continuar*”. Tiempo de duración: indefinido.

Después de 200 ensayos con estímulos concretos o abstractos, conservando los mismos parámetros, en un orden aleatorio distinto para cada participante aparecía la:

- ***Pantalla de despedida.*** Con el siguiente texto: “*Gracias por participar*”. Tiempo de duración: indefinido, hasta apretar una tecla.

d) Procedimiento

Para la selección de los sujetos se realizó la entrevista inicial, en la que se explicó extensamente en qué consistiría su participación en los experimentos, los procedimientos del estudio y las posibles molestias que pudieran presentarse. Asimismo, se recogieron los datos referentes a la historia clínica, la lateralidad y los datos sociodemográficos de los sujetos. En esa misma sesión se aplicaron el Symptom Check List-90 -SCL-90- (Derogatis, 1994) y el Mini International Psychiatric Interview –MINI- (Sheehan et al, 1998). Todos los participantes proporcionaron su consentimiento informado por escrito, de acuerdo con las normas internacionales de bioética y de los requerimientos del Comité de Bioética del Instituto Nacional de Psiquiatría “Ramón de la Fuente Muñiz”, institución en la que se realizó esta investigación.

De cada uno de los sujetos seleccionados se obtuvo un electroencefalograma (EEG) digital y, posteriormente, se realizó el análisis cuantitativo del mismo. Para el registro del EEG se utilizó un gorro con electrodos de superficie colocados según el Sistema Internacional 10-20 y se obtuvo el registro monopolar (19 derivaciones). Con el propósito de monitorear los movimientos oculares, se colocaron dos electrodos adicionales: el primero, un centímetro por encima de la ceja izquierda, y el segundo un centímetro por fuera del canto externo del mismo ojo. Los electrodos de referencia fueron colocados en los lóbulos de ambas orejas cortocircuitadas y se usaron para el registro un ancho de banda de 0.5-30 Hz. y una frecuencia de muestreo de 200 Hz. La ganancia de los amplificadores fue de 20,000. Para la obtención de las medidas espectrales de banda ancha (MEBAs) se seleccionó un minuto por EEG dado por 24 segmentos de 2.56 segundos de duración correspondientes al estado de ojos cerrados.

Los rangos de frecuencias en los que se calcularon las MEBAs (potencia absoluta, potencia relativa, frecuencia media), en los montajes de voltaje y Laplaciano, fueron los siguientes:

Delta: 1.5 – 3.5 Hz.

Theta: 3.5 – 7.5 Hz.

Alfa: 7.5 – 12.5 Hz.

Beta: 12.5 – 19.0 Hz.

Total: 1.5 – 19.0 Hz.

Los diferentes valores de las MEBAs fueron transformados en valores Z para conocer qué tanto los sujetos se desviaron o no de la media de los sujetos normales de su edad. Se utilizaron para este análisis los datos de la norma cubana (Szava et al., 1989). Sólo se incluyeron en esta investigación los sujetos que no presentaron anormalidades de acuerdo con estos datos.

Las características de los sujetos seleccionados se muestran en la Tabla A. De acuerdo con los instrumentos clínicos aplicados, ninguno tenía antecedentes neurológicos, psiquiátricos o de consumo de sustancias adictivas ni de dificultades en el aprendizaje escolar. Asimismo, todos los sujetos presentaron actividad eléctrica cerebral sin dato alguno de anormalidad (a este respecto, se practicaron 19 estudios de EEG, de los cuales se seleccionaron los 8 participantes). Todos los sujetos firmaron una carta de consentimiento informado para participar en los experimentos.

Tabla A. Características de los sujetos experimentales

Edad	Promedio= 23.0 Rango=20-26
Años de escolaridad	Promedio=14.8 Rango=13-17
Hombres	4
Mujeres	4
Puntaje Inventario de Edinburgh	Promedio=11.37 Rango=10-14

Adquisición de las imágenes de SPECT cerebral.

A cada sujeto se le realizaron dos sesiones de neuroimagen mediante SPECT. Cada sesión constó de 2 estudios, empleando dosis fraccionadas: un 1/3 para el primer estudio (basal) y los dos tercios restantes para el segundo (durante la realización del experimento). Los estudios se llevaron a cabo mediante el siguiente esquema:

Sesión 1:

Un SPECT basal en reposo y otro durante la tarea con estímulos concretos (1 día)

Sesión 2 (una semana después):

Un SPECT basal en reposo y otro durante la tarea con estímulos abstractos (1 día)

Durante cada sesión, se administró inicialmente 1/3 de dosis ^{99}Tc ECD para obtener la imagen basal de SPECT en reposo. Posteriormente, se inició la tarea experimental, durante la cual el sujeto recibió los 2/3 restantes de la dosis para la realización del segundo SPECT. Esta tarea tuvo una duración de 15 minutos aproximadamente, tiempo necesario para la fijación del radiofármaco. Finalmente, se adquirió la segunda imagen de SPECT, correspondiente al estado de activación.

Los datos fueron adquiridos en una matriz de 128 X 128 píxeles. Dicha adquisición se hizo sobre la base de la detección de 50 mil cuentas por proyección angular. Debido a que cada uno de los tres detectores registra 40 proyecciones angulares (lo que arroja un total de 120 proyecciones angulares), se detectaron un mínimo de 6 millones de cuentas por imagen. El coeficiente de corrección de atenuación fue de 0.12cm/1.

En lo que se refiere a la tarea experimental de juicio semántico, ésta se realizó con estímulos concretos (de contenido imaginable) en la primera sesión, mientras que incluyó estímulos abstractos (de contenido no imaginable) en la segunda sesión.

Por tanto, se obtuvieron, para cada sujeto, imágenes en las siguientes modalidades:

- Una imagen basal en reposo y una imagen en activación durante la realización de la tarea experimental con estímulos concretos.

- Una imagen basal en reposo y una imagen en activación durante la realización de la tarea experimental con estímulos abstractos.

Análisis de las imágenes

De acuerdo con lo especificado arriba, se obtuvieron un total de 32 imágenes de SPECT cerebral. Una vez hecho el filtrado de retroproyección y la corrección de atenuación, las 32 imágenes fueron alineadas y normalizadas para su análisis. Dicha normalización se hizo con base en la imagen promedio de las imágenes obtenidas, tomando como referencia la imagen del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal (Evans, Collins & Milner, 1992).

Posteriormente, se hicieron los siguientes contrastes, por medio de una ANOVA con contrastes F y T, estableciéndose para ello el tamaño del voxel en 2 x 2 x 2 mm y con un suavizado de 10 mm, siempre que las regiones activadas fueran de 5 clusters en adelante y a una p corregida para múltiples comparaciones <.05 mediante el método “Proporción de Descubrimiento Falso” -False Discovery Rate-FDR (Genovese, Lazar & Nichols, 2002):

- Basal 1 – Basal 2
- Basal 2 – Basal 1
- Tarea 1 – Basal 1 (Tarea de Juicio Semántico con estímulos concretos respecto a su basal en reposo)
- Tarea 2 – Basal 2 (Tarea de Juicio Semántico con estímulos abstractos respecto a su basal en reposo)
- Tarea 1 – Tarea 2 (Tarea con estímulos concretos respecto a la tarea con estímulos abstractos)
- Tarea 2 – Tarea 1 (Tarea con estímulos abstractos respecto a la tarea con estímulos concretos)

El análisis de las imágenes se llevó a cabo utilizando el software *Statistical Parametric Mapping-SPM2* (Friston, , Holmes, Worsley, Poline, Frith & Franckowiack, 1995). Los datos obtenidos de este análisis se presentan en el sistema de coordenadas el Atlas de Talairach y Tournoux (1988).

5) Resultados

a) Resultados conductuales

Aún cuando el problema de investigación se relaciona con las bases neuroanatómicas del procesamiento semántico de conceptos concretos y abstractos, resulta importante analizar el rendimiento de los participantes en las tareas. Ello es así debido a que las posibles diferencias en el nivel de dificultad de las tareas como resultado del empleo de estímulos de distinto tipo podrían verse reflejadas en los datos de los estudios de activación cerebral.

Se analizó inicialmente la distribución de las respuestas correctas e incorrectas del grupo de sujetos ante estímulos concretos y abstractos. Como puede observarse en la Tabla B, no existieron diferencias significativas en la proporción de respuestas correctas e incorrectas ante estas dos condiciones, de acuerdo con los datos obtenidos mediante la prueba Chi cuadrada.

Tabla B. Distribución de las respuestas durante el procesamiento de estímulos concretos y abstractos.

Respuestas	Concretos	Abstractos	Total
Incorrectas	46	44	90
%	51.11	48.89	100.00
Correctas	1,554	1,549	3,103
%	50.08	49.92	100.00

Pearson Chi2 (1) = 0.0372

Pr = 0.847

De igual manera, se analizó la distribución de las respuestas correctas e incorrectas ante estímulos congruentes e incongruentes, independientemente de su tipo, utilizándose la misma

prueba. La Tabla C muestra que tampoco existieron diferencias significativas en las respuestas producidas por los sujetos ante estímulos congruentes e incongruentes.

Tabla C. Distribución de las respuestas durante el procesamiento de estímulos congruentes e incongruentes

Respuestas	Incongruentes	Congruentes	Total
Incorrectas	20	24	44
%	45.45	54.55	100.00
Correctas	774	775	1,549
%	49.97	50.03	100.00

Pearson Chi2 = 0.3486

Pr = 0.555

Otro indicador comúnmente relacionado con el nivel de dificultad y con la complejidad de la tarea es el tiempo de respuesta. Con respecto a él, se hizo primero una prueba W de Shapiro Wilk, con la finalidad de conocer si los datos se distribuyen en forma normal, y de este modo decidir el procedimiento estadístico del análisis. Como puede observarse en la tabla D, los resultados muestran que los datos no se distribuyen normalmente.

Tabla D. Resultados de la Prueba W de Shapiro-Wilk para comprobar la distribución normal de los tiempos de respuesta

Variable	Obs	W	V	Z	Prob >Z
Tiempo de Respuesta	3193	0.96521	63.049	10.716	0.00000

Se decidió, entonces, realizar el análisis mediante la Prueba de Mann-Whitney con la finalidad de identificar si las diferencias en los tiempos de respuesta para las condiciones “concretos” y “abstractos” son significativas. Los datos que aparecen en la tabla E muestran que no existieron diferencias significativas en los tiempos de respuesta para el procesamiento de estímulos concretos y abstractos en estas tareas.

Tabla E. Diferencias en los tiempos de respuesta ante estímulos abstractos y estímulos concretos.

	Obs	Suma de rangos	Esperados
Concretos	1593	2523208	2544021
Abstractos	1600	2576013	2555200
Combinados	3193	5099221	5099221

Varianza no ajustada 6.784e+08
 Ajuste por (ties) -1169.8608

 Varianza ajustada 6.784e+08

Z = -0.799
 Prob > z = 0.4242

Finalmente, se investigó si existen diferencias significativas en los tiempos de respuesta durante el procesamiento de estímulos congruentes e incongruentes, independientemente de la condición “concretos” o “abstractos”. Los datos, obtenidos mediante la misma prueba y que aparecen en la Tabla F, muestran que los tiempos de respuesta son significativamente mayores para estímulos incongruentes que para estímulos congruentes, independientemente de si los estímulos eran concretos o abstractos.

Tabla F. Diferencias entre los tiempos de respuesta ante estímulos congruentes e incongruentes.

	Obs	Suma de rangos	Esperados
Congruentes	1599	2401624.5	2553603
Incongruentes	1594	2697596.5	2545618
Combinados	3193	5099221	5099221

Varianza no ajustada 6.784e+08
 Ajuste por (ties) -1169.8635

 Varianza ajustada 6.784e+08

Z = -5.835
 Prob > z = 0.0000

Tal y como fue expuesto con anterioridad, estas diferencias eran esperables no como un efecto de dificultad relacionado con el procesamiento semántico *per se*, sino como una consecuencia del hecho de que los pares de palabras semánticamente congruentes se encuentran más fuertemente asociados en la memoria de las personas que los pares incongruentes, que pueden incluso no estar asociados en lo absoluto. La ausencia de un mayor número de errores ante estímulos incongruentes parece indicar que la toma de la decisión sobre la relación semántica entre las palabras solamente requiere de más operaciones o de una búsqueda más exhaustiva entre las posibilidades de respuesta, lo que conduce a tiempos de respuesta ligeramente mayores.

b) Resultados de los estudios de SPECT cerebral

Se compararon los datos de los estudios de SPECT cerebral practicados al grupo de participantes con el fin de identificar las regiones neuroanatómicas en las que se produjo un aumento significativo en el FSCr durante la tareas de Juicio Semántico con estímulos concretos y con estímulos abstractos. Para ello, se compararon inicialmente los estados basales de ambos estudios, de manera grupal, con el fin de identificar diferencias entre ellos que podrían deberse a condiciones no controladas experimentalmente y que tuvieran un efecto en los resultados posteriores. En seguida, se hicieron los contrastes por medio de los cuales cada tarea se comparó con su estudio basal del mismo día. Posteriormente, se compararon los datos resultantes del análisis de ambas tareas entre sí. Esta comparación permite identificar las regiones neuroanatómicas con una activación significativamente mayor en una de las tareas al compararse con el patrón de activación producido por la otra y viceversa. A continuación se presentan los datos obtenidos de cada uno de estos contrastes.

Contraste entre los dos estado basales (Basal 1 y Basal 2)

Al compararse los datos correspondientes a los dos estados basales, se observa que no existen regiones corticales con diferencias significativas en el FSCr. Solamente se registró una región

en el tallo cerebral del lado izquierdo, al nivel del cerebro medio, cuando se comparó el estudio basal del primer día con respecto al del segundo. De manera inversa, una región en el Tallo cerebral del lado derecho, al nivel del puente, fue registrada al compararse el estudio basal del segundo día respecto al del primer día. Estos datos se ilustran en la Tabla G y la Figura 1.

Tabla G. Datos referentes a las regiones con diferencias significativas en el FSCr durante los estudios basales en reposo.

Contraste	Coordenadas x - y - z	H	Estructura anatómica	Tamaño Cluster	t	p corregida	p no corregida
B1 – B2	-8 -14 -18	Izq.	Tallo, cerebro medio	21	3.35	.028	.001
B2 – B1	14 -32 -26	Der.	Tallo, Puente	61	3.81	.008	.001

Las coordenadas corresponden al sistema de Talairach y Tournoux sobrepuestas al modelo del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal. Los valores t son los registrados por el voxel con mayor incremento en cada cluster. El tamaño del cluster corresponde al número de voxeles incluidos. H, hemisferio. La corrección de p se hizo mediante el método FDR (False Discovery Rate).

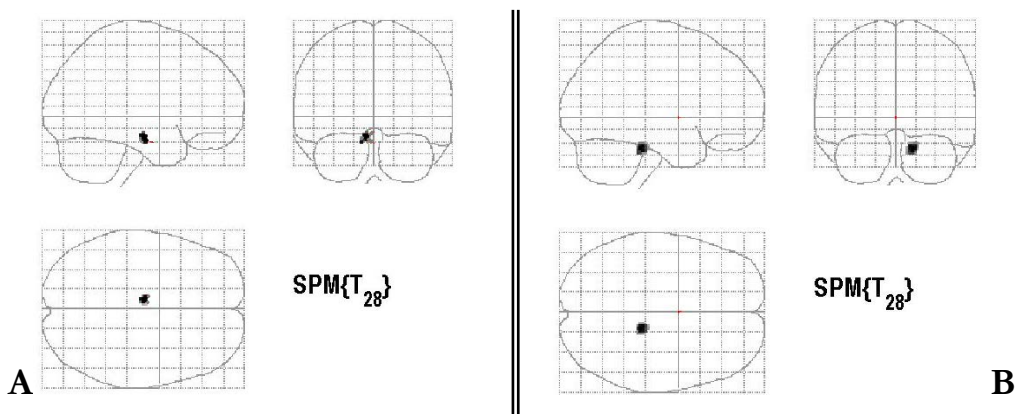


Figura 1. Regiones cerebrales con incremento en el FSCr durante los estudios basales en reposo. En A, se muestra una región en el Tallo cerebral, al nivel del Cerebro Medio y del lado izquierdo, identificada al compararse el estudio basal del primer día con respecto al del segundo. En B, se muestra una región en el Tallo cerebral, al nivel del Puente y del lado derecho, identificada al compararse el estudio basal en reposo del segundo día respecto al primero.

Activación durante el procesamiento de rasgos concretos (contraste entre Tarea 1 y Basal 1)

Por medio de este análisis, se identificaron las regiones cerebrales que incrementaron significativamente el flujo sanguíneo cerebral durante la realización de la tarea 1 (Juicio Semántico con estímulos concretos) en comparación con el estado basal en reposo del mismo día. La tabla H y la figura 2 muestran las regiones identificadas.

Tabla H. Datos referentes a las regiones con mayor activación durante el procesamiento semántico de representaciones concretas.

Coordenadas x - y - z	Hem.	Estructura anatómica	AB	Tamaño Cluster	t	p corregida	p no corregida
30 -34 64	Der.	Giro Postcentral	3	13	3.23	.048	.002
-60 -26 -18	Izq.	Giro Temporal Medio	21	22	3.09	.035	.002
-12 -76 12	Izq.	Cuña	18	19	2.86	.027	.004
24 -86 0	Der.	Giro Occipital Medio	18	7	2.82	.048	.007

Las coordenadas corresponden al sistema de Talairach y Tournoux sobrepuestas al modelo del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal. Los valores t son los registrados por el voxel con mayor incremento en cada cluster. El tamaño del cluster corresponde al número de voxeles incluidos. AB: área de Brodman. Hem: hemisferio. La corrección de p se hizo mediante el método FDR (False Discovery Rate).

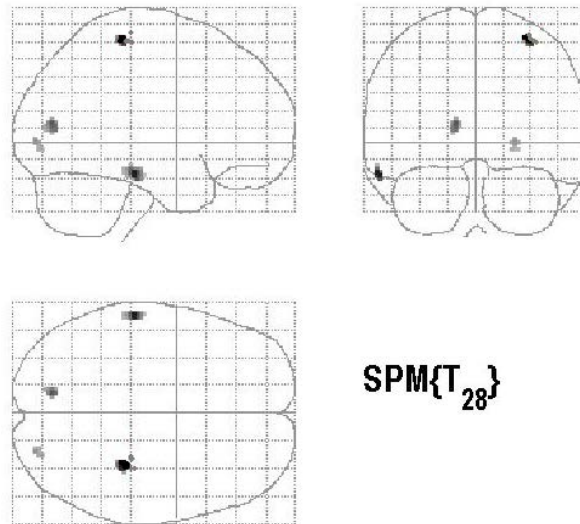


Figura 2. Regiones cerebrales en las que se registró un incremento significativo del FSCr durante el procesamiento semántico de rasgos concretos en comparación con el estado basal en reposo del mismo día. Se presentan sobre un modelo de “cerebro de cristal” el giro postcentral derecho (AB 3), el giro temporal medio izquierdo (AB 21), la cuña izquierda (AB 18) y el giro occipital medio derecho (AB 18).

Si se considera el tamaño del cluster como criterio, puede observarse que el procesamiento semántico de representaciones conceptuales concretas durante esta tarea provocaron activación principalmente en la porción central del giro temporal medio izquierdo y en la región medial del lóbulo occipital izquierdo. La primera de estas regiones, de naturaleza asociativa multimodal, ha sido consistentemente reportada en estudios previos como involucrada en el procesamiento semántico, mientras que la segunda, asociativa de modalidad visual, es cercana, pero más posterior a las reportadas en la literatura (que se ubican en el giro fusiforme izquierdo, principalmente). Las otras dos regiones del hemisferio derecho (el giro postcentral y una pequeña zona en la región dorsal del giro occipital medio) no han sido reportadas en los estudios previos.

De esta manera, se observa una distribución de la activación temporo-occipital izquierda, con participación de una región visual asociativa y otra sensitiva del hemisferio derecho. Tal distribución es, en general, concordante con los datos reportados en estudios previos (véase Capítulo 2) que reportan a las regiones temporo-occipitales como involucradas en el procesamiento de información semántica de tipo analógica visual.

Activación durante el procesamiento de rasgos abstractos (contraste entre Tarea 2 y Basal 2)

La Tabla I y la Figura 3 muestran las regiones anatómicas identificadas con mayor incremento en el flujo sanguíneo cerebral durante el procesamiento de estímulos abstractos en comparación con su basal en reposo del mismo día. Como puede apreciarse, en este caso también se observa una distribución de las regiones con mayor activación predominantemente hacia el hemisferio izquierdo. Nuevamente son el lóbulo temporal izquierdo, tanto en su porción medial como en la región posterolateral, así como la zona medial del lóbulo occipital izquierdo, las regiones de mayor activación durante el procesamiento semántico. Con excepción de la participación del giro frontal medio derecho, se trata de regiones cerebrales cercanas a las que se observaron activas durante la ejecución de la tarea con estímulos concretos.

Tabla L. Datos referentes a las regiones con mayor activación durante el procesamiento semántico de rasgos abstractos.

Coordenadas x - y - z	Lat.	Estructura anatómica	AB	Tamaño Cluster	t	p corregida	p no corregida
-34 -2 -20	Izq.	Giro Parahipocampal & Amígdala		17	2.88	.032	.004
-22 -84 4	Izq.	Cuña	17	19	2.82	.031	.004
32 10 54	Der.	Giro Frontal Medio	6	14	2.80	.043	.005
-32 -64 16	Izq.	Reg. Posterior del Giro Temporal Medio	19	9	2.69	.029	.006

Las coordenadas corresponden al sistema de Talairach y Tournoux sobrepuestas al modelo del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal. Los valores t son los registrados por el voxel con mayor incremento en cada cluster. El tamaño del cluster corresponde al número de voxeles incluidos. AB: área de Brodman. Hem.; hemisferio. La corrección de p se hizo mediante el método FDR (False Discovery Rate).

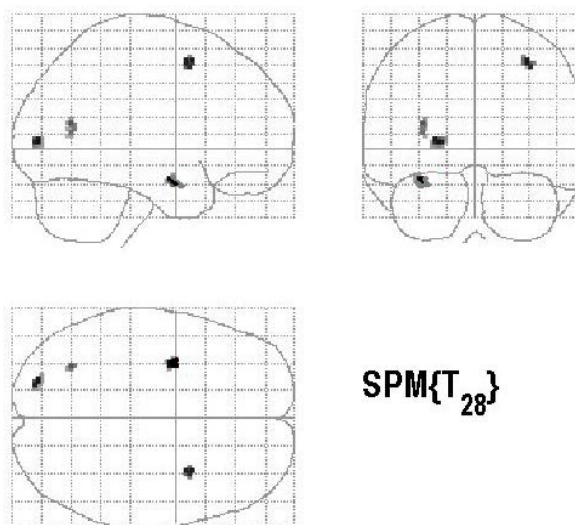


Figura 3. Regiones cerebrales en las que se registró un incremento significativo del FSCr durante el procesamiento semántico de rasgos abstractos en comparación con el estado basal en reposo el mismo día. Se presentan sobre un modelo de “cerebro de cristal” el giro parahipocampal y amígdala izquierdos, la cuña izquierda (AB 17), el giro frontal medio derecho (AB 6) y la región posterior del giro temporal medio izquierdo (AB 19).

Activación durante el procesamiento de rasgos concretos en comparación con el procesamiento de rasgos abstractos (contraste entre Tarea 1 y Tarea 2)

El análisis de este contraste permite observar las regiones corticales que muestran una activación significativamente mayor durante el procesamiento semántico de estímulos

concretos en comparación con la registrada durante la tarea con estímulos abstractos. La Tabla J y la Figura 4 muestran las regiones detectadas.

En este caso, puede observarse que no existen diferencias significativas en el nivel de activación de los lóbulos temporales, ni de los occipitales, durante el procesamiento de ambos tipos de estímulos. Las regiones en las que sí existió una activación mayormente significativa durante el procesamiento de estímulos concretos son una zona del cíngulo derecho y algunas zonas de la porción posterior del lóbulo parietal, sobre todo en el hemisferio derecho. Adicionalmente, las regiones prefrontales de ambos hemisferios se mostraron más activadas en el caso del procesamiento de estímulos concretos. Destaca el hecho de que todas estas regiones son multimodales, y que la mayor parte de ellas se localizan en el hemisferio derecho. Posteriormente se analizarán estos datos en lo que se refiere a su significado teórico.

Tabla J. Datos referentes a las regiones con mayor activación durante el procesamiento semántico de rasgos concretos en comparación con el de rasgos abstractos.

Coordenadas x - y - z	Hem.	Estructura anatómica	AB	Tamaño Cluster	t	p. corr.	p. no corr.
12 -10 50	Der.	Giro del Cíngulo	24	39	3.65	.011	.001
6 -78 40	Der.	Precuneus	7	24	3.15	.025	.002
22 58 4	Der.	Giro Frontal Superior	10	41	3.08	.018	.002
-22 -80 38	Izq.	Precuneus	7	11	2.65	.030	.006
18 -66 54	Der.	Lóbulo Parietal Superior	7	6	2.62	.062	.007
-16 48 36	Izq.	Giro Frontal Superior	9	9	2.61	.031	.007
-24 58 -2	Izq.	Giro Frontal Superior	10	9	2.59	.031	.008

Las coordenadas corresponden al sistema de Talairach y Tournoux sobrepuestas al modelo del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal. Los valores t son los registrados por el voxel con mayor incremento en cada cluster. El tamaño del cluster corresponde al número de voxeles incluidos. AB: área de Brodman, Hem: hemisferio. La corrección de p se hizo mediante el método FDR (False Discovery Rate).

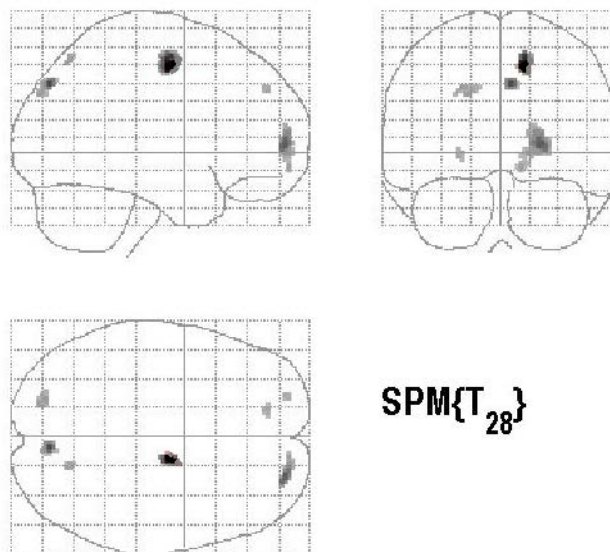


Figura 4. Regiones en las que se registró un incremento significativo del FSC durante el procesamiento semántico de rasgos concretos en comparación con el de rasgos abstractos. Se presentan sobre un modelo de “cerebro de cristal” el giro del cíngulo derecho (AB 24), el precuneus derecho (AB 7), el giro frontal superior derecho (AB 10), el precuneus izquierdo (AB 7), el lóbulo parietal superior derecho (AB 7), el giro frontal superior izquierdo (AB 9) y el giro frontal superior izquierdo (AB 10).

Activación durante el procesamiento de rasgos abstractos en comparación con el procesamiento de rasgos concretos (contraste entre Tarea 2 y Tarea 1)

De manera análoga al contraste anterior, éste permite identificar las regiones cerebrales más significativamente activadas como producto del procesamiento semántico de estímulos abstractos, en comparación con el de estímulos concretos. La Tabla K y la Figura 5 muestran las regiones detectadas en este estudio.

Tabla K. Datos referentes a las regiones con mayor activación durante el procesamiento semántico de rasgos abstractos en comparación con el de rasgos concretos.

Coordenadas x - y - z	Hem.	Estructura anatómica	AB	Tamaño Cluster	t	p. corr.	p. no corr.
14 -30 -28	Der.	Mesencéfalo		12	4.48	.002	.0001
12 40 12	Der.	Cíngulo anterior	32	60	2.93	.013	.003

Las coordenadas corresponden al sistema de Talairach y Tournoux sobrepuestas al modelo del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal. Los valores t son los registrados por el voxel con mayor incremento en cada cluster. El tamaño del cluster corresponde al número de voxeles incluidos. AB: área de Brodman, Hem: hemisferio. La corrección de p se hizo mediante el método FDR (False Discovery Rate).

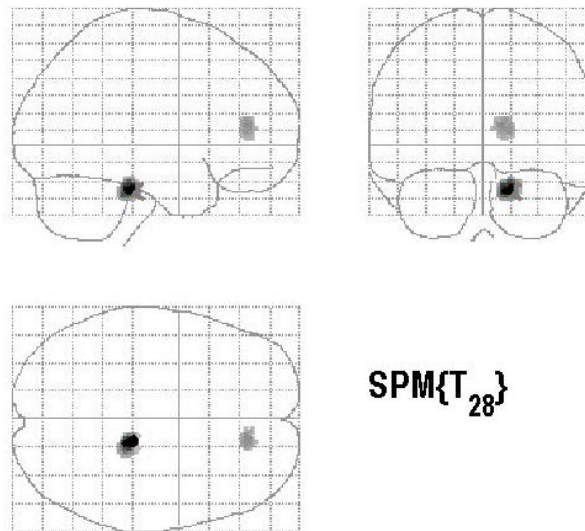


Figura 5. Regiones en las que se registró un incremento significativo del FSCR durante el procesamiento semántico de rasgos abstractos en comparación con el de rasgos concretos. Se presentan sobre un modelo de “cerebro de cristal” una región mesencefálica derecha y el cíngulo anterior derecho (AB 32).

A diferencia de lo observado para el caso del procesamiento de estímulos concretos, cuando los participantes realizaron la tarea de juicio semántico con estímulos abstractos activaron, de manera específica, solamente una región del cíngulo derecho, más anterior a la detectada previamente, así como una región mesencefálica también derecha. Ello significa que, de acuerdo con estos datos, la realización de la tarea experimental con estímulos abstractos no involucró ninguna zona de la corteza medial o dorsal (a excepción de la mencionada) distinta a las observadas durante el procesamiento de estímulos concretos, por lo menos al nivel de significación estadística establecida para este estudio. En general, ello parece indicar que la actividad cerebral que tiene lugar durante el procesamiento semántico de estímulos abstractos tiene una menor distribución cortical que la necesaria para procesar estímulos concretos, por lo menos al nivel de diferenciación que sería necesaria para alcanzar la significación estadística.

Por otra parte, es preciso considerar que la actividad del cerebro no solamente se expresa en la activación neuronal y el consecuente incremento en el FSCR, sino también en procesos de

disminución de la actividad y decremento de la perfusión sanguínea. Los datos proporcionados por los estudios de SPECT cerebral no solamente identifican las regiones que incrementan su actividad en una determinada condición, sino también aquéllas en las que la misma disminuye. El análisis de estos datos se hizo en los mismos contrastes en los que se compararon las dos tareas, pero detectando las regiones con disminución significativa del FSCr. Los datos correspondientes aparecen en la Tabla L.

Tabla L. Estructuras con mayor disminución en el flujo sanguíneo cerebral en cada tarea.

Tarea	Coordenadas x - y - z	Hem.	Estructura anatómica	AB	Tamaño Cluster	t	p. corr	p. no corr
Conc.	-12 -14 -24	Izq.	Giro Parahipocampal	34	21	3.81	.012	.001
Abst.	-54 6 -26	Izq.	Giro Temporal Medio	21	35	2.85	.017	.004

Las coordenadas corresponden al sistema de Talairach y Tournoux sobrepuestas al modelo del cerebro del Instituto Neurológico de Montreal. Los valores t son los registrados por el voxel con mayor incremento en cada cluster. El tamaño del cluster corresponde al número de voxeles incluidos. AB: área de Brodman, Hem: hemisferio. La corrección de p se hizo mediante el método FDR (False Discovery Rate).

Solamente dos regiones tuvieron un comportamiento de este tipo. Durante la condición de procesamiento de estímulos concretos, el giro parahipocámpico izquierdo, que se mostró activado durante el procesamiento semántico de estímulos abstractos, disminuyó significativamente su actividad. De manera inversa, el giro temporal medio izquierdo, que fue una región significativamente activa durante el procesamiento de estímulos concretos, disminuyó significativamente su actividad al procesarse estímulos abstractos. Este patrón inverso de activación y desactivación en el lóbulo temporal izquierdo como resultado del tipo de estímulos a procesarse semánticamente no ha sido reportado hasta ahora en la literatura, y podría ser indicativo de la existencia de un sistema neuronal en el lóbulo temporal izquierdo que se activa de forma diferente al procesar información semántica concreta y abstracta. Futuras investigaciones, con técnicas de neuroimagen más sensibles podrían aportar nuevos datos para la confirmación y, en su caso, la explicación de este efecto.

Como puede constatar, las regiones con aumento significativo en el FSCr durante la realización de la tarea experimental con estímulos abstractos en comparación con la de

estímulos concretos (ver Tabla K y Figura 5) tienen una localización anatómica sobre la cara medial del cerebro (Giro del Cíngulo) y en el Mesencéfalo. Dicha localización anatómica hace imposible la aplicación de Estimulación Magnética Transcraneal (EMT), pues esta técnica solamente puede tener efecto directo sobre regiones de la corteza lateral y cualquier efecto indirecto sobre estructuras más profundas implica, necesariamente, provocar interferencia fisiológica sobre las adyacentes al sitio de aplicación (Ruohonen & Ilmoniemi, 2002). Por otra parte, como se explicará en el capítulo siguiente, la activación del Cíngulo anterior es de carácter general para diversas tareas cognoscitivas y no es específica para el procesamiento semántico. En consecuencia, la realización de la tercera etapa de esta investigación, consistente en la interferencia funcional del procesamiento semántico de atributos abstractos mediante EMT, no fue posible dados los resultados referidos.

V

Discusión

Este trabajo tuvo como objetivo general el de *identificar las regiones de la corteza cerebral que participan selectivamente en el procesamiento de representaciones concretas (imaginables) y abstractas (no imaginables) de los conceptos contenidos en la memoria semántica*. Con el objeto de lograrlo, se llevó a cabo un estudio piloto para seleccionar los estímulos a utilizarse en el diseño de la tarea de juicio semántico. Posteriormente, se compararon las ejecuciones y los patrones de activación cerebral, con base en el análisis del flujo sanguíneo cerebral regional mediante SPECT cerebral, de 8 sujetos sanos durante dicha tarea con estímulos concretos (tarea 1) y con estímulos abstractos (tarea 2).

Los datos conductuales obtenidos indican que, en general, la mayor parte de las respuestas proporcionadas por los sujetos en ambos experimentos son correctas. Asimismo, muestran que no existen diferencias significativas en la distribución de las respuestas por tipo de estímulo (concretos o abstractos) ni por el carácter congruente o incongruente de ellos. Con respecto a los tiempos de respuesta, se observa que no hay diferencias significativas al compararse las ejecuciones realizadas por los sujetos ante estímulos abstractos y concretos; sólo se observan tiempos de respuesta significativamente mayores ante estímulos incongruentes, independientemente de la condición “concreto” o “abstracto”.

Estos datos sugieren que el procesamiento de rasgos concretos y el de rasgos abstractos tienen el mismo grado de dificultad en esta tarea para estos sujetos, lo que en primera instancia parecería contradecir los datos obtenidos por otros investigadores (Bleasdale, 1987; DeGroot, 1989; Rubin, 1980; Whaley, 1978), de acuerdo con los cuales los conceptos abstractos son más difíciles de procesar. Estos datos parecen apoyar los resultados de otros investigadores (Brown & Watson, 1987; Coltheart, Laxon & Keating, 1988; Gernsbacher, 1984), quienes no han encontrado mayor dificultad en el procesamiento de estímulos abstractos. Coincidentemente

con algunos de los planteamientos hechos por estos autores, el nivel escolar alto de los sujetos que participaron en esta investigación puede explicar la ausencia de diferencia en el nivel de dificultad ante ambos tipos de estímulos. Adicionalmente, ello puede también explicarse por haberse utilizado una tarea compleja, que involucra no solamente el reconocimiento del significado de las palabras, sino la elaboración de un juicio semántico; es posible que esta estructura compleja de la tarea enmascare las posibles diferencias en el nivel de dificultad en el procesamiento de ambos tipos de estímulos.

Por otra parte, el consumo de mayor tiempo de respuesta cuando los estímulos presentados no son congruentes entre sí, y por tanto la respuesta correcta consiste en apretar el botón “no”, puede deberse al hecho de que los pares congruentes representan asociaciones entre palabras existentes con mayor frecuencia en la memoria semántica, mientras que los pares incongruentes no. Ello induce a que las respuestas sean más automáticas y, por tanto, más rápidas, mientras que cuando no existen dichas asociaciones se debe hacer una búsqueda mayor en la memoria semántica antes de emitir la respuesta. Esta explicación es concordante con datos sobre velocidad de respuesta proporcionados por estudios hechos desde la perspectiva reticular de la memoria semántica (Collins & Quilian, 1969; Conrad, 1972; Collins & Loftus, 1975), así como con la idea de que los rasgos más prototípicos tienden a asociarse más fuertemente que los que no lo son (Rosch, 1978).

Diggs y Basili (1987) encontraron diferencias en el procesamiento de relaciones semánticas a las que llamaron “convergentes” (fuertemente asociadas) y las “divergentes” (débilmente asociadas o no asociadas), e incluso relacionaron estas diferencias con el funcionamiento del hemisferio izquierdo en el primer caso, y del derecho en el segundo. Los datos obtenidos en el presente estudio respecto al mayor tiempo de respuesta para estímulos no coherentes puede estar reflejando este fenómeno, aunque no es posible constatar con los datos que aquí se reportan la hipótesis sobre la organización cerebral de estas diferencias.

En lo que se refiere a los aspectos neuroanatómicos, el primer aspecto que resulta conveniente analizar es el de la existencia de posibles diferencias en los patrones de perfusión sanguínea entre los dos estados basales. Ello resulta de importancia debido a que no se llevó a cabo contrabalanceo en el orden de los experimentos; todos los sujetos realizaron primero la tarea experimental con estímulos concretos y una semana después con estímulos abstractos. Si bien los datos conductuales no muestran ningún efecto de aprendizaje o de familiarización con la tarea, ello no descartaría la posibilidad de que fisiológicamente existiera algún efecto relacionado con el hecho de que los sujetos hayan realizado la tarea el primer día bajo condiciones de novedad respecto al procedimiento de SPECT, a diferencia del segundo día.

No obstante, los datos obtenidos de la comparación de los estudios basales no muestran diferencias significativas entre sí en lo que se refiere a la perfusión sanguínea a nivel cortical. La identificación de dos regiones en el Tallo cerebral, una del lado izquierdo durante el estudio basal del primer día y una del lado derecho durante el del segundo día, resulta intrigante. Sin embargo, y a pesar de ello, no se encuentran diferencias significativas entre ambos estados. Ello, junto con lo analizado respecto a los datos conductuales permite aseverar que no existe indicio alguno de la existencia de un efecto relacionado con el orden de realización de las tareas.

La comparación de la activación cerebral producida por cada tarea respecto a su estudio basal en reposo muestra que en cada condición se activaron conjuntos distintos, aunque en su mayoría cercanos, de regiones cerebrales en ambos hemisferios. Las región central y posterior del giro temporal medio izquierdo, que aquí se observó como activa en ambas condiciones, ha sido identificada en otros estudios como involucrada en el procesamiento de información semántica (Warrington & Shallice, 1984; MacCarthy & Warrington, 1988; Coltheart, et al, 1998; Chao, Haxby & Martin, 1999; Martin, Ungerleider & Haxby, 2000). Al igual que en otros trabajos con técnicas de neuroimagen funcional (Kiehl et al, 1999; Wise et al, 2000; Noppeney & Price, 2002a, 2002b, 2004; Grossman et al, 2002; Whatmough, Verret, Fung & Chertkow, 2004), los resultados aquí referidos muestran que esta región del hemisferio izquierdo se relaciona con el procesamiento semántico tanto de conceptos concretos como abstractos.

Por otra parte, en un estudio mediante interferencia funcional por medio de estimulación eléctrica cortical, Hart et al (1998) también mostraron que la región lateral temporo-occipital posterior izquierda está involucrada en el procesamiento semántico de las palabras, tanto concretas como abstractas. Previamente, Halgren, Baudena, Heit, Clarke y Marinkovic (1994), mediante el registro del componente N400 a través de electrodos implantados, habían detectado que los giros temporales medio e inferior del hemisferio izquierdo estaban involucrados en el procesamiento semántico. Finalmente, estos datos han sido corroborados en estudios mediante magnetoencefalografía, en los que se ha medido la dinámica espaciotemporal del procesamiento de palabras, desde su percepción visual o auditiva hasta el acceso a su significado (Marinkovic et al, 2003; Marinkovic 2004).

En síntesis, los resultados de estos estudios son coincidentes con todos los aquí citados al identificar a las regiones de asociación del lóbulo temporal izquierdo como una zona especializada en el procesamiento semántico en general.

Por otra parte, se registró actividad en regiones occipitales de asociación visual, predominantemente en la porción medial de los lóbulos occipitales. Otros estudios han detectado activación en regiones cercanas a las aquí identificadas (extendiéndose hacia los giros fusiformes) durante el procesamiento de información semántica visual (Warrington & Shallice, 1984; MacCarthy & Warrington, 1988; Coltheart, et al, 1998; Chao, Haxby & Martin, 1999; Martin, Ungerleider & Haxby, 2000). El hecho de que también durante la tarea con estímulos abstractos se hayan activado estas mismas regiones se explica, en parte, por las características de la tarea misma. En ambos casos, aparecieron palabras cuyo referente es un animal u objeto, que se representan en forma de imagen de tipo perceptual; la diferencia entre las dos condiciones experimentales es la relación que los significados de estas palabras tienen con atributos concretos o abstractos. Por tanto, la activación de las regiones occipitales, que se involucran en el procesamiento de atributos visuales, es esperable en las dos condiciones experimentales.

Además de las regiones señaladas, se reportan en este estudio al giro postcentral derecho como activo durante el procesamiento de conceptos concretos, y al giro frontal medio derecho al procesarse conceptos abstractos. Otros estudios han encontrado activación en el hemisferio derecho; así Kiehl et al (1999) identificaron la participación del giro temporal superior derecho en el procesamiento de conceptos abstractos, mientras que Grossman et al (2002) refieren activación de las regiones anterolaterales temporales bilaterales. No obstante, hasta ahora no se ha proporcionado una hipótesis específica sobre el papel de estas regiones en el procesamiento semántico, por lo que la contribución de las mismas constituye un tema para otras investigaciones.

Al compararse estadísticamente los datos correspondientes a los estados de activación durante el procesamiento de rasgos concretos y abstractos, se identifican otras áreas, en las que las diferencias se hacen más notables. La realización de la tarea de procesamiento de estímulos concretos, comparada con la de estímulos abstractos, activó, además de las regiones comunes antes mencionadas, regiones ventrales parietales y parieto-occipitales (precuneus), una región parietal dorsal posterior derecha, así como regiones prefrontales bilaterales. La identificación de todas estas áreas de asociación multimodal, principalmente en el hemisferio derecho, puede relacionarse con la evocación de representaciones cognitivas en forma de imágenes durante el procesamiento de conceptos concretos.

Diversos estudios en relación con la investigación sobre las imágenes mentales, han mostrado que si bien las regiones occipito-temporales parecen estar relacionadas con los aspectos formales de las imágenes de los objetos, tales como su tamaño, color y forma (Corbetta, Miezin, Dohmeyer, Shulman & Petersen, 1991; Goldenberg et al, 1989), la corteza parietal, sobre todo del hemisferio derecho, parece estar involucrada en la realización de algunas transformaciones y manipulación de las imágenes, tales como la rotación (Farah, 1989). Sin embargo, además de ello, se ha publicado evidencia de que las regiones parietales posteriores también procesan información sobre las formas de los objetos basada en la información proporcionada por los movimientos y acciones implicadas en su uso. Así, Goodale, Murphy,

Meenan, Racicot & Nicolle, (1993), describen el caso de una paciente que, después de una lesión parietal dorsal posterior derecha, perdió la capacidad de producir apropiadamente la postura manual correcta para la manipulación de objetos, aún cuando conservaba la capacidad de reconocer visualmente sus formas. En otro trabajo, Danckert et al (2002) mostraron que la lesión de la región parietal posterior derecha altera los modelos internos (en forma de imágenes) de los movimientos, a pesar de conservarse las imágenes de las cosas.

En forma adicional, Servos y Goodale (1995) han mostrado que las regiones ventrales posteriores de los lóbulos parietales (que también han aparecido activas en el presente estudio) parecen estar relacionadas con el proceso de transformaciones mentales de las imágenes visuales, independientemente de la información motriz y somatosensorial. Con base en estos antecedentes, puede interpretarse la activación de las regiones parietales ventrales y dorsales como sustrato de los procesos de manipulación cognoscitiva de las imágenes evocadas al procesarse semánticamente las relaciones entre atributos concretos y objetos, también concretos.

Además de las regiones parietales mencionadas, el procesamiento semántico de estímulos concretos activó las regiones prefrontales de ambos hemisferios. Se sabe que dichas regiones se involucran en la realización de las más diversas tareas cognoscitivas. Frith y Dolan (1996), en un trabajo de revisión, muestran evidencia de que las regiones prefrontales participan en tareas que involucran a la memoria de trabajo, a la generación y manipulación de imágenes mentales y a la realización de actos voluntarios. Desde su punto de vista, el papel que juegan las regiones prefrontales en estos procesos es el de permitir “tener en mente” la información con la cual el sistema cognitivo realiza operaciones determinadas. Dicho en otros términos, las regiones prefrontales posibilitan la realización de acciones internas en las que la persona se encuentra concentrada, y participan en diversos tipos de tareas, entre ellas la manipulación de imágenes mentales. Cuando las tareas se realizan de manera automática, la activación de estas regiones de la corteza disminuye significativamente.

De acuerdo con lo anterior, la activación de las regiones frontales de ambos hemisferios durante la tarea de juicio semántico con palabras concretas y no con abstractas sería un indicio de que la primer tarea requirió del manejo de imágenes mentales como operación involucrada en la decisión semántica, mientras que en el segundo caso el proceso transcurriría sin dicha manipulación. No se considera que la tarea de juicio semántico se realice de manera automatizada, y que ésta sea la razón por la que no se encontró activación prefrontal durante ella; más bien, a la luz de los datos proporcionados por los estudios previos, puede considerarse que dicha activación se relaciona con los procesos implicados en el control de la manipulación de las imágenes. En todo caso, el papel de las regiones prefrontales en el procesamiento semántico continúa siendo un tema de investigación vigente.

Otra región relacionada con el monitoreo de la actividad cognoscitiva compleja, detectada como activa durante la actividad semántica en ambas tareas es el cíngulo anterior. Allman, Hakeem, Erwin, Nimchinsky y Hof (2001) proponen, basándose en estudios con estimulación eléctrica y con imágenes funcionales, que la actividad del cíngulo anterior está relacionada con la realización de actividad cognoscitiva durante la resolución de problemas. Paus (2001) describe su importancia en el proceso de elaboración de actos internos y su paso a las acciones exteriores. Por su parte, Ochsner et al(2001) demostraron, en un paciente a quien se le extirpó quirúrgicamente el cíngulo anterior, la existencia de dificultades evidentes en la capacidad para realizar operaciones cognoscitivas secuenciadas durante la manipulación de imágenes, así como en la habilidad para buscar, seleccionar y comparar imágenes mentales. Con base en ello, plantean que el cíngulo anterior juega un papel importante como un componente de un sistema de control ejecutivo y que una de sus funciones sería la de monitorear los procesos cognoscitivos en curso, además de identificar su significado motivacional.

De ello se concluye que la actividad de esta región del cerebro es parte de un sistema de control de la actividad cognoscitiva que, por lo menos en el caso de la porción activada durante la tarea con conceptos concretos, puede estar relacionada también con el manejo de imágenes. No se han encontrado datos que permitan interpretar el significado del hecho de que la

activación del cíngulo anterior se haya registrado solamente en el hemisferio derecho. Por tanto, el significado de ello escapa a las posibilidades de explicación de este trabajo.

Al analizarse el conjunto de regiones cerebrales activadas por el procesamiento semántico de rasgos abstractos en comparación con las activadas por el procesamiento de rasgos concretos, no se encontraron áreas corticales distintas y específicas, salvo una región del cíngulo, más anterior que la que se activó en la condición “concretos”. Ello puede interpretarse como indicio de que el procesamiento semántico de conceptos abstractos no activa regiones específicas distintas a las necesarias para procesar conceptos concretos. Los datos obtenidos de las imágenes de SPECT cerebral muestran que el procesamiento semántico de conceptos concretos involucra a un conjunto de regiones corticales que se extiende más allá de los límites del lóbulo temporal izquierdo, abarcando diferentes áreas de ambos hemisferios. A diferencia de ello, el procesamiento semántico de conceptos abstractos activa un conjunto menos numeroso de regiones corticales, lo que parece indicar que produce una actividad fisiológica menos extensa y circunscrita a zonas cercanas a las anteriores.

Por otra parte, resulta intrigante la identificación de una región mesencefálica derecha al compararse los patrones de incremento en el FSCr durante el procesamiento semántico de estímulos abstractos en comparación con el de estímulos concretos. Se trata de una región vecina a la que se identificó al compararse el estudio basal del mismo (segundo) día con respecto al del primero. No es posible llegar a conclusiones fundamentadas respecto al significado funcional de esta región, por lo que no se propone ninguna interpretación al respecto.

Se han formulado diferentes modelos para la explicación de las diferencias en el procesamiento semántico de los conceptos concretos y abstractos. Uno de ellos, de gran influencia hasta hoy es el de Paivio (1971, 1986, 1991), que ha sido reforzado por estudios más recientes (West & Holcomb, 2000). De acuerdo con este modelo, llamado de “codificación dual”, las palabras abstractas se representan en un código exclusivamente verbal, mientras que las concretas incluyen representaciones, tanto verbales como en forma de imágenes. La

predicción que se podría formular con base en este modelo es que los significados o conceptos concretos se relacionarían predominantemente con la actividad de las regiones cerebrales vinculadas a la formación y evocación de imágenes mentales, así como con aquéllas que sustentarían el procesamiento verbal, mientras que los significados o conceptos abstractos se relacionarían con la actividad de regiones exclusivamente especializadas en el procesamiento verbal. Ello incluso supondría que los conceptos concretos activarían regiones en los dos hemisferios (que participan en la formación de imágenes mentales), mientras que los conceptos abstractos tenderían a activar predominantemente regiones del hemisferio izquierdo.

Este modelo del código dual ha recibido apoyo de investigaciones de diverso corte. Estudios conductuales utilizando estimulación de hemicampos visuales (Day, 1977; Hines, 1977; Levine & Banich, 1982; Shibahara & Lucero-Wagoner, 2001, 2002), estudios clínicos de pacientes con lesiones en el hemisferio derecho (Eviatar, Menn & Zaidel, 1990; Funnell, Corballis & Gazzaniga, 2001; Villardita, Grioli & Quattropiani, 1988), así como estudios con potenciales relacionados a eventos (PRE's) que muestran un componente N400 más marcado para palabras concretas que para abstractas en el hemisferio derecho (Kounios & Holcomb, 1994; West & Holcomb, 2000), han aportado datos que sugieren la organización hemisférica para el procesamiento de palabras abstractas y concretas que plantea este modelo.

Sin embargo, numerosas investigaciones con técnicas de imagen funcional han mostrado que los conceptos concretos activan además otras regiones, entre las cuales están las temporo-occipitales mediales bilaterales, temporales laterales posteriores predominantemente izquierdas, temporales ventrales bilaterales, y frontales también en ambos hemisferios (v. supra y también D'Esposito et al, 1997; Friederici, Opitz & Von Cramon, 2000; Jessen et al, 2000; Kiehl, et al, 1999; Mellet, Tzourio, Denis & Mazoyer, 1998; Wise et al, 2000). De igual forma, estos mismos estudios han mostrado activación en diferentes regiones temporales y frontales del hemisferio derecho durante el procesamiento de palabras o conceptos abstractos, aunque los datos no son totalmente compatibles, debido, entre otras cosas, al empleo de tareas distintas o de métodos diferentes.

Investigaciones utilizando tareas de priming y la técnica de campo visual dividido han mostrado que al manipularse variables como la frecuencia de las palabras, el grado de asociación semántica entre ellas o bien el tiempo entre el estímulo facilitador y el estímulo blanco (SOA por sus siglas en inglés) desaparece el efecto de concreción sobre el hemisferio derecho, y aparece activación bilateral (Chiarello, 1988; Chiarello, Burgess, Richards & Pollock, 1990; Walker & Ceci, 1985). Algunas de las conclusiones más importantes a las que se han llegado a partir de estos y otros estudios hechos en la misma dirección incluyen la consideración de que ambos hemisferios participan en el procesamiento semántico de palabras o conceptos tanto concretos como abstractos jugando papeles distintos. Los resultados sugieren que el hemisferio izquierdo se caracteriza por una activación fuerte, pero temporalmente restringida que permite el procesamiento de significados únicos de palabras, suprimiendo significados alternativos. El hemisferio derecho, por su parte, se caracterizaría por una activación más sostenida en el tiempo, que permitiría el procesamiento de una gama más amplia de asociaciones y de significados alternos de las palabras, así como la vinculación de las palabras con el contexto.

Lo anterior es concordante con investigaciones hechas en pacientes con lesiones en el hemisferio derecho, en quienes se ha encontrado dificultad para realizar inferencias, para utilizar claves contextuales, para interpretar frases ambiguas o significados metafóricos (Brownell, Potter, Bihrlé, & Gardner, 1986; Gardner, Brownell, Wapner & Michelow, 1983; Weylman, Brownell, Roman & Gardner, 1989; Joannette, Goulet & Hannequin, 1990; Gagnon, Goulet, Giroux & Joannette, 2003). Con base en estos hallazgos, se ha propuesto un modelo alternativo que explica el papel del hemisferio derecho en el procesamiento semántico. Este modelo se ha denominado “Modelo Contextual”, y plantea que los conceptos o significados concretos y abstractos se procesan con participación de dicho hemisferio, siendo su papel el de activar asociaciones secundarias de los referentes de las palabras, o significados alternos, así como claves contextuales. Ello permitiría, entre otras cosas, la comprensión de los elementos mencionados arriba.

Los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser explicados con base en el modelo del Código Dual: el procesamiento semántico de conceptos concretos activa un sistema verbal o proposicional y otro sistema encargado de formar imágenes mentales, mientras que el procesamiento semántico de conceptos abstractos solo activa un sistema proposicional. Presumiblemente, el sistema semántico proposicional estaría sostenido por la actividad en los giros temporales medio e inferior izquierdo, sobre todo en su porción central, mientras que el sistema semántico visual tendría sus bases neuroanatómicas en la región temporo-occipital lateral izquierda, en las regiones occipitales anteriores a la cuña y en las regiones parietales posteriores. Ambos sistemas estarían, además, apoyados en el trabajo de las regiones prefrontales y del cíngulo anterior, que participan en la organización, dirección y monitoreo de la actividad cognoscitiva, cuando la tarea es de alta demanda, como es el caso de la que aquí se utilizó.

VI

Conclusiones

El trabajo que hasta aquí se ha presentado pretende aportar datos nuevos sobre las bases neuroanatómicas del procesamiento semántico de rasgos concretos y abstractos de los conceptos. Su originalidad radica, por un lado, en el diseño de una tarea experimental de juicio semántico distinta a las que han sido reportadas y que requiere que los participantes realicen operaciones semánticas de atribución como única forma de solución. Por otra parte, pretende mostrar que la técnica de SPECT cerebral con activación puede utilizarse para identificar regiones cerebrales involucradas en la realización de una tarea cognoscitiva, a pesar de las innegables limitaciones que dicha técnica tiene en comparación con otras de más reciente desarrollo en el campo de la neuroimagen funcional.

Los resultados obtenidos son, en general, coherentes, si se analizan a la luz de los que han sido reportados en la literatura a partir de investigaciones de diverso tipo. Si bien es cierto que dichos datos no son necesariamente coincidentes entre sí, la posible explicación teórica de los mismos, que se trató de plasmar en el capítulo V, revela la existencia de una relación lógica con respecto a ellos. Dicho en otros términos, los resultados aquí reportados no están en modo alguno desviados de lo que sería esperable de acuerdo con las investigaciones publicadas en el tema. Por el contrario, parecen ser perfectamente explicables a partir de los modelos de la Codificación Dual y de la organización Perceptivo-Asociativa de la memoria semántica.

Tanto el paradigma utilizado como los datos aquí reportados sirven de base para la formulación de un nuevo proyecto de investigación, en el que se buscará profundizar en la identificación de regiones corticales comunes y específicas para el procesamiento de palabras con significado concreto y con significado abstracto, para lo cual se utilizará la técnica de imagen por resonancia magnética funcional.

Otro campo en el que se está continuando la investigación de estos temas es el de las alteraciones de la memoria semántica en pacientes con demencia semántica y con demencia de tipo Alzheimer. Los paradigmas de investigación que han sido diseñados para estos estudios, así como las hipótesis que los guían se han basado en los datos reportados aquí.

Estas investigaciones deberán aportar nuevos datos y motivar nuevos estudios en este terreno. Si este trabajo logra fecundar en la propia actividad de investigación, e incluso en la que puedan realizar otros investigadores, habrá cumplido con el papel más importante que pueda tener la actividad científica: reproducirse en nuevos proyectos.

Referencias Bibliográficas

- Abernethy, M. & Coney, J. (1990). Semantic and phonemic priming in the cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*, 28, 933-945.
- Alcaraz, V.M. & Martínez-Casas, R. (1994). Algunos elementos para la formulación de una teoría del lenguaje. *Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje*, 2, 57-104.
- Alcaraz, V.M. & Martínez-Casas, R. (2000). La historia natural y social del lenguaje. Indicios para explicar los procesos de adquisición de las competencias comunicativas. En V.M. Alcaraz (Coord.), *Una mirada múltiple sobre el lenguaje* (pp. 93-133). Guadalajara. Universidad de Guadalajara.
- Allman, J.M., Hakeem, A., Erwin, J.M., Nimchinsky, E. & Hof, P. (2001). The anterior cingulate cortex. The evolution of an interface between emotion and cognition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 935, 107-117.
- Anderson, J. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review*, 85, 249-77.
- Anojin, P.K. (1973). Cuestiones de principio de la teoría general de los sistemas funcionales. En P.K. Anojin (Ed.), *Psicología y la filosofía de la ciencia*. México. Trillas. 1987.
- Armstrong, S.L., Gleitman, L.R. & Gleitman, H. (1983). What some concepts might not be. *Cognition*, 13, 263-308.
- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. En K.W. Spence & J.T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory*. New York. Academic Press.
- Audenaert, K., Brans, B., Van Laere, K., Lahorte, P., Versijpt, J., Van Heeringen, K. & Dierckx, R. (2000). Verbal fluency as a prefrontal activation probe: a validation study using 99m Tc-ECD brain SPECT. *European Journal of Nuclear Medicine*, 27, (12): 1800-1808.
- Audenaert, K., Lahorte, P., Brans, B., Van Laere, K., Goethals, I., Van Heeringen, K. & Dierckx, R.A. (2001). The classical stroop interference task as a prefrontal activation probe: a validation study using 99m Tc-ECD brain SPECT. *Nuclear Medicine Communications* 22, (2): 135-143.
- Baddeley, A.D. (1982/1997). Human memory. Theory and practice. East Sussex, U.K. Psychology Press.
- Baron, G.C., Lebrun-Grandie, P., Collard, P., Crouzel, C., Mestelan, G. & Bousser, M.G. (1982). Noninvasive measurement of blood flow, oxygen consumption and glucose utilization in the same brain regions in man by positron emission tomography. *Journal of Nuclear Medicine* 23, 391-399.
- Barsalou, L.W. (1983). Ad hoc categories. *Memory and Cognition* 11, 211-27.

- Barsalou, L.W. (1985). Ideals, central tendency, and frequency of instantiation as determinants of graded structure of categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 11, 629-54.
- Basso, A., Capitani, E. & Laiacona, M. (1988). Progressive Language Impairment without dementia: a case with isolated category specific semantic defect. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 51, 1202-1207
- Biersack, H.J., Klemm, E., Reichmann, K., Menzel, C. & Grunwald, F. (1997). Activation studies using SPECT. In: P.P. De Deyn, R.A. Dierckx, A. Alavi & B.A. Pickut (Eds.), *A textbook of SPECT in neurology and psychiatry*. London. Libbey. pp. 67-71.
- Bleasdale, F.A. (1987). Concreteness-dependent associative priming: Separate lexical organization for concrete and abstract words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 13, 582-594.
- Bozeat, S, Lambon-Ralph, M.A., Patterson, K., Garrard, P., Hodges, J.R. (2000). Non-verbal semantic impairment in semantic dementia. *Neuropsychologia* 38, 1207-1215.
- Broadbent, D.E. (1984). The maltese cross: a new simplistic model for memory. *Behavioral and Brain Sciences* 7, 55-94.
- Broca, P. (1865). Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bulletin d'Anthropologie* 6, 377-93. Una transcripción de este trabajo al castellano aparece en Hécaen, H. & Dubois, J. (1969). *El nacimiento de la Neuropsicología del Lenguaje, 1825-1865*. México. Fondo de Cultura Económica. pp. 91-104.
- Brown, G.D.A & Watson, F.R.L. (1987). First in, first out: Word learning age and spoken word frequency as predictors of word familiarity and word naming latency. *Memory and Cognition* 15, 208-216.
- Brownell, H.M., Potter, H.H., Bihrlé, B.A. & Gardner, H. (1986). Inference deficits in right brain-damaged patients. *Brain and Language* 29, 310-321.
- Brownell, H.H., Potter, H.H. & Michelow, D. (1984). Sensibility to lexical denotation and connotation in brain-damaged patients: A double dissociation? *Brain and Language* 22, 253-265.
- Brownell, H.H., Simpson, T.L., Bihrlé, A.M., Potter, H.H. & Gardner, H. (1990). Appreciation of metaphoric alternative word meanings by left and right brain-damaged patients. *Neuropsychologia* 28, 375-383.
- Cabeza, R. & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12, (1) 1-47.
- Caramazza, A. (2000). The organization of conceptual knowledge in the brain. En M.S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences*. Cambridge, Ma. MIT Press, pp. 1037-1046.
- Caramazza, A., Hillis, A.E., Rapp, B. & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: multiple confusions? *Cognitive Neuropsychology* 7, 161-189.

- Caramazza, A. & Shelton, J. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuropsychology* 10, (1): 1-34.
- Carbonell, S., Charnallet, A., David, D. & Pellat, J. (1997). One or several semantic system(s)? Maybe none: Evidence from a case study of modality and category-specific "semantic" impairment. *Cortex* 33, 391-417.
- Cardebat, D., Demonet, J.F., Celsis, P. & Puel, M. (1996). Living/non living dissociation in a case of semantic dementia: A SPECT activation study. *Neuropsychologia* 34, 1175-1179.
- Catafu, A.M. (2001). Brain SPECT in clinical practice. Part I: Perfusion. *Journal of Nuclear Medicine* 42, 259-271.
- Chao, L.L., Haxby, J.V. & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature Neuroscience* 2, 913-919.
- Charnallet, A. (1993). *Reconnaissance visuelle d'objets et agnosie. Revue critique de la littérature et étude de deux cas d'agnosie*. Tesis doctoral. Universidad de Grenoble. Francia.
- Chiarello, C. (1988). Lateralization of lexical processes in the normal brain: A review of visual half-field research. En H.A. Whitaker (Ed.), *Contemporary Reviews in Neuropsychology*. New York. Springer.
- Chiarello, C., Burgess, C., Richards, L. & Pollock, A. (1990). Semantic and associative priming in the cerebral hemispheres: Some words do, some words don't...Sometimes, some places. *Brain and Language* 38, 75-104.
- Chiarello, C. & Richards, L. (1992). Another look at categorical priming in the cerebral hemispheres. *Neuropsychologia* 30, 381-392.
- Collins, A.M. & Loftus, E.F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review* 82, 407-428.
- Collins, A. & Loftus, E. (1988). A spreading activation theory of semantic processing. En A. Collins & E. Smith (Eds.), *Readings in cognitive science: a perspective from psychology and artificial intelligence*. San Mateo, Cal. Morgan Kaufmann.
- Collins, A.M. & Quilian, M.R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 8, 240-247.
- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. En B. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing*. London. Academic Press.
- Coltheart, M., Inglis, L., Cupples, L., Michie, P., Bates, A. & Budd, B. (1998). A semantic subsystem of visual attributes. *Neurocase* 4, 353-370.
- Coltheart, M., Laxon, V.J. & Keating, C. (1988). Effects of word imageability and age of acquisition in children's reading. *British Journal of Psychology* 79, 1-11.
- Conrad, C. (1972). Cognitive economy in semantic memory. *Journal of Experimental Psychology* 92, 149-154.

- Corbetta, M., Miezin, F.M., Dobmeyer, S., Shulman, G.L. & Petersen, S.E. (1991). Selected and divided attention during visual discriminations of shape, color and speed: Functional anatomy by positron emission tomography. *Journal of Neuroscience* 11, 2383-2402.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin* 104, 163-191.
- Damasio, A.R. & Damasio, H. (1993). Cortical systems underlying knowledge retrieval: evidence from human lesion studies. En T.A. Poggio & D.A. Glaser (Eds.), *Exploring brain functions: models in neuroscience*. New York. Wiley and Sons. pp. 233-248.
- Damasio, H., Grabowsky, T.J., Tranel, D. & Damasio, A.R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature* 380, 499-505
- Danckert, J., Ferber, S., Doherty, T., Steinmetz, H., Nicolle, D. & Goodale, M.A. (2002). Selective non-lateralized impairment of motor imagery following right parietal damage. *Neurocase* 8, (3) 194-204.
- Daniel, D.G., Mathew, R.J. & Wilson, W.H. (1988). Sex roles and regional cerebral blood flow. *Psychiatry Research* 27, 55-64.
- Daum, I., Riesch, G., Sartori, G. & Birbaumer, N. (1996). Semantic memory impairment in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 18, 648-665.
- Day, J. (1977). Right-hemisphere language processing in normal right handers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 3, 518-528.
- Deacon, D., Grose-Fifer, J., Yang, Ch., Stanick, V., Hewitt, S. & Dynowska, A. (2004). Evidence for a new conceptualization of semantic representation in the left and right cerebral hemispheres. *Cortex* 40, 467-478.
- DeGroot, A.M.B. (1989). Representational aspects of word imageability and word frequency as assessed through word association. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 15, 824-845.
- Démonet, J-F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulous, J-L., Wise, R. (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain* 115, 1753-68.
- De Renzi, E. & Luchelli, F. (1994). Are semantic systems separately represented in the brain? The case of living category impairment. *Cortex* 30, 3-25.
- Derogatis, L.R. (1994). *SCL-90 R: Symptom checklist 90-R: administration, scoring and procedures manual*. Edina, MN. National Computer Systems Inc.
- D'Esposito, M., Detre, J.A., Aguirre, G.K., Stallcup, M., Alsop, D.C., Tippet, L.J. & Farah, M.J. (1997). A functional MRI study of mental image generation. *Neuropsychologia* 35, 725-730.
- Devlin, J.T., Russell, R.P., Davis, M.H., Price, C.J., Wilson, J., Moss, H.E., Matthews, P.M. & Tyler, L.K. (2000). Susceptibility-induced loss of signal: comparing PET and fMRI on a semantic task. *Neuroimage* 11, 589-600.

- Devous, M.D. (2000). SPECT instrumentation, radiopharmaceuticals, and technical factors. En R.L. Van Heertum & R.S. Tikofsky (Eds.), *Functional cerebral SPECT and PET imaging*. Philadelphia. Lippincott, Williams & Wilkins. pp. 3-22.
- Devous, M.D., Stokely, E.M. & Bonte, F.J. (1985). Quantitative imaging of regional cerebral blood flow in man by dynamic single-photon tomography. En B.L. Holman (Ed.), *Radionuclide Imaging of the Brain*. New York. Churchill Livingstone, 135-162.
- Devous, M.D., Stokely, E.M., Chehabi, H.H. & Bonte, F.J. (1986). Normal distribution of regional cerebral blood flow measured by dynamic single-photon emission tomography. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism* 6, 95-104.
- DeGroot, A.M.B. (1989). Representational aspects of word imageability and word frequency as assessed through word association. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 15, 824-845.
- Diggs, C.C. & Basili, A.G. (1987). Verbal expression of right cerebrovascular accident patients. Convergent and divergent language. *Brain and Language* 30, 130-146.
- Drews, E. (1987). Qualitatively different organizational structures of lexical knowledge in the left and right hemisphere. *Neuropsychologia* 25, 419-427.
- Dumont, C., Ska, B. & Joannette, Y. (2000). Conceptual apraxia and semantic memory deficit in Alzheimer disease: Two sides of the same coin? *Journal of the International Neuropsychological Society* 6, 693-703.
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis*. Leipzig. Dunker. Trad. Inglesa: *Memory: a contribution to experimental psychology*. New York. Dover. 1964.
- Evans, A.C., Collins, D.L. & Milner, B. (1992). An MRI-based stereotactic atlas from 250 young normal subjects. *Journal of the Society of Neurosciences, Abstract* 18, 408.
- Eviatar, Z., Menn, L., & Zaidel, E. (1990). Concreteness: Nouns, verbs and hemispheres. *Cortex* 26, 611-624.
- Farah, M. (1989). The neural basis of mental imagery. *Trends in Neurosciences* 12, 395-399.
- Farah, M.J., McMullen, P.A. & Meyer, M.M. (1991). Can recognition of living things be selectively impaired? *Neuropsychologia* 29, 185-193.
- Fiebach, C.J. & Friederici, A. (2004). Processing concrete words: fMRI evidence against a specific right-hemisphere involvement. *Neuropsychologia* 42, 62-70.
- Forde, E.M., Francis, D., Riddoch, M.J., Rumiati, R.I. & Humphreys, G.W. (1997). On the links between visual knowledge and naming: A single case study of a patient with category-specific impairment for living things. *Cognitive Neuropsychology* 14, 403-58.
- Forster, K.I. & Bednall, E.S. (1976). Terminating and exhaustive search in lexical access. *Memory and Cognition* 4, 53-61.
- Forster, K.I. & Chambers, S.M. (1973). Lexical access and naming time. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 12, 627-635.

- Friederici, A.D., Opitz, B., & von Cramon, D.Y. (2000). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: An fMRI investigation of different word types. *Cerebral Cortex* 10, 698-705.
- Friston, K.J., Holmes, A.P., Worsley, K.J., Poline, J.P., Frith, C.D. & Franckowiack, R.S.J. (1995). Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach. *Human Brain Mapping* 2, 189-210.
- Frith, C. & Dolan, R. (1996). The role of the prefrontal cortex in higher cognitive functions. *Cognitive Brain Research* 5, 1-2: 175-181.
- Fung, T.D., Chertkow, H. & Templeman, F.D. (2000). Pattern of semantic memory impairment in dementia of Alzheimer's type. *Brain and Cognition* 43, 200-205.
- Funnell, M.G., Corballis, P.M. & Gazzaniga, M.S. (2001). Hemispheric processing asymmetries: implications for memory. *Brain and Cognition* 46, 135-139.
- Gagnon, L., Goulet, P., Giroux, F. & Joanette, Y. (2003). Processing of metaphoric and non-metaphoric alternative meanings of words after right and left hemispheric lesion. *Brain and Language* 87, 217-226.
- Gainotti, G. (2004). A metaanalysis of impaired and spared naming for different categories of knowledge in patients with a visuo-verbal disconnection. *Neuropsychologia* 42, 299-319.
- Gainotti, G., Caltagirone, C. & Michelli, G. (1983). Selective semantic lexical discrimination in right-brain-damaged patients. En E. Perecman (Ed.), *Cognitive processing in the right hemisphere*. New York. Academic Press. pp 149-167.
- Gardner, H., Brownell, H.M., Wapner, W. & Michelow, D. (1983). Missing the point? The role of the right hemisphere in the processing of complex linguistic materials. En E. Perecman (Ed.), *Cognitive Processing in the Right Hemisphere*. New York. Academic Press.
- Gardner, H. & Denes, G. (1973). Connotative judgements by aphasic patients on a pictorial adaptation of the semantic difference. *Cortex* 9, 183-196.
- Garnham, A. (1985). *Psycholinguistics: Central Topics*. London. Methuen.
- Garrard, P., Patterson, K., Watson, P.C. & Hodges, J.R. (1998). Category specific semantic loss in dementia of Alzheimer's type. Functional-anatomical correlations from cross-sectional analyses. *Brain* 121, 633-646.
- Genovese, C.R., Lazar, N.A. & Nichols, T. (2002) Thresholding of statistical maps in functional neuroimaging using the false discovery rate. *Neuroimage* 15, 870-878.
- Gernsbacher, M.A. (1984). Resolving 20 years of inconsistent interactions between lexical familiarity and orthography, concreteness and polysemy. *Journal of Experimental Psychology: General* 113, 256-281.
- Geschwind, N. (1965). Disconnection syndromes in animals and man. *Brain* 88, 237-94, 585-644.
- Geschwind, N. & Damasio, A.R. (1985). Apraxia. En J.A.M. Fredericks (Ed.), *Handbook of Clinical Neuropsychology* Vol.45. Cap. 28. Amsterdam. Elsevier.

- Goethals, J., Audenaert, K., Jacobs, F., VanDe Wiele, C., Vermeir, G., Vandierendonck, A., Van Heeringen, C. & Dierckx, R. (2002). Toward clinical application of neuropsychological activation probes with SPECT: a spatial working memory task. *Journal of Nuclear Medicine* 43, 1426-1431.
- Goethals, I., Audenaert, K., Jacobs, F., Lannoo, E., VanDe Wiele, C., Ham, H., Otte, A., Oostra, K. & Dierckx, R. (2004). Cognitive neuroactivation using SPECT and the Stroop Colored Word Test in patients with diffuse brain injury. *Journal of Neurotrauma* 21, 1059-1069.
- Goethals, I., Audenaert, K., Jacobs, F., VanDe Wiele, C., Pyck, H., Ham, H., Vandierendonck, A., Van Heeringen, C. & Dierckx, R. (2004). Application of a neuropsychological activation probe with SPECT: the "Tower of London" task in healthy volunteers. *Nuclear Medicine Communications* 25, 177-182.
- Goldenberg, G., Podreka, I., Steiner, M., Willmes, K., Suess, E. & Deecke, L. (1989). Regional blood flow patterns in visual imagery. *Neuropsychologia* 27, 641-664.
- Goodale, M.A., Murphy, K., Meenan, J.P., Racicot, C. & Nicolle, D.A. (1993). Spared object perception but poor object-calibrated grasping in a patient with optic ataxia. *Society of Neurosciences Abstracts* 19, 775.
- Goodglass, H., Hyde, M.R. & Blumstein, S. (1969). Frequency, picturability and availability of nouns in aphasia. *Cortex* 5, 104-119.
- Graf, P., & Schacter, D.L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 11, 501-18.
- Grossman, M., Koenig, P., De Vita, C., Glosser, G., Alsop, D., Detre, J. & Gee, J. (2002). The neural basis for category-specific knowledge: An fMRI study. *Neuroimage* 15, 936-948.
- Guenther, R.K. (1998). *Human cognition*. Upper Saddle River, N. J. Prentice Hall.
- Gur, R.C., Gur, R.E., Obrist, W.D., Skolnik, B.E. & Reivich, M. (1987). Age and regional cerebral blood flow at rest and during cognitive activity. *Archives of General Psychiatry* 44, 617-621.
- Gur, R.C., Gur, R.E., Obrist, W.D., Hungerbuler, J.P., Younkin, D., Rosen, A.D., Skolnik, B.E. & Reivich, M. (1982). Sex and handedness differences in cerebral blood flow during rest and cognitive activity. *Science* 217, 659-661.
- Halgren, E., Baudena, P., Heit, G., Clarke, J.M. & Marinkovic, K. (1994). Spatio-temporal stages in face and word processing I. Depth recorded potentials in the human occipital, temporal and parietal lobes. *Journal of Physiology Paris* 88, 1-50.
- Hangstadius, S. & Risberg, J. (1989). Regional cerebral blood flow characteristics and variations with age in resting normal subjects. *Brain and Cognition* 10, 28-43.
- Hart, J., Berndt, R.S. & Caramazza, A. (1985). Category-specific naming deficit following cerebral infarction. *Nature* 361, 439-440.

- Hart, J., Crone, N.E., Lesser, R.P., Sieracki, J., Miglioretti, D.L., Hall, C., Sherman, D. & Gordon, B. (1998). Temporal dynamics of verbal object comprehension. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95, 6498-6503.
- Hauk, O., & Pulvermuller, F. (2004). Effects of word length and frequency on the human event-related potential. *Clinical Neurophysiology* 115, 1090-1103.
- Hines, D. (1977). Differences in tachoscopic recognition between abstract and concrete words as a function of visual half-field and frequency. *Cortex* 13, 66-73.
- Hodges, J.R., Bozeat, S., Lambon-Ralph, M.A., Patterson, K. & Spatt, J. (2000). The role of conceptual knowledge in object use. Evidence from semantic dementia. *Brain* 123 (Pt 9), 1913-25.
- Ingvar, D.H. & Risberg, J. (1967). Increase of regional cerebral blood flow during mental effort in normals and in patients with focal brain disorders. *Experimental Brain Research* 3, 195-211.
- Jahnke, J.C. & Nowaczyk, R.H. (1998). *Cognition*. Upper Saddle River, N.J. Prentice Hall.
- Jessen, F., Heun, R., Erb, M., Granath, D. O., Klose, U., Papassotiropoulos, A. & Grodd, W. (2000). The concreteness effect: Evidence for dual-coding and context availability. *Brain and Language* 74, 103-112.
- Joanette, Y., Goulet, P. & Hannequin, D. (1990). *Right Hemisphere and Verbal Communication*. New York. Springer-Verlag.
- Joanette, Y. Goulet, P. & Le Dorze, G. (1988). Impaired word naming in right brain damaged right handers: Error types and time course analysis. *Brain and Language* 34, 54-64.
- Joanette, Y., Lecours, A.R., Lepage, L. & Lamoureaux, M. (1983). Language in right-handers with right hemisphere lesions. A preliminary study including anatomical, genetic and social factors. *Brain and Language* 20, 217-248.
- Johnson, K.E. & Mervis, C.B. (1997). Effects of varying levels of expertise on the basic level of categorization. *Journal of Experimental Psychology: General* 126, 248-77.
- Johnson, K.E. & Mervis, C.B. (1998). Impact of intuitive theories on feature recruitment throughout the continuum of expertise. *Memory and Cognition* 26, 382-401.
- Keil, F.C. & Batterman, N. (1984). A characteristic-to-defining shift in the development of word meaning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 23, 221-236.
- Kiehl, K.A., Liddle, P.F., Smith, A.M., Mendrek, A., Forster, B.B. & Hare, R.D. (1999). Neural pathways involved in the processing of concrete and abstract words. *Human Brain Mapping* 7, 225-233.
- Klix, F. (1978). On the representation of semantic information in human long-term memory. *Zeitschrift für Psychologie* 1, 26-38.
- Koivisto, M. (1998). Categorical priming in the cerebral hemispheres: Automatic in the left hemisphere, post-lexical in the right hemisphere? *Neuropsychologia* 36, 661-668.

- Koivisto, M. & Laine, M. (1995). Lateralized free-association priming: Implications for the hemisphere organization of semantic memory. *Neuropsychologia* 33, 115-124.
- Kounios, J. & Holcomb, P.J. (1994.) Concreteness effects in semantic processing: ERP evidence supporting dual-coding theory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 20, 804-823.
- Kosslyn, S.M., Alpert, N.M., Thompson, W.L., Maljovic, V., Weise, S.B., Chabris, C.F., Hamilton, S.E., Rauch, S.L. & Buonanno, S.F. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience* 5, 263-287.
- Kutas, M. & Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 207, 4427: 203-205.
- Kutas, M. & Federmeier, K.D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory usage in language comprehension. *Trends in Cognitive Science* 4, 463-470.
- Laiacona, M., Capitani, E. & Barbarotto, R. (2000). Do living and nonliving categories need further fractionation? A study of picture naming in a pathological sample. *Brain and Cognition* 43, 291-296.
- Laiacona, M., Capitani, E. & Caramazza, A. (2003). Category-specific semantic deficits do not reflect the sensory/functional organization of the brain: a test of the “Sensory Quality” hypothesis. *Neurocase* 9, 221-231.
- Lambon Ralph, M.A., Graham, K., Patterson, K. & Hodges, J.R. (1999). Is a picture worth a thousand words? Evidence from concept definitions by patients with semantic dementia. *Brain and Language* 70, 309-35.
- Lambon Ralph, M.A., Howard, D., Nightingale, G. & Ellis, A.W. (1998). Are living and non-living category specific deficits causally linked to impaired perceptual or associative knowledge? Evidence from a category-specific double dissociation. *Neurocase* 4, 311-38.
- Lambon Ralph, M.A., Patterson, K. & Hodges, J.R. (1997). The relationship between naming and semantic knowledge for different categories in dementia of the Alzheimer’s type. *Neuropsychologia* 35, 1251-1260.
- Lichteim, L. (1885). On aphasia. *Brain* 7, 433-84.
- Levine, S.C. & Banich, M.T. (1982). Lateral asymmetries in the naming of words and corresponding line drawings. *Brain and Language* 17, 34-43.
- MacCarthy, R. & Warrington, E. (1988). Evidence for modality-specific meaning systems in the barain. *Nature* 334, 438-430.
- Marinkovic, K. (2004). Spatiotemporal dynamics of word processing in the human cortex. *Neuroscientist* 10, 142-152.
- Marinkovic, K., Dhond, R.P., Dale, A.M., Glessner, M., Carr, V. & Halgren, E. (2003). Spatiotemporal dynamics of modality-specific and supramodal word processing. *Neuron* 38, 487-497.

- Martin, A., Ungerleider, L.G. & Haxby, J.V. (2000). Category specificity and the brain: the sensory/motor model of semantic representations of objects. En M.S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences*. Cambridge Ma. MIT Press. pp. 1023-1036.
- Martin, A., Wiggs, C., Ungerleider, L. & Haxby, J. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature* 379, 649-52.
- Mathew, R.J., Wilson, W.H. & Tant, S.R. (1986). Determinants of resting regional cerebral blood flow in normal subjects. *Biological Psychiatry* 21, 907-914.
- Mazziotta, J.C., Phelps, M.E., Carson, R.E. & Kuhl, D.E. (1982). Tomographic mapping of human cerebral metabolism: sensory deprivation. *Neurology* 12, 435.
- McCarthy, R.A. & Warrington, E.K. (1988). Evidence for modality specific systems in the brain. *Nature* 334, 428-430.
- Medin, D.L., Lynch, E.B. & Solomon, K.O. (2000). Are there kinds of concepts? *Annual Review of Psychology* 51, 121-147.
- Medin, D.L. & Shoben, E.J. (1988). Context and structure in conceptual combination. *Cognitive Psychology* 20, 158-190.
- Mellet, E., Tzourio, N., Denis, M. & Mazoyer, B. (1998). Cortical anatomy of mental imagery of concrete nouns based on their dictionary definition. *Neuroreport* 9, 803-808.
- Moore, C.J. & Price, C.J. (1999). A functional neuroimaging study of the variables that generate category-specific object processing differences. *Brain* 122, 943-62.
- Moss, H.E. & Tyler, L.K. (2000). A progressive category specific semantic deficit for non living things. *Neuropsychologia* 38, 60-82.
- Moss, H.E., Tyler, L.K., Durrant-Peatfield, M. & Bunn, E.M. (1998). Two eyes of a see-through: Impaired and intact semantic knowledge in a case of selective deficit for living things. *Neurocase* 4, 291-310.
- Mummery, C.J., Patterson, K., Hodges, J.R. & Price, C.J. (1998). Functional neuroanatomy of the semantic system: divisible by what? *Journal of Cognitive Neuroscience* 10, 766-77
- Murphy, G. (2002). *The big book of concepts*. Cambridge, Ma. MIT Press.
- Murphy, G.L. & Medin, D.L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychology Review* 92, 289-316.
- Nocentini, U., Goulet, P., Roberts, P.M. & Joannette, Y. (2001). The effect of left versus right hemisphere lesions on the sensitivity of intra e interconceptual semantic relationships. *Neuropsychologia* 39, 443-451.
- Noppeney, U. & Price, C. (2001). Functional imaging of the semantic system: Retrieval of sensory-experienced and verbally learned knowledge. *Brain and Language* 84, 120-133.
- Noppeney, U. & Price, C. (2002a). Retrieval of visual, auditory and abstract semantics. *Neuroimage* 15, 917-926.

- Noppeney, U. & Price, C. (2002b). A PET study of stimulus- and task- induced semantic processing. *Neuroimage* 15, 927-935.
- Noppeney, U. & Price, C. (2003). Functional imaging of the semantic system: retrieval of sensory-experienced and verbally learned knowledge. *Brain and Language* 84, 120-133.
- Noppeney, U. & Price, C. (2004). Retrieval of abstract semantics. *Neuroimage* 22, 164-170.
- Nyberg, L., McIntosh, A.R. & Tulving, E. (1998). Functional brain imaging of episodic and semantic memory with positron emission tomography. *Journal of Molecular Medicine* 76, 48-53.
- Ochsner, K.N., Kosslyn, S.M., Cosgrove, G.R., Cassem, E.H., Price, B.H., Nierenberg, A.A. & Rauch, S.L. (2001). Deficits in visual cognition and attention following bilateral anterior cingulotomy. *Neuropsychologia* 39, 219-230.
- Olfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113.
- Osherson, D.N. & Smith, E.E. (1981). On the adequacy of prototype theory as a theory of concepts. *Cognition* 11, 35-58.
- Paivio, A. (1971). Imagery and language. En S.J. Segal (Comp.), *Imagery: current cognitive approaches*. New York. Academic Press.
- Paivio, A. (1977). Images, propositions and knowledge. En J.M. Nicholas (Comp.), *Images, perception and knowledge*. Dordrecht. Reidel Publishing Comp. pp. 47-71.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. New York. Oxford University Press.
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology* 45, 255-287.
- Palmer, C.F., Jones, R.K., Hennessy, B.L., Unze, M.G. & Pick, A.D. (1989). How is a trumpet known? The "basic object level" concept and the perception of musical instruments. *American Journal of Psychology* 102, 17-37.
- Panegyres, P.K. (2004). The contribution of the study of neurodegenerative disorders to the understanding of human memory. *QJM* 97, 555-567.
- Paus, T. (2001). Primate anterior cingulate cortex: where motor control, drive and cognition interface. *Nature Reviews Neuroscience* 222, 417-424.
- Perani, D. (1998). Brain imaging and memory systems in humans: the contribution of PET methods. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Serie III: Sciences de la Vie* 321, 199-205.
- Pinker, S. (1994). *The language instinct. How the mind creates language*. New York. William Morrow and Co.
- Polster, M.R. & Rose, S.B. (1998). Disorders of auditory processing: evidence for modularity in audition. *Cortex* 34, 47-65.

- Quillian, R. (1968). Semantic memory. En M. Minsky (Ed.), *Semantic information processing*. Cambridge. MIT Press.
- Raichle, M.E., Grubb, R.L., Gado, M.H., Eichling, J.O. & Ter-Pogossian, M.M. (1976). Correlation between regional cerebral blood flow and oxidative metabolism. *Archives of Neurology* 33, 523-526.
- Reed, C.L., Caselli, R.J. & Farah, M. (1996). Tactile agnosia. Underlying impairment and implications for normal tactile object recognition. *Brain* 119, 875-888.
- Riddoch, M.J. & Humphreys, G.W. (1987b). A case of integrative visual agnosia. *Brain* 110, 1431-1462
- Riddoch, M.J., Humphreys, G.W., Coltheart, M. & Funnel, E. (1988). Semantic systems or system? Neuropsychological evidence reexamined. *Cognitive Neuropsychology* 5, 3-25.
- Rips, L.J. (1989). Similarity, typicality and categorization. En S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Rips, L.J., Shoben, E.J. & Smith, E.E. (1973). Semantic distance and the verification of semantic relations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 12, 1-20.
- Rodriguez, G., Warkentin, S., Risberg, J. & Rosadini, G. (1988). Sex differences in regional cerebral blood flow. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism* 8, 783-789.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General* 104, 192-233.
- Rosch, E. (1978). Principles of Categorization. En E. Rosch & B. Lloyd (Eds.), *Cognition and Categorization*. Hillsdale. Earlbaum.
- Rosch, E. & Mervis, C.B. (1975). Family resemblances: studies in the internal structures of categories. *Cognitive Psychology* 7, 573-605.
- Rosch, E., Mervis, C.B., Gray, W.D., Johnson, D.M. & Boyes-Barem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology* 8, 382-439.
- Rosch, E., Simpson, E.C. & Miller, R.S. (1976). Structural bases of typicality effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 2, 491-502.
- Rouhonen, J. & Ilmoniemi, R.J. (2002). Physical principles for transcranial magnetic stimulation. En: A. Pascual-Leone, N.J. Davey, J. Rothwell, E.M. Wassermann & B.K. Puri (Eds.), *Handbook of Transcranial Magnetic Stimulation*. New York. Oxford University Press. pp. 19-29.
- Rubenstein, H., Garfield, L. & Millikan, J.A. (1970). Homographic entries in the internal lexicon. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 9, 487-492.
- Rubin, D.C. (1980). 51 properties of 125 words: A unit analysis of verbal behavior. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 19, 736-755.
- Ruíz-Vargas J.M. (1991). El estudio científico de la memoria. En J. M. Ruíz Vargas (Ed.), *Psicología de la Memoria*. Alianza. Madrid. pp. 27-56.

- Sacchett, C. & Humphreys, G.W. (1992). Calling a squirrel a squirrel but a canoe a wigwam: A category specific deficit for artefactual objects and body parts. *Cognitive Neuropsychology* 9, 73-86.
- Schachter, D.L. (1985). Multiple forms of memory in human and animals. En N.M. Weinberger, J.L. McGaugh y J. Lynch (Eds.), *Memory systems of the brain*. N. York. Guilford Press.
- Sartori, G.. & Job, R. (1988). The oyster with four legs: A neuropsychological study on the interaction of visual and semantic information. *Cognitive Neuropsychology* 5, 105-132.
- Servos, P. & Goodale, M.A. (1995). Preserved visual imagery in visual form agnosia. *Neuropsychologia* 33, 1383-1394.
- Sheehan, D.V., Lecrubier, Y., Sheehan, K.H., Amorim, P., Janavs, J., Weiller, E., Hergueta, T., Baker, R. & Dunbar, G.C. (1998) The Mini-International Neuropsychiatric Interview: The development and validation of a structured diagnostic psychiatric interview for DSM-IV and ICD-10. *Journal of Clinical Psychiatry* 59, 34-57.
- Sheridan, J. & Humphreys, G.W. (1993). A verbal-semantic category-specific recognition impairment. *Cognitive Neuropsychology* 10, 143-184.
- Shibahara, N. & Lucero-Wagoner, B. (2001). Access to perceptual and conceptual information in the left and right hemispheres. *Perceptual and Motor Skills* 93, 649-659.
- Shibahara, N. & Lucero-Wagoner, B. (2002). Hemispheric asymmetry in accessing word meanings: concrete and abstract nouns. *Perceptual and Motor Skills* 94, 1292-1300.
- Silveri, M.C. & Gainotti, G. (1988). Interaction between vision and language in category-specific semantic impairment. *Cognitive Neuropsychology* 5, 677-709.
- Sirigu, A., Duhamel, J.R. & Poncet, M. (1991). The role of sensorimotor experience in object recognition. A case of multimodal agnosia. *Brain* 114, 2555-2573.
- Spitzer, M., Kischka, U., Guckel, F., Bellemann, M.E., Kammer, T., Seyyedi, S., Weisbrod, M., Schwartz, A. & Brix, G. (1998). Functional magnetic resonance imaging of category-specific cortical activation: evidence for semantic maps. *Cognitive Brain Research* 6, 309-319.
- Squire, L.R. (1987). *Memory and Brain*. New York. Oxford.
- Stanners, R.F. & Forbach, G.B. (1973). Analysis of letter strings in word recognition. *Journal of Experimental Psychology* 98, 31-35.
- Sternberg, R.J. (1999). *Cognitive Psychology*. Orlando Fla. Harcourt Brace and Co.
- Strauss, E., Semenza, C., Hunter, M., Hermann, B., Barr, W., Chelune, G., Lavdovsky, S., Loring, D., Perrine, K., Trenerry, M. & Westerveld, M. (2000). Left anterior lobectomy and category-specific naming. *Brain and Cognition* 43, 403-6
- Szava, S., Valdés, P., Galán, L., Bosch, J., Biscay, R., De Quesada, M.E., Alvarez, A., Rodríguez, C., Figueredo, P., Virués, T., Pérez, M.C., Gumá, E. & Díaz, G. (1989). Quantitative EEG norms for the cuban population between the ages of 5 and 97 years. *International Journal of Neuroscience* 49, 246.

- Talairach, J. & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York. Thieme.
- Tanaka, J.W. & Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: is the basic level in the eye of the beholder? *Cognitive Psychology* 23, 457-482.
- Thompson-Schill, S.L., Aguirre, G.K., D'Esposito, M. & Farah, M.J. (1999). A neural basis for category and modality specificity of semantic knowledge. *Neuropsychologia* 37, 671-6.
- Tranel, D., Damasio, H., Damasio, A.R. (1997). A neural basis for the retrieval of conceptual knowledge. *Neuropsychologia* 35, 1319-27.
- Tranel, D., Logan, C.G., Frank, R. & Damasio, A.R. (1997). Explaining category-related effects in the retrieval of conceptual and lexical knowledge for concrete entities: operationalization and analysis of factors. *Neuropsychologia* 35, 1329-1339.
- Tsvetkova, L.S. (1975). The naming process and its deterioration. En E.H. Lenneberg & E. Lenneberg (Comp.), *Foundations of Language Development*. UNESCO. Versión castellana: *Fundamentos del desarrollo del lenguaje*. Madrid. Alianza. pp. 349-367.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. En E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of Memory*. New York. Academic Press.
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist* 40, 385-98.
- Vigotsky, L.S. (1931). Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores. En *Obras Escogidas* T. III. Madrid. Aprendizaje Visor. 1995.
- Vigotsky, L.S. (1932). Pensamiento y lenguaje. En *Obras Escogidas* T. II. Madrid. Aprendizaje Visor. 1993.
- Villardita, C., Grioli, M. & Quattropiani, M.C. (1988). Concreteness/abstractness of stimulus-words and semantic clustering in right brain damaged patients. *Cortex* 24, 563-571.
- Walker, E. & Ceci, S. (1985). Semantic priming effects for stimuli presented to the right and left visual fields. *Brain and Language* 25, 114-159.
- Warrington, E.K. (1975). The selective impairment of semantic memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 27, 635-657
- Warrington, E.K. (1985). Agnosia: the impairment of object recognition. En J.A.M. Fredericks (Ed.), *Handbook of Clinical Neuropsychology* Vol. 45 pp. 333-349. Amsterdam. Elsevier.
- Warrington, E.K. & McCarthy, R. (1987). Categories of knowledge. Further fractionations and an attempted integration. *Brain* 110, 1273-1296.
- Warrington, E.K. & Shallice, T. (1979). Semantic access dyslexia. *Brain* 102, 43-63.
- Warrington, E. & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain* 107, 829-854.
- Wernicke, K. (1874). The aphasic symptom complex: a psychological study on a neurological basis. En R.S. Cohen & M.W. Wartofsky (Eds.), *Boston studies in the philosophy of science*. Vol. 4. Boston. Reidel.

- West, W.C. & Holcomb, P.J. (2000). Imaginal, semantic and surface-level processing of concrete and abstract words: An electrophysiological investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12, 1024-1037.
- Weylman, S., Brownell, H.H., Roman, M. & Gardner, H. (1989). Appreciation of indirect requests by left and right brain damaged patients: The effects of verbal context and conventionality of wording. *Brain and Language* 36, 580-591.
- Whaley, C.P. (1978). Word-nonword classification times. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 17, 143-154.
- Whatmough, C., Verret, L., Fung, D. & Chertkow, H. (2004). Common and contrasting areas of activation for abstract and concrete concepts: An H₂ ¹⁵O PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16, 1211-1226.
- Wise, R.J., Howard, D., Mummery, C.J., Fletcher, P., Leff, A., Büchel C. & Scott, S.K. (2000). Noun imageability and the temporal lobes. *Neuropsychologia* 38, 985-994.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigations*. Oxford. Blackwell.
- Zaidel, E. (1976). Auditory vocabulary of the right hemisphere following brain bisection or hemidecortication. *Cortex* 12, 191-211.
- Zaidel, E. (1978). Lexical organization in the right hemisphere. En P. Buser & A. Rougeul-Buser (Eds.), *Cerebral correlates of conscious experience*. Amsterdam. Elsevier. pp. 77-90.
- Zaidel, E.. (1982). Reading by the disconnected right hemisphere: An aphasiological perspective. En Y. Zotterman (Ed.), *Dyslexia: Neuronal, cognitive and linguistic aspects*. Oxford. Pergamon Press. pp. 67-91.

APÉNDICE I.

PARADIGMA DE JUICIO SEMÁNTICO ESTUDIO PILOTO

FORMATO DE REGISTRO PARA SELECCIÓN DE LA MUESTRA

No. de Control _____

Fecha: _____

I. DATOS GENERALES

Edad: _____ Sexo: _____ Años de escolaridad: _____

Ocupación: _____

Idiomas: _____

II. ANTECEDENTES CLÍNICOS

1. Dominancia Manual (Inventario de Edinburgh)

Puntuación total: _____

1. Der muy pref 2. Der pref 3. Mano indiferente 4. Izq pref 5. Izq muy pref.

Escribir	_____	Tijeras	_____
Dibujar	_____	Cuchara	_____
Lanzar un objeto	_____	Escoba (mano alta)	_____
Cepillarse los dientes	_____	Encender cerillo	_____
Cuchillo	_____	Abrir caja	_____

2. Antecedentes neurológicos

Alguna vez consultó a un neurólogo o neurocirujano? _____

Motivo: _____

Alguna vez ha padecido:

Golpes en la cabeza que le hayan hecho perder el conocimiento?	_____
Crisis convulsivas de cualquier tipo (incluyendo ausencias)?	_____
Parálisis o pérdida de la sensibilidad en alguna parte del cuerpo?	_____
Déficit de atención?	_____
Migraña?	_____
Dificultades en el aprendizaje escolar?	_____

3. Antecedentes psiquiátricos

Puntaje en el SCL 90: _____

Puntaje en el Mini _____

Alguna vez:

Ha consultado con un psicoterapeuta? _____
(En caso afirmativo): Le ha dado medicamentos? _____ Cuáles? _____

Ha estado hospitalizado? _____ Por qué? _____

4. Enfermedades sistémicas

Padece alguna de las siguientes enfermedades?:

Diabetes _____

Insuficiencia renal _____

Problemas metabólicos _____

Cancer _____

Sida _____

Otra _____

Cuál? _____

Consume bebidas alcohólicas más de una vez a la semana? _____

Consume sustancias psicoactivas al menos una vez a la semana? _____

Observaciones:

APÉNDICE II.

PARADIGMA DE JUICIO SEMÁNTICO

HOJA DE RESPUESTAS

No. de identificación _____

Instrucciones:

En estas hojas, encontrarás pares de palabras en la primer columna de la tabla. La primera de las palabras siempre se refiere a una característica o una parte de un objeto o animal; la segunda palabra es un nombre de un objeto o animal. Si tú consideras que la primera palabra es una característica del objeto o animal nombrado por la segunda palabra, por favor pon una cruz en el espacio correspondiente a la respuesta "sí"; si, por el contrario, piensas que la primera palabra no es una característica del objeto o animal nombrado por la segunda, pon una cruz en el lugar correspondiente a la respuesta "no". Si alguna de las palabras te resulta confusa o desconocida, o bien la posible relación entre ellas no es clara, no contestes, y anota en la columna de observaciones cuál es el problema que detectaste.

Muchas gracias por tu colaboración.

Edad: _____ Sexo _____ Años de escolaridad: _____

	Estímulos	SI	NO	Observaciones	% Correctas
1	azul - perro				97.2
2	aéreo - ferrocarril				86.1
3	aguijón - león				91.7
4	graciosa - caricatura				100
5	escurridizo - ratón				97.2
6	opaca - pared				58.3
7	pico - pato				94.4
8	pelo - oso				97.2
9	óptico - telescopio				94.4
10	amigable - puma				88.9
11	aguijón - alacrán				77.8
12	plegable - horno				72.2
13	panorámico - palillo				91.7
14	migratoria - ballena				91.7
15	crío - becerro				88.9
16	arborícola - ballena				27.8
17	luminoso - delfín				94.4
18	domesticable - loro				97.2
19	tímido - tigre				88.9
20	obsoleta - flauta				80.6
21	manecillas - reloj				94.4

22	arborícola - camello			50.0
23	inexacto – vaso			86.1
24	liviano – camión			88.9
25	antideslizante – relicario			86.1
26	electrónica – cuchara			100.0
27	gatillo – espejo			100.0
28	dañina - catarina			91.7
29	galopante - halcón			97.2
30	obligatoria – ley			94.4
31	punta – lápiz			97.2
32	opulento – palacio			77.8
33	abrigadora - camiseta			75.0
34	africano - chimpancé			69.4
35	móvil – brújula			75.0
36	ovíparo - caballo			91.7
37	llantas – automóvil			97.2
38	valioso - tornillo			91.7
39	molesto - zenzontle			77.8
40	rojo - cebra			94.4
41	presa - león			47.2
42	automático – tenedor			100.0
43	ligera – ancla			83.3
44	agresivo - gorrión			88.9
45	desértica - vaca			91.7
46	maleable – refrigerador			94.4
47	ruedas – carretilla			94.4
48	fiel - tigre			88.9
49	raro - perro			77.8
50	inteligente - chimpancé			77.8
51	teledirigido - misil			88.9
52	desdentado - lagarto			72.2
53	bifocal – libreta			94.4
54	entrenable - foca			94.4
55	volátil – sofá			94.4
56	simbólica – billetera			69.4
57	eléctrico – taladro			97.2
58	cuernos - ardilla			100.0
59	peligrosa – pistola			94.4
60	peligroso – reloj			91.7
61	volante – estufa			100.0
62	eléctrico – tostador			97.2
63	aguijón - ballena			100.0
64	dócil - cobra			91.7
65	metamórfico - carnero			86.1
66	térmica – guitarra			100.0
67	doméstico – tranvía			97.2
68	valioso – tapón			91.7
69	cuerda – guitarra			94.4
70	inteligente - molusco			97.2
71	nocturno - tiburón			55.6
72	crío - gallo			75.0
73	comestible – florero			100.0
74	selvático - camello			88.9
75	destrutivo – torpedo			88.9
76	elegantes – bermudas			88.9

77	informal – smoking			94.4
78	escolar – casco			100.0
79	asiático - coyote			83.3
80	trabajador - koala			86.1
81	graduado - cenicero			91.7
82	ovíparo - toro			83.3
83	combustible – vinagre			77.8
84	pezuñas - oso			33.3
85	femenina – falda			100
86	fugaz – computadora			97.2
87	negro – cuervo			100.0
88	granívoro - pollo			75.0
89	electrónica – carretilla			97.2
90	amlante – máscara			eliminada
91	pelo - tiburón			100.0
92	típico – sarape			97.2
93	indivisible – pastel			94.4
94	polar - guacamaya			97.2
95	hembra - carnero			66.7
96	carnívoro - lobo			97.2
97	destructora - tortuga			97.2
98	perilla – puerta			91.7
99	invertebrado - jabalí			91.7
100	artística – raqueta			88.9
101	majestuosa – choza			75.0
102	desechables - aretes			77.8
103	asiática – pagoda			33.3
104	ponzoñoso - escorpión			100.0
105	marino - castor			77.8
106	infantil – cheque			100.0
107	vivíparo - pato			58.3
108	africano - guajolote			100.0
109	manchas - canario			80.6
110	mecánico – televisor			80.6
111	manija – puerta			97.2
112	solitaria - hormiga			91.7
113	sigilosa - urraca			61.1
114	cuernos - búfalo			83.3
115	acuático – velero			97.2
116	estruendosa - boa			88.9
117	escamas - gato			100.0
118	educativa – guillotina			100.0
119	doméstico - rinoceronte			97.2
120	bravo - ratón			91.7
121	ventanas – cigarro			77.8
122	salvaje - canario			88.9
123	antena – licuadora			100.0
124	liviana – aguja			80.6
125	escurrizado - buey			94.4
126	solitario - chimpancé			77.8
127	ajustable – barco			83.3
128	nocturno - murciélago			100.0
129	desechable – cerillo			91.7
130	paquidermo - pavo			72.2
131	vivíparo - pato			eliminada

132	acuático - orangután				100.0
133	frigorífico – espejo				80.6
134	pedales – bicicleta				97.2
135	herbívora - rata				80.6
136	espacial – sarape				88.9
137	colonial – teléfono				75.0
138	teledirigida – lámpara				86.1
139	aromatizante – cuchillo				100.0
140	invertebrado - molusco				91.7
141	domable - elefante				80.6
142	portátil - llave				88.9
143	apestoso - zancudo				97.2
144	desechable – automóvil				91.7
145	urbana – cabaña				86.1
146	trepador – koala				94.4
147	macho - gallina				94.4
148	cómodo – radio				88.9
149	sucia - mosca				91.7
150	ágil - hipopótamo				88.9
151	ponzoñoso - ardilla				100.0
152	comestible - alacrán				97.2
153	domesticable - gorila				63.9
154	alas - castor				97.2
155	potente – fósforo				91.7
156	parásito - tiburón				97.2
157	inteligente - delfín				100.0
158	inmóvil - lince				86.1
159	inútil – portafolios				94.4
160	broche – engrapadora				50.0
161	combustible – gasolina				97.2
162	cazador - ciervo				50.0
163	mezclado – peine				100.0
164	dañina - rata				88.9
165	herbívoro - lobo				100.0
166	americana - jirafa				77.8
167	fuerte - lombriz				97.2
168	polar - perico				97.2
169	inoxidable – hierro				58.3
170	metálica – ley				94.4
171	intercambiable – piano				83.3
172	migratoria - mosca				69.4
173	manchas – leopardo				97.2
174	escolar – cuaderno				94.4
175	juguetona - pantera				69.4
176	verde – loro				100.0
177	potente – motor				97.2
178	extinta - cucaracha				91.7
179	sucia - avispa				86.1
180	sana – campana				100.0
181	bigotes - sapo				100.0
182	peligroso - canario				97.2
183	cresta - cisne				83.3
184	masculino – collar				91.7
185	orejas – perro				91.7
186	lineal – copa				86.1

187	productiva - mosca			94.4
188	patas – mesa			97.2
189	prehistórico - cordero			88.9
190	pública – calle			97.2
191	deportivo – lápiz			100.0
192	parásito - amiba			91.7
193	rumiante - amiba			94.4
194	paquidermo - rinoceronte			44.4
195	artesanal – huipil			83.3
196	frigorífica – nevera			72.2
197	rapaz - conejo			58.3
198	cola – ratón			97.2
199	moderno – carruaje			83.3
200	cuerdas – trompeta			94.4
201	resistente – castillo			83.3
202	veloz - vaca			97.2
203	alas – águila			91.7
204	redonda – aguja			83.3
205	rural – edificio			86.1
206	depredador - leopardo			97.2
207	colonial – casa			97.2
208	botones – pelota			97.2
209	cortante – tostador			97.2
210	punta – cincel			86.1
211	antropomorfo - murciélago			55.6
212	desértico - camello			94.4
213	hoja – libro			97.2
214	desdentada - lagartija			38.9
215	fuerte - buey			97.2
216	escolar – tractor			94.4
217	brazos – orangután			94.4
218	concha – ostra			91.7
219	electrónica – videocámara			97.2
220	impulsivo – pasaporte			97.2
221	extinta - araña			91.7
222	ruedas – sandalias			94.4
223	resistente - burro			75.0
224	destructora - termita			88.9
225	pico - búfalo			100.0
226	nocturna - lechuza			91.7
227	maleable - lámina			63.9
228	manchas – vaca			97.2
229	caparazón – tortuga			97.2
230	boquilla – pipa			88.9
231	tentáculos - loro			100.0
232	asiento – bolso			97.2
233	ligero – globo			100.0
234	defensa – camión			91.7
235	graduados – anteojos			88.9
236	manijas – pantuflas			100.0
237	añejo – queso			94.4
238	manubrio – motocicleta			86.1
239	veloz - liebre			97.2
240	concha - caracol			88.9
241	extinto - pterodáctilo			83.3

242	tropical - pingüino				100.0
243	trepador - búfalo				94.4
244	africano - panda				88.9
245	patas - araña				94.4
246	pabito - vela				86.1
247	constructor - castor				80.6
248	rabo - venado				77.8
249	trompa - elefante				97.2
250	útil - computadora				100.0
251	insectívoro - sapo				69.4
252	patas - taza				97.2
253	nariz - amiba				94.4
254	inteligente - lombriz				100.0
255	rapaz - buitres				69.4
256	dientes - ardilla				91.7
257	vacuno - cerdo				86.1
258	pezuñas - caballo				80.6
259	hebilla - cinturón				97.2
260	presa - ciervo				65.0
261	alas - armadillo				100.0
262	patas - mochila				97.2
263	manual - collar				91.7
264	dientes - ganso				97.2
265	resistente - cristal				55.6
266	costoso - chicle				94.4
267	hebilla - mascada				97.2
268	barrotes - reja				94.4
269	pico - colibrí				91.7
270	venenosa - malteada				97.2
271	filo - hacha				94.4
272	respaldo - silla				97.2
273	venenosa - cicuta				33.3
274	doméstica - licuadora				77.8
275	depredador - oveja				88.9
276	volátil - gas				88.9
277	salvaje - tigre				94.4
278	cuadrado - disco				94.4
279	divertida - película				94.4
280	escamas - pez				97.2
281	hembra - gallina				94.4
282	punta - martillo				88.9
283	informales - tenis				86.1
284	lujosa - limosina				97.2
285	filo - portafolios				100.0
286	sirena - ambulancia				88.9
287	orejas - conejo				94.4
288	tapa - frasco				97.2
289	aromatizante - perfume				100.0
290	oloroso - cuaderno				97.2
291	cresta - gallo				94.4
292	africano - león				80.6
293	metálica - armadura				97.2
294	asa - taza				91.7
295	crío - pollo				83.3
296	plumas - cocodrilo				100.0

297	llantas – rifle				100.0
298	tapadera – cuchara				97.2
299	pesado - mosco				97.2
300	negro – pantera				97.2
301	blanco - cuervo				100.0
302	escalerilla – sombrero				97.2
303	desechable – jeringa				97.2
304	lujoso – huarache				91.7
305	automática – calle				97.2
306	cazador - tigre				83.3
307	visera – gorra				88.9
308	respaldo – banco				77.8
309	instantánea – ópera				97.2
310	productiva - abeja				88.9
311	oficial – pasaporte				91.7
312	volátil - hipopótamo				97.2
313	manos - pulpo				80.6
314	asa – billetera				100.0
315	óptico – guante				100.0
316	carnívora - codorniz				94.4
317	broche – bolso				88.9
318	peligroso - lagarto				86.1
319	atrayente – compás				88.9
320	alas - gorila				100.0
321	letárgico - perezoso				30.6
322	plaga - langosta				58.3
323	vivíparo - perro				61.1
324	periscopio – submarino				77.8
325	bifocal – lente				94.4
326	branquias - hiena				83.3
327	frágil – cristal				100.0
328	prehistórico - mamut				100.0
329	macho - carnero				91.7
330	cómodo – sillón				97.2
331	lana – oveja				97.2
332	anticuado – bombín				66.7
333	parlanchina - avestruz				86.1
334	cazador - coyote				86.1
335	plumas - camaleón				100.0
336	ligero - elefante				97.2
337	clavija – pala				91.7
338	faro – pinzas				100.0
339	rabo - mosca				97.2
340	agujeta – zapato				88.9
341	garras – águila				91.7
342	resistente - mariposa				100.0
343	teclas – bolígrafo				97.2
344	platos – piano				91.7
345	galopante – antílope				76.2
346	carnívoro - caimán				75.0
347	molesto - zancudo				97.2
348	tropical - pelícano				88.9
349	ruedas – barco				97.2
350	teclas – piano				91.7
351	ubres - alacrán				97.2

352	panorámica – postal			88.9
353	dientes - lagarto			80.6
354	circular – anillo			97.2
355	plegable – abanico			77.0
356	mangas – camisa			97.2
357	cúbico – lápiz			76.2
358	garras - ratón			86.1
359	consumible – anillo			100.0
360	asiático - panda			77.8
361	americano - guajolote			61.1
362	depredador - conejo			91.7
363	tropical - oso			91.7
364	bravo - toro			97.2
365	motor – bicicleta			94.4
366	peligroso - caracol			97.2
367	tenazas – langosta			86.1
368	lenta - liebre			100.0
369	ornamental – sacacorchos			86.1
370	pantalla – piano			97.2
371	inmóvil - coral			86.1
372	marino - calamar			97.2
373	móvil – castillo			100.0
374	focos – corbata			100.0
375	arborícola - ardilla			69.4
376	espejo – escritorio			94.4
377	americano - elefante			80.6
378	sigiloso - lince			80.6
379	roedor - castor			88.9
380	apestoso - zorrillo			97.2
381	madrugador - perezoso			88.9
382	acuática - águila			97.2
383	nariz - mosca			100.0
384	recreativo – dominó			86.1
385	pico – canario			97.2
386	rayas - delfín			100.0
387	boquilla – flauta			97.2
388	venenosa - cascabel			100.0
389	instantánea - fotografía			100.0
390	deportivo – raqueta			100.0
391	granívora - hiena			80.6
392	ojos – búho			91.7
393	lengua – cobra			77.8
394	mango – martillo			77.8
395	tirantes – abrigo			88.9
396	cortante – navaja			97.2
397	agrícola – frak			86.1
398	tenazas – cangrejo			91.7
399	antena – televisor			97.2
400	lente – lupa			94.4
401	cuerdas – arpa			91.7
402	infantil – biberón			97.2
403	plumas – gallina			94.4
404	cerradura – jarra			97.2
405	cola - rana			97.2
406	cuadrado – desarmador			91.7

407	selvática - anaconda				100.0
408	vacuno - cebú				66.1
409	abrigadora – chamarra				97.2
410	pico - tigre				100.0
411	calorífica – hielera				97.2
412	folklórica – loción				97.2
413	madrugador - gallo				100.0
414	crystal – ventana				94.4
415	joroba - murciélago				100.0
416	ágil - gato				97.2
417	fino – azadón				91.7
418	anaranjado - rinoceronte				100.0
419	gatillo – pistola				91.7
420	doméstico - gato				100.0
421	triangular - panda				97.2
422	mezclado - coctel				94.4
423	asiento – anillo				100.0
424	parlanchín - perico				94.4
425	reciclable – cartón				97.2
426	fiel - perro				94.2
427	raro - ornitorrinco				86.1
428	cerdas – cepillo				91.7
429	aletas - lobo				97.2
430	bravo - pollo				100.0
431	esférico - perro				97.2
432	pezuñas - mula				72.2
433	eléctrico – queso				97.2
434	botón – blusa				97.2
435	bigotes – gato				94.4
436	extinto - mamut				91.7
437	ventana – casa				91.7
438	tropical - guacamaya				94.4
439	elegante - cisne				83.3
440	colmillos - hormiga				91.7
441	auricular – teléfono				94.4
442	mango – paraguas				77.8
443	engranes – silla				94.4
444	filo – cuchillo				94.4
445	ligera - mariposa				97.2
446	trabajadora - hormiga				97.2
447	juguetona - nutria				69.4
448	cabeza - lombriz				75.0
449	cuernos – toro				91.7
450	estruendosa - urraca				77.8
451	tímido - ratón				55.6
452	veloz - tortuga				88.9
453	americano - coyote				66.7
454	presa - leopardo				66.7
455	prehistórico – teleférico				94.4
456	foco – lámpara				94.4
457	enfermiza – moneda				97.2
458	nocturna - gallina				97.2
459	elástico – desarmador				100.0
460	alas – automóvil				97.2
461	calorífica – plancha				97.2

462	herbívoro - conejo			86.1
463	joven - vaquilla			75.0
464	depredador - águila			97.2
465	destrutivo - talco			97.2
466	teclas - vaso			100.0
467	alas - avión			97.2
468	ortopédico - tractor			97.2
469	constructor - zopilote			97.2
470	plumas - ganso			94.4
471	polar - pingüino			97.2
472	eslabón - cadena			88.9
473	curtido - plato			88.9
474	orejas - boa			100.0
475	trompa - hipopótamo			58.3
476	hélices - farol			97.2
477	urbano - edificio			88.9
478	antideslizante - tapete			77.8
479	plaga - nutria			88.9
480	balcón - lavabo			97.2
481	marino - pulpo			100.0
482	microscópica - amiba			94.4
483	antenas - mariposa			72.2
484	portezuelas - teléfono			100.0
485	portátil - edificio			100.0
486	cable - plancha			94.4
487	lento - caracol			97.2
488	agresivo - gorila			97.2
489	automático - elevador			94.4
490	rayas - cebra			97.2
491	mangueras - reloj			97.2
492	rabo - colibrí			97.2
493	adulto - pollo			86.1
494	luminosa - libélula			41.7
495	vivíparo - borrego			69.4
496	rumiante - res			80.6
497	religioso - templo			94.4
498	nacional - bandera			100.0
499	lineal - dibujo			69.4
500	chimenea - refrigerador			100.0
501	reciclable - cemento			94.4
502	amarillo - pantera			91.7
503	artesanales - jeans			97.2
504	joroba - camello			94.4
505	pescuezo - jirafa			94.4
506	aletas - delfín			91.7
507	añeja - engrapadora			100.0
508	verde - camello			100.0
509	azul - elefante			100.0
510	protector - pararrayos			83.3
511	caparazón - conejo			100.0
512	redonda - pelota			100.0
513	ojos - rana			86.1
514	alas - avispa			97.2
515	manual - engrapadora			66.7
516	asa - bolso			88.9

517	redonda – moneda			97.2
518	tinta – bolígrafo			97.2
519	cuernos – antílope			69.4
520	botón – radio			63.9
521	patas - pez			100.0
522	peligroso - escorpión			97.2
523	melena – león			97.2
524	aguja – brújula			88.9
525	magnético – destapador			94.4
526	transparente – cristal			97.2
527	lenta - tortuga			97.2
528	tóxico – foco			100.0
529	educativo – libro			100.0
530	teclado – computadora			97.2
531	tapadera – tenedor			97.2
532	opaco – monitor			63.9
533	moderno – televisor			97.2
534	inoxidable – acero			97.2
535	colmillos – morsa			83.3
536	ponzoñoso - cocodrilo			94.4
537	joroba - gusano			97.2
538	plumas - liebre			97.2
539	valioso – trofeo			100.0
540	manos – chimpancé			83.3
541	patas - canguro			97.2
542	fino –diamante			100.0
543	simbólico – logotipo			97.2
544	pezuñas - halcón			66.7
545	magnético – imán			97.2
546	rayas – tigre			94.4
547	mecánico – torno			77.8
548	asa – barco			97.2
549	metálica – falda			94.4
550	amarillo – canario			100.0
551	acuático - tiburón			100.0
552	ordenado – archivero			94.4
553	manivela – fonógrafo			58.3
554	orejas – guacamaya			94.4
555	elegante – smoking			100.0
556	insectívoro - pulpo			100.0
557	comestible – queso			100.0
558	aletas - ardilla			97.2
559	orificios – regadera			94.4
560	puerta – refrigerador			91.7
561	valioso – rubí			97.2
562	recreativo – hospital			94.4
563	majestuoso – castillo			97.2
564	ornamental – escultura			61.1
565	agujón – abeja			97.2
566	espinas - caballo			100.0
567	presa - ciervo			75.0
568	arborícola – loro			58.3
569	cerradura – escoba			100.0
570	oloroso – desodorante			88.9
571	manivela – camisa			83.3

572	hélices – reloj			97.2
573	antropomorfo - orangután			44.4
574	costoso – rubí			100.0
575	comestible - atún			100.0
576	explosiva – dinamita			97.2
577	hocico – cerdo			77.8
578	orejas – panda			83.3
579	obligatoria – licuadora			91.7
580	intercambiable – dinero			94.4
581	pesado - elefante			97.2
582	puerta – campana			88.9
583	colmillos - caracol			100.0
584	tentáculos - gorrión			100.0
585	explosivas – pantuflas			100.0
586	exacto – reloj			100.0
587	metamórfica - mariposa			69.4
588	escolar – pizarrón			94.4
589	portátil – radio			94.4
590	volante – radio			97.2
591	herbívoro - jirafa			80.6
592	azul - koala			97.2
593	chimenea - televisor			97.2
594	bolsillos – sombrero			100.0
595	ajustable – corbata			94.4
596	particular – credencial			88.9
597	garras - cobra			100.0
598	boquilla – zapato			91.7
599	asientos – libro			100.0
600	frágil – martillo			94.4
601	bolsillos – pantalón			94.4
602	antiguo – código			88.9
603	oficial – cortauñas			100.0
604	toldo – motocicleta			97.2
605	cuernos - leopardo			100.0
606	verde - toro			94.4
607	ovíparo - canario			91.7
608	congelante – hielera			91.7
609	respaldo – brocha			100.0
610	artística – música			94.4
611	rural – choza			91.7
612	patas – burro			91.7
613	ortopédica – férula			83.3
614	melena - tortuga			100.0
615	cabecera – cama			97.2
616	curtido – cinturón			47.2
617	bravo - gallo			58.3
618	llamativo – aparador			83.3
619	elegante - escarabajo			91.7
620	esférica – mesa			86.1
621	eterna - cobra			100.0
622	opulento – bolígrafo			91.7
623	dientes – mono			88.9
624	agrícola - machete			58.3
625	elástico – resorte			97.2
626	bocina – navaja			100.0

627	coraza – armadillo				83.3
628	barrotes – botella				97.2
629	religioso – bar				94.4
630	trompa - venado				72.2
631	graciosa – licuadora				100.0
632	tóxico – insecticida				100.0
633	curativo – medicamento				100.0
634	tentáculos – pulpo				94.4
635	obsoleto - fonógrafo				63.9
636	garras – halcón				88.9
637	carnívoro - venado				75.0
638	colmillos - mariposa				100.0
639	ovíparo - pato				86.1
640	hélices – helicóptero				97.2